GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS

AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES - GOINFRA
GERÊNCIA DE PROJETOS E OBRAS RODOVIÁRIAS

PROJETO DE RESTAURAÇÃO

Rodovia : GO-330
Trecho : Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador)
Extensão : 42,49 km
Cód. S.R.E.: 330EGO0170, 309EGO0109 e 020EGO0070
Lote : 1

VOLUME 1 – RELATÓRIO DO PROJETO
TOMO IV

ETAPA 4 – PROJETO EXECUTIVO E PLANEJAMENTO DA OBRA

JULHO/2025

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS

AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES - GOINFRA
GERÊNCIA DE PROJETOS E OBRAS RODOVIÁRIAS

PROJETO DE RESTAURAÇÃO

Rodovia : GO-330
Trecho : Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador)
Extensão : 42,49 km
Cód. S.R.E.: 330EGO0170, 309EGO0109 e 020EGO0070
Lote : 1

Supervisão : Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA
Elaboração : Strata Engenharia Ltda.
Contrato N° : 094/2023/GOINFRA
Processo : 202300036001784
Edital : Pregão Eletrônico nº 027/2023 - GOINFRA

VOLUME 1 – RELATÓRIO DO PROJETO
TOMO IV

ETAPA 4 – PROJETO EXECUTIVO E PLANEJAMENTO DA OBRA

JULHO/2025

SUMÁRIO

TOMO I

1 – APRESENTAÇÃO 1

2 – MAPA DE SITUAÇÃO 3

3 – ESTUDOS 5
3.1 – Levantamento de Dados Históricos do Pavimento Existente 6
3.2 – Estudos de Tráfego 18
3.3 – Estudos Topográficos 102

TOMO II

3.3 – Estudos Topográficos(Continuação) 514
3.4 – Estudos Hidrológicos 926

TOMO III

3.5 – Estudos Geológicos 1069
3.6 – Estudo Geotécnicos 1155
3.7 – Estudos de Travessias Urbanas 1191
3.8 – Estudos Especiais 1205

4 – PROJETOS 1375

4.1 – Projeto de Drenagem 1376

TOMO IV

4.2 – Projeto de Restauração do Pavimento 1415
4.3 – Projeto de Sinalização 1790
4.4 – Projeto de Obras Complementares 1805
4.5 – Projeto de Canteiro de Obras 1809

5 - QUANTITATIVOS 1812
5.1 – Quadro de Quantidades 1813
5.2 – Memória de Cálculo - Pavimentação 1823
5.3 – Quadro DMT 1830
5.4 – Quadro Consumo 1832
5.5 – Linear de Ocorrências 1834

6 – DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE 1836

7 – ART 1851

8 – TERMO DE ENCERRAMENTO 1862

1 – APRESENTAÇÃO

A Strata Engenharia Ltda. apresenta à Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA, o presente **Volume 1 – Relatório do Projeto**, componente da **Etapa 4 – Projeto Executivo e Planejamento da Obra**, parte integrante do Projeto de Restauração da rodovia: GO-330, trecho: Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador). O presente relatório está sendo apresentado de acordo com Termo de Referência do Pregão Eletrônico Nº 027/2023.

Dados da Rodovia

- Rodovia: GO-330
- Trecho: Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador)
- Extensão: 42,49 km

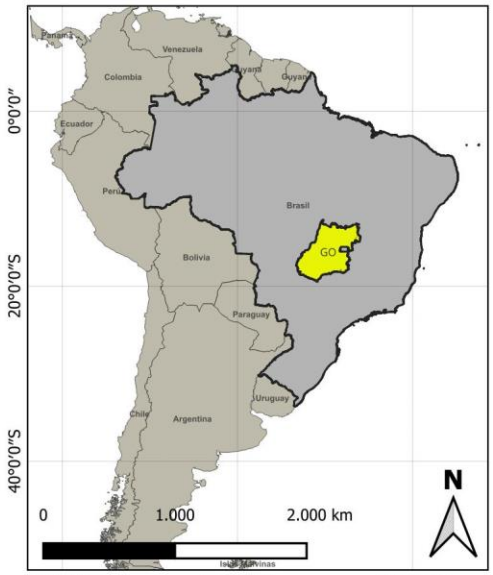
Dados Contratuais

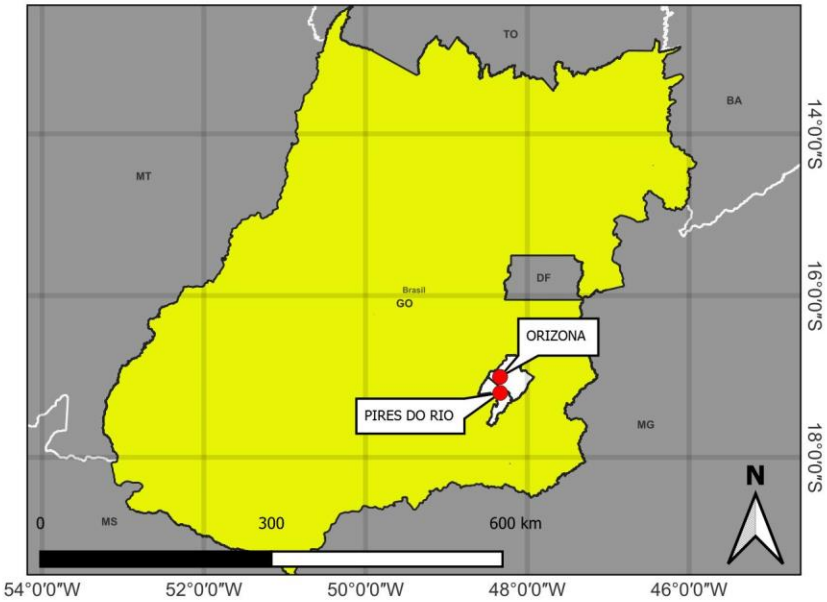
- Supervisão e Fiscalização: GOINFRA
- Elaboração: Strata Engenharia Ltda.
- Processo nº: 202300036001784
- Contrato: 094/2023
- Data da Assinatura do Contrato: 08/11/2023
- Data da Ordem de Serviço: 08/01/2024

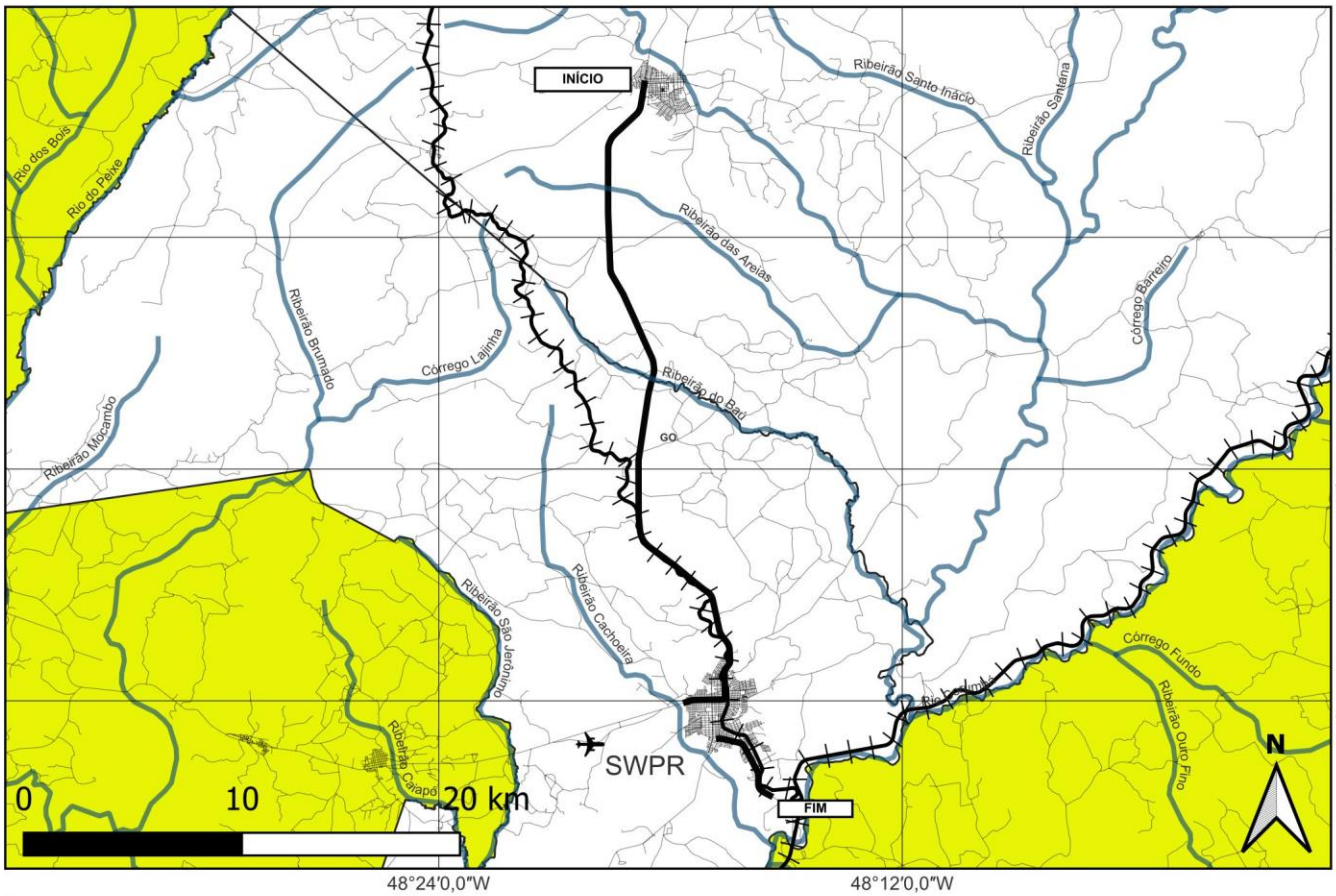
Paulo Romeu Assunção Gontijo
Coordenador

2 – MAPA DE SITUAÇÃO

MAPA DE SITUAÇÃO - GO-330







LEGENDA:

- Área de Interesse
- Municípios de Interesse
- Divisa de Municipio
- Trecho de estudo
- Ruas e avenidas
- Bacias Hidrográficas
- Ferrovias
- Aeroporto - Pires do Rio

GO INFRA

strata ENGENHARIA

Universal Transversa de Mercator (Fuso 22S)
Datum: SIRGAS 2000
FONTE: IBGE
Elaboração: Leonardo Ramalho

4.2 – PROJETO DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO

4.2.1. INTRODUÇÃO

A avaliação de pavimentos existentes deve ocorrer a partir de análises acuradas de suas condições funcionais e estruturais, visando a definição dos parâmetros de comportamento que se mostram imprescindíveis de determinação, bem como disciplinar os trabalhos complementares de prospecção a serem executados para que se possa determinar as constituições físicas representativas da estrutura existente. A adoção dessas estratégias de avaliação deve permitir a definição e o estabelecimento das diretrizes demandadas para a elaboração de procedimentos de restauração ou reabilitação de pavimentos asfálticos; paralelamente, visam ainda evitar sobreposições inúteis e/ou lacunas importantes nos levantamentos a serem efetuados.

Para o efeito, em qualquer pavimento a ser avaliado, deve-se promover inicialmente uma visita de inspeção técnica de forma a se adquirir sensibilidade sobre as condições de serventia vigentes, as naturezas das principais degradações manifestas, as manifestações de umidades excessivas (superficiais e profundas), as características da drenagem existente, a magnitude do tráfego atuante e a predominância do sistema envoltório. De igual forma, devem ser obtidas informações sobre o histórico do pavimento existente, buscando-se fundamentalmente dados e subsídios relativos à sua constituição básica e aos materiais empregados e disponíveis na região, às intervenções e periodicidade de intervenções de manutenção corretiva já realizadas e à data de entrega do pavimento ao tráfego usuário.

Quanto aos parâmetros de comportamento que se mostram imperativos de determinação para uma perfeita avaliação de pavimentos rodoviários, julga-se poder enquadrá-los em duas grandes linhagens: aqueles que traduzem as ***características funcionais*** (degradações superficiais, deformações permanentes e deformabilidade elástica) e aqueles que definem as ***características estruturais*** (perfil constitutivo, espessura das camadas, módulos de rigidez/resiliência e coeficientes de Poisson).

As ***características funcionais*** devem traduzir o comportamento externado pelo pavimento, o qual deve ser avaliado através de análises das perturbações (variáveis dependentes e independentes) que se apresentam e que restringem suas condições de prestação de serviços, comprometendo a trafegabilidade. Assim considerando, torna-se importante ter em conta, numa análise de comportamento funcional, as variáveis dependentes, traduzidas pelos níveis de degradação superficial e de deformação permanente externados pelo pavimento e as variáveis independentes, no caso, impactantes nas suas condições de trabalho – a deformabilidade elástica – impostas pelas solicitações exteriores.

As ***características estruturais*** devem traduzir, de forma plena e consistente, a capacidade de suporte – ou de carga – externada pelo sistema constituído pelo conjunto pavimento - solo de fundação, a qual deve ser avaliada a partir da determinação da estratigrafia do pavimento existente (número e espessura das camadas) e dos valores modulares e coeficientes de Poisson dos distintos materiais constituintes; paralelamente, na busca de uma perfeita definição da capacidade de suporte, devem ser agregados todos os parâmetros relativos às caracterizações laboratoriais procedidas com os materiais constituintes (índices físicos e mecânicos).

As ***características funcionais*** são de importância notável e dominante na definição da natureza e do tipo - não da magnitude - das intervenções corretivas requeridas pelos pavimentos; as ***características estruturais***, em contra partida, visam determinar a magnitude de tais intervenções – os aportes estruturais – requeridos pelo pavimento de forma a qualificá-lo para

uma prestação de serviços futura, correspondente à expectativa de vida projetada. A consideração conjunta dessas características faculta, por conseguinte, a definição das causas mais prováveis e da sede das manifestações de ruína verificadas; de igual modo, permite ainda a identificação de eventuais segmentos que, embora externando adequadas características funcionais, podem apresentar alguma propensão ao colapso prematuro e repentino.

4.2.2. PROCEDIMENTOS DE LEVANTAMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

4.2.2.1. Levantamento histórico do pavimento existente

Considera-se de importância imperiosa a obtenção de todas as informações disponíveis acerca do histórico do pavimento existente, constituindo uma obrigação a busca de dados e subsídios relativos à sua constituição básica e aos materiais empregados, às intervenções de manutenção corretiva já realizadas, às datas de entrega do pavimento ao tráfego usuário e das intervenções corretivas eventualmente processadas.

4.2.2.2. Levantamento das Características Funcionais

4.2.2.2.1. Introdução

Para o levantamento dos parâmetros de degradação superficial, de deformação permanente e de deformabilidade demandados de forma conjunta pelos Métodos de Dimensionamento Oficiais do DNIT – PRO 10, PRO 11, PRO-159 e PRO-269, pertinentes ao pavimento sob análise, foram empregados os equipamentos a seguir descritos; os procedimentos demandados pela norma DNIT PRO-006/2003, foram executados e disciplinados de forma rígida e os resultados obtidos são quando das aplicações requeridas.

4.2.2.2.2. Demarcação da Base Quilométrica

A *Demarcação da Base Quilométrica* de (DBQ) e dos *Pontos de Referência* ao longo de todo o trecho é processada com emprego do equipamento ***Automated Mark System***, uma máquina de pintura especial com distanciômetro regulado por um *encoder* ótico de altíssima precisão, acoplado a um *Global Positioning System* (GPS) de última geração operando em dupla frequência (L1/L2).

Esse equipamento promove a demarcação das estacas duodecámetricas – dispostas a cada 20 metros – com tinta branca e das estacas hectométricas (a cada 100 metros) com tinta branca e amarela; todas as estacas são devidamente georreferenciadas e as hectométricas são numeradas na pista, de forma sequencial.



Figura 1 - Equipamento de demarcação viária Automated Mark System

4.2.2.2.3. Levantamento das Características Degradação Superficial

Para se obter os parâmetros de comportamento demandados, dadas as extensões normais dos trechos a serem restaurados, fez-se importante a aplicação de tecnologias mais avançadas, representadas por equipamentos eletrônicos capazes de propiciar o levantamento visual contínuo do pavimento existente, em contínuo e por faixa de tráfego.

Para o levantamento das características de degradação superficial, lançou-se mão do equipamento denominado ***Multifunction Vehicle***, o qual é dotado de um conjunto de instrumentos de auscultação de pavimentos que operam de forma integrada e simultânea. Dentre tais equipamentos se destacam: o ***Road Video Survey, o Orthogonal Pavimente Recorder, o Perfil metro Longitudinal a Laser e o Transverso Perfilômetro a Laser.***



Figura 2- MultiFunction Vehicle

O ***Road Vídeo Survey*** processa a filmagem em *Full HD* (1920 x1080) através de vídeo-registro capaz de sincronizar as imagens captadas simultaneamente por três câmeras digitais de alta resolução, gravadas em consonância com um "*encoder*" ótico (hodômetro digital inteligente) de alta precisão; duas câmeras permitem filmagens digitais panorâmicas à frente (na faixa de tráfego) e à ré (na faixa de tráfego contrária), e a outra câmera, posicionada no teto do veículo, permite a obtenção de fotos sequenciais:

- ✓ as duas câmeras, dispostas nas partes frontal e traseira do veículo, promovem a ***filmagem digital do espectro envolvente do pavimento e dos acostamentos***

(panorâmica), incluindo os vários subsistemas rodoviários (*dispositivos de sinalização horizontal e vertical e de drenagem superficial, erosões de taludes, rupturas de maciços, ocupação da faixa de domínio, etc.*);

- ✓ a terceira câmera, disposta na parte frontal superior (teto) do veículo, é direcionada única e exclusivamente para o pavimento, propiciando a ***captura de fotos sequenciais a cada 5 metros percorridos de alta resolução*** (independentemente da velocidade de deslocamento) captando, com precisão extraordinária, uma ***extensão do pavimento correspondente a 15 metros***.

O ***Orthogonal Pavement Scanner*** promove o escaneamento contínuo da superfície do pavimento através de filmagem de altíssima resolução - do tipo *Full HD* (1920x1080 pixels), com câmera disposta sobre um dispositivo de sustentação retrátil – fixado ao teto – que se estende cerca de 1,30m para além da traseira do veículo-teste. A projeção do filme em tela de 75" – que retrata o pavimento praticamente em verdadeira grandeza – permite a identificação e a caracterização de todas as manifestações ocorrentes no pavimento e os softwares desenvolvidos complementarmente facultam a definição gráfica, em sistema multimídia, das áreas comprometidas, com precisão absoluta.



Figura 3. Detalhes do Orthogonal Pavement Recorder

Face à necessidade de que todos os levantamentos se enquadrem na mesma base de referência geodésica, também o ***MultiFunction*** é dotado de um sistema avançado de navegação composto por um "***encoder" ótico*** de alta precisão para registro das distâncias percorridas e ***GPS – Global Positioning System*** capaz de proporcionar rastreios geodésicos cinemáticos com a utilização de receptores ***GNSS – Global Navigation Satellite System*** de dupla frequência L1/L2 (L1 utiliza comprimentos de onda com 19 cm e L2 comprimentos de onda com 24 cm) os quais permitem *sincronizar cada imagem processada com o sistema de navegação de bordo*; esta associação permite a perfeita localização de todas as manifestações de ruína ocorrentes no pavimento e os softwares desenvolvidos pela Strata Engenharia facultam, concomitantemente, a determinação gráfica, em sistema multimídia, das áreas comprometidas, com precisão absoluta.

Desta forma, considerando em conjunto os resultados das filmagens efetuadas, ficam disponíveis, de forma perfeitamente consistente e amigável, os seguintes elementos:

❖ ***Road Vídeo Survey***

- Levantamento do estado superficial dos acostamentos;
- Verificação de existência de degraus entre pista e acostamento;
- Localização de Interseções, Acessos, Perímetros Urbanos, Obras-de-Artes Especiais, e

- Localização e identificação dos dispositivos de Drenagem, Sinalizações Vertical e Horizontal, etc.

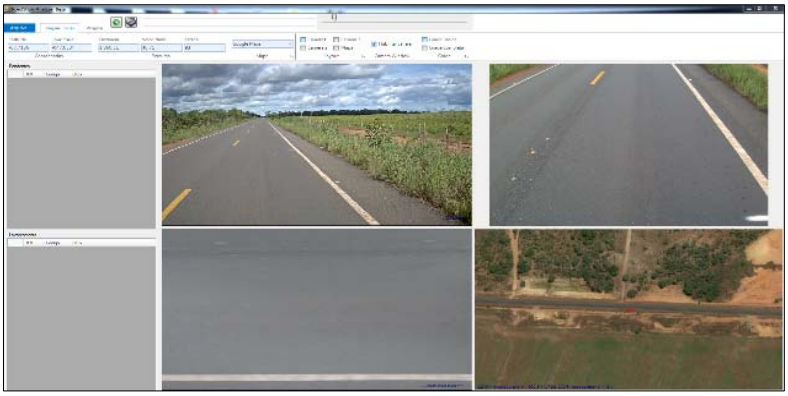


Figura 4 - Software utilizado no levantamento visual contínuo

❖ ***Orthogonal Pavement Scanner***

- Estado Superficial do Pavimento Existente (Levantamento Visual Contínuo).



Figura 5 - Identificação das patologias, delimitação das áreas comprometidas, mosaico fotográfico, representação geodésica dos locais de ensaio e definição da estrutura

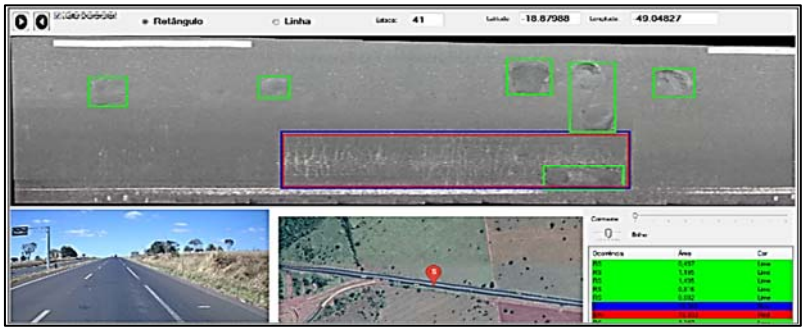


Figura 6 - Identificação das patologias, delimitação das áreas comprometidas, mosaico fotográfico, representação geodésica dos locais de ensaio e definição da estrutura

- Levantamento Específico das Áreas Degradadas

No âmbito do inventário da superfície (LVC), embora seja usual processar o levantamento das **ocorrências** de todas as manifestações de ruína exteriorizadas pelo pavimento, não se promove a delimitação específica das áreas comprometidas, as quais, pelo menos em princípio, devem ser alvo de intervenções de caráter localizado, de medidas saneadoras que devem anteceder as intervenções requeridas para o restabelecimento das condições funcionais e/ou estruturais dos pavimentos. Entretanto, com base nos levantamentos efetuados e softwares especialmente

desenvolvidos, a empresa projetista é capaz de promover a delimitação gráfica das manifestações de ruína ocorrentes - **Levantamento Específico das Áreas Degradadas (LEAD)** - por faixa de tráfego e em contínuo, processamento que permite a representação gráfica, métrica e georreferenciada, das ocorrências em sistema de registro XY.

Os resultados podem ser tratados em relação à faixa de tráfego como um todo, somente nas trilhas de roda ou dividindo a faixa de tráfego em 03 (três) semifaixas com larguras da ordem de 1,20 metros; esse procedimento último é adotado antevendo-se uma possível utilização combinada de fresadoras (1,20 m de largura) com engenhos de compactação mais robustos. A delineação em lineares gráficos com precisão centimétrica – instruções em VBA (*Visual Basic for Application*) – permite a quantificação das operações executivas e dos materiais necessários.

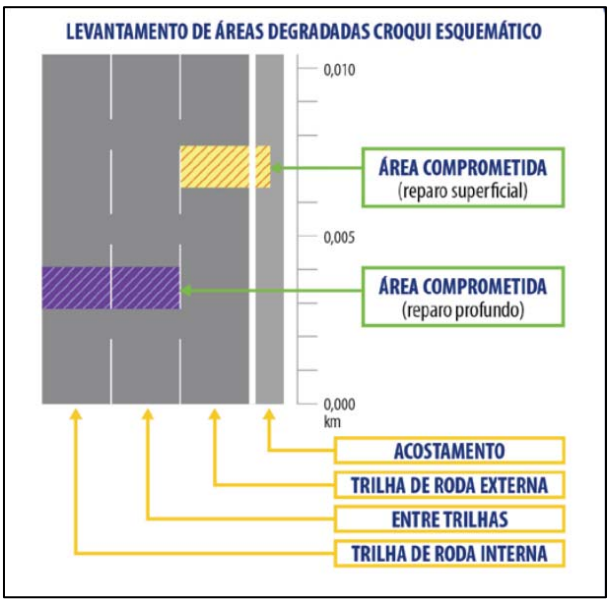


Figura 7 - Croquis esquemático do levantamento de áreas degradadas externadas pelo pavimento

4.2.2.2.4. Levantamento das Características de Deformação Permanente

Para a obtenção dos parâmetros de tradutores das deformações permanentes externadas pelo pavimento em análise, dadas as extensões normais dos trechos a serem restaurados, julgou-se oportuno o emprego de tecnologias mais avançadas, representadas por equipamentos eletrônicos capazes de propiciar as medições das irregularidades longitudinal (IRI) e transversal (Flecha nas trilhas de roda), em contínuo e por faixa de tráfego. Para o levantamento das características de deformação permanente, lançou-se mão do equipamento denominado ***Multifunction Vehicle***, dotado de ***Perfilômetros a Laser Longitudinal e Transversal*** para a medição dos graus de irregularidade longitudinal (IRI) e transversal (Flechas nas trilhas de roda) em contínuo, que operam de forma integrada e simultânea e em sincronia com um encoder ótico de altíssima precisão.

Nesses processos de avaliação os procedimentos metodológicos considerados ajuízam que as deformações permanentes longitudinais - *irregularidade longitudinal* – são verificadas através da medição do parâmetro ***International Roughness Index – IRI***, o qual é considerado como qualificado para traduzir, de forma plena, toda sorte de malformações geométricas que comprometem a integridade superficial do pavimento (ondulação, corrugação, empolamento/calotas dendríticas, estufamento, desintegração, desagregação, etc.). As deformações permanentes transversais - *irregularidade transversal* – são verificadas através da

medição pura e simples das ***flechas em ambas as trilhas de roda ($F_{máx}$)***; no cálculo do IGG tem-se em conta concomitantemente, para além do valor médio das flechas, a variância de sua população (desvio em relação à média).

Os *perfilômetros longitudinal e transversal* utilizam transdutores de medidas de distância a laser para medir as irregularidades longitudinal e transversal do pavimento; *os medidores, localizados nas unidades externas do laser*, compensam o movimento vertical do veículo e os dados coletados são processados relativamente à *unidade inercial central (desprovida de acelerômetro)* de forma a traduzir as alterações dos perfis longitudinal do pavimento, através do denominado **Índice de Rugosidade Internacional (*IRI*)** e transversal, através das **flechas nas trilhas de roda ($F_{máx.}$)**.

Para a medição da irregularidade longitudinal, empregou-se o equipamento ***Five Laser Profile System***, perfilógrafo dotado de 5 (cinco) sensores a laser - enquadrado na classificação do *HPMS Field Manual* como **Classe II** (sem contato) – capaz de promover a medição, *em contínuo*, nas duas trilhas de roda, do ***International Roughness Index (IRI)***, parâmetro tradutor das características de conformação geométrica longitudinal da pista.



Figura 8 - Five Laser Profiler System

Para a medição das ***flechas nas trilhas de roda ($F_{máx.}$)***, empregou-se um ***Transverso - perfilógrafo a laser*** – Classe II (sem contato) – equipamento que processa a filmagem digital de um feixe de raio laser projetado no pavimento com inclinação da ordem dos 22,5º, o qual revela o perfil transversal integral, em contínuo, externado pelo pavimento, permitindo ainda a identificação da natureza das deformações permanentes constatadas (se plásticas ou por consolidação):



x

Figura 9 - Transverso-perfilógrafo a laser



Figura 10 - Transverso-perfilógrafo a laser

A título rememorativo cabe lembrar ainda que todos os dados são levantados em uma mesma base de referência determinada por um ***encoder ótico*** para registro das distâncias percorridas, devidamente georreferenciadas por ***GPS – Global Positioning System*** de última geração, capaz de proporcionar rastreios geodésicos cinemáticos com a utilização de receptores ***GNSS – Global Navigation Satellite System*** de dupla frequência L1/L2 (L1 utiliza comprimentos de onda com 19 cm e L2 comprimentos de onda com 24 cm).

4.2.2.2.5. Levantamento das Características de Deformabilidade Elástica

O levantamento das deflexões reversíveis máximas do pavimento existente foi processado por meio do equipamento ***Falling Weight Deflectometer – FWD*** (Especificação DNER-PRO 273/96) aplicando uma carga dinâmica (energia potencial gravitacional) de 4.100 kgf – tempo de aplicação da ordem dos 2 centésimos de segundo – distribuída numa placa de diâmetro Ø = 30,5cm, condição que proporcionou uma pressão de contato σ_c = 5,6 kgf/cm^2; as leituras definidoras das linhas de influência foram determinadas às distâancias do centro de aplicação de carga indicadas a seguir:



Figura 11 - Falling Weight Deflectometer – FWD

DISPOSIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS GEOFONES (Pavimentos Flexíveis)		
Geofone Nº	Denominação da Deflexão Reversível	Distância em Relação ao Centro da Placa (cm)
1	D_0	0
2	D_{20}	20
3	D_{30}	30
4	D_{45}	45
5	D_{60}	60
6	D_{90}	90
7	D_{120}	120

Figura 12 - Posicionamento dos Geofones no Falling Weight Deflectometer – FWD em relação ao centro de aplicação de carga

4.2.3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO OBJETIVA DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS DNIT - 006/2003 – PRO

4.2.3.1. Levantamento histórico do pavimento existente

O levantamento histórico do pavimento existente deve ser efetuado junto às organizações rodoviárias encarregadas da sua construção e conservação, ou por estudos e reconhecimentos "in loco" visando a obtenção das seguintes informações principais:

- Data de entrega do pavimento existente ao tráfego;
- Número N de projeto;
- Tráfego atual e futuro (novos números N);
- Informações sobre o projeto, incluindo, principalmente, as características do subleito, das diversas camadas do pavimento, dos dispositivos de drenagem e a seção transversal adotada;
- Informações a respeito da geologia da região;
- Informações a respeito da hidrologia da região;
- Informações do estado de conservação do trecho e dos trabalhos manutenção já executados;
- Outras informações julgadas procedentes.

4.2.3.2. Descrição da Norma DNIT-006/2003 – PRO

A Norma DNIT-006/2003-PRO - deve ser processada através do levantamento das ocorrências de manifestações de ruína em "áreas-testemunhas" de 21,0 m^2 – apresentando uma extensão de 6,0 m (3,0 metros avante e 3,0 metros a ré em cada estação de trabalho) e largura igual à da faixa de rolamento (3,5 m) – dispostas a cada 20,0 metros de distância e posicionadas alternadamente em relação ao eixo da rodovia; nesse procedimento, desenvolvido originalmente pelo ***Prof. Armando Martins Pereira*** em seu trabalho denominado "**Um Método Expedito de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos"**, empregando conceitos desenvolvidos inicialmente pela California Division of Highways (hoje CALTRANS), estabelece um procedimento para a quantificação numérica dos defeitos aos quais são atribuídos pesos ou fatores de responsabilidade.

Por essa metodologia, os resultados obtidos através de um inventário dos defeitos superficiais possibilitam o cálculo das frequências absoluta (f_a) e relativa (f_r) de ocorrência de cada tipo de defeito detectado – por segmento homogêneo predeterminado – que, afetado pelo seu respectivo peso ou grau de responsabilidade, permite calcular o seu *Índice de Gravidade Individual (IGI)*; seguidamente, através da soma dos índices individuais, promove-se o cálculo do *Índice de Gravidade Global (IGG)*, o qual se propõe a ser o tradutor da severidade do conjunto de defeitos externados pelo pavimento, definida em termos conceituais - "conceitos de serventia".

4.2.3.3. Inventário de Superfície dos pavimentos

O Inventário de Superfície constitui um procedimento realizado com a finalidade de caracterizar o estado superficial do pavimento através do cadastramento das ocorrências de alguns tipos de defeitos (pré-definidos) existentes. O cadastramento em pistas simples deve ser processado à cada 20 m, em áreas delimitadas pela largura da faixa de tráfego e por uma extensão de 6,0

metros lineares, contados em relação à demarcação de cada estaca (3,0 metros avante e 3,0 metros à ré); tais áreas, que devem ser dispostas sequencialmente alternando-se o lado de avaliação (ou a faixa de tráfego), representam uma amostragem igual a 15% da área total.

Já nas rodovias com pista dupla, a superfície de avaliação deve ser processada a cada 20,0 metros na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista, considerando igualmente uma área de avaliação delimitada pela subseção transversal da pista em 6,0 metros de extensão (3 metros avante e 3 metros à ré) em relação a cada demarcação.

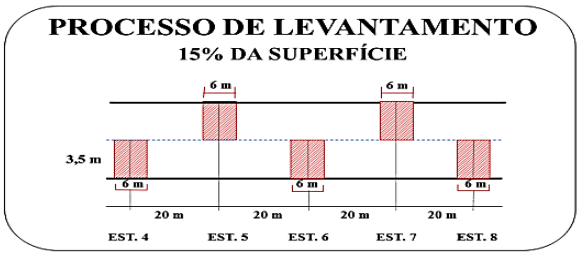


Figura 13 - Inventário de Superfície – Área de Avaliação
(Levantamento por amostragem – 15% da área total)

Na tentativa de unificar as possíveis formas de expressão para identificar defeitos de mesma natureza e também com o objetivo de se criar uma codificação que fosse adotada a nível nacional, o Prof. Armando Martins Pereira definiu proposições para a seleção e definição de defeitos, promovendo os agrupamentos pertinentes e estabelecendo as respectivas codificações; os resultados destes estudos, apresentados originalmente no antigo DNER-PRO 08/78, são ilustrados no quadro a seguir:

CODIFICAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS						
NATUREZA DA OCORRÊNCIA					NOTAÇÃO	
AUSÊNCIA APARENTE DE FALHAS NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO					OK	
TRINCAS NO REVESTIMENTO DECORRENTES DO FENÔMENO DE FADIGA E/OU GERADAS POR DEFORMAÇÃO PERMANENTE EXCESSIVA	FISSURAS INCIPIENTES				FI	
	TRINCAS ISOLADAS	TRANSVERSAIS	CURTAS		TTC	FC-1
			LONGAS		TTL	
		LONGITUDINAIS	CURTAS		TLC	
			LONGAS		TLL	
	TRINCAS INTERLIGADAS	JACARÉ	SEM EROSÃO ACENTUADA		J	FC-2
			COM EROSÃO ACENTUADA		JE	FC-3
TRINCAS NO REVESTIMENTO NÃO ATRIBUÍDAS AO FENÔMENO DE FADIGA	TRINCAS ISOLADAS	DEVIDAS A RETRAÇÃO TÉRMICA OU DISSECAÇÃO DA BASE (SOLO-CIMENTO) OU DO REVESTIMENTO			TRR	FC-1
	TRINCAS INTERLIGADAS	ASSOCIAÇÃO DE TRINCAS DE PADRÃO ORTOGONAL (BLOCOS) DEVIDO À RETRAÇÃO TÉRMICA OU DISSECAÇÃO DA BASE OU DO REVESTIMENTO			TB	FC-2
					TBE	FC-3
AFUNDAMENTOS	PLÁSTICOS	DEVIDO À FLUÊNCIA PLÁSTICA DE UMA OU MAIS CAMADAS DO PAVIMENTO E/OU SUBLEITO	LOCAL		ALP	
			TRILHAS DE RODA		ATP	
	POR CONSOLIDAÇÃO	DEVIDO À CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL OCORRENTE EM CAMADAS DO PAVIMENTO E/OU DO SUBLEITO	LOCAL		ALC	
			TRILHAS DE RODA		ATC	
CORRUGAÇÃO – ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS CAUSADAS POR INSTABILIDADE DA MISTURA BETUMINOSA CONSTITUINTE DO REVESTIMENTO E/OU BASE					O	
EXSUDAÇÃO DO LIGANTE BETUMINOSO					EX	
DESGASTE ACENTUADO DA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO					D	
"PANELAS" DECORRENTES DA DESAGREGAÇÃO DO REVESTIMENTO E ÀS VEZES DA BASE					P	
REMENDOS EXISTENTES (SUPERFICIAIS OU PROFUNDOS)					R	

Figura 14 - Codificação das ocorrências na superfície do pavimento

A caracterização do estado superficial dos pavimentos deve ser processada, desta forma, através de inventários da superfície, os quais são efetuados com a anotação das ocorrências dos diversos defeitos detectados e de suas respectivas identificações; no que tange aos trabalhos usuais e de aplicação corrente, as manifestações de ruína são avaliadas de estaca em estaca – dispostas alternadamente em relação ao eixo da rodovia – e registradas no formulário de "*Inventário do Estado da Superfície do Pavimento*", juntamente com o levantamento das *flechas nas trilhas* de roda e a anotação da seção transversal de terraplenagem típica; a ficha de inventário é apresentada a seguir:

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																								
Estaca ou km	Seção Terrap.	OK	Trincas										Afundamentos				Outros Defeitos						Trilhas de Roda		Observações:
			Isoladas						Interligadas				Plástico		Consolid.										
			FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC-2		FC-3		ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D	R	TRI	TRE	
									J	TB	JE	TBE													
0																								
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								

Figura 15 - Formulário do Inventário do Estado da Superfície do Pavimento

4.2.3.4. Divisão do Pavimento em Segmentos de Comportamento Homogêneo

a) Proposições dos Métodos de Dimensionamento DNER-PRO 010/79 e DNER-PRO 011/79 para a divisão do Pavimento em Segmentos Homogêneos

Ambas as metodologias recomendam, de forma idêntica, que a divisão dos segmentos homogêneos seja processada levando em conta a análise simultânea dos resultados de levantamentos efetuados através de estudos específicos, os quais são a seguir transcritos consoantes suas proposições específicas:

> *"4 - Estudos*
>
> *4.1 - Estudos Preliminares*
> *4.1.1 - Levantamento do histórico do pavimento existente*
> *4.1.2 - Prospecção preliminar do pavimento existente*
>
> *A prospecção preliminar deve ser realizada por intermédio da abertura de poços de sondagem, com pá e picareta, localizados nos bordos do revestimento da pista de rolamento, dispostos alternadamente em relação ao eixo, e espaçados longitudinalmente de 2 km. Nos referidos poços devem ser providenciadas:*
> - *a) a identificação expedita e a determinação da espessura das camadas que compõem o pavimento propriamente dito, bem como os 60 cm superiores do subleito;*
> - *b) determinação das umidades naturais e das massas específicas secas, "in situ", das camadas granulares do pavimento e das camadas que compõem os 60 cm superiores do subleito;*
> - *c) a coleta de amostras representativas dos materiais componentes das camadas granulares do pavimento e das camadas que compõem os 60 cm superiores do subleito, para a realização de ensaios de caracterização, compactação e ISC, e*
> - *d) a coleta de amostras representativas dos materiais betuminosos das camadas de ligação ("binder") e de revestimento para a realização de ensaios de extração de betume e granulometria.*
>
> *4.2 - Estudos Definitivos*

Os estudos definitivos compreendem os seguintes procedimentos:

4.2.1 - Demarcação das estações de ensaio;
4.2.2 - Determinação das deflexões recuperáveis;
4.2.3 - Inventário do estado da superfície do pavimento existente;
4.2.4 - Sondagens complementares a pá e picareta, e
4.2.5 - Representação gráfica dos resultados dos estudos, na qual os resultados dos estudos de deflectometria, de superfície e das prospecções efetuadas, devem ser representados graficamente em um desenho apropriado onde serão incluídas, no mínimo, as seguintes informações:

a) Estaqueamento ou quilometragem;
b) Características do subleito do pavimento existente;
c) Elementos referentes à constituição do pavimento;
d) Indicações sobre a existência de água freática no subleito;
e) Informes relativos à configuração da terraplenagem;
f) Poligonais das deflexões recuperáveis em ambas as trilhas de roda;
g) Valores dos Raios de Curvatura;
h) Principais defeitos constatados na superfície da pista de rolamento.

4.2.6 - Definição dos Limites dos Segmentos Homogêneos

"A extensão total estudada deve ser subdividida em segmentos que possam ser considerados homogêneos, com vistas às medidas corretivas que estejam a requerer". Por esta metodologia, "a noção de homogeneidade está, portanto, estreitamente vinculada com o valor residual do pavimento, o qual depende, em grande parte, tanto da constituição da estrutura e do subleito, quanto do seu estado de deterioração"

Considera ainda "impraticável a proposição de diretrizes rígidas no que diz respeito ao estabelecimento dos limites de tais segmentos, tendo em vista a inevitável subjetividade ditada pela natureza do problema".

Finalmente "recomenda que a tarefa seja executada levando em conta, principalmente, os resultados da análise simultânea dos seguintes elementos propiciados pelos estudos precedentes e representados no gráfico recomendado":

a) a configuração das poligonais representativas da variação das deflexões recuperáveis;
b) os valores do raio de curvatura;
c) a constituição do pavimento existente;
d) os contatos entre as litologias (natureza das rochas originárias) que constituem o subleito; e
e) a natureza e a frequência dos defeitos verificados na superfície do pavimento.

Por motivos de ordem construtiva, sempre que possível, deve-se conferir aos segmentos homogêneos uma extensão mínima de 200 m".

Complementarmente, com o objetivo de propiciar uma visão mais contextualizada do pavimento ao longo de todo o trecho, as metodologias em epígrafe preconizam o emprego de

lineares gráficos, capazes de permitir análises individualizadas dos diversos parâmetros de comportamento, necessárias para se definir os intervalos de variações relativamente constante e homogêneas; ressalta-se que na definição da estrutura do pavimento, quando prospectada através de sondagens de poço realizadas utiliza-se, como marco diferencial, o ponto médio entre duas sondagens consecutivas, mesmo se sabendo que a alternância das espessuras não ocorre necessariamente no ponto médio.

Seguidamente, processa-se a análise conjunta dos "intervalos de variação" de cada parâmetro envolvido, procedimento que visa promover a definição das fronteiras de segmentos que externam o conjunto de parâmetros de forma similar, ao longo de todo o trecho. Entretanto, vale lembrar que de acordo com as duas metodologias do DNIT citadas, a noção de homogeneidade "está estritamente vinculada ao valor residual do pavimento, o qual depende, em grande parte, tanto da constituição da estrutura e do solo de fundação, quanto do seu estado de deterioração"; inclusivamente, é de se destacar que ambas as metodologias destacam *"ser impraticável a proposição de diretrizes rígidas no que diz respeito ao estabelecimento dos limites dos segmentos homogêneos, haja vista a inevitável subjetividade ditada pela natureza do problema"*.

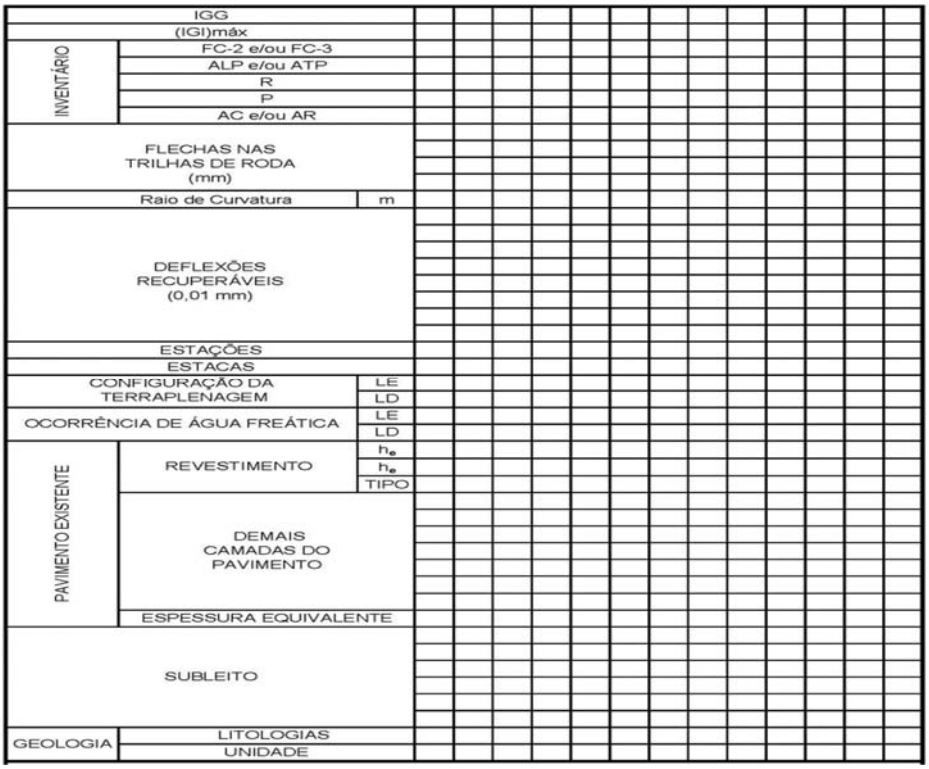


Figura 16 - Lineares Sinópticos – DNER-PRO 010/79

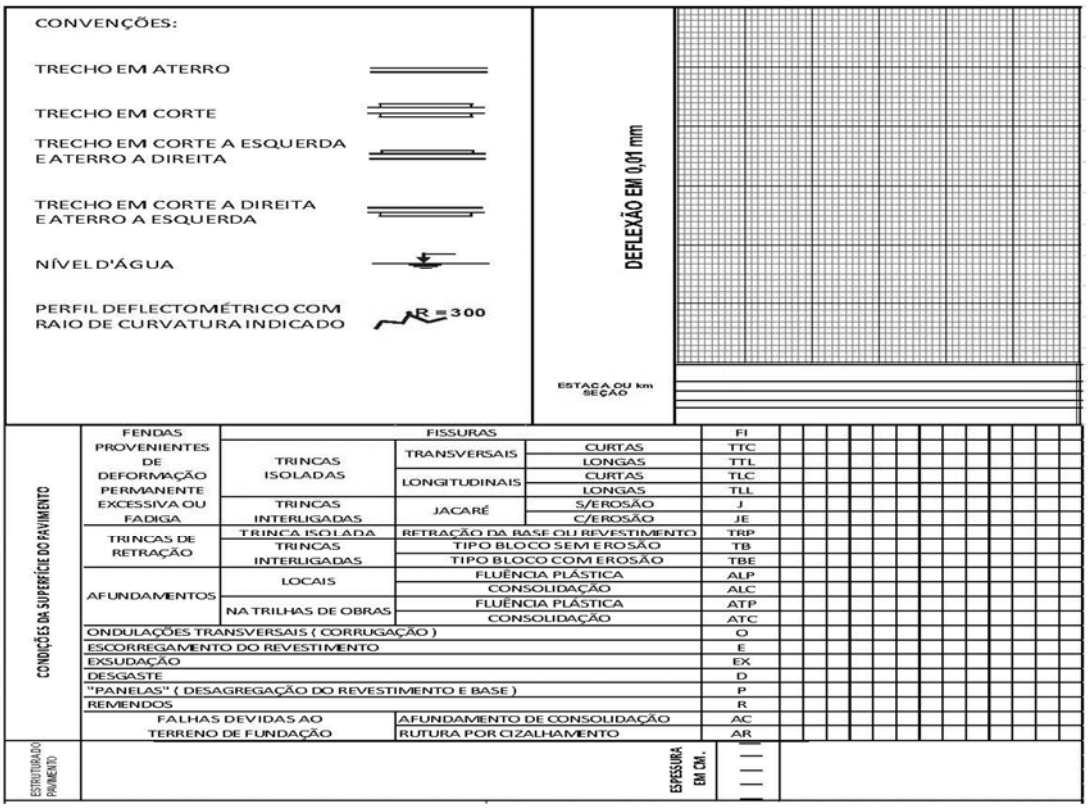


Figura 17 - Lineares Sinópticos – DNER-PRO 011/79

b) Proposições do Método de Dimensionamento DNER-PRO 269/94 para a divisão do Pavimento em Segmentos Homogêneos

Esta metodologia também recomenda que a divisão dos segmentos homogêneos seja processada levando em conta a análise simultânea dos resultados de levantamentos efetuados, os quais são transcritos a seguir, consoante as disposições contidas no método de dimensionamento retrocitado:

5 - Levantamentos de Campo

"5.1 - Demarcação do trecho;
5.2 - Determinação das deflexões recuperáveis;
5.3 - Levantamento das condições do pavimento:
5.3.1 O levantamento da condição do pavimento deve incluir a determinação das áreas que apresentam trincas, buracos e remendos, de conformidade com o disposto na Especificação DNER-ES 128/83 (atual Norma DNIT 007/ PRO), valendo as seguintes observações:
a) os segmentos-testemunha devem ter 6 m de comprimento e largura igual à da faixa de rolamento e devem ser espaçados de 20 m, centro a centro, e posicionados, alternadamente, em cada uma das faixas de rolamento;
b) as trincas classe 1 não devem ser levantadas e, alternativamente,
c) pode ser utilizado também o procedimento DNER-PRO-08/94".
5.3.2 – A avaliação do estado da condição da superfície pode ser complementada através de medidas de irregularidade em ambas as faixas de tráfego, por meio de aparelhos medidores tipo resposta, tais como o Integrador IPR/USP ou Maysmeter.
5.4 – Sondagens a pá e picareta

5.5 - Sondagens rotativas no revestimento e coleta de amostras
5.6 - Caracterização do tráfego.
(...)
8 - Divisão do trecho em subtrechos homogêneos

8.1 - Os dados obtidos devem ser anotados em impresso próprio, podendo-se adotar o impresso indicado.
8.2 - O gráfico deve ser elaborado em papel milimetrado, devendo representar todo o trecho em estudo.
8.3 - Inicialmente o trecho deve ser dividido em segmentos que apresentem valores semelhantes de constituição do pavimento, do tráfego médio diário (TMD) e da deflexão reversível.
8.4 - Procede-se, em seguida, à análise visual dos valores de QI e trincamento, de modo a serem delimitados os segmentos que apresentem valores semelhantes desses parâmetros.
8.5 - A análise conjunta dos dois grupos homogêneos, obtidos como antes descrito, resultará na divisão do trecho em segmentos homogêneos.
(...)
8.8 - Recomenda-se que a deflexão seja o parâmetro predominante na divisão em subtrechos homogêneos".

Com o intuito de identificar os segmentos em que o pavimento evidencia comportamentos homogêneos, essa metodologia também preconiza as análises individualizada e conjunta dos principais parâmetros que caracterizam o comportamento dos pavimentos. Com o objetivo de propiciar uma visão mais ampla e contextual do pavimento ao longo de todo o trecho, recomenda que os valores das deflexões reversíveis máximas, dos índices de irregularidades longitudinal (QI, atualizado para IRI) e dos índices de trincamento, sejam representados em poligonais gráficas, variações que devem ser complementadas pelas alterações da estrutura do pavimento existente e do tráfego médio diário (TMD). Ressalta-se que na definição da estrutura do pavimento, quando prospectada através de sondagens de poço realizadas utiliza-se, como marco diferencial, o ponto médio entre duas sondagens consecutivas, mesmo se sabendo que a alternância das espessuras não ocorre necessariamente no ponto médio.

Os "diagramas de variação" das poligonais retrocitadas são estabelecidos de forma visual, não sendo indicado qualquer procedimento analítico ou matemático para o tratamento das variáveis; as segmentações individualizadas permitem a análise das variações específicas de cada parâmetro considerado, as quais, analisadas *a posteriori* em conjunto, permitem definir os segmentos em que o pavimento externa homogeneidade comportamental.

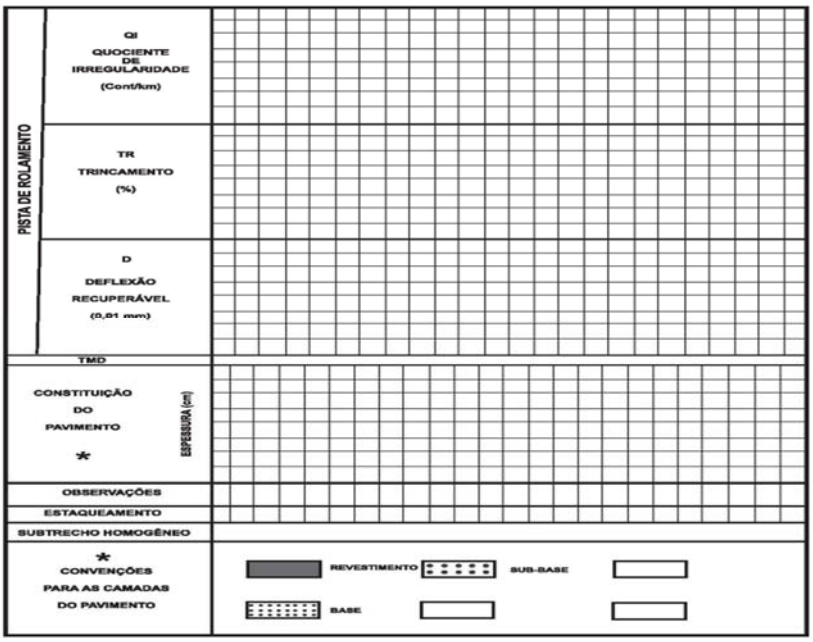


Figura 18 - Lineares Sinópticos – DNER-PRO 269/94

c) "Proposição Strata" para definição de pavimentos homogêneos através dos Procedimentos DNIT

Conforme vem de se relatar, os distintos métodos de dimensionamento de reforço de pavimentos do DNIT preconizam, para a definição de pavimentos que externam comportamentos homogêneos, a consideração de parâmetros de comportamento por vezes bastante distintos. Entretanto, em que pesem as diferenças observadas, não se considera pertinente o descarte de qualquer parâmetro de comportamento, haja vista que suas análises individuais e combinadas podem se fazer extremamente importantes. Destarte, julga-se fundamentalmente importante considerar, concomitantemente, na definição de pavimentos que externem desempenhos homogêneos, todo o espectro de parâmetros de comportamento que se apresentem: a proposição básica é a de se contemplar conjuntamente todas as proposições preconizadas pelos Procedimentos DNIT (PRO-10, PRO-11, PRO-159 e PRO-269), quais sejam:

a) Estaqueamento ou quilometragem;
b) Deflexões recuperáveis em ambas as trilhas de roda;
c) Raios de Curvatura;
d) IRI (ou QI);
e) Flechas nas trilhas de roda ($F_{máx.}$);
f) Percentuais de Trincamento;
g) Configuração da terraplenagem;
h) Constituição do pavimento;
i) Litologias (natureza das rochas originárias) que constituem o subleito e características
j) Existência de água freática no subleito;
k) Tráfego médio diário (TMD);
l) Principais defeitos constatados na superfície da pista de rolamento.

A análise conjunta desses parâmetros listados, obtidos como antes descrito, resultará seguramente numa divisão do trecho em segmentos homogêneos mais adequada e consistente.

4.2.3.5. Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG)

Para a aplicação correta da metodologia de avaliação DNIT 006/2003 PRO, devem ser considerados os grupos de defeitos listados no item 7.1 Frequências absolutas e relativas, os quais deverão ter suas ocorrências anotadas estaca por estaca, alternadamente; são eles:

Grupo 1. FC-1 (Trincas isoladas: FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)
Grupo 2. FC-2 (J, TB)
Grupo 3. FC-3 (JE, TBE)
Grupo 4. Afundamentos Plásticos (ALP, ATP)
Grupo 5. Ondulações/Corrugações e Panelas (O, P)
Grupo 6. Exsudação (EX)
Grupo 7. Desgaste (D)
Grupo 8. Remendos (R)

Seguidamente deve ser definida a frequência absoluta (f_a) de cada defeito, ou seja, o número de vezes que ocorre em cada ***Segmento Homogêneo - SH*** (Segmentação Homogênea definida preliminarmente de acordo com os Métodos de Dimensionamento do DNIT) e posteriormente deve ser calculada a frequência relativa (f_r), ou seja, percentual de suas ocorrências em relação ao número de estacas que compreende cada SH, a partir da equação:

$$f_r = \frac{f_a \, x \, 100}{n}$$

onde:

f_r – frequência relativa;
f_a – frequência absoluta;
n – número de estações inventariadas dentro do segmento homogêneo;

Por fim são realizados os cálculos do Índice de Gravidade Individual (IGI) de cada um dos oito grupos de patologias acima definidos *para cada segmento homogêneo*, utilizando um fator de ponderação – também denominado "fator de gravidade" – correspondente a cada tipo de ocorrência através da equação:

$$IGI = f_r \, x \, f_p$$

onde:

f_r – frequência relativa;
f_p – fator de ponderação

Ainda complementando os parâmetros de comportamento que devem ser tidos em conta no inventário da superfície dos pavimentos, a normativa do DNIT preconiza o levantamento das "*flechas nas trilhas de roda interna e externa" (TRI e TRE)* as quais devem ser medidas em cada estação de trabalho; devem ser contempladas suas respectivas médias (ẋ) e variância (σ^2) - variável aplicada com o objetivo de se avaliar quão distantes os valores estão da média; nesse caso, a proposta de adoção da **variância populacional** é a de se avaliar todos os valores de um segmento homogêneo e não apenas uma "amostra":

$$x_{médio} = \frac{\Sigma x_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - x_{médio})^2}{n-1}}$$

onde:

$\dot{x}$ – média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);
x_i – valores individuais;
σ – desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);
σ^2 – variância dos valores das flechas medidas (TRI e TRE).

Na sequência, os resultados da média e da variância são ponderados conforme critério abaixo, com o intuito de se obter o cálculo do IGI das médias das flechas e do IGI das médias das variâncias das flechas:

- se a média aritmética das flechas for ≤ 30 mm, o fator de ponderação é igual a **4/3**; se maior, o **IGI = 40**;
- se a média das variâncias for ≤ 50 mm, o fator de ponderação é igual a 1,0; se maior, o **IGI = 50**.

Com base nos resultados obtidos, promove-se finalmente o cálculo do Índice de Gravidade Global, o qual é obtido a partir da soma de todos os Índices de Gravidade Individuais (IGI), empregando-se a expressão e a tabela apresentadas a seguir:

$$IGG = \Sigma IGI$$

RODOVIA:	PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					Data:	Folha:
	TRECHO:					Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
	SUB-TRECHO:		REVESTIMENTO TIPO:				
Item	Natureza do defeito	Freqüência absoluta	Freqüência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2		
2	(FC – 2) J, TB				0,5		
3	(FC – 3) JE, TBE				0,8		
4	ALP, ATP, ALC, ATC				0,9		
5	O, P, E				1,0		
6	EX				0,5		
7	D				0,3		
8	R				0,6		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A ( ) 1 B ( )		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIv =	FV =	2 A ( ) 2 B ( )		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	∑ IND. GRAVID. IND. = IGG				Conceito
1A) IGI = $\bar{F}$ x 4/3 quando $\bar{F} \leq 30$			2A) IGI = $\overline{FV}$ quando $\overline{FV} \leq 50$			Operador	
1B) IGI = 40 quando $\bar{F} > 30$			2B) IGI = 50 quando $\overline{FV} > 50$			Cálculo	
						Visto	

Figura 19 - Planilha de Cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG

Da análise dessa tabela constata-se que os valores do IGG podem variar de 0 a 500 (valor *máximo maximorum*), intervalo que o ***Prof. Armando Martins Pereira*** utilizou para a proposição de níveis conceituais tradutores dos diversos estados de serventia que podem externar um pavimento rodoviário; em seu trabalho original, dividiu os níveis de degradação em ***quatro grupos conceituais***, definidos conforme indicado na ***Norma DNER PRO-008/78***:

CONCEITUAÇÃO DO PAVIMENTO DNER PRO-008/78	
LIMITES DO IGG	CONCEITO
0 ≤ IGG ≤ 20	Bom
20 < IGG ≤ 80	Regular
80 < IGG ≤ 180	Ruim
180 < IGG ≤ 500	Péssimo

Figura 20 - Conceituação do Pavimento DNIT PRO-008/1978

Posteriormente, em uma revisão normativa (DNIT PRO 006/2003), o DNIT modificou a correspondência original entre os valores do IGG e os índices de serventia externados pelo pavimento – sem justificativa plausível e desprezando inclusivamente o valor cabal IGG = 180 estabelecedor de soluções de Reconstrução pelo PRO-11/79 – tendo adotado a variação proposta apresentada a seguir, inspirada na ***Metodologia Paragon***; a nova classificação é indicada na tabela apresentada a seguir:

CONCEITUAÇÃO DO PAVIMENTO DNIT PRO-006/2003	
LIMITES DO IGG	CONCEITO
0 ≤ IGG ≤ 20	Ótimo
20 < IGG ≤ 40	Bom
40 < IGG ≤ 80	Regular
80 < IGG ≤ 160	Ruim
> 160	Péssimo

Figura 21 - Conceituação do Pavimento DNIT PRO-006/2003

4.2.3.6. Particularidades a serem consideradas na aplicação da norma DNIT PRO 006/2003 e Considerações Complementares no Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

Na modificação normativa processada pelo DNIT em 2003, o valor máximo a ser alcançado pelo IGG é igual a 500 – idêntico ao do trabalho original – condição a ser atingida quando da presunção de ocorrência de todos os defeitos em todas as estacas analisadas. Entretanto, torna-se importante cotejar as considerações apontadas na última versão da retromencionada instrução normativa com aquelas originalmente propostas pelo ***Prof. Armando Martins Pereira*** quando do desenvolvimento de sua proposição metodológica (Norma DNIT PRO 008/78). A título de rememoração técnica, vale lembrar algumas das premissas fundamentais:

- No que tange à detecção de trincas, a norma antiga (1978) define que, para efeito de ponderação, quando em uma mesma estação forem constatadas as existências de trincas tipos 1, 2 e 3, só serão consideradas as trincas tipo 3 para a definição do número de ocorrências - frequências absoluta e relativa (em percentagem) – e cálculo do Índice de Gravidade Individual ($IGI_{Fissuração}$); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências somente de trincas dos tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só deverão ser consideradas as trincas tipo 2.

- Complementarmente, fica implícito ainda que, caso sejam constatadas trincas isoladas de diferentes gêneses em uma mesma estaca (exemplo: FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR), deverão ser elas devidamente anotadas na Planilha de Inventário da Superfície de Pavimentos, mas *suas ocorrências simultâneas deverão ser consideradas apenas uma única vez em termos de ocorrência para o cálculo das frequências absoluta e*

relativa (em percentagem) e do Índice de Gravidade Individual (IGI$_{FC-1}$); de igual forma, caso constatados diferentes tipos de fissuras em estágios mais evoluídos (exemplo: jacaré com erosão - JE e trincas de bloco com erosão – TBE, ambas FC-3) em uma mesma estaca, deverão ser elas devidamente anotadas, mas *tratadas como uma única ocorrência de FC-3* no cálculo do IGI$_{FC-3}$; o mesmo se dá quando constatadas simultaneamente trincas Jacaré – J e trinca de bloco – TB, ambas FC-2, que embora careçam ser devidamente anotadas, deverão ser *tratadas como uma única ocorrência de FC-2* no cálculo do IGI$_{FC-2}$.

- De grande importância, cabe ainda destacar que, embora não citados especificamente, os defeitos listados em grupos (exemplo: "Panela e Ondulação") devem ser considerados através de procedimentos análogos: quando ocorrentes em uma mesma estaca, devem ser eles igualmente anotados, mas *considerados apenas uma única vez em termos de ocorrência para o cálculo das frequências absoluta e relativa (em percentagem) e do Índice de Gravidade Individual (IGI$_{Panela/Ondulação}$)*; caso consideradas independentemente ambas as ocorrências, (panela e ondulação) verificar-se-ia para uma cada delas – no caso de uma incidência de 100% – um IGI = 100, condição esta que explodiria naturalmente a premissa básica de que o IGG máximo é igual a 500: a contabilização individualizada desses dois defeitos responde naturalmente por um acréscimo do IGG que no caso de ocorrência plena, atingiria um IGG = 600.

- Raciocínio idêntico deve ser considerado para o caso dos defeitos denominados Afundamento Localizado Plástico (ALP) e Afundamento na Trilha Plástico (ATP), os quais são listados conjuntamente no mesmo grupo de degradações. Quando ocorrentes em uma mesma estaca, devem ser eles igualmente anotados, mas *considerados apenas uma única vez em termos de cálculo das frequências absoluta e relativa (em percentagem) e do Índice de Gravidade Individual (IGI$_{Afundamento\ Plástico}$)*; caso consideradas concomitantemente ambas as ocorrências, verificar-se-ia para uma cada delas – no caso de incidência de 100% – um IGI = 90, condição esta que responderia pela explosão da premissa básica de IGG = 500: a contabilização individualizada desses dois defeitos responderia pela obtenção, na incidência plena, por um valor de IGG = 590.

- Em suma, uma eventual contemplação individualizada de todos os defeitos listados em "***grupos***" – "*fissura Jacaré (J) e trinca de bloco (TB)"*; "*fissura jacaré com erosão (JE) e trincas de bloco com erosão (TBE)"*; "*ondulações (O) e panelas (P)"*; e "*afundamentos plásticos localizados (ALP) e nas trilhas de roda (ATP)"* responderia, para quaisquer níveis absolutos e relativos de ocorrências, por majorações substanciais do índice de gravidade do pavimento (IGG), bastante e suficiente para mascarar, de formas muitas vezes comprometedoras, o índice de serventia externado pelo pavimento analisado.

Por outro lado, cabe ainda destacar que na revisão normativa processada ***DNIT PRO-006/2003*** constatam-se proposições extremamente ruinosas ao cálculo do IGG, materializadas pela junção – agrupamento – de alguns defeitos considerados isolamente na hipótese originalmente concebida ***(DNER-PRO 008/78)***. Como exemplo, citam-se nomeadamente:

- os afundamentos por consolidação – *Afundamento Localizado por Consolidação - ALC* e *Afundamento na Trilha por Consolidação – ATC*, incorporados no grupo composto por "ALP e ATP", e

- os *Escorregamento de Massa - E*, este incorporado ao grupo composto pelas "panelas e ondulações",

defeitos esse que deveriam ser objeto de anotação, porém não contemplados para efeitos de quantificação – ou pontuação – do IGG, conforme apresentado nas ilustrações apresentadas a seguir; na Figura 23, evidencia que o IGG máximo era igual a 500 e que defeitos ***"ALC"***, ***"ATC"*** e ***"E"***, não compunham o rol dos defeitos a serem quantificados e ponderados:

INVENTÁRIO DO ESTADO DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

Data: / / Folha:

Rodovia: Trecho: Tipo de Revestimento:

Subtrecho: Operador:

Estaca ou km	Seção Terrap.	Ok	FC-1						FC-2		FC-3		ALP (4)	ATP (4)	O (5)	P (5)	EX (6)	D (7)	R (8)	ALC	ATC	E	FLECHAS		Observações
			F1 (1)	TTC (1)	TTL (1)	TLC (1)	TLL (1)	TRR (1)	J (2)	TB (2)	JE (3)	TBE (3)											TRI	TRE	
Estaca ou Quilômetro																						Estaca ou Quilômetro			

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					Data: / /	Folha:
Rodovia: Trecho: Tipo de Revestimento: Subtrecho:					Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
Item	Natureza do Defeito	N I	Frequência Relativa	Coeficiente de Ponderação	Índice de Gravidade Individual	Observações
1	(FC-1) F1, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR			0,2		
2	(FC-2) J, TB			0,5		
3	(FC-3) JE, TBE			0,8		
4	ALP, ATP			0,9		
5	O e P			1		
6	Ex			0,5		
7	D			0,3		
8	R			0,6		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			4/3 (I)		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			1,0 (II)		
Nº Total de Estações Inventariadas		Σ Índice de Gravidade Individual = I.G.G				Conceito:
1 { ISI = F x 4/3 quando F ≤ 30 ; ISI = 40 quando F > 30 } 2 { ISI = FV quando FV ≤ 50 ; ISI = 50 quando FV > 50 }					OPERADOR	
					CÁLCULO	
					VISTO	

Figura 23 - Planilha de cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) DNER PRO-008/78

Assim, no âmbito do presente projeto, julgou-se importante alertar a Equipe Técnica do DNIT quanto às inconsistências que poderiam advir da consideração de tais modificações, haja vista que as inadequabilidades conceptivas admitidas falseiam e potencializam, de maneira notável, os valores do Índice de Gravidade Global do Global – IGG. A título de esclarecimento mais específico, descrevem-se as incoerências constatadas:

- o defeito denominado *Afundamento na Trilha por Consolidação – ATC* constitui, na realidade, a *Flecha nas Trilha de Roda* (*externa - TRE e interna - TRI*), parâmetro este explicitamente considerado em ambas as versões e que assume uma enorme responsabilidade no cálculo do IGG. Com efeito, comprova a presente assertiva o fato de o Professor Armando ter considerado no cálculo do IGG os valores das flechas nas trilhas de roda e também suas variâncias, parâmetro complementar contemplado para avaliar, embora de forma indireta, a irregularidade longitudinal do pavimento em cada segmento homogêneo; como a variância é uma medida de dispersão que mostra o quão distante cada valor do conjunto se dispõe em relação à média, a dispersão constitui uma forma extremamente inteligente de se avaliar a irregularidade longitudinal, numa época em que não existiam sequer medidores tipo-resposta.

- A consideração concomitante de "*afundamentos nas trilhas por consolidação – ATC*" – a serem definidos com base na acuidade visual do avaliador – e de "*flechas nas trilhas de roda*" – mensuradas de forma objetiva por diversos equipamentos – responde pela pontuação duplicada do mesmo defeito, condição esta que replica em majorações do IGG substancialmente mais elevadas. Ressalta-se que as flechas médias e a suas variâncias foram devidamente pontuadas com fatores de responsabilidade elevados: nos casos extremos de $F_{médio}$ > 30mm, adotar ISI = 40 e $FV_{médio}$ > 50, adotar ISI = 50, os quais, somados têm a equivalência dos ALP e/ou ATP.

- No que tange ao *Afundamento Localizado por Consolidação – ALC*, embora passíveis de ocorrência em áreas pequenas e localizadas - não coincidentes com as trilhas de roda - são raros e decorrem da existência original de pequenos "borrachudos" verificados na fase executiva do pavimento; ocorrem em pontos específicos e não necessitam de quantificação e tampouco de ponderação.

- Quanto ao defeito denominado "*Escorregamento de Massa (E)*", julga-se importante maiores reflexões, haja vista que suas manifestações podem se materializar de formas completamente distintas consoante se tratem de revestimentos asfálticos espessos ou delgados. Em ***camadas espessas***, dotadas de massa inercial significativa e peso aderente, o escorregamento de massa se manifesta através de fissurações bastante típicas, de forma parabólica, nascente sob as áreas de contato dos pneus e com ramos dispostos no sentido de deslocamento dos veículos pesados; as bandas parabólicas "abraçam" as impressões de contato, ocorrendo de *forma sequencial e em extensões mais significativas*. Em ***camadas delgadas***, as ocorrências se manifestam de forma idêntica, porém, como se tratam de camadas desprovidas de massa inercial significativa e normalmente executadas com deficiências de aderência (falta de limpeza da superfície antiga e/ou da inexistência de pintura de ligação/imprimação), verifica-se, após o trincamento parabólico, o "arrastamento" da massa sequelada; ocorrem predominantemente em *pontos específicos e localizados*.



Figura 24 - Escorregamento de camadas asfálticas espessas com indicação do sentido do tráfego



Figura 25 - Escorregamento de camadas asfálticas delgadas com indicação do sentido do tráfego

No procedimento de avaliação de pavimentos os "escorregamentos de massa" de *camadas espessas* - de enorme gravidade e ocorrentes em extensões maiores - são levantados e quantificados como "fissuração FC-3", enquanto que, quando ocorrentes em *camadas delgadas* - menos graves e localizados - são identificados e quantificados como "escorregamentos de massa" e atualmente componentes do grupo "panelas e ondulações"; a postulação contida na norma DNIT-006/2003-PRO responde por certo desequilíbrio conceitual, pois o "escorregamento de massa delgada" será aferido por um fator de severidade igual a 1,0 enquanto o "escorregamento de massas espessa" será aferido com fator de severidade igual a 0,8.

4.2.4. AVALIAÇÃO E CONCEITUAÇÃO DO PAVIMENTO ATRAVÉS DA NORMA DNIT PRO-006/2003

4.2.4.1. Introdução

O presente relatório tem como objeto de estudo o trecho da Rodovia GO-330(A) compreendido entre o Entr. GO-020 e Entr. GO-219, com extensão total de 42,831 km e constituído, majoritariamente, em pista simples. A largura média das duas faixas de tráfego é de 3,30m cada e os acostamentos são descontínuos em ambas as extremidades – cada qual com largura média de 1,40m. O referido segmento conecta os municípios de Pires do Rio, local que referencia o início do trecho, e o perímetro urbano de Orizona, onde o segmento em estudo é cessado.

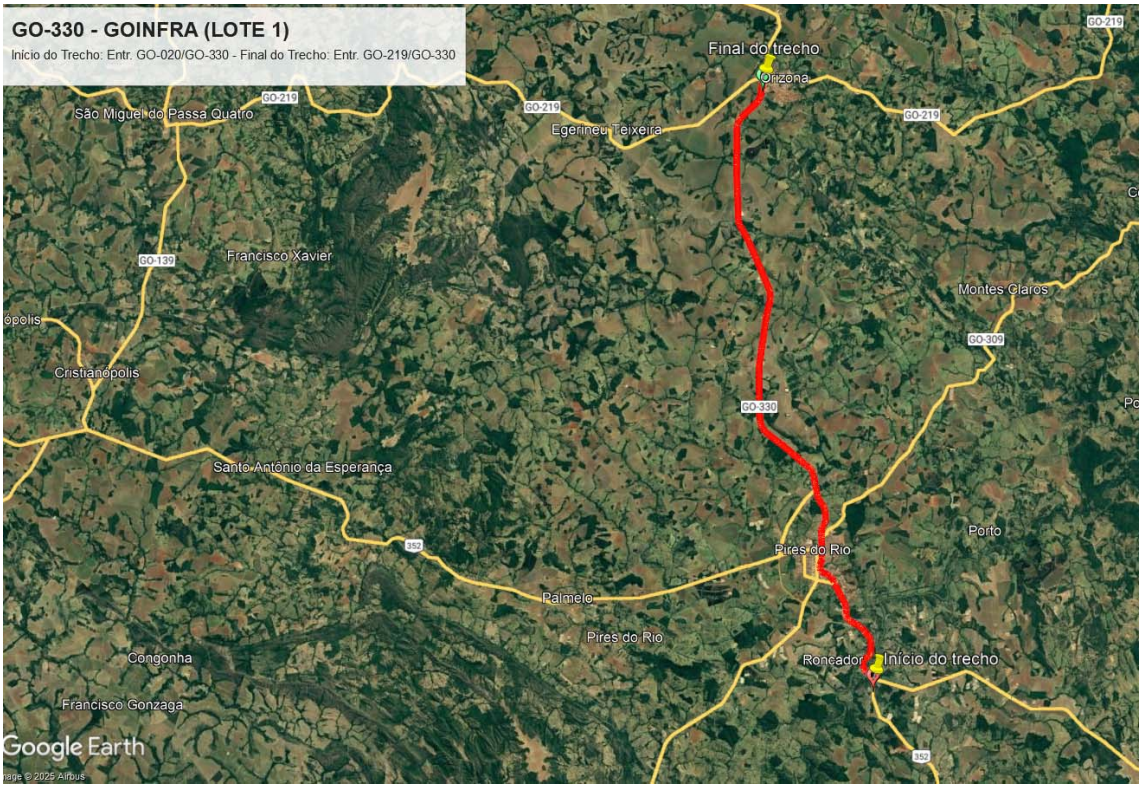


Figura 26 – Disposição Georreferenciada do trecho em questão

4.2.4.2. Aspectos Gerais da Região e Entorno

O segmento em análise é uma das principais rotas de acesso ao núcleo turístico de Pires do Rio, e tem como marco final o município de Orizona. Entre esses dois municípios não há outros centros urbanos ou povoados, e a região é desprovida de grandes indústrias ou estabelecimentos comerciais, contudo, há a incidência de pequenas propriedades particulares às margens da pista. Assim, por se tratar de uma rota predominantemente turística, o fluxo de veículos pesados é menos significativo, resultando em um tráfego reduzido.

A seguir é apresentado um Croqui Esquemático da Rodovia GO-330 (2A) com o objetivo de ilustrar os fatores intervenientes e pontos de referência existentes ao longo do trecho.

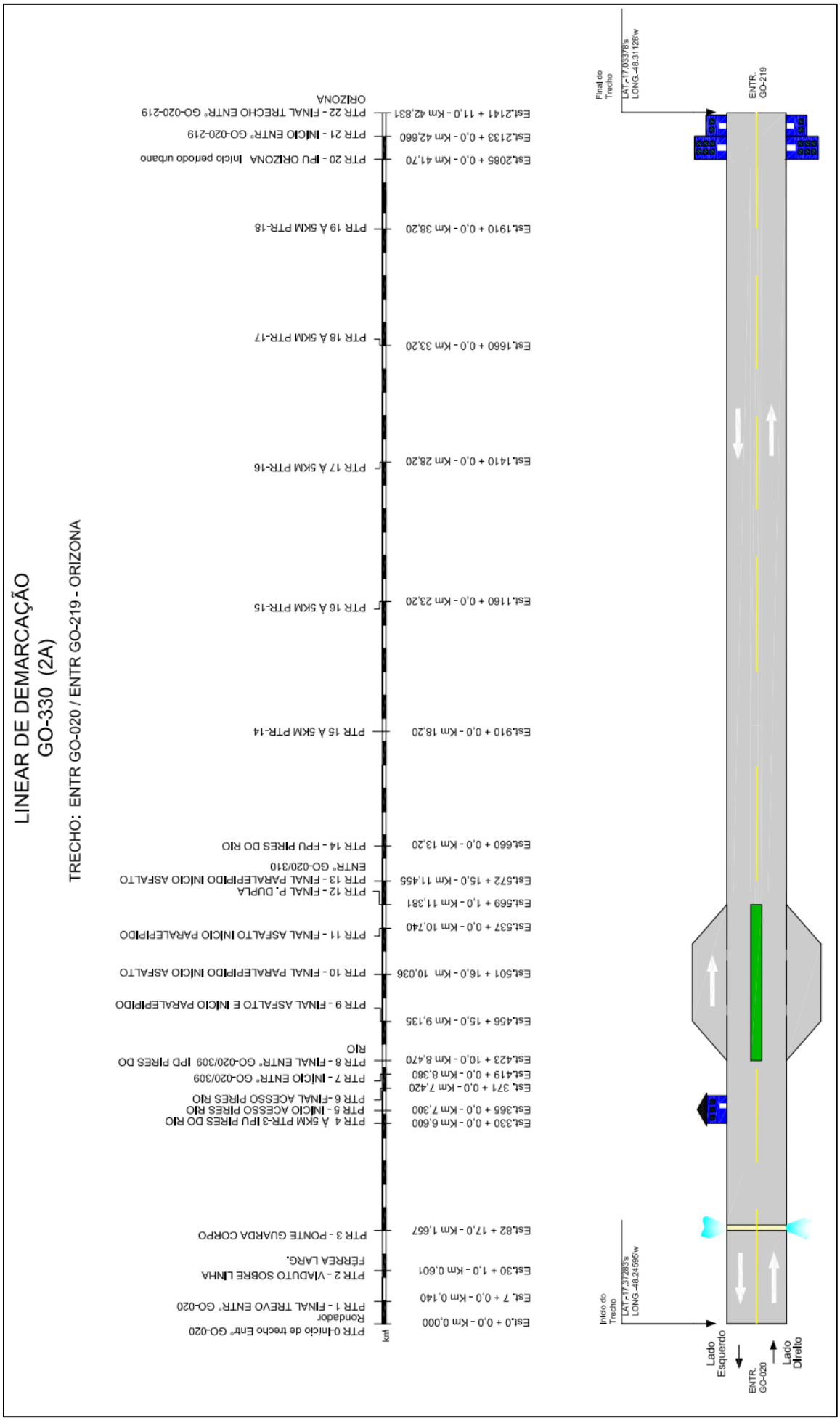


Figura 27 – Croqui Esquemático da Rodovia

4.2.4.3. Aplicação da Norma DNIT-PRO 006/2003

Os trabalhos de avaliação foram iniciados pela **Demarcação da Base Quilométrica (DBQ)** ao longo de todo o trecho, tendo-se empregado, para o efeito, o equipamento denominado ***Automated Mark System***, uma máquina de pintura especial com distanciômento regulado por um "***encoder ótico***" de altíssima precisão, acoplado a um ***GPS – Global Positioning System*** de última geração operando em dupla frequência L1/L2; o equipamento promove a demarcação das estacas duodecamétricas - dispostas a cada 20 m - com tinta branca e das estacas hectométricas (a cada 100 m), também com tinta amarela; todas as estacas foram devidamente georreferrenciadas e as hectométricas numeradas sequencialmente.

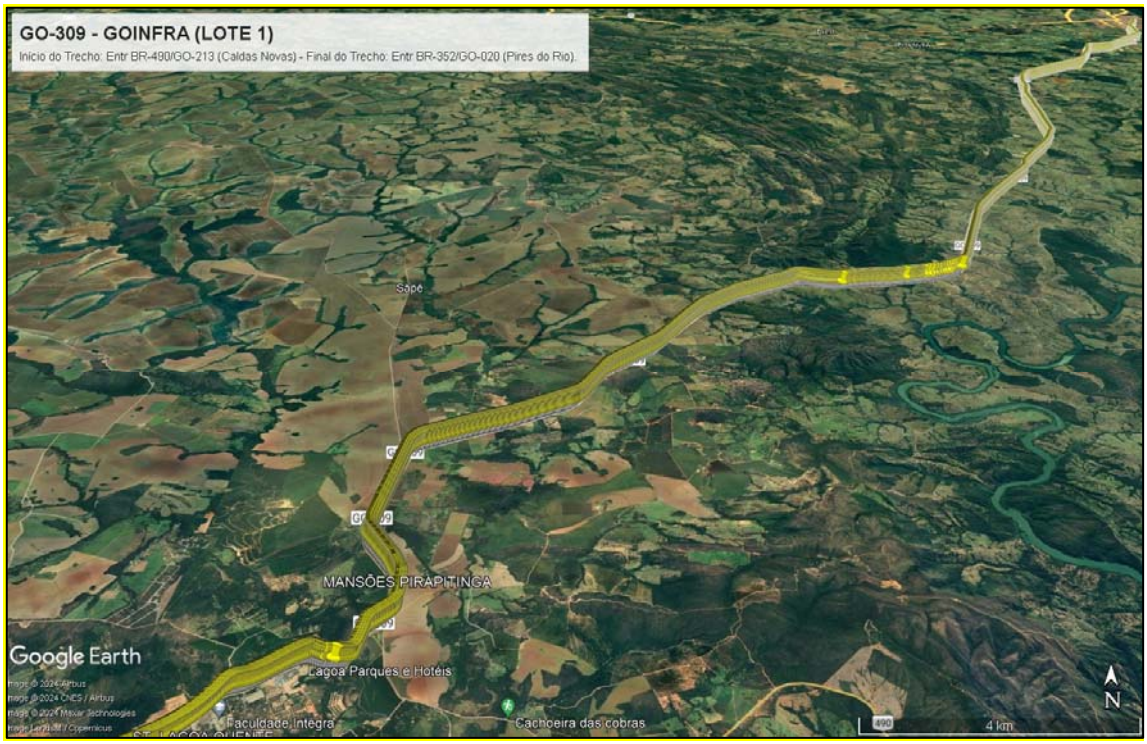


Figura 28 – Demarcação Automatizada e Georreferenciada

Seguidamente, em que pese os distintos métodos de dimensionamento de reforço de pavimentos do DNIT preconizarem, para a definição de pavimentos que externam comportamentos homogêneos, a consideração de parâmetros de comportamento por vezes bastante distintos, julgou-se não procedente o descarte de qualquer parâmetro de comportamento, haja vista que suas análises individuais e combinadas podem se fazer extremamente importantes.

Assim considerando, promoveu-se o levantamento em contínuo do estado da superfície – inventário – e a medição de todos os parâmetros de comportamento preconizados pelos diferentes métodos de dimensionamento; a contemplação espectral e concomitantemente de todos os parâmetros preconizadas pelos Procedimentos DNIT PRO - 10, 11, 159 e 269 visou permitir uma definição mais consistente e adequada dos segmentos em que o pavimento externa sequenciais comportamentais distintos.

Na sequência, são listados os principais parâmetros levantados, suas respectivas formas de obtenção e respectivas magnitudes.

4.2.4.3.1. Levantamentos efetuados e resultados obtidos

4.2.4.3.2. Filmagem digital com vídeo registro da superfície do pavimento

A filmagem do pavimento foi processada em contínuo ao longo de cada faixa de tráfego empregando o equipamento denominado ***Ortogonal Pavement Scanner***, o qual processa a filmagem ortogonal da superfície do pavimento por meio de câmera filmadora digital de altíssima resolução - do tipo Full HD (1920x1080 pixels). Toda a filmagem é processada em uma mesma base de referência bidimensional, determinada pelo trabalho conjugado de um ***encoder ótico*** para registro das distâncias percorridas com um ***GPS – Global Positioning System*** de última geração, operando em dupla frequência L1/L2 (L1 utiliza comprimentos de onda com 19 cm e L2 comprimentos de onda com 24 cm); o resultado dessa associação garantiu a perfeita disposição sequencial ao longo do trecho e o sistema de gravação (vídeo-registro/encoder) permitiu a identificação, a localização e caracterização de todas as manifestações ocorrentes no pavimento.

4.2.4.3.3. Levantamento visual contínuo do estado da superfície (LVC)

O levantamento de todas as manifestações de ruína externadas pelo pavimento existente foi realizado a partir de análises das filmagens digitais contínuas, as quais permitem detectar, identificar a natureza, avaliar a gravidade e definir a área comprometida de cada defeito detectado, tarefa facilitada sobremaneira pelo software de visualização que permite "percorrer" a estrada (comandos de ida e volta) – no escritório – tantas vezes quantas necessárias e aplicar "zoom" nas manifestações de mais difícil detecção.

4.2.4.3.4. Inventário da superfície

As filmagens, realizadas em contínuo por faixa de tráfego (3,5m), apreciadas por *software* especialmente desenvolvido que faculta as demarcações gráficas longitudinais de cada estaca e das extensões dispostas 3,0m avante e 3,0m a ré – áreas de 21,0m^2 – permitiram a identificação dos defeitos ocorrentes em estacas dispostas sequencialmente, de forma alternada em relação ao eixo da pista conforme prescrito pela norma ***DNIT-006/2003-PRO***.

Os levantamentos das manifestações de ruína foram devidamente processados e as manifestações de ruína ocorrentes gravadas em Fichas de "*Levantamento do Inventário da Superfície do Pavimento*" conforme o modelo apresentado a seguir; – Avaliação Objetiva da Superfície do Pavimento (IGG) com Cadastro dos Acostamentos. Complementarmente, com o objetivo de propiciar uma visão holística e contextual da intensidade das manifestações de ruína detectadas ao longo do trecho, julgou-se oportuno e ilustrativo apresentar suas distribuições de forma gráfica, em lineares sinópticos:

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

RODOVIA: GO-330 (2A) **PISTA/LADO:** SIMPLES/DIREITO

TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,830 km

km	ESTACA	SEÇÃO TRANSV.	OK	TRINCAS									AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODA		OBS.
				FC-1						FC-2		FC-3			PLÁSTICO		CONSOL.									
				FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	JE	TBE		ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D	R	TRI	TRE	
				(1)						(2)		(3)			(4)		(*)		(5)			(6)	(7)	(8)			
0,000	0 + 0,00	A								x		x					x								0,60	13,30	
0,020	1 + 0,00	A								x		x												x	1,40	5,10	
0,040	2 + 0,00	A								x		x													0,60	3,00	
0,060	3 + 0,00	A					x			x		x					x						x		0,10	3,20	
0,080	4 + 0,00	A								x		x			x		x							x	0,40	0,90	
0,100	5 + 0,00	A					x			x		x													1,60	4,20	
0,120	6 + 0,00	A								x															3,30	0,90	
0,140	7 + 0,00	A						x		x															2,30	0,70	
0,160	8 + 0,00	A					x			x		x													1,20	0,60	
0,180	9 + 0,00	A								x													x		2,50	1,30	
0,200	10 + 0,00	A								x															2,50	1,30	
0,220	11 + 0,00	A								x															1,10	0,70	
0,240	12 + 0,00	A								x															1,30	0,10	

Figura 29 – Ficha de levantamento das ocorrências de defeitos (estado da superfície)

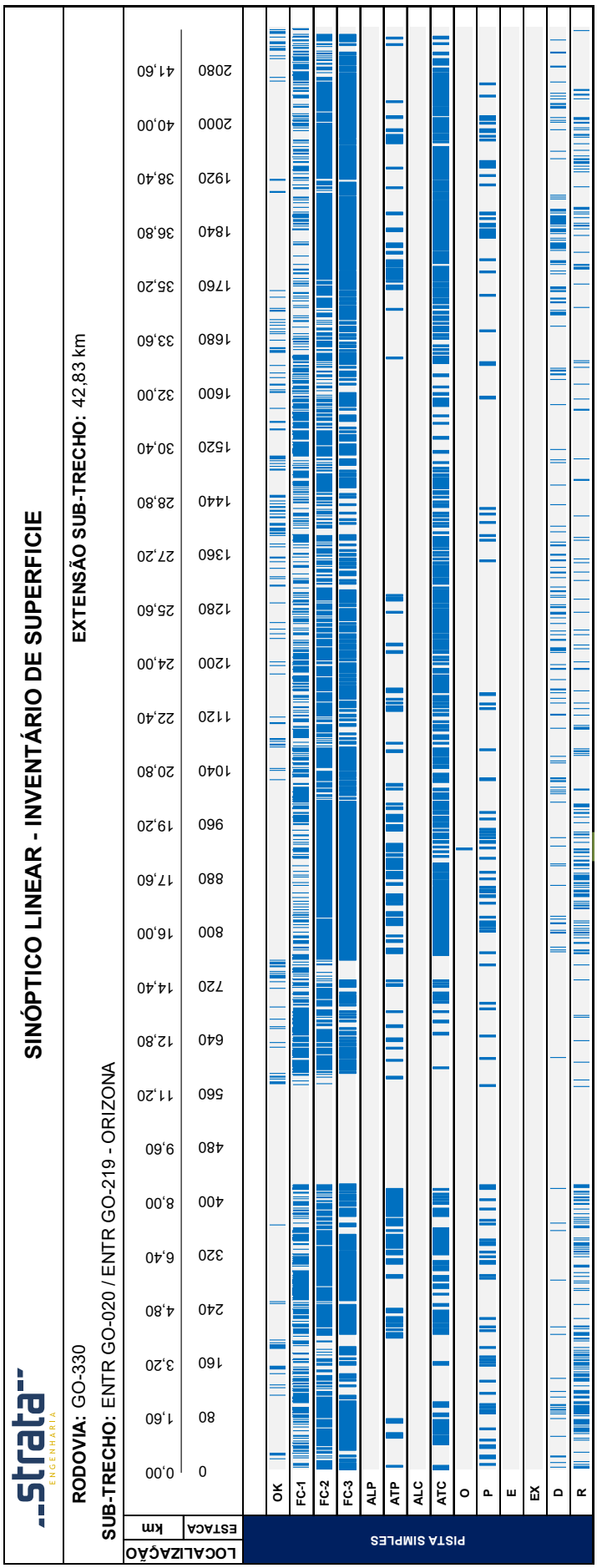


Figura 30 – Levantamento Visual Contínuo - Linear Sinóptico dos defeitos constatados por estaca (Tratamento conjunto das duas faixas de tráfego)

4.2.4.3.5. Percentuais de trincamento

Nos levantamentos das condições de superfície realizados de acordo com a Norma DNIT 006/2003 PRO, foram anotadas as ocorrências de fissurações Classes 1, 2 e 3. Entretanto, tendo em conta que o método de dimensionamento PRO-269/94 preconiza a definição dos respectivos percentuais de trincamento nas superfícies de avaliação, promoveram-se os respectivos cálculos, procedimento facilitado pela disponibilidade dos levantamentos com vídeo-registro, processados em contínuo com altíssima resolução.

Para o efeito, foram determinadas as superfícies de avaliação que apresentaram fissurações Classes 2 e 3 e procedido o cálculo do percentual de trincamento através da expressão:

$$TR = \frac{TRI}{S}\ x\ 100$$

onde:

TR = trincamento, em %
TR = total das áreas com trincamento de "FC 2 e/ou 3", bem com eventuais "panel "remendos" contidos na superfície de avaliação, em m^2;
S = área da superfície de avaliação, em m^2.

4.2.4.3.6. Deflexões Reversíveis Máximas

O levantamento das deflexões reversíveis máximas do pavimento existente foi processado por meio do equipamento ***Falling Weight Deflectometer – FWD*** (Especificação DNER-PRO 273/96) aplicando uma carga dinâmica (energia potencial gravitacional) de ***4.100 kgf*** distribuída em uma placa com diâmetro ***Ø = 30,5 cm***, condição que proporcionou uma pressão de contato σ_c ***= 5,6 kgf/cm²*** aplicada durante um tempo da ordem de t_c ***= 0,01/ 0,02 segundos***.

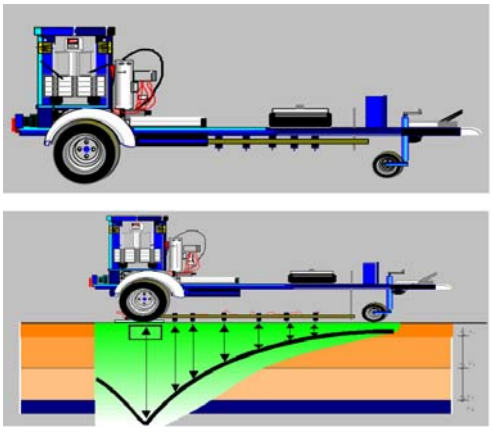


Figura 31 – Representação esquemática do *Falling Weight Deflectometer* (FWD) e da linha de influência dos assentamentos reversíveis

No caso presente, dadas as características dos materiais constituintes do pavimento existente – pavimento flexível - o posicionamento dos 7 geofones captadores das deflexões reversíveis do FWD foi estabelecido em consonância com a proposição estabelecida pelo ***Programa SHRP***; as posições adotadas são indicadas a seguir.

Geofone Nº	Denominação da Deflexão Reversível	Distância em Relação ao Centro da Placa (cm)
1	D_0	0
2	D_{20}	20
3	D_{30}	30
4	D_{45}	45
5	D_{60}	60
6	D_{90}	90
7	D_{120}	120

Figura 32 – Posição dos sete Geofones instalados no FWD

Os resultados obtidos permitiram a definição das ***deflexões reversíveis máximas*** medidas a cada 20 metros, em pontos dispostos alternadamente ao longo de ambas as faixas de tráfego e os resultados obtidos foram plotados em tabelas apropriadas e dispostos sob forma gráfica, em lineares sinópticos, como apresentado a seguir:

LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO (FWD)

RODOVIA: GO-330 **SENTIDO:** CRESCENTE **FAIXA:** 1

TRECHO: ORIZONA / RES DO RIO - GO-020 **EXTENSÃO:** 8,470 km

DISTÂNCIA (km)	ESTACA	PRESSÃO NOM. (kPa)	CARGA NOM. (kN)	TEMPERATURA (°C)		DEFLEXÕES (0,01 mm)							Raio C. (m)	DATA	HORA
				Ar	Sup	D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120			
0,000	0	576	41	25	37	74,3	48,9	34,3	22,9	16,7	9,4	6,7	78,7	18/05/2024	15:33:00
0,040	2	592	42	25	37	51,6	28,8	17,9	10,2	6,0	2,8	2,1	87,7	18/05/2024	15:34:00
0,080	4	588	42	25	37	48,8	27,8	18,0	10,2	6,3	3,3	2,4	95,2	18/05/2024	15:35:00
0,120	6	590	42	25	36	57,7	29,9	18,4	10,4	6,1	3,1	2,3	71,9	18/05/2024	15:36:00
0,160	8	588	42	25	37	41,7	25,4	17,4	10,6	6,6	3,0	2,1	122,7	18/05/2024	15:36:00
0,200	10	590	42	25	36	41,0	23,3	16,4	10,6	7,4	4,1	2,9	113,0	18/05/2024	15:37:00
0,240	12	589	42	25	36	38,0	22,5	16,2	11,7	8,7	5,2	3,5	129,0	18/05/2024	15:38:00
0,280	14	589	42	25	36	46,6	22,6	14,6	9,5	6,8	4,3	3,3	83,3	18/05/2024	15:38:00
0,320	16	589	42	25	36	55,4	35,5	24,8	16,2	11,3	8,4	6,9	100,5	18/05/2024	15:39:00
0,360	18	586	41	25	33	45,5	26,8	17,3	11,4	8,4	6,0	5,0	107,0	18/05/2024	15:40:00
0,400	20	593	42	25	34	51,7	28,9	19,3	12,3	8,8	5,9	4,7	87,7	18/05/2024	15:41:00
0,440	22	584	41	24	36	48,0	31,3	21,5	15,2	11,4	8,4	6,4	119,8	18/05/2024	15:41:00
0,480	24	592	42	24	36	61,2	39,1	28,8	20,6	15,0	9,5	6,6	90,5	18/05/2024	15:42:00
0,520	26	589	42	25	36	58,4	38,0	26,1	16,7	12,4	8,2	5,1	98,0	18/05/2024	15:43:00
0,560	28	584	41	24	36	59,6	34,0	22,8	14,6	10,8	7,1	5,3	78,1	18/05/2024	15:43:00
0,590	30	567	40	24	35	81,9	58,9	42,5	30,8	23,4	15,2	10,5	87,0	18/05/2024	15:44:00

Figura 33 - Modelo de apresentação de resultados obtidos em levantamentos deflectométricos processados com o FWD (Deflexões Reversíveis máximas – D0)

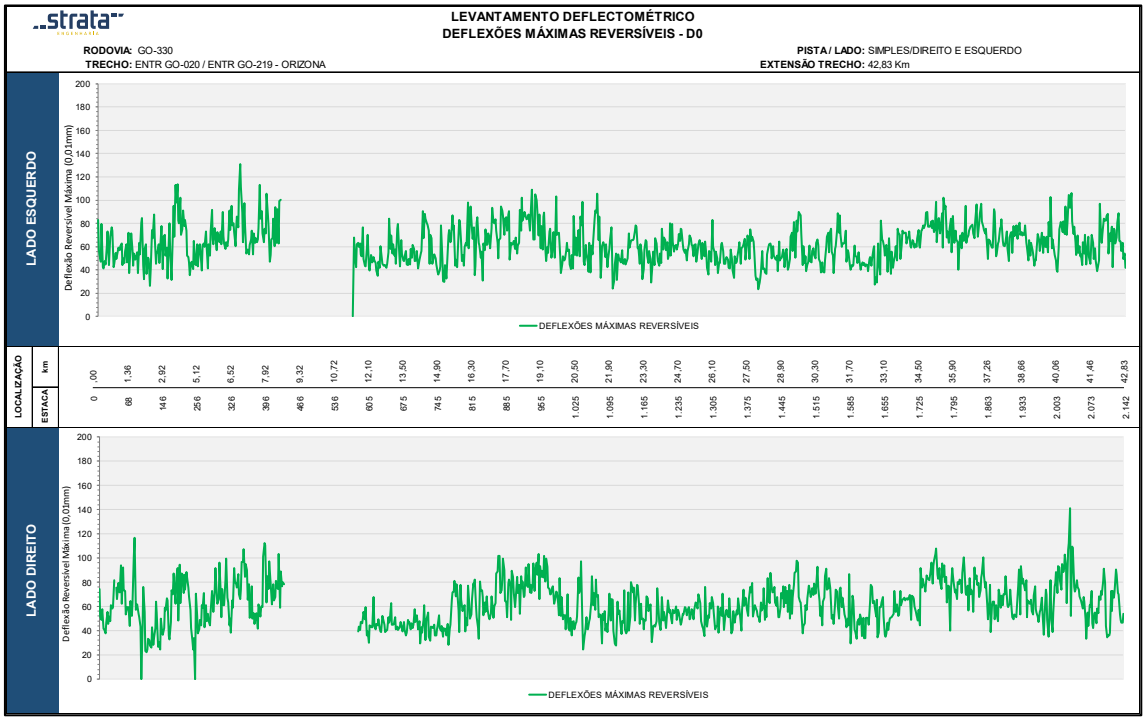


Figura 34 - Representação gráfica das deflexões reversíveis – D0

4.2.4.3.7. Raios de Curvatura

O cálculo do raio de curvatura das linhas de influência dos assentamentos reversíveis foi processado de acordo com recomendações do DNIT através da admissão da representação da linha de influência dos assentamentos reversíveis por uma parábola do 2º grau, aproximação geométrica através da qual se procura avaliar o grau de curvatura imposto ao pavimento durante as solicitações. A admissão dessa lei disciplinadora, o conhecimento da deflexão máxima (D_0) e de mais uma deflexão sequencial distante de um espaçamento definido (D_x), permite calcular o raio de curvatura do arco parabólico, o qual é associado ao raio de curvatura da bacia de deformação conforme ilustrado a seguir:

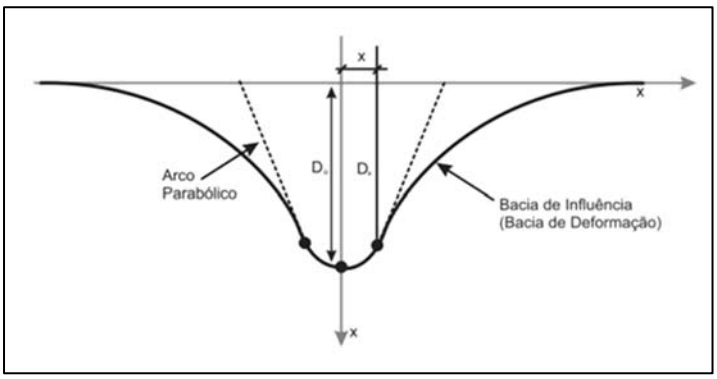


Figura 35 - Representação Gráfica do Raio de Curvatura

Assim, considerando a deflexão máxima – $\boldsymbol{D_0}$ e uma deflexão $\boldsymbol{D_x}$ distanciada de uma abscissa $\boldsymbol{x}$ – o raio de curvatura pode ser definido pela equação a seguir descrita:

$$\boldsymbol{R = \frac{x^2}{2(D_0 - D_x)}}$$

Como a exigência é de que o raio seja expresso em metros, a retromencionada equação parabólica toma a forma:

$$\boldsymbol{R = \frac{10x^2}{2(D_0 - D_x)}}$$

Assim considerando, em que pese o DNIT ter padronizado que o raio de curvatura representativo da uma linha de influência deve ser calculado considerando a distância x = 25 cm, sabe-se que a representação da curvatura de uma parábola do 2º grau é tão mais correta quanto mais próximo o ponto considerado se encontre de seu vértice (da deflexão reversível máxima).

No tocante a essa determinação, quando utilizada a Viga Benkelman, os resultados obtidos são pouco precisos e difíceis de serem medidos, pois a leitura do extensômetro mecânico deve ser processada durante o deslocamento de um caminhão após o início, num ponto correspondente à distância de 25 cm, contada desde o início do ensaio.

Todavia, em que pese as dificuldades de operação, que demanda para além da adivinhação do instante exato que a impressão de contato sobrepõe o ponto referencial (25 cm), a comunicação verbal instantânea entre os técnico medidor de distância e o operador da viga (extensômetro mecânico para promover a leitura) - procedimento que demanda um tempo de percepção-reação

significativo quando se trata de um veículo se deslocando – as medições foram devidamente processadas e os resultados obtidos com o emprego da forma apresentada a seguir:

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Quando da utilização do FWD, essa exigência pode ser facilmente resolvida, bastando interpolar linearmente as medidas calculadas para os Geofones D_{20} e D_{30} posicionados respectivamente a 20 cm e 30 cm do centro de aplicação de carga.

Os resultados obtidos são dispostos de forma gráfica na figura a seguir:

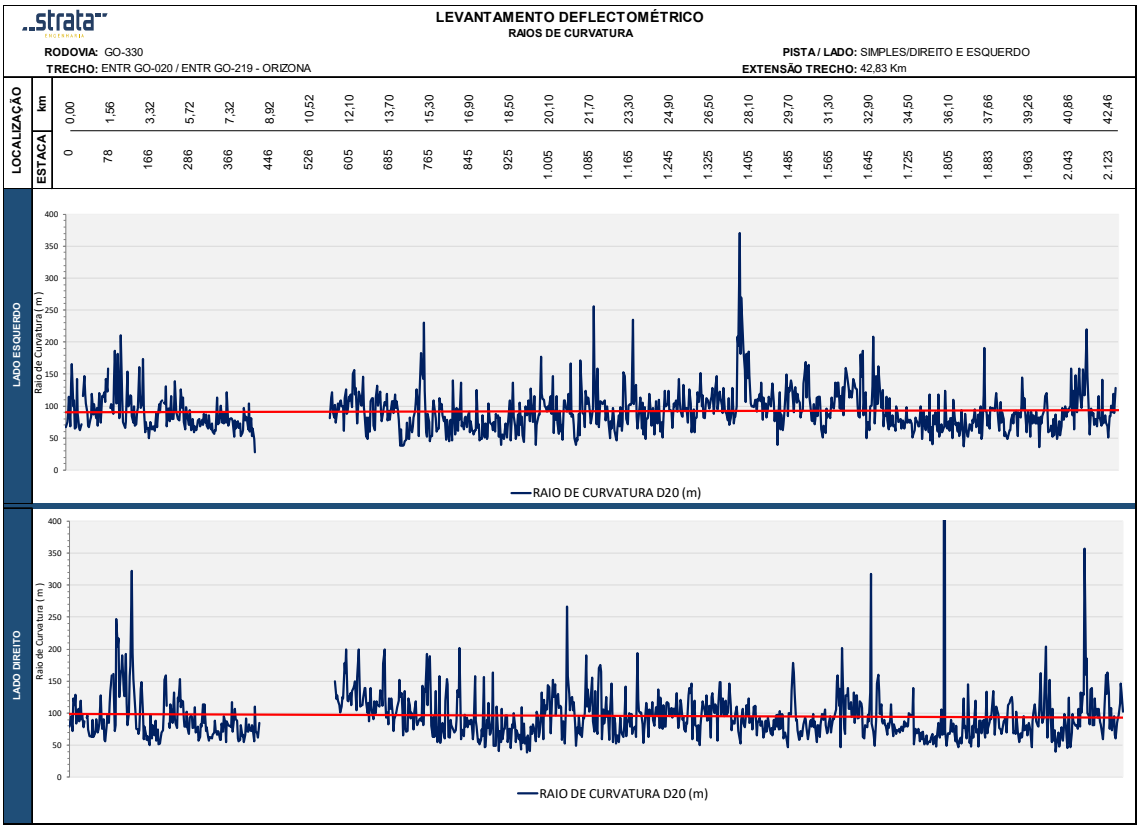


Figura 36 - Representação gráfica do Raio de Curvatura entre D0 e D20.

4.2.4.3.8. Irregularidade Longitudinal – IRI

O levantamento da irregularidade longitudinal externada pelos pavimentos, por faixa de tráfego, foi processado através da medição, em contínuo, do *International Roughness Index* (IRI), parâmetro tradutor das características de conformação geométrica longitudinal da pista. As medições, nas duas trilhas de roda, foram processadas através de um Perfilógrafo Longitudinal a Laser **(*High Speed Three Laser Profiler*)** de acordo com a classificação do *HPMS Field Manual* – dotado de 3 (três) sensores a laser, interfaceados com "laptop" de bordo através de softwares de aquisição, análise e interpretação de dados.

Os resultados obtidos – por trilha de roda e tratados a cada 20m (valores médios) – expressos em m/km - foram plotados em tabelas específicas conforme modelo exposto a seguir gravados sequencialmente em representações gráficas lineares:

IRREGULARIDADE LONGITUDINAL - IRI

RODOVIA: GO-330 **SENTIDO:** CRESCENTE **FAIXA:** 1

TRECHO: ORIZONA / PIRES DO RIO - GO-020 **EXTENSÃO:** 8,470 km

DISTÂNCIA (km)		ESTACA DE LEVANTAMENTO		IRI (m/km)				OBSERVAÇÃO
INÍCIO	FINAL	INÍCIO	FINAL	IRI (TRI)	IRI (TRE)	IRI Média	IRI Máx.	
0,000	0,020	0 + 0,0	1 + 0,0	1,70	5,54	3,62	5,54	
0,020	0,040	1 + 0,0	2 + 0,0	1,77	3,30	2,54	3,30	
0,040	0,060	2 + 0,0	3 + 0,0	2,23	1,89	2,06	2,23	
0,060	0,080	3 + 0,0	4 + 0,0	1,41	1,66	1,54	1,66	
0,080	0,100	4 + 0,0	5 + 0,0	2,13	2,14	2,14	2,14	
0,100	0,120	5 + 0,0	6 + 0,0	3,03	5,35	4,19	5,35	
0,120	0,140	6 + 0,0	7 + 0,0	2,98	4,46	3,72	4,46	
0,140	0,160	7 + 0,0	8 + 0,0	8,17	3,54	5,86	8,17	
0,160	0,180	8 + 0,0	9 + 0,0	1,91	3,43	2,67	3,43	
0,180	0,200	9 + 0,0	10 + 0,0	8,57	5,47	7,02	8,57	
0,200	0,220	10 + 0,0	11 + 0,0	3,09	2,62	2,86	3,09	
0,220	0,240	11 + 0,0	12 + 0,0	3,39	2,86	3,13	3,39	
0,240	0,260	12 + 0,0	13 + 0,0	3,11	2,46	2,79	3,11	
0,260	0,280	13 + 0,0	14 + 0,0	6,15	2,69	4,42	6,15	
0,280	0,300	14 + 0,0	15 + 0,0	2,42	1,54	1,98	2,42	
0,300	0,320	15 + 0,0	16 + 0,0	2,23	2,10	2,17	2,23	
0,320	0,340	16 + 0,0	17 + 0,0	2,07	3,25	2,66	3,25	
0,340	0,360	17 + 0,0	18 + 0,0	3,27	3,32	3,30	3,32	
0,360	0,380	18 + 0,0	19 + 0,0	2,69	2,32	2,51	2,69	
0,380	0,400	19 + 0,0	20 + 0,0	1,77	1,76	1,77	1,77	
0,400	0,420	20 + 0,0	21 + 0,0	2,88	1,83	2,36	2,88	

Figura 37 - Modelo de apresentação de resultados das medições do IRI, considerados intervalos de 20m por faixa de tráfego

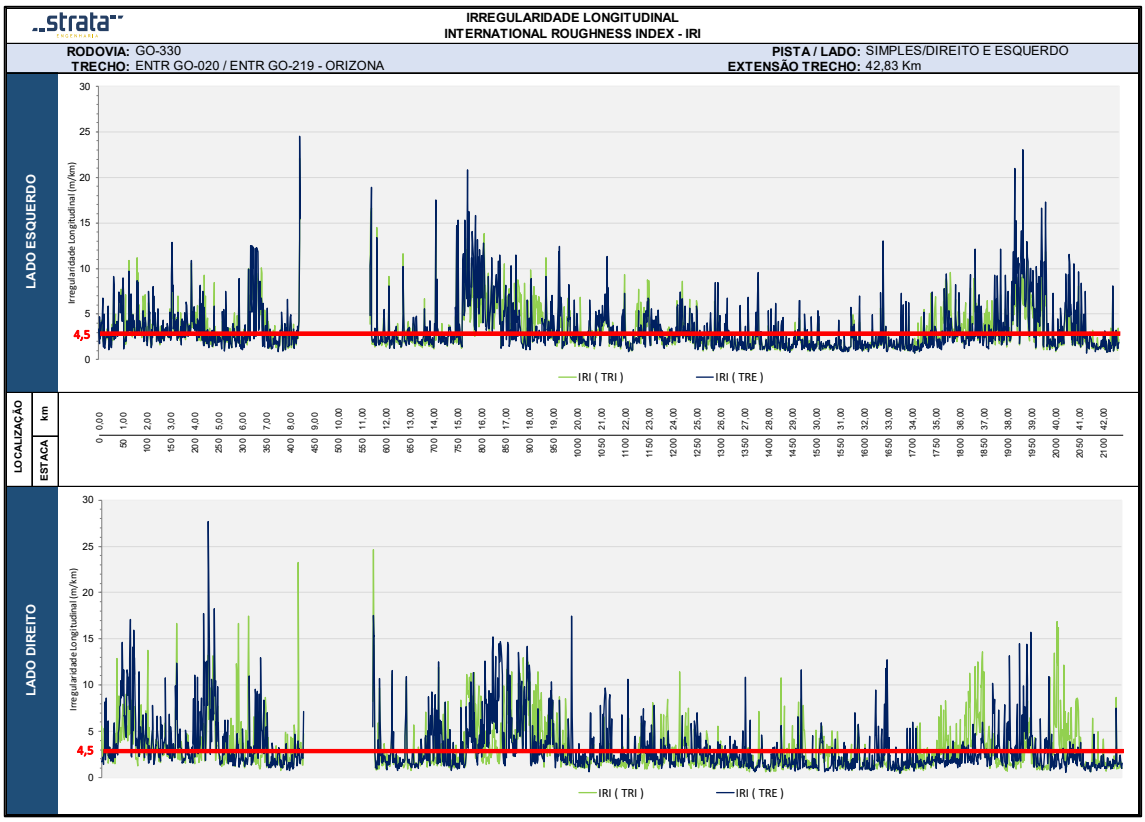


Figura 38 - Representação Gráfica do *International Roughness Index* – IRI, tratados a cada 20m por faixa de tráfego

4.2.4.3.9. Flecha nas trilhas de roda (Fmáx)

O levantamento da irregularidade transversal dos pavimentos foi processado por meio de um **transverso - perfilógrafo a laser** – Classe II (sem contato) – capaz de realizar a filmagem digital de um feixe de raio laser projetado no pavimento com inclinação da ordem dos 22,5º, o qual revela a integralidade da conformação geométrica externada pela seção transversal do pavimento; esse levantamento, processado em contínuo, ao gravar "*in totum*" o perfil transversal, permite definir as magnitudes das flechas em ambas as trilhas de roda ($F_{máx.}$) e também as flechas relativas (Δl/l) em contínuo, bem como identificar as naturezas das deformações permanentes constatadas (se plásticas ou por consolidação, cisalhamento ou perda de materiais).

Como o processo de filmagem ocorre de forma contínua, os dados obtidos podem ser processados para qualquer intervalo desejado; no caso presente, optou-se por determinar o valor representativo de cada estaca como sendo o valor médio obtido ao longo de intervalos de 20 m para ambas as faixas de tráfego. Os resultados obtidos, por trilhas de roda, foram calculados e gravados em planilhas apropriadas - idênticas à ilustrada a seguir; presentemente, os resultados obtidos, ilustrados sob forma gráfica, são apresentados a seguir em lineares sinópticos:

strata ENGENHARIA

IRREGULARIDADE TRANSVERSAL
FLECHA NA TRILHA DE RODA

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO TRECHO:** 42,831 km

TRECHO: ORIZONA / PIRES DO RIO - GO-020 **PISTA / LADO:** SIMPLES / LADO DIREITO

ESTACA DE LEVANTAMENTO						DISTÂNCIA (km)		TRILHA DE RODA (mm)				OBSERVAÇÃO
INICIAL			FINAL			INICIAL	FINAL	TRI	TRE	TR MÉDIA	TR MÁXIMA	
0	+	0,0	1	+	0,0	0,000	0,020	0,60	13,30	6,95	13,30	
1	+	0,0	2	+	0,0	0,020	0,040	1,40	5,10	3,25	5,10	
2	+	0,0	3	+	0,0	0,040	0,060	0,60	3,00	1,80	3,00	
3	+	0,0	4	+	0,0	0,060	0,080	0,10	3,20	1,65	3,20	
4	+	0,0	5	+	0,0	0,080	0,100	0,40	0,90	0,65	0,90	
5	+	0,0	6	+	0,0	0,100	0,120	1,60	4,20	2,90	4,20	
6	+	0,0	7	+	0,0	0,120	0,140	3,30	0,90	2,10	3,30	
7	+	0,0	8	+	0,0	0,140	0,160	2,30	0,70	1,50	2,30	
8	+	0,0	9	+	0,0	0,160	0,180	1,20	0,60	0,90	1,20	
9	+	0,0	10	+	0,0	0,180	0,200	2,50	1,30	1,90	2,50	
10	+	0,0	11	+	0,0	0,200	0,220	2,50	1,30	1,90	2,50	
11	+	0,0	12	+	0,0	0,220	0,240	1,10	0,70	0,90	1,10	
12	+	0,0	13	+	0,0	0,240	0,260	1,30	0,10	0,70	1,30	
13	+	0,0	14	+	0,0	0,260	0,280	5,10	1,10	3,10	5,10	
14	+	0,0	15	+	0,0	0,280	0,300	4,50	1,10	2,80	4,50	
15	+	0,0	16	+	0,0	0,300	0,320	2,10	0,10	1,10	2,10	
16	+	0,0	17	+	0,0	0,320	0,340	4,00	0,20	2,10	4,00	
17	+	0,0	18	+	0,0	0,340	0,360	5,60	1,10	3,35	5,60	
18	+	0,0	19	+	0,0	0,360	0,380	6,50	1,10	3,80	6,50	
19	+	0,0	20	+	0,0	0,380	0,400	6,50	0,10	3,30	6,50	
20	+	0,0	21	+	0,0	0,400	0,420	5,30	0,20	2,75	5,30	

Figura 39 - Modelo de apresentação de resultados das medições das Flechas nas Trilhas de Roda considerados intervalos de 20 m

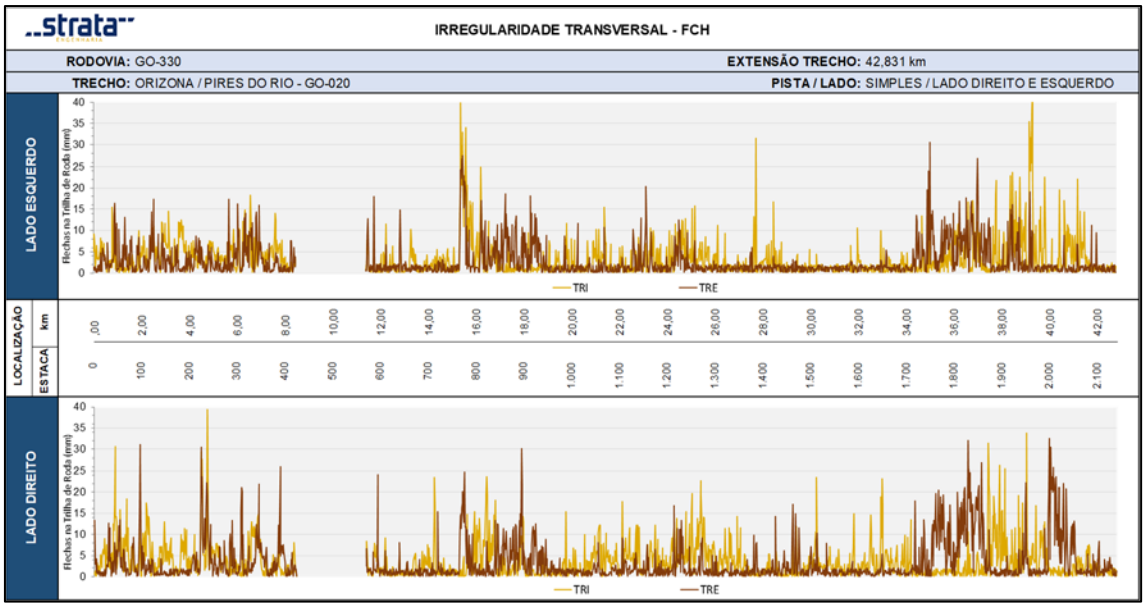


Figura 40 - Representação Gráfica das Flechas nas Trilhas de Roda, tratados a cada 20 m intercalado

4.2.4.3.10. Estrutura constitutiva do pavimento existente

O estudo específico das camadas dos pavimentos existentes se fundamentou na execução de sondagens de poço, em cada um dos segmentos homogêneos determinados, para definição do número de camadas existentes, definição da natureza dos materiais constituintes das camadas granulares do pavimento (base e sub-base) e do solo de fundação e coleta de amostras para realização dos ensaios de caracterização, compactação e capacidade de suporte; os resultados obtidos (espessuras das camadas e características geotécnicas dos materiais constitutivos) são apresentados nos Estudos Geotécnicos.

4.2.4.3.11. Geologia

O preciosismo que sempre caracterizou a vida do Prof. Armando Martins Pereira se manifesta, mais uma vez, em sua recomendação de se considerar a geologia na definição dos segmentos homogêneos de pavimentos rodoviários, solicitação de consideração da litologia e da unidade geológica como parâmetros de influência no comportamento de pavimentos rodoviários. Assim considerando, verifica-se, a partir do Estudo Geológico realizado, a predominância de complexos granulíticos de diferentes grupos (Araxá, Ipameri e Jurubatuba).

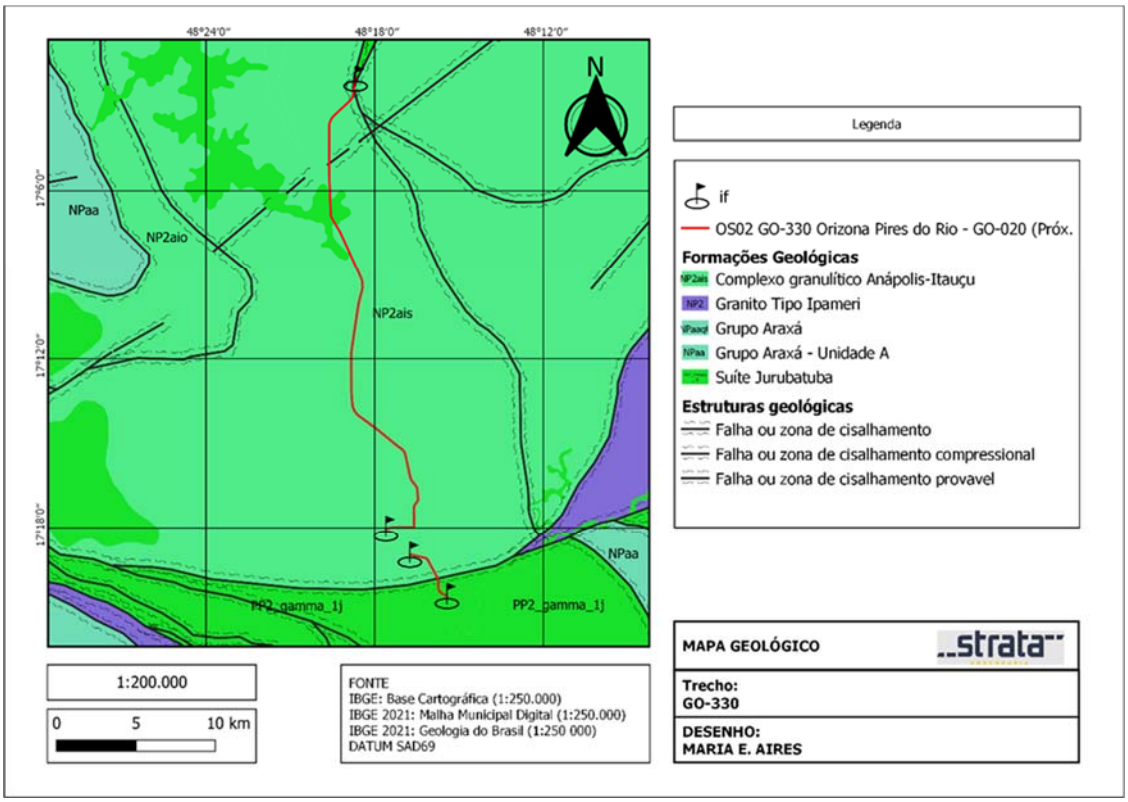


Figura 41 – Mapa Geológico (Fonte: IBGE, adaptado).

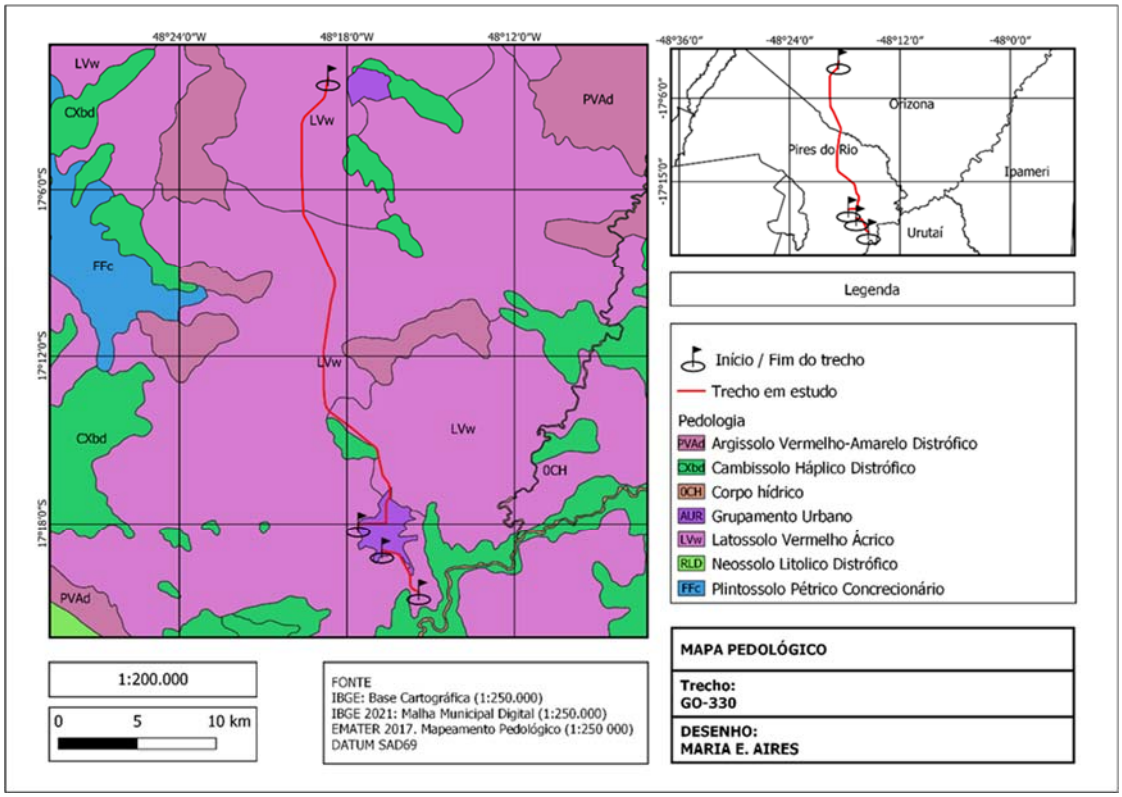


Figura 42 – Mapa Pedológico (Fonte: IBGE, adaptado).

4.2.4.3.12. Tráfego Médio Diário (TMD)

No caso presente, foram considerados os resultados obtidos por levantamentos e ponderações acerca do **Tráfego local;** o detalhamento da metodologia aplicada nos Estudo de Tráfego e os resultados obtidos (projeção do VMD ao longo período de projeto, Número N e afins) foram obtidos através de pesquisas de campo com contagens Volumétricas e Classificatórias e Ocupação de Carga.

No presente trecho foram realizados dois Postos de Contagem, onde os resultados obtidos, contabilizados para uma vida de projeto de 10 anos, evidenciaram um Volume Médio Diário ***VMD = 3.386*** no posto de contagem ***P04*** e um ***VMD = 2.105*** no posto de contagem ***P05***; os resultados estão sintetizados no quadro apresentado a seguir.

PROJEÇÃO DO "VMDA" E DO NÚMERO "N"										
RODOVIA: GO-330						**POSTO:** P04				
Ano	**Volume Médio Anual de Tráfego (VMDA)**					**Valores do Número "N"**				**Observações**
	Veículos-tipo				**Total**	**USACE**		**AASHTO**		
	Moto	**Passeio**	**Coletivo**	**Carga**		**Ano a Ano**	**Acumulado**	**Ano a Ano**	**Acumulado**	
2023	106	1.701	41	598	2.446	1,09E+06	***	2,96E+05	***	**Pesquisa**
2024	109	1.752	42	616	2.519	1,12E+06	***	3,05E+05	***	
2025	112	1.805	43	634	2.595	1,15E+06	1,15E+06	3,14E+05	3,14E+05	**1º ano**
2026	116	1.859	45	653	2.673	1,19E+06	2,34E+06	3,24E+05	6,38E+05	
2027	119	1.914	46	673	2.753	1,22E+06	3,57E+06	3,33E+05	9,71E+05	
2028	123	1.972	48	693	2.836	1,26E+06	4,83E+06	3,43E+05	1,31E+06	
2029	127	2.031	49	714	2.921	1,30E+06	6,13E+06	3,54E+05	1,67E+06	**5º ano**
2030	130	2.092	50	735	3.008	1,34E+06	7,46E+06	3,64E+05	2,03E+06	
2031	134	2.155	52	758	3.099	1,38E+06	8,84E+06	3,75E+05	2,41E+06	
2032	138	2.219	53	780	3.191	1,42E+06	1,03E+07	3,86E+05	2,79E+06	
2033	142	2.286	55	804	3.287	1,46E+06	1,17E+07	3,98E+05	3,19E+06	
2034	147	2.355	57	828	3.386	1,51E+06	**1,32E+07**	4,10E+05	**3,60E+06**	**10º ano**
Composição Percentual do Tráfego (%)				**Parâmetros Adotados no Cálculo do Número de Operações do Eixo-padrão de 8,2 t - Número "N"**						
Moto	**Passeio**	**Coletivo**	**Carga**	**Fatores de Veículo - FV**				**Fator Climático**		**Fator de Pista**
4,33	69,54	1,68	24,45	FV_{USACE}		FV_{AASHTO}		**FR**		**FP**
Taxas de Crescimento do Tráfego (%)				**9,327**		**2,539**		**1,000**		**0,500**
Moto	**Passeio**	**Coletivo**	**Carga**	**Ano Inicial para o Cálculo do Número "N"**						**2025**
3,00	3,00	3,00	3,00	**Período de Projeto para o Cálculo do Número "N"**						**10 anos**

Figura 43 - Projeção do VMDAT e do Número N – (P04)

PROJEÇÃO DO "VMDA" E DO NÚMERO "N"										
RODOVIA: GO-330						POSTO: P05				
Ano	Volume Médio Anual de Tráfego (VMDA)					Valores do Número "N"				Observações
	Veículos-tipo				Total	USACE		AASHTO		
	Moto	Passeio	Coletivo	Carga		Ano a Ano	Acumulado	Ano a Ano	Acumulado	
2023	332	4.315	102	1.521	6.270	2,52E+06	***	6,99E+05	***	Pesquisa
2024	342	4.444	105	1.567	6.458	2,60E+06	***	7,20E+05	***	
2025	352	4.578	108	1.614	6.652	2,67E+06	2,67E+06	7,41E+05	7,41E+05	1º ano
2026	363	4.715	111	1.662	6.851	2,75E+06	5,43E+06	7,63E+05	1,50E+06	
2027	374	4.857	115	1.712	7.057	2,84E+06	8,26E+06	7,86E+05	2,29E+06	
2028	385	5.002	118	1.763	7.269	2,92E+06	1,12E+07	8,10E+05	3,10E+06	
2029	396	5.152	122	1.816	7.487	3,01E+06	1,42E+07	8,34E+05	3,93E+06	5º ano
2030	408	5.307	125	1.871	7.711	3,10E+06	1,73E+07	8,59E+05	4,79E+06	
2031	421	5.466	129	1.927	7.943	3,19E+06	2,05E+07	8,85E+05	5,68E+06	
2032	433	5.630	133	1.985	8.181	3,29E+06	2,38E+07	9,12E+05	6,59E+06	
2033	446	5.799	137	2.044	8.426	3,39E+06	2,72E+07	9,39E+05	7,53E+06	
2034	460	5.973	141	2.105	8.679	3,49E+06	3,06E+07	9,67E+05	8,50E+06	10º ano
Composição Percentual do Tráfego (%)				Parâmetros Adotados no Cálculo do Número de Operações do Eixo-padrão de 8,2 t - Número "N"						
Moto	Passeio	Coletivo	Carga	Fatores de Veículo - FV				Fator Climático		Fator de Pista
5,30	68,82	1,63	24,26	FV_{USACE}		FV_{AASHTO}		FR		FP
Taxas de Crescimento do Tráfego (%)				8,507		2,359		1,000		0,500
Moto	Passeio	Coletivo	Carga	Ano Inicial para o Cálculo do Número "N"						2025
3,00	3,00	3,00	3,00	Período de Projeto para o Cálculo do Número "N"						10 anos

Figura 44 - Projeção do VMDAT e do Número N – (P05)

Assim sendo, verifica-se a existência de um tráfego usuário elevado, haja vista que em ambos os postos de contagem foram obtidos valores de Número "N", pela metodologia USACE, superiores a 1 x 10^7. Para mais, é importante salientar que para fins de dimensionamento, serão utilizados os dois distintos valores.

P04 "N" $_{USACE}$ = 1,32 x 10^7

P04 "N" $_{AASHTO}$ = 3,60 x 10^6

P05 "N" $_{USACE}$ = 3,06 x 10^7

P05 "N" $_{AASHTO}$ = 8,50 x 10^6

4.2.4.3.13. Divisão dos Segmentos de Comportamento Homogêneo

Conforme anteriormente exposto, os distintos métodos de dimensionamento de reforço de pavimentos do DNIT preconizam, para a definição de segmentos homogêneos, parâmetros por vezes bastante distintos, alheios à importância específica de cada um deles. Destarte, em que pesem as diferenças de considerações contempladas, julgou-se um desperdício o descarte de qualquer dos parâmetros de comportamentos levantados, haja vista que suas análises individuais e combinadas se apresentam sempre somativas e esclarecedoras.

Embasados nessa premissa básica e julgando de importância maior avaliar conjuntamente todos os parâmetros de comportamento levantados, o procedimento adotado foi o de somar as recomendações preconizadas pelos Métodos DNIT (PRO-10, PRO-11, PRO-159 e PRO-269). Para o efeito foram, portanto, considerados concomitantemente os seguintes parâmetros de comportamento:

- *Estaqueamento ou quilometragem;*
- *Deflexões recuperáveis em ambas as trilhas de roda;*
- *Raios de Curvatura;*
- *IRI (ou QI);*
- *Flechas nas trilhas de roda ($F_{máx.}$);*
- *Percentuais de Trincamento;*
- *Configuração da terraplenagem;*
- *Tráfego médio diário (TMD), e*
- *Principais defeitos constatados na superfície da pista de rolamento.*

Portanto, dispondo-se desse espectro saliente de parâmetros de comportamento, foram seus valores específicos dispostos sob forma gráfica em lineares sinópticos nos quais se pôde representar o conjunto dos resultados obtidos identificados sempre na mesma base de correspondência, ditada pelo estaqueamento. Seguidamente, considerando o desenvolvimento de cada parâmetro, procurou-se definir as variações sequenciais que evidenciavam diferenciação comportamental específica; a análise dos distintos parâmetros foi processada de forma visual através da interpretação dos "***diagramas de variação***", os quais permitiram definir as fronteiras tradutoras de comportamentos diferenciado ao longo do trecho.

Processada essa delimitação comportamental para cada parâmetro de comportamento considerado, o passo seguinte constituiu em se promover uma ***análise espectral*** dos parâmetros em conjunto, analisando suas fronteiras individuais e contextualizando-as no âmbito dos demais parâmetwros, de forma a se poder estabelecer as ***"fronteiras finais"*** em que o pavimento externava comportamentos verdadeiramente homogêneos, distintos dos imediatamente anterior e posterior. A definição dessa uniformidade comportamental, considerando concomitantemente de todos os parâmetros levantados, demandou ajustes nas segmentações individuais – sempre pendentes para as fronteiras dos parâmetros de maior peso e responsabilidade, "penalizando" aqueles de menor importância relativa – condição que facultou a determinação dos denominados "***segmentos homogêneos***" ***(SH)***; os resultados finais são apresentados a seguir, em lineares sinópticos.

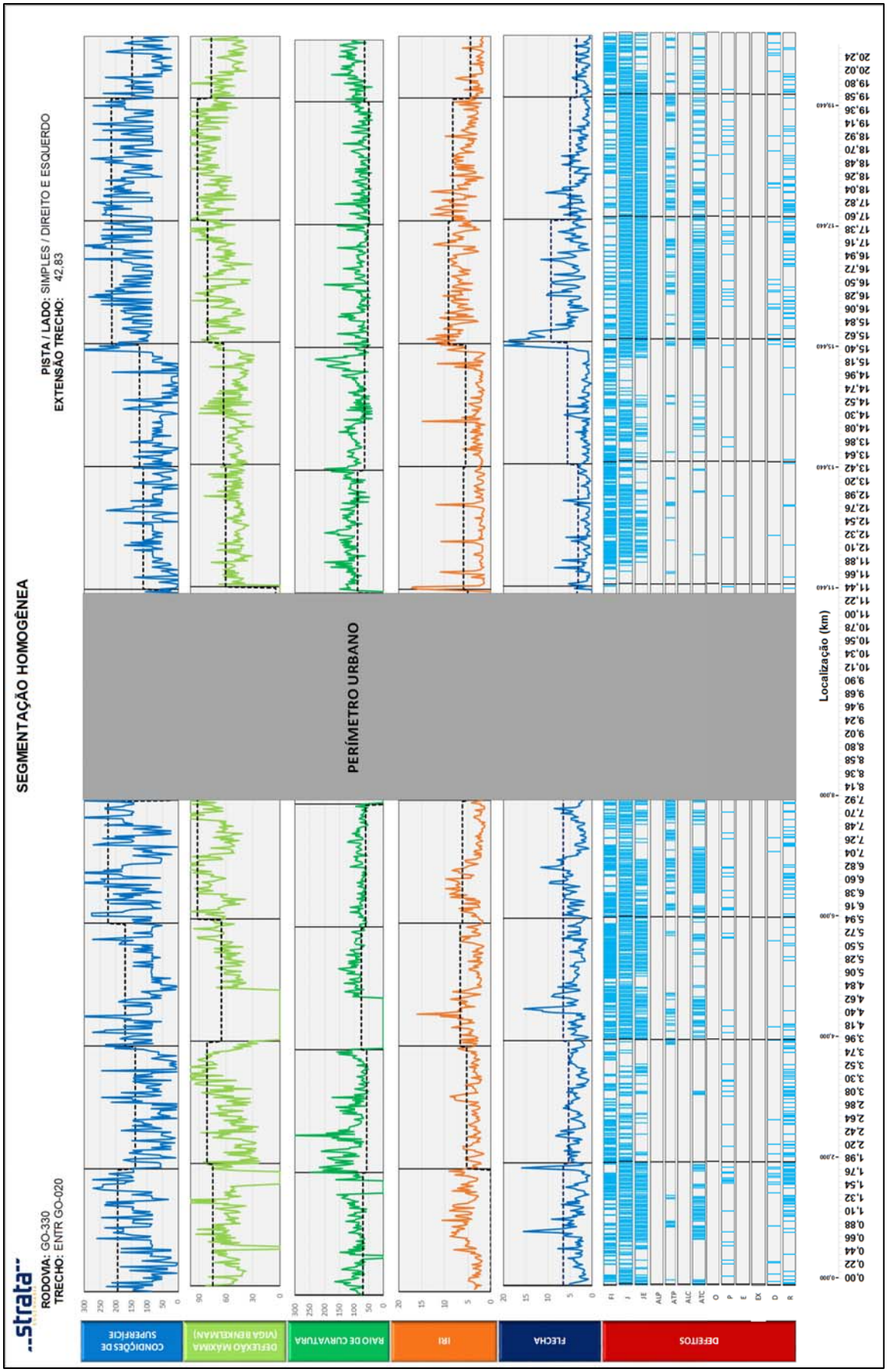


Figura 45 – Segmentação Homogênea – km 0,000 ao km 20,420 (Página 01).

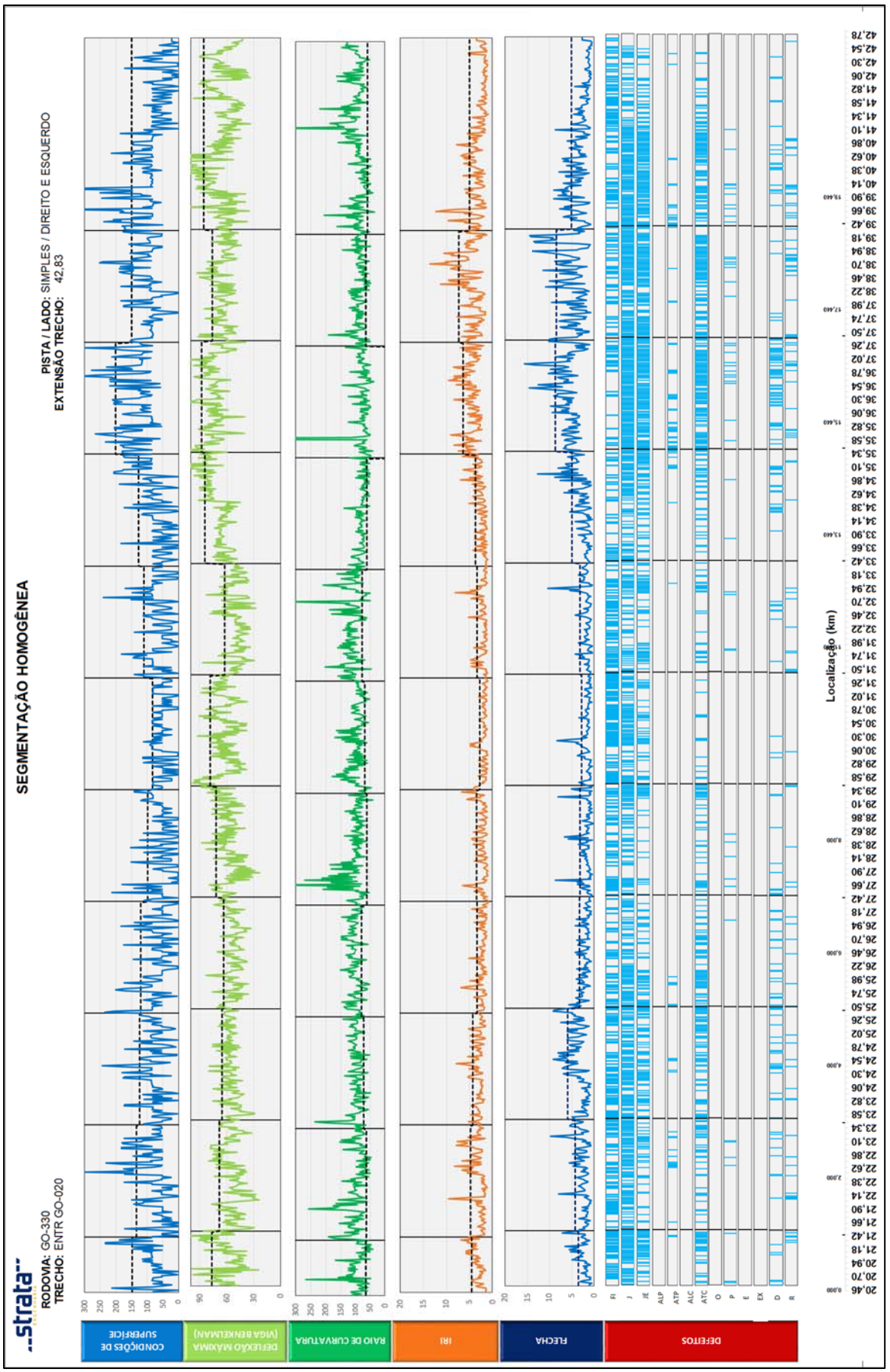


Figura 46 – Segmentação Homogênea – km 20,440 ao km 42,830 (Página 02).

4.2.4.3.14. Classificação Conceitual do Pavimento Existente de acordo com a Norma DNIT PRO 006/2003 – Cálculo do IGG

Definidos os segmentos de comportamento homogêneo, promoveu-se o cálculo de seus respectivos ***Índices de Gravidade Global – IGG***, procedimento que se iniciou pela quantificação inicial das ocorrências de cada defeito nas estacas componentes do SH (Frequência absoluta - F_a) e da respectiva Frequência relativa - F_r de ocorrência, definida em função no número de estacas afetadas. Seguidamente, afetando as frequências relativas dos fatores de responsabilidade estabelecidos para cada defeito, pôde-se calcular os respectivos ***Índices de Gravidade Individuais - IGI*** que, somados, permitiram definir os ***Índices de Gravidade Globais - IGG*** para todos os segmentos homogêneos.

A classificação proposta no âmbito da Norma DNIT PRO-006/2003 se resume, por conseguinte, em definir, para cada segmento homogêneo, o conceito de serventia que o caracteriza, sem exigências complementares. No âmbito desse procedimento, vale ainda destacar as orientações originais do Professor Armando Martins Pereira – autor da metodologia – relativas à detecção sequencial de *conceitos de serventia idênticos* (contíguos), os quais devem ser agrupados de forma a compor um "***Segmento Homogêneo***" único; sua premissa básica de alicerçava nos critérios adotados para a discretização dos valores IGG.

Desta forma, verificado o atendimento completo às exigências preconizadas pela Norma DNIT-006/2003-PRO, promoveu-se o cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG para cada um dos segmentos homogêneos definido; os resultados obtidos na avaliação dos pavimentos analisados (Inventário de Superfície - Segmentação Homogênea - Cálculo do IGG) são apresentados a seguir em tabelas apropriadas, nas quais são listados os segmentos homogêneos detectados, identificados pelas estacas inicial e final, a quilometragem inicial e final, a extensão (considerando ambas as faixas – pista simples e terceira faixa), os percentuais de ocorrência dos defeitos, as flechas nas trilhas de roda e o Índice de Gravidade Global – IGG (Valor e Conceito).

Finalmente, com base na sequência de conceitos de serventia externada pelo pavimento, promoveu-se o agrupamento dos segmentos que se identificavam, evidenciando suas similaridades. Assim considerando, os conceitos de aptidão análogos, classificados de acordo com a normativa retrocitada, foram agrupados e sombreados (com fronteiras delimitadas), obedecendo escala cromática anteriormente definida.

4.2.4.4. Proposição de Aprimoramento da Norma DNIT 006/2003 – PRO (Varredura Métrica)

Conforme vem de se expor, o levantamento do estado da superfície do pavimento existente foi processado com pleno atendimento à norma DNIT-006/2003-PRO. Entretanto, tendo em conta que o pavimento da rodovia em questão foi objeto de filmagens em contínuo através de vídeo-registro de altíssima resolução, julgou-se válido propor uma atualização e aprimoramento – *up-grade* – na versão atual da normativa oficial, nos moldes empregados pela Metodologia Paragon, passando a contemplar a área total da superfície do pavimento: ao invés de um levantamento por amostragem (15%) realizado em estacas alternadas, o levantamento da área superficial total do pavimento (100%), procedimento mais completo que o original, proposto com o objetivo de permitir uma avaliação mais apurada e pertinente.

Para o efeito, a proposição consiste no levantamento de todos os defeitos preconizados pela norma DNIT 006/2003-PRO no âmbito da área global pertinente a cada estaca – 10,0 m avante e 10,0 m a ré em toda a largura da pista – mais expressiva que as normatizadas (3,0 m avante e 3,0 m a ré em estacas alternadas); tais áreas, contemplando conjuntamente ambas as faixas de tráfego, avaliadas "*in totum*", representam a consideração de todos os defeitos ocorrentes em 100% da área total.

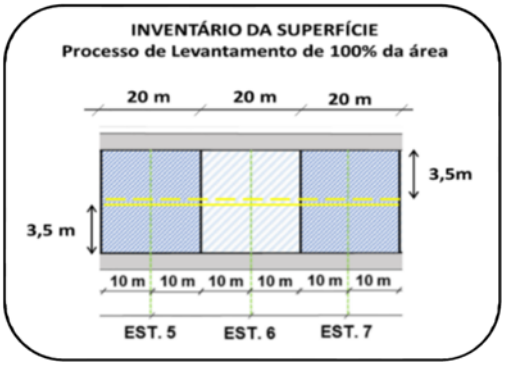


Figura 47 – Levantamento do estado da superfície – 100% da área total

Esta proposta alternativa aumenta, com certeza, o nível de confiabilidade no levantamento das manifestações de ruína externadas pelo pavimento ao longo do trecho, condição que assegura uma maior assertividade na definição da segmentação homogênea e nos cálculos dos IGG.

Assim, promoveu-se o cálculo dos ***Índices de Gravidade Global – IGG***, procedimento que se iniciou pela quantificação inicial das ocorrências de cada defeito nas estacas componentes do SH (Frequência absoluta - F_a) e da respectiva Frequência relativa - F_r de ocorrência, definida em função no número de estacas afetadas. Seguidamente, afetando-se as frequências relativas pelos fatores de responsabilidade estabelecidos para cada defeito específico, pôde-se calcular os respectivos Índices de Gravidade Individuais - IGI os quais, somados, permitiram definir os ***Índices de Gravidade Globais - IGG*** para todos os segmentos homogêneos.

AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E SEMI-RÍGIDOS
NORMA DNIT 006/2003 - PRO - RESUMO DIAGNÓSTICO DO PAVIMENTO

RODOVIA: GO-330 (2A) **PISTA/LADO:** SIMPLES/DIREITO
TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,830 km

SEGMENTO						OCORRÊNCIAS EM PORCENTAGEM (%)									MÉDIA TRILHAS DE RODA		IGG	
						(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)				
Nº	QUILÔMETRO INICIAL	QUILÔMETRO FINAL	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	FC-1	FC-2	FC-3	ALP / ATP	ALC / ATC	O, P, E	EX	D	R	TRI	TRE	VALOR	CONCEITO
1	0,000	2,000	0 + 0,00	100 + 0,00	2.000	4,0	11,0	78,0	10,0	47,0	15,0		13,0	41,0	4,1	3,5	178,4	PÉSSIMO
2	2,000	4,000	100 + 0,00	200 + 0,00	2.000	20,0	33,0	21,0	4,0	4,0	8,0		3,0	44,0	5,5	2,1	89,3	RUIM
3	4,000	6,000	200 + 0,00	300 + 0,00	2.000	1,0	16,0	80,0	19,0	38,0	6,0		3,0	15,0	4,7	3,9	155,4	RUIM
4	6,000	8,000	300 + 0,00	400 + 0,00	2.000	4,0	37,0	55,0	57,0	55,0	12,0		2,0	31,0	4,4	4,3	209,0	PÉSSIMO
5	8,000	11,440	400 + 0,00	572 + 0,00	3.440	PERÍMETRO URBANO												
6	11,440	13,440	572 + 0,00	672 + 0,00	2.000	16,0	28,0	34,0	2,0	1,0	3,0		1,0		1,7	1,6	58,2	REGULAR
7	13,440	15,440	672 + 0,00	772 + 0,00	2.000	22,0	31,0	26,0	5,0	14,0	2,0		1,0	3,0	2,3	1,7	74,3	REGULAR
8	15,440	17,440	772 + 0,00	872 + 0,00	2.000		2,0	98,0	1,0	43,6	6,9		6,9	12,9	5,2	4,5	170,9	PÉSSIMO
9	17,440	19,440	872 + 0,00	972 + 0,00	2.000	1,0	12,0	78,0	1,0	22,0	4,0		2,0	18,0	2,0	4,7	124,4	RUIM
10	19,440	21,440	972 + 0,00	1.072 + 0,00	2.000	8,1	30,3	39,4		7,1	2,0		13,1	4,0	3,2	1,2	71,5	REGULAR
11	21,440	23,440	1.072 + 0,00	1.172 + 0,00	2.000	6,0	29,0	31,0	2,0	4,0	3,0		3,0	2,0	4,3	1,6	61,3	REGULAR
12	23,440	25,440	1.172 + 0,00	1.272 + 0,00	2.000	6,0	25,0	39,0		29,0			13,0	6,0	5,5	2,3	95,9	RUIM
13	25,440	27,440	1.272 + 0,00	1.372 + 0,00	2.000	3,0	22,0	39,0	2,0	25,0	1,0		18,0	4,0	4,9	1,4	89,7	RUIM
14	27,440	29,440	1.372 + 0,00	1.472 + 0,00	2.000	14,0	20,0	11,0		12,0	5,0		9,0	1,0	1,2	2,1	48,7	REGULAR
15	29,440	31,440	1.472 + 0,00	1.572 + 0,00	2.000	11,0	30,0	30,0		5,0			2,0		2,9	1,7	56,4	REGULAR
16	31,440	33,440	1.572 + 0,00	1.672 + 20,00	2.000	8,0	12,0	34,0		11,0	3,0		1,0	9,0	3,6	1,0	64,7	REGULAR
17	33,440	35,440	1.672 + 20,00	1.772 + 20,00	2.000	4,0	14,0	40,0	1,0	27,0	1,0		17,0	3,0	1,9	3,5	90,4	RUIM
18	35,440	37,440	1.772 + 20,00	1.872 + 20,00	2.000		12,0	82,0	11,0	61,0	5,0		36,0	7,0	1,5	11,2	188,6	PÉSSIMO
19	37,440	39,440	1.872 + 20,00	1.972 + 20,00	2.000	2,0	11,0	76,0	3,0	42,0	5,0		6,0	8,0	7,5	2,0	155,6	RUIM
20	39,440	42,830	1.972 + 20,00	2.141 + 10,00	3.390	12,9	9,4	54,1	1,2	38,8	3,5		11,2	7,6	2,4	5,0	130,8	RUIM

Figura 48 – Segmentação Homogênea e Estados de Serventia externados pelo pavimento - DNIT PRO -006/2003 (Por Varredura Métrica)

Por fim, com o objetivo de propiciar uma visualização mais contextual, permitindo uma visão integral e o entrelaçamento dos parâmetros de comportamento considerados, os segmentos homogêneos foram dispostos ao longo de um linear sinóptico contemplando os valores do IGG detectados ao longo de cada SH, os valores de IRI , as flechas nas trilhas de roda e o inventário da superfície, considerando a ocorrência de todos os defeitos preconizados pela Norma DNIT PRO 006/2003; complementarmente, foram também definidas as extensões e os percentuais de ocorrência relativos a cada nível de serventia:

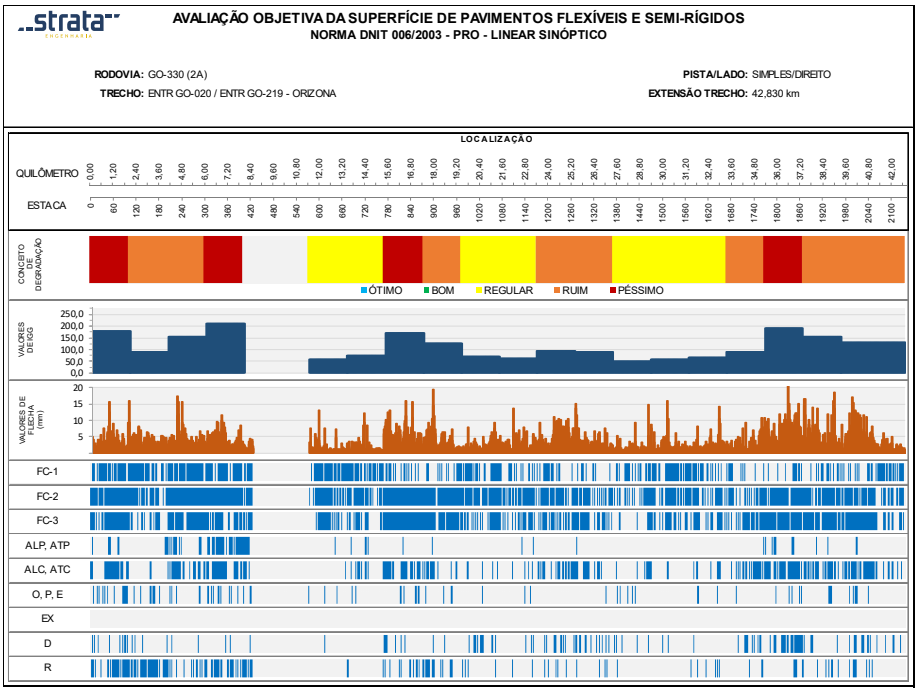


Figura 49 – Avaliação objetiva da superfície do pavimento - Linear Sinóptico Norma DNIT PRO-006/2003 (Varredura Métrica)

CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL (%)
ÓTIMO	0,000	0%
BOM	0,000	0%
REGULAR	13,980	35%
RUIM	17,400	44%
PÉSSIMO	8,020	21%

Figura 50 – Avaliação objetiva da superfície do pavimento – Percentuais de cada conceito Norma DNIT PRO-006/2003 (Varredura Métrica)

Entretanto, fundamentando-se em conversas com a equipe técnica da GOINFRA, a Strata Engenharia prosseguiu com a utilização dos valores de IGG por amostragem e em faixas alternadas, tal como preconiza a normativa DNIT PRO-006/2003, visando a aplicação objetiva da normativa em questão. As tabelas e gráficos de IGG por amostragem são dispostas a seguir:

AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E SEMI-RÍGIDOS
NORMA DNIT 006/2003 - PRO - RESUMO DIAGNÓSTICO DO PAVIMENTO

RODOVIA: GO-330 (2A) **PISTA/LADO:** SIMPLES/DIREITO
TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,830 km

SEGMENTO						OCORRÊNCIAS EM PORCENTAGEM (%)									MÉDIA TRILHAS DE RODA		IGG	
						(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)				
Nº	QUILÔMETRO INICIAL	QUILÔMETRO FINAL	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	FC-1	FC-2	FC-3	ALP / ATP	ALC / ATC	O, P, E	EX	D	R	TRI	TRE	VALOR	CONCEITO
1	0,000	2,000	0 + 0,00	100 + 0,00	2.000	5,0	24,0	35,0	3,0	22,0			4,0	16,0	4,2	3,7	96,4	RUIM
2	2,000	4,000	100 + 0,00	200 + 0,00	2.000	8,0	13,0	6,0	2,0	2,0			1,0	10,0	5,6	2,2	37,9	BOM
3	4,000	6,000	200 + 0,00	300 + 0,00	2.000	11,0	32,0	34,0	9,0	15,0				2,0	4,8	3,9	95,3	RUIM
4	6,000	8,000	300 + 0,00	400 + 0,00	2.000	6,0	27,0	24,0	26,0	24,0				4,0	4,2	4,1	102,8	RUIM
5	8,000	11,440	400 + 0,00	572 + 0,00	3.440	PERÍMETRO URBANO												
6	11,440	13,440	572 + 0,00	672 + 0,00	2.000	12,0	22,0	8,0	3,0	1,0			1,0	1,0	1,8	1,8	34,0	BOM
7	13,440	15,440	672 + 0,00	772 + 0,00	2.000	10,0	13,0	13,0	1,0	7,0	1,0			2,0	2,5	2,3	55,2	REGULAR
8	15,440	17,440	772 + 0,00	872 + 0,00	2.000		14,9	83,2	5,9	27,7	1,0		3,0	5,9	5,9	5,0	153,5	RUIM
9	17,440	19,440	872 + 0,00	972 + 0,00	2.000		22,0	56,0	14,0	11,0	1,0		2,0	5,0	1,7	4,2	98,6	RUIM
10	19,440	21,440	972 + 0,00	1.072 + 0,00	2.000	7,1	26,3	26,3	5,1	14,1	2,0		3,0	5,1	3,1	1,0	67,0	REGULAR
11	21,440	23,440	1.072 + 0,00	1.172 + 0,00	2.000	2,0	31,0	6,0	4,0	8,0	1,0		1,0	1,0	3,6	1,9	45,6	REGULAR
12	23,440	25,440	1.172 + 0,00	1.272 + 0,00	2.000	7,0	27,0	18,0	2,0	21,0			5,0	1,0	5,4	2,4	70,3	REGULAR
13	25,440	27,440	1.272 + 0,00	1.372 + 0,00	2.000	6,0	22,0	14,0	3,0	21,0			8,0	2,0	3,1	1,1	56,0	REGULAR
14	27,440	29,440	1.372 + 0,00	1.472 + 0,00	2.000	7,0	15,0	6,0		14,0	2,0		1,0	1,0	1,9	1,5	39,5	BOM
15	29,440	31,440	1.472 + 0,00	1.572 + 0,00	2.000	14,0	13,0	8,0		4,0				1,0	1,9	1,3	25,3	BOM
16	31,440	33,440	1.572 + 0,00	1.672 + 20,00	2.000	14,0	9,0	15,0	1,0	9,0	1,0		2,0	2,0	2,7	1,1	40,0	REGULAR
17	33,440	35,440	1.672 + 20,00	1.772 + 20,00	2.000		21,0	15,0	4,0	6,0	1,0		4,0	1,0	2,0	3,7	52,7	REGULAR
18	35,440	37,440	1.772 + 20,00	1.872 + 20,00	2.000	1,0	35,0	47,0	12,0	34,0	1,0		9,0		3,2	9,6	140,1	RUIM
19	37,440	39,440	1.872 + 20,00	1.972 + 20,00	2.000	3,0	28,0	43,0		40,0	1,0		1,0	4,0	7,4	2,7	132,8	RUIM
20	39,440	42,830	1.972 + 20,00	2.141 + 10,00	3.390	10,6	17,6	21,2	2,9	18,8	0,6		3,5	2,9	3,1	3,2	78,0	REGULAR

Figura 51 – Segmentação Homogênea e Estados de Serventia externados pelo pavimento - DNIT PRO -006/2003 (Por Amostragem)

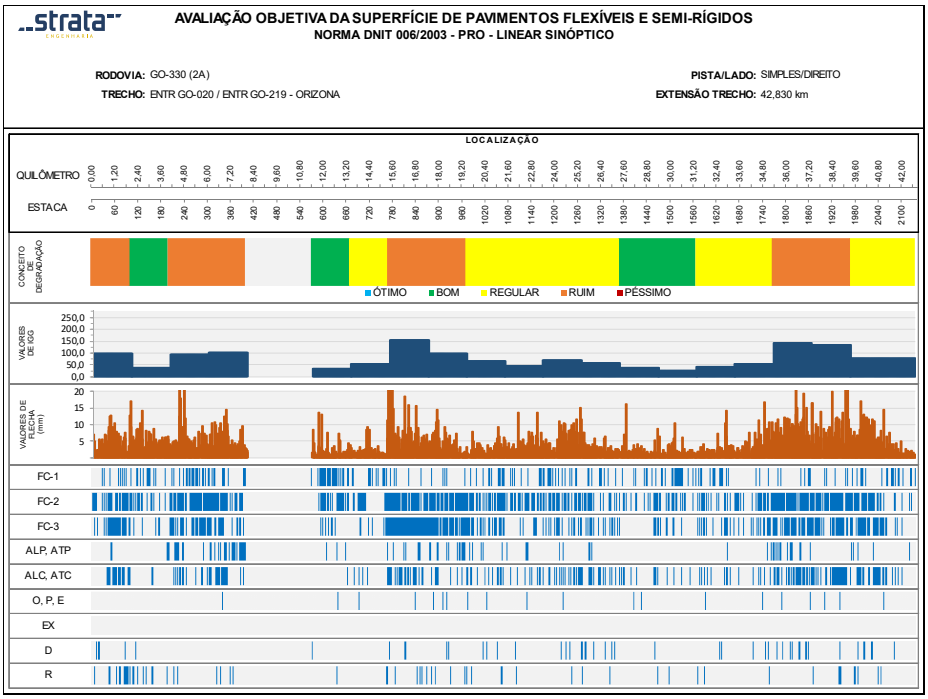


Figura 52 – Avaliação objetiva da superfície do pavimento - Linear Sinóptico
Norma DNIT PRO-006/2003 (Por Amostragem)

CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL (%)
ÓTIMO	0,000	0%
BOM	8,000	20%
REGULAR	17,380	44%
RUIM	14,020	36%
PÉSSIMO	0,000	0%

Figura 53 – Avaliação objetiva da superfície do pavimento – Percentuais de cada conceito
Norma DNIT PRO-006/2003 (Por Amostragem)

4.2.4.5. Considerações sobre os resultados obtidos pela Norma DNIT 006/2003-PRO

O arcabouço técnico da Norma DNIT PRO - 006/2003 ***encerra-se com a definição dos segmentos de comportamento homogêneo***, etapa última que faculta o cálculo das deflexões características (***Dc = Do + σ)*** que, afetadas de um fator sazonal - F_s, permitem calcular as deflexões de projeto (***Dp = Dc x F_s)*** representativas das condições "estruturais" externadas pelo pavimento ao longo de cada segmento homogêneo. Não obstante, com base nos levantamentos efetuados, julga-se que análises e interpretações mais específicas dos tipos, das gêneses e das incidências (concentrações e/ou ausências) das manifestações de ruína constatadas, somadas às magnitudes dos parâmetros de comportamento obtidos, podem contribuir para a definição de solução restauradora mais adequada.

No caso presente, a análise preliminar do estado de conservação do pavimento existente iniciou-se com uma visita de inspeção técnica ao campo efetuada pela equipe técnica da Strata Engenharia de forma a criar sensibilidade e obter uma melhor compreensão das condições espectrais e de contorno de todos os subsistemas vinculados ao pavimento; a crença stratiana é de que "o espírito mora o campo".

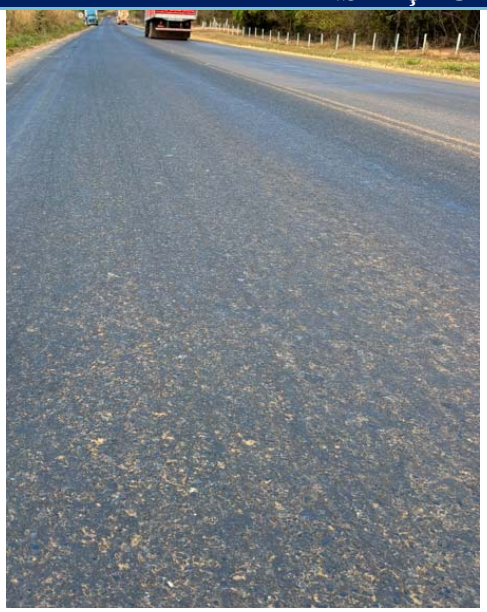
Em uma classificação funcional demonstrada pela norma DNIT 006/2003, combinada com uma análise visual feita em campo pela equipe, foi observado que a rodovia apresenta índices elevados de degradação em grande parte da sua extensão. Os valores de IRI observados, reafirmam que há necessidade de intervenções na via, tendo em vista que os conceitos "Regular", "Ruim" e "Péssimo" representam cerca de 85% do trecho. Algumas frações distribuídas ao longo do trecho apresentaram valores satisfatórios de Irregularidade Longitudinal, essa boa condição é reflexo das recentes intervenções realizadas esporadicamente ao longo da via, mas com destaque nos quilômetros iniciais. Em compasso com a irregularidade longitudinal, há também a ocorrência de variações nos valores de flecha nas trilhas de roda, que assim como na irregularidade longitudinal, demonstraram uma representatividade maior de valores insatisfatórios do índice, embora existam pontos dispersos em que as condições se mostraram melhores.

Quanto aos Índices de Gravidade Global (IGG), tradutores dos graus de severidade externados pelo pavimento no que tange às suas serventias, os valores médios obtidos para o pavimento do trecho em questão confirmam as inadequadas condições do pavimento constatadas *in loco* pela equipe técnica da consultora, com efeito, verificou-se o predomínio absoluto dos conceitos **Ruim** (80<IGG<160, em 44% do total do trecho, em uma extensão de 17,40km), **Regular** (40<IGG<80 em 35% do total do trecho, em uma extensão de 13,98km), complementado pelo conceito **Péssimo** (20<IGG<40 em cerca de 21% do total do trecho, correspondente a uma extensão de 8,02km). Tais percentuais exemplificam a insegurança a que se sujeita o usuário ao trafegar pela referida 0via, assertiva afiançada pelo fato de que não houve ocorrência dos conceitos **Ótimo** e **Bom.**

Por fim, é importante fazer uma análise acerca do tráfego atuante no trecho em questão, uma vez que essa é uma variável que contribui significa mente para o nível de degradação existente no pavimento. Como já mencionado anteriormente, o tráfego é composto por uma notável parcela de veículos de carga, o que resulta em um tráfego relativamente elevado. Os números "N" de solicitações de eixos-padrão de 8,2t previstos para atuar o pavimento pós-restauração, para um período de projeto de 10 anos, são – $N_{USACE} = 1{,}32 \times 10^7$ e $N_{AASHTO} = 3{,}60 \times 10^6$ no **P04,** e de $N_{USACE} = 3{,}06 \times 10^7$ e $N_{AASHTO} = 8{,}50 \times 10^6$ no **P05.**

A partir da conceituação de serventia estabelecida com base na metodologia DNIT PRO-006/2006 buscou-se ilustrar as informações obtidas através de um mosaico fotográfico apresentado a seguir.

QUADRO 1
INSPEÇÃO VISUAL DO TRECHO

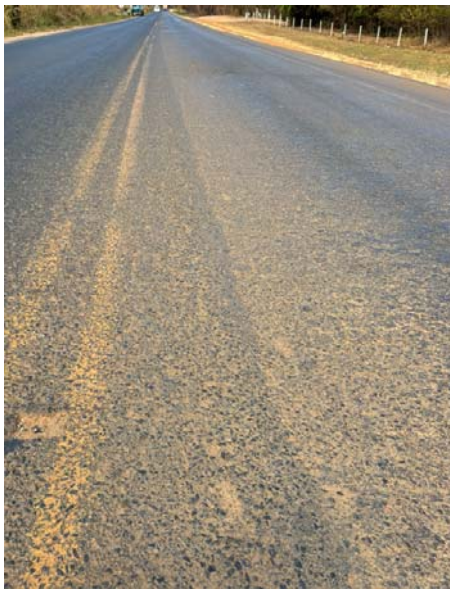






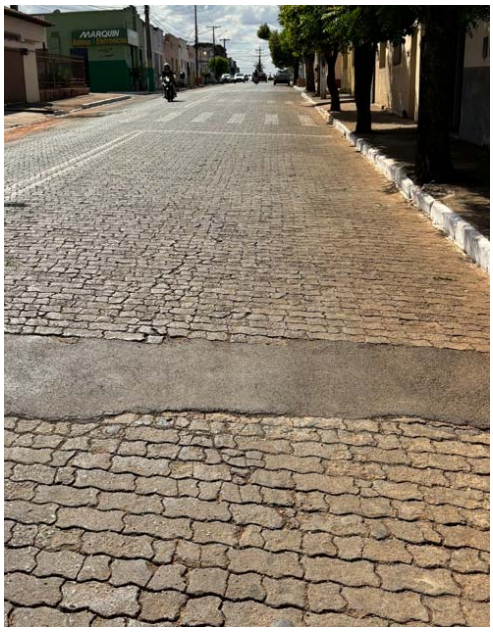














4.2.5. METODOLOGIA PARAGON PARA AVALIAÇÃO E DIAGNÓTICOS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

No âmbito da presente metodologia de avaliação de pavimentos asfálticos, a proposição primeira consiste em se promover uma visita de inspeção técnica ao campo com o objetivo de adquirir uma maior sensibilidade sobre a natureza das principais degradações existentes, o estado de serventia vigente, as hierarquias e predominâncias do sistema envoltório, as características das drenagens superficial e profunda, manifestações de umidade excessiva e composição da frota solicitante.

4.2.5.1. Levantamento Histórico do Pavimento Existente

No desenvolvimento de um Projeto de Restauração considera-se de importância superior a obtenção de todas as informações disponíveis acerca do histórico do pavimento existente, tais como dados e elementos relativos à sua constituição e aos materiais empregados, as intervenções de conservação corretiva/periódica e de reabilitação já realizadas, as respectivas datas de entrega do pavimento para tráfego, etc.

Complementarmente, de forma a se obter informações com maior nível de detalhes, considera-se imprescindível obter entrevistas com os Engenheiros Residentes / Regionais, procedimentos que em conjunto devem propiciar subsídios bastante consistentes e esclarecedores, podendo-se destacar dentre eles:

- Características da constituição do pavimento original;
- Ações de conservação, intervenções de manutenção/restauração já executadas;
- Projetos existentes (antigos) de pavimentação e/ou restauração;
- Datas da entrega dos pavimentos original e restaurado ao tráfego;
- Características do tráfego usuário (cargas típicas, sazonalidade, desvios, polos regionais e rotas de adesão, faixa de tráfego mais solicitada, percentagens de veículos comerciais carregados, etc.);
- Características específicas dos solos de fundação regionais;
- Comportamentos específicos ou peculiaridades dos materiais constituintes do pavimento e dos solos de fundação e eventuais restrições;
- Dificuldades de emprego e de aplicação dos materiais granulares disponíveis;
- Jazidas (materiais granulares, pedreiras e areais) empregadas na construção ou em intervenções corretivas, restaurações ou em estradas vizinhas;
- Insucessos verificados, maciços instáveis, presença de água, etc.;
- Características regionais relevantes sobre hidrologia, geologia, clima, etc.

No presente caso, o levantamento histórico do pavimento é parte integrante do contrato de prestação de serviços e foi desenvolvido na Etapa 1. Foram expostas algumas informações pesquisadas pela consultora, mas várias outras não foram encontradas. A contratante alegou não deter mais informações além daquelas encontradas.

4.2.5.2. Avaliação da Características Funcionais

4.2.5.2.1. Introdução

O princípio basilar da metodologia Paragon alicerça-se na crença de que o diagnóstico de um pavimento não pode se fundamentar na definição de um único parâmetro, determinado a partir do tratamento conjunto e miscigenado de diferentes manifestações de ruína, sem se ter em conta, de forma individualizada, suas naturezas, gravidades, estágios evolutivos, níveis e percentuais de ocorrência. Assim, na busca de uma solução deste questionamento, a alternativa que melhor se apresentou foi a de se contemplar, de forma particularizada, todas as famílias que traduzem os comportamentos se um sistema composto pelo pavimento – solo de fundação, definidos em termos de degradações superficiais e de deformações permanentes e também em termos da deformabilidade imposta ao sistema pelas cargas impingidas pelo tráfego.

Deste modo, acredita-se que a consideração individualizada das características de ***degradação superficial*** (fissuras, panelas, remendos, desgaste, migrações *per ascensum*, escorregamentos de massa, etc.) e de ***deformação permanente*** (irregularidades longitudinal e transversal, afundamentos localizados plásticos e por consolidação, estufamentos, assentamentos diferenciais e/ou rupturas de maciços terrosos, etc.), associadas às características de ***deformabilidade elástica*** (deflexão reversível máxima) experimentada pelos pavimentos rodoviários solicitados exteriormente, poderia traduzir, quando consideradas concomitantemente, um espectro capaz de exprimir, de modo consistente e abrangente, o nível de "sanidade" – ou o diagnóstico – externado por um pavimento rodoviário.

Assim, foram concebidos os procedimentos para se processar preliminarmente os ***diagnósticos parciais*** – por família comportamental – e por fim, o ***diagnóstico global*** – considerando em conjunto todos os índices caracterizadores – procedimento esse que tem por missão precípua permitir a definição dos "**estados de sanidade**" externados pelo pavimento ao longo de toda a sua extensão; a partir dessa caracterização, o "***remédio***" adequado se apresenta naturalmente, permitindo a concepção das medidas corretivas requeridas.

Paralelamente a todo esse trabalho, considerando o tipo e a natureza das distintas manifestações de ruína, associadas às diferentes origens e formas de ocorrência, julgou-se que outras modificações nos critérios usuais de avaliação superficial se faziam de importância superior, principalmente os seguintes:

- considerar, de forma individualizada os *distintos tipos de revestimentos asfálticos* de um pavimento, os quais abrigam manifestações de ruína por vezes completamente distintas;
- promover avaliações dos defeitos por faixas de tráfego individualizadas e em *contínuo*;
- promover análises do pavimento estaca por estaca haja vista que a possibilidade de se poder quantificar as ocorrências de defeitos através de "varredura métrica" – metro a metro – permite a quantificação numérica e percentual dos defeitos em universos de análise correspondentes a 20 m.



Figura 54 - Processo de levantamento das degradações superficiais
(por faixa de tráfego, por tipo de revestimento, em contínuo)



Figura 55 - Processo de levantamento das degradações superficiais por varredura métrica

Seguidamente, com base na verificação de ocorrência de defeitos em cada um dos 20 intervalos métricos, calcula-se a frequência absoluta - f_a de cada um deles (número de semi-intervalos métricos afetados) e em seguida a sua frequência relativa - f_r, considerando o seu percentual de ocorrência (de cada defeito) ao longo do universo de análise (20 m); como a frequência relativa é definida pela relação entre o número de vezes que o defeito foi detectado – ocorrência por intervalo métrico – e o número total de metros que compõe o universo de análise, tem-se:

$$f_r = \frac{número\ de\ semi-intervalos\ de\ 1{,}0\ m\ afetados}{20}\ x\ 100$$

Cada uma das manifestações de ruína consideradas apresenta, consoante as suas natureza e severidade, um determinado ***peso de responsabilidade*****,** o qual deve ser considerado na caracterização da sanidade do pavimento e, consequentemente, na seleção da medida corretiva requerida. Assim, procurou-se conferir, a cada defeito considerado um ***fator de ponderação***, capaz de exprimir a sua gravidade individual e relativa e, concomitantemente, a importância de seus reflexos na definição da operação corretiva a empreender.

Por outro lado, como forma de resolver as proposições de levantamento em contínuo, dadas as extensões normais dos trechos a serem restaurados, faz-se naturalmente importante a aplicação de equipamentos e tecnologias de ponta. Assim, a avaliação das condições de degradação superficial e de deformação permanente externadas pelo pavimento foi processada através de quatro equipamentos distintos – já apresentados anteriormente –, todos integrados no ***MultiFunction***: os ***Vídeos-Registros Digitais*** de altíssima resolução, os ***Perfilômetros a Laser Longitudinal e Transversal*** para a medição dos graus de irregularidade longitudinal (IRI) e transversal (Flechas nas trilhas de roda) em contínuo externados pelo pavimento e o ***Orthogonal Pavement Recorder***, equipamento que permite a *identificação e localização* das degradações e deformações permanentes extensas e de caráteres localizados e/ou pontuais.

4.2.5.2.2. Avaliação das Características de Degradação Superficial

Para a avaliação das características de degradação superficial promoveu-se, inicialmente, a identificação e agrupamento das mais distintas manifestações de ruína de caráter superficial ocorrentes em um pavimento asfáltico tendo em conta suas naturezas e respectivas gêneses. Seguidamente, com a preocupação maior de se contemplar todo o universo de degradações, foram definidos os ordenamentos, as formas de enquadramento familiar e estabelecidas as respectivas codificações.

IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS (REVESTIMENTO TIPO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE)						
NATUREZA DA OCORRÊNCIA SUPERFICIAL					CODIFICAÇÃO	
TRINCAMENTO	AUSÊNCIA APARENTE DE FALHAS NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO				OK	
	TRINCAS ATRIBUÍDAS À FADIGA DE MISTURAS ASFÁLTICAS OU À REFLEXÃO DE TRINCAS DA CAMADA DE BASE	TRINCAS ISOLADAS	FISSURAS INCIPIENTES		FI	FC-1
			LONGITUDINAL	CURTA	TLC	
				LONGA	TLL	
			TRANSVERSAL	CURTA	TTC	
				LONGA	TTL	
		TRINCAS INTERLIGADAS	"JACARÉ"	SEM EROSÃO ACENTUADA NOS BORDOS	J	FC-2
				COM EROSÃO ACENTUADA NOS BORDOS	JE	FC-3
	TRINCAS DE PADRÃO ORTOGONAL ATRIBUÍDAS A ACOMODAÇÕES VOLUMÉTRICAS OU DISSECAÇÃO DA CAMADA DE BASE (RETRAÇÃO TÉRMICA)		TRINCAS EM BLOCOS	BLOCOS SEM EROSÃO NOS BORDOS	TB	FC-2
				BLOCOS COM EROSÃO NOS BORDOS	TBE	FC-3
	TRINCAS ATRIBUÍDAS AO ESCORREGAMENTO DE MASSA ASFÁLTICA (ESPESSA)		TRINCAS PARABÓLICAS OU ESCONSAS SEQUENCIAIS DE ESCORREGAMENTO NAS TRILHAS DE RODA		TPE	FC-3
	TRINCAS HIGROTÉRMICAS DEVIDAS A VARIAÇÕES DE UMIDADE NO CORPO DO ATERRO E/OU CAMADAS GRANULARES		LONGITUDINAIS E/OU TRANSVERSAIS NOS ACOSTAMENTOS E/OU NOS BORDOS DO PAVIMENTO		TH	FC-2
	TRINCAS ASSOCIADAS AO CISALHAMENTO OU CORTE DA CAMADA DE BASE		TRINCAS OCORRENTES ENTREMEIO ÀS BORDAS DAS TRILHAS DE RODA ASSOCIADAS AO CISALHAMENTO DA CAMADA DE BASE		TCB	FC-3
	TRINCAS ASSOCIADAS A DEFORMAÇÕES PERMANENTES EXCESSIVAS		TRINCAS OCORRENTES DEVIDO A DEFORMAÇÕES PLÁSTICAS EXCESSIVAS DAS CAMADAS DE BASE E/OU DO REVESTIMENTO		TDP	FC-3
	TRINCAS ASSOCIADAS À PERDA DE MATERIAIS POR BOMBEAMENTO DE FINOS		TRINCAS PADRÃO FADIGA QUE EXTERNAM O BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM FINOS		TPM	FC-3
	TRINCAS ATRIBUÍDAS À CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL DE MACIÇOS TERROSOS		TRINCAS SEMICIRCULARES ATRIBUÍDAS À CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL OU ROMPIMENTO DE MACIÇOS TERROSOS		TRA	FC-3
PANELAS (DESAGREGAÇÃO DO REVESTIMENTO COM OU SEM COMPROMETIMENTO DA BASE)					P	
"PELADAS"					PEL	
REMENDOS	PADRÕES (SUPERFICIAIS OU PROFUNDOS)				RP	
	EMERGENCIAIS ("TAPA-PANELAS")				RE	
DESAGREGAÇÃO OU DESGASTE DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO					DSG	
DEFEITOS EXECUTIVOS	SEGREGAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA				SEG	
	MIGRAÇÕES PER ASCENSUM			AFLORAMENTO INCIPIENTE DE LIGANTE	EXI	
				AFLORAMENTO DO LIGANTE (EXSUDAÇÃO)	EX	
TEXTURA MUITO LISA OU ESPELHAMENTO				PROFUNDIDADE DE TEXTURA INADEQUADA OU POLIMENTO DAS ASPEREZAS	TEX	

Figura 56 – Identificação e Codificação das Degradações Superficiais.

A mencionada relatividade do fator de ponderação foi naturalmente instituída ao se selecionar o defeito padrão de referência que simbolizasse o maior grau de comprometimento do comportamento funcional do pavimento. Para o caso das degradações superficiais, foi eleita, como padrão referencial, a "***panela***", traduzida por desagregações concentradas do revestimento, atingindo por vezes a camada de base; os defeitos considerados e os respectivos pesos de responsabilidade (ou de severidade) atribuídos são indicados a seguir, lembrando que a atribuição dos pesos teve como premissa básica proporcionar uma classificação do pavimento que retratasse fielmente o seu estado de sanidade:

PESOS DE RESPONSABILIDADE DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS
(REVESTIMENTO TIPO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE)

NATUREZA DA OCORRÊNCIA SUPERFICIAL					CODIFICAÇÃO		FATOR DE PONDERAÇÃO
TRINCAMENTO	AUSÊNCIA APARENTE DE FALHAS NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO				OK		-
	TRINCAS ATRIBUÍDAS À FADIGA DE MISTURAS ASFÁLTICAS OU À REFLEXÃO DE TRINCAS DA CAMADA DE BASE	TRINCAS ISOLADAS	FISSURAS INCIPIENTES		FI	FC-1	0,4
			LONGITUDINAL	CURTA	TLC		
				LONGA	TLL		
			TRANSVERSAL	CURTA	TTC		
				LONGA	TTL		
		TRINCAS INTERLIGADAS	"JACARÉ"	SEM EROSÃO ACENTUADA NOS BORDOS	J	FC-2	0,8
				COM EROSÃO ACENTUADA NOS BORDOS	JE	FC-3	0,9
	TRINCAS DE PADRÃO ORTOGONAL ATRIBUÍDAS A ACOMODAÇÕES VOLUMÉTRICAS OU DISSECAÇÃO DA CAMADA DE BASE (RETRAÇÃO TÉRMICA)		TRINCAS EM BLOCOS	BLOCOS SEM EROSÃO NOS BORDOS	TB	FC-2	0,7
				BLOCOS COM EROSÃO NOS BORDOS	TBE	FC-3	0,9
	TRINCAS ATRIBUÍDAS AO ESCORREGAMENTO DE MASSA ASFÁLTICA (ESPESSA)		TRINCAS PARABÓLICAS OU ESCONSAS SEQUENCIAIS DE ESCORREGAMENTO NAS TRILHAS DE RODA		TPE	FC-3	0,7
	TRINCAS HIGROTÉRMICAS DEVIDAS À VARIAÇÕES DE UMIDADE NO CORPO DO ATERRO E/OU CAMADAS GRANULARES		LONGITUDINAIS E/OU TRANSVERSAIS NOS ACOSTAMENTOS E/OU NOS BORDOS DO PAVIMENTO		TH	FC-2	0,7
	TRINCAS ASSOCIADAS AO CISALHAMENTO OU CORTE DA CAMADA DE BASE		TRINCAS OCORRENTES ENTREMEIO ÀS BORDAS DAS TRILHAS DE RODA ASSOCIADAS AO CISALHAMENTO DA CAMADA DE BASE		TCB	FC-3	*
	TRINCAS ASSOCIADAS A DEFORMAÇÕES PERMANENTES EXCESSIVAS		TRINCAS OCORRENTES DEVIDO A DEFORMAÇÕES PLÁSTICAS EXCESSIVAS DAS CAMADAS DE BASE E/OU DO REVESTIMENTO		TDP	FC-3	*
	TRINCAS ASSOCIADAS À PERDA DE MATERIAIS POR BOMBEAMENTO DE FINOS		TRINCAS PADRÃO FADIGA QUE EXTERNAM O BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM FINOS		TPM	FC-3	*
	TRINCAS ATRIBUÍDAS À CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL DE MACIÇOS TERROSOS		TRINCAS SEMICIRCULARES ATRIBUÍDAS À CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL OU AO ROMPIMENTO DE MACIÇOS TERROSOS		TRA	FC-3	*
PANELAS (DESAGREGAÇÃO DO REVESTIMENTO COM OU SEM COMPROMETIMENTO DA BASE)					P		1,0
"PELADAS"					PEL		0,2
REMENDOS	PADRÕES (SUPERFICIAIS OU PROFUNDOS)				RP		0,4
	EMERGENCIAIS ("TAPA-PANELAS")				RE		0,5
DESAGREGAÇÃO OU DESGASTE DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO					DSG		0,1
DEFEITOS EXECUTIVOS**	SEGREGAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA				SEG		0,5
	MIGRAÇÕES *PER ASCENSUM*	INDÍCIOS DE AFLORAMENTO DO LIGANTE (INCIPIENTE)			EXI		0,3
		AFLORAMENTO DO LIGANTE (EXSUDAÇÃO)			EX		0,5
TEXTURA MUITO LISA OU ESPELHAMENTO		PROFUNDIDADE DE TEXTURA INADEQUADA OU POLIMENTO DAS ASPEREZAS			TEX		***

* As trincas ocorrentes em locais onde se verificam o cisalhamento/corte da camada de base ou deformações plásticas excessivas e que evidenciam perdas intensas de material por bombeamento (moagem dos agregados pétreos da camada asfáltica ou de saturação superficial da camada de base) devem ser devidamente registradas, mas não devem ser consideradas no âmbito da ponderação para determinação dos estados de senidade, haja vista que suas existências já determinam, por si, a reconstrução parcial do pavimento; as trincas atribuídas ao mau comportamento de maciços terrosos, traduzidos por consolidações diferenciais ou rupturas, embora existentes e graves, não dizem respeito ao comportamento dos pavimentos; de igual forma, devem ser levantadas mas não serão pontuadas, pois suas existências já denotam gravidades que requerem naturalmente reconstruções do maciço terroso e do pavimento;

** Os defeitos executivos – exsudação e segregação de massa – são antagônicos, pois a ocorrência de um elimina a possibilidade de existência do outro, por isso integram o mesmo grupo;

*** Defeitos superficiais ainda não respeitados no Brasil, de importância significativa, a serem considerados futuramente.

Figura 57 - Pesos de responsabilidade das degradações superficiais

Portanto, uma vez definida a frequência relativa de ocorrência dos defeitos manifestados ao longo do intervalo entre duas estacas, consideradas as ocorrências em semi-intervalos de 1,0 m, e dispondo-se dos respectivos pesos de responsabilidade, pôde-se calcular um índice ponderado individual, tradutor da severidade de cada defeito, por estaca. Este ***Índice de Severidade Individual - ISI_{DS}*** foi, portanto, calculado através da expressão:

$$ISI_{DS} = \textbf{frequência relativa x fator de ponderação}$$

Finalmente, dispondo-se do ISIDS correspondente a cada defeito ocorrente por estaca, pôde-se definir o ***Índice de Severidade Global - ISGDS***, por estaca, correspondente à soma de todos os índices individuais verificados a cada intervalo de 20,0m; o valor do ISGDS foi então obtido através da expressão:

$$ISG_{DS} = \Sigma\, ISI_{DS}$$

À consideração deste condicionamento e em face à concepção das escalas de severidade adotadas, constata-se que, qualquer que seja o estado de degradação superficial, o correspondente índice de severidade global - ISGDS será representado por um número necessariamente compreendido entre ***0 e 320 (CBUQ)***; este parâmetro definidor do *estado de degradação superficial do pavimento* traduze, em razão direta, o seu grau de deterioração e, por conseguinte, a magnitude de sua carência corretiva.

Definido, portanto, o intervalo máximo de variação do ISGDS, verificou-se a existência de formulação matemática capaz de traduzir a lei de variação dos valores individuais; o objetivo maior dessa busca analítica foi o de se definir grupos de estados de sanidade que, pelas suas similaridades, demandassem soluções corretivas análogas e/ou equivalentes. Fundamentou essa tese a certeza de que pequenas oscilações nos valores do ISGDS não traduziriam diferenças significativas nas condições de sanidade superficial do pavimento suficientes para demandar soluções corretivas distintas.
Destarte, verificou-se que os intervalos globais de área afetada abrigavam, de maneira notável e surpreendente, uma distribuição exata dos níveis de sanidade regida por uma ***lei logarítmica de base 2***, ou seja, por uma ***progressão geométrica de razão igual 2***, assim traduzida:

DISTRIBUIÇÃO DE NÍVEIS REGIDOS POR LEI LOGARÍTMICA DE BASE 2	
INTERVALOS (CBUQ)	
0	20
20	40
40	80
80	160
160	320

Figura 58 - Distribuição de níveis regidos por uma Lei Logarítmica

Acreditando nessa justaposição matemática, procurou-se seguidamente definir ***níveis conceituais*** que pudessem exprimir, com a distinção necessária, os diferentes estados que um pavimento pode externar quando avaliado sobre o prisma das degradações superficiais. A seleção final, alicerçada por outros procedimentos de análise, conduziu à consideração de cinco estágios conceituais considerados bastantes e suficientes para definir, de maneira discreta, os estados de sanidade dos pavimentos:

CONCEITUAÇÃO DOS ESTADOS DE SANIDADE
Excelente
Bom
Regular
Mau
Péssimo

Figura 59 - Conceituação dos Estados de Sanidade

Assim definido, promoveu-se o cotejamento entre os níveis conceituais agora considerados com os intervalos do ISGDS anteriormente definidos, não só no que diz respeito ao número de conceitos-intervalos definidos, como também no que tange às suas compatibilizações. Para o

efeito, julgou-se que a avaliação conjugada do parâmetro considerado poderia ser também ajuizada a partir do confronto entre a magnitude de cada intervalo de variação do ISG_{DS} - áreas comprometidas e seus percentuais relativamente à área total - e a qualificação conceitual a lhe ser atribuída.

A análise dos resultados evidenciou uma correlação soberana entre os níveis de sanidade externados, os intervalos de variação do ISG_{DS} e os percentuais de área degradada. A constatação efetuada evidenciou uma *regra matemática* (não cabalística) disciplinadora da relação entre os percentuais de área degradada de um pavimento e os estados de degradação superficial externados pelos pavimentos rodoviários; essa dedução matemática que permitiu definir a porcentagem de área comprometida para cada um dos estados de sanidade considerados, é sintetizada na figura apresentada a seguir:

Correlação entre os Valores do ISG_{DS}, os Estados de Degradação Superficial e as Percentagens de Área Comprometida
(Revestimento-Tipo: Concreto Betuminoso Usinado à Quente - CBUQ)

Estados de Degradação Superficial	Intervalos de Variação do ISG_{DS}	Área do Pavimento Afetada (%)
Excelente	0 - 20	0 - 6,25
Bom	20 - 40	6,25 - 12,5
Regular	40 - 80	12,5 - 25,0
Mau	80 - 160	25,0 - 50,0
Péssimo	160 - 320	50,0 - 100,0

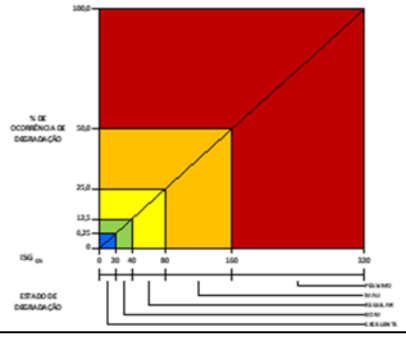


Figura 60 - Representação Gráfica da Correlação ISG_{DS} x Estados de Degradação (CBUQ)

A título ilustrativo e de forma a espelhar uma melhor "realidade virtual" procurou-se representar, em conformação completamente estocástica, as áreas comprometidas através de pequenos blocos métricos de 1,0 m^2, distribuídos no plano superficial correspondente à área global - extensão de 20,0m e largura de 3,5m - de formas individualizada ou em composição; os blocos individuais representando as "panelas" e as composições (conjuntos de 2 e 3 "blocos") representando remendos, fissuras, etc. Os resultados obtidos, ilustrados na representação gráfica apresentada a seguir, externam a enorme sensibilidade dos valores logarítmicos e validam, de forma magistral, os limites de comprometimento definidos por cada estado de sanidade:

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	% DE ÁREA COMPROMETIDA	ISG_{DP}	
		CBUQ	TSD
	100,00%	320	320
	50,00%	160	160
	25,00%	80	80
	12,50%	40	40
	6,25%	20	20
	0,00%	0	0

Figura 61 - Representação Gráfica dos percentuais de área comprometida

Estabelecida a identidade deste conjunto de caracteres, julgou-se importante promover a discretização dos valores do ISG_{DS} compreendidos entre 0 e 320, haja vista a magnitude de suas variações, difícil memorização. Considerando, pois, a escala conceitual variando de 0 a 5, bastaria que o novo parâmetro fosse representado por uma função de transferência do tipo:

CORRELAÇÃO ISG_{DS} x Z_{DS}	
Z_{DS}	ISG_{DS}
0	0
1	20
2	40
3	80
4	160
5	320

Figura 62 - Correlação ISG_{DS} x Z_{DS}

a qual poderia ser regida por dois segmentos complementares: compreendidos entre 0 e 20, regidos por uma relação linear e entre 20 e 320, regidos por uma relação logarítmica de base 2, os resultados obtidos ($r^2 = 1$) assim expressaram:

- para $0 \leq ISG_{DS} \leq 20$:

$$Z_{DS} = \frac{ISG_{DS}}{20}$$

- para $ISG_{DS} > 20$:

$$Z_{DS} = log_2 \frac{2\ x\ ISG_{DS}}{20}$$

Finalmente, julgou-se oportuno e conveniente remeter todos os índices concebidos pela metodologia Paragon à uma escala similar às escalas usuais – AASTHO, DNIT, etc. – inversa à presentemente estabelecida, considerando as melhores qualificações consoante uma escala crescente. Para o efeito, bastou considerar um artifício matemático representado pela diferença: 5,0 - Z_{DS} que passou a definir um novo indicador comportamental, o **Índice da Condição de Degradação Superficial – ICDS**, que expresso numa lei logarítmica decimal, é definido por:

- para $0 \leq ISG_{DS} \leq 20$:

$$ICDS = 5 - 0,05\ x\ ISG_{DS}$$

- para $ISG_{DS} > 20$:

$$ICDS = 9,3219 - 3,32193\ x\ log\ ISG_{DS}$$

4.2.5.2.3. Avaliação das Características de Deformação Permanente

De uma forma geral, verifica-se uma tendência de se tratar parâmetros tradutores de deformações permanentes miscigenados com parâmetros tradutores de degradações superficiais; no Brasil, por exemplo, o cálculo do ***IGG – Índice de Gravidade Global*** é processado contemplando a miscigenação das características de degradação superficial com a irregularidade transversal (flechas nas trilhas de roda) sem consideração da irregularidade longitudinal (IRI).

Pelas metodologias usuais, no processo de avaliação da *irregularidade longitudinal*, busca-se ajuizar o nível de deformações permanentes verificadas através da medição do parâmetro ***International Roughness Index – IRI***, o qual é considerado como qualificado para traduzir, de forma plena, toda sorte de malformações geométricas que comprometem a integridade superficial do pavimento (ondulação, corrugação, empolamento/calotas dendríticas, estufamento, desintegração, desagregação, etc.). Na avaliação da *irregularidade transversal* procura-se definir a magnitude das deformações permanentes através da medição pura e simples das ***flechas em ambas as trilhas de roda ($F_{máx}$)***, as quais são consideradas a partir da média calculada; no cálculo do IGG, tem-se em conta concomitantemente, para além do valor médio, a variância da população.

No âmbito da metodologia Paragon procurou se identificar de forma mais precisa e específica o universo das deformações permanentes avaliáveis a partir das medições das irregularidades longitudinal (IRI) e transversal (flechas nas trilhas de roda) e também as demais, de caracteres localizados e não detectáveis pelos dois processos de medição retrocitados. Para o efeito, definiu-se o universo das deformações permanentes consideradas segundo suas gêneses (origem e desenvolvimento) e promoveu-se seus respectivos agrupamentos e ordenamentos; o resultado, considerando um revestimento-tipo ***Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)***, após conveniente sintetização, é ilustrado na figura apresentada a seguir:

IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES PERMANENTES (REVESTIMENTO TIPO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE)					
NATUREZA DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE					CODIFICAÇÃO
DEFORMAÇÕES PERMANENTES	NAS TRILHAS DE RODA	IRREGULARIDADE LONGITUDINAL	IRI MÁXIMO VERIFICADO EM AMBAS AS TRILHAS DE RODA (ONDULAÇÃO, CORRUGAÇÃO, DESINTEGRAÇÃO, REFLUIMENTOS LONGITUDINAIS)		IRI
		IRREGULARIDADE TRANSVERSAL	FLECHA MÁXIMA POR CONSOLIDAÇÃO (TRILHAS EXTERNA OU INTERNA)		FMÁX.
			DEFORMAÇÕES ASSOCIADAS AO CISALHAMENTO DA CAMADA DE BASE		DCB
			DEFORMAÇÕES VISCOSAS DE CAMADAS ASFÁLTICAS OU PLÁSTICAS DE CAMADAS GRANULARES E/OU SOLO DE FUNDAÇÃO		DVP
			DEFORMAÇÕES DECORRENTES DAS PERDAS DE MATERIAIS POR BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM FINOS (REVESTIMENTO OU BASE)		DPM
			DEFORMAÇÕES ATRIBUÍDAS À CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL OU AO ROMPIMENTO DE MACIÇOS TERROSOS		DRA
	NOS BORDOS E LOCALIZADAS	NOS BORDOS DO PAVIMENTO	REFLUIMENTO LATERAL (VISCOSO DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO OU PLÁSTICO DA CAMADA DE BASE)	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	RPL
			ESCORREGAMENTO DE MASSA FINA	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	EMF
			AFUNDAMENTO	RUPTURAS LOCALIZADAS NOS BORDOS EXTERNANDO PEQUENOS RECALQUES DIFERENCIAIS	ABP
		LOCALIZADAS	AFUNDAMENTO LOCALIZADO POR CONSOLIDAÇÃO	SEM SOLEVAMENTO LATERAL	ACL
			EMPOLAMENTO/CALOTAS DENDRÍTICAS	COM SOLEVAMENTO	EMP

Figura 63 - Identificação e codificação das deformações permanentes

Na sequência, também de forma similar ao procedimento definido na avaliação das degradações superficiais, considerou-se que as patologias que caracterizam a família das deformações permanentes também apresentam diferentes pesos de responsabilidade em relação à carência estrutural ou à definição da natureza da medida corretiva que eventualmente se imponha. Desta forma, procurou-se conferir, a cada manifestação considerada, um **fator de ponderação**, capaz de exprimir a sua gravidade individual e relativa. Foram considerados *padrões de referência*, por suas importâncias, os seguintes defeitos:

- ✓ a irregularidade longitudinal (IRI);
- ✓ a irregularidade transversal, traduzida apenas pelas flechas máximas *por consolidação* ($F_{máx.}$) verificadas nas trilhas de roda (externa e interna).

tendo lhes atribuído pesos de responsabilidade ou fatores de ponderação variáveis, definidos consoante a sua respectiva magnitude e limitados ao intervalo compreendido entre 0 e 1.

No que tange ao Índice de Rugosidade Internacional (IRI), considerou-se que a magnitude de seus valores – faixa de variação – com interferência significativa no estabelecimento da severidade das condições de deformação permanente poderia ser definida para determinados intervalos, definidos consoante os distintos tipos de revestimento:

- ***Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CA):***

Intervalo de severidade compreendido entre 0,5≤ $IRI_{máx.}$ > 4,5.

IRI VALORES DEFINIDORES DAS CONDIÇÕES DE IRREGULARIDADE (m/km)					
TIPO DE REVESTIMENTO	EXCELENTE	BOM	REGULAR	MAU	PÉSSIMO
Concreto Asfáltico	0,5 < IRI ≤ 1,5	1,5 < IRI ≤ 2,5	2,5 < IRI ≤ 3,5	3,5 < IRI ≤ 4,5	IRI > 4,5

Figura 64 – Conceituação dos Valores IRI

Para valores iguais ou inferiores aos limites mínimos (IRI ≤ 0,5), consideraram-se níveis de responsabilidade nulos, tradutores de pavimentos com desempenhos excepcionais; para valores superiores aos limites máximos relativos a ambos os tipos de revestimento (CA = 4,5), consideraram-se níveis de responsabilidade plenos (fator de ponderação FP_{IRI} = 1,0), tradutores de um pavimento bastante irregular em termos longitudinais.

Seguidamente, levando em conta a obrigatoriedade de se contemplar conjuntamente os valores de IRI extremos – pontos de saturação (4,5 para os CA) – e definidores dos intervalos intermediários (IRI iguais a 1,5 - 2,5 e 3,5 para os CA), aos quais se somaram os valores mínimos considerados, verificou-se que a vinculação matemática IRI versus FP poderia ser regida, de forma notável, por lei logarítmica de base 2, capazes de integrar, de maneira notável, os Fatores de Ponderação específicos:

- ➢ Para revestimentos tipo Concreto Asfáltico:

$$IRI_{CA} = 4.5 + 1.095\ log_2(FP) \qquad (R^2 = 0,997)$$

ou, expressa em lei logarítmica na base 10:

$$IRI_{CA} = 4,509 + 3,639\ x\ log10\ (FP)$$

$$IRI_{CA} = 4,5 + 3,639\ x\ log_{10}(FP)$$

ou

$$FP = 10^{(0,2748\ x\ IRI_{CA}\ -\ 1,236)}$$

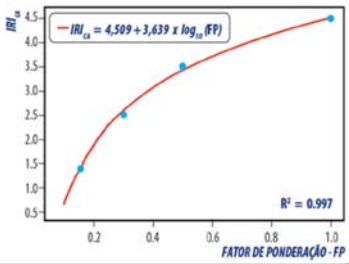


Figura 65 – Relacionamento Matemático entre os Valores de IRI (Concreto Asfáltico) e Respectivos Fatores de Ponderação

$$FP_{IRI} = f\ (IRI_{máx.}) = \begin{cases} 0 & se \quad IRI_{máx.} \leq 0,5 \\ 10^{(0,2748\ x\ IRI_{CA}\ -\ 1,237)} & * \ se \quad 0,5 < IRI_{máx.} \leq 4,5 \\ 1,0 & * \ se \quad IRI_{máx.} > 4,5 \end{cases}$$

Figura 66 - Fator de Ponderação IRI

Quanto às flechas nas trilhas de roda, parâmetro tradutor da conformação transversal do pavimento, adotou-se um procedimento análogo para estabelecer a variação de sua severidade ou do seu nível de interferência na definição do estado funcional do pavimento. Para o efeito, considerou-se que a magnitude de seus valores (faixa de variação) com interferência crescente em termos de responsabilidade estaria concentrada no intervalo compreendido entre $0 \leq F_{máx.} \leq 20mm$, admitindo que flechas permanentes de quaisquer magnitudes já traduziriam efeitos de consolidação; para valores superiores a 20mm, já estaria sacramentado o comprometimento total da estrutura.

$F_{máx.}$ VALORES DEFINIDORES DAS CONDIÇÕES DE IRREGULARIDADE TRANSVERSAL (mm)					
TIPO DE REVESTIMENTO	EXCELENTE	BOM	REGULAR	MAU	PÉSSIMO
Concreto Asfáltico e Tratamento Superficial	$0 < F_{máx.} \leq 5$	$5 < F_{máx.} \leq 10$	$10 < F_{máx.} \leq 15$	$15 < F_{máx.} \leq 20$	$F_{máx.} > 20$

Figura 67 – Conceituação dos Valores das $F_{máx.}$

Definido o valor extremo do intervalo de variação da $F_{máx}$, procurou-se, também agora, estabelecer um relacionamento matemático que vinculasse esse parâmetro aos fatores de ponderação (FP), com obrigatoriedade de contemplar simultaneamente os valores intermediários correspondentes às fronteiras relativas aos estados "Bom", "Regular" e "Mau".

Assim, considerando para $F_{máx.} > 2cm$, FP = 1 e tendo em conta a obrigatoriedade de contemplar os valores de $F_{máx.}$ definidores dos intervalos intermediários ($F_{máx.}$ iguais a 1 e 1,5cm), aos quais se somou o valor correspondente ao ponto de saturação (2 cm), verificou-se que a vinculação matemática com os FP poderia ser regida, de forma notável, por uma lei logarítmica de base 2, a qual faculta a integração praticamente perfeita dos Fatores de Ponderação específicos:

- ***Para revestimentos tipos Concreto Asfáltico***:

$$F_{máx.} = 2,0 + 0,268\ x\ log_2(FP)$$

$$R^2 = 0,993$$

ou, expressa em lei logarítmica na base 10:

$$F_{MÁX.} = 2{,}0 + 0{,}891 \; x \; log_{10}(FP)$$

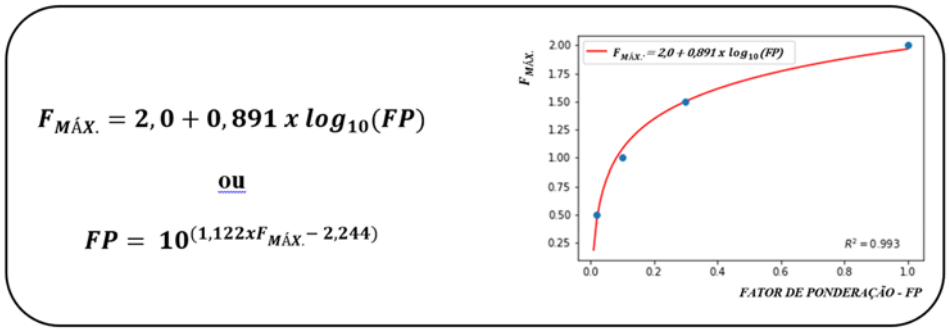


Figura 68 – Relacionamento Matemático entre os Valores de $F_{MÁX.}$ (CA) e Respectivos Fatores de Ponderação

$$FP_{MÁX.} = f\,(FP_{máx.}) = \begin{cases} 10^{(1{,}122 x F_{MÁX.} - 2{,}244)} & se \quad F_{máx.} \leq 20 \\ * & \\ 1{,}0 & se \quad F_{máx.} > 20 \end{cases}$$

Figura 69 - Fator de Ponderação Flecha

Os defeitos considerados - alguns agrupados em famílias - e os respectivos pesos de responsabilidade atribuídos, inclusive a faixa de variação admitida para os parâmetros de comportamento tradutores das irregularidades longitudinal e transversal, são apresentado na figura apresentada a seguir:

IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES PERMANENTES (REVESTIMENTO-TIPO: CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE)					
NATUREZA DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE				CODIFICAÇÃO	FATOR DE PONDERAÇÃO
IRREGULARIDADE LONGITUDINAL		IRI MAXIMO VERIFICADO EM AMBAS AS TRILHAS DE RODA (ONDULAÇÃO, CORRUGAÇÃO, DESINTEGRAÇÃO, EMPOLAMENTO (CALOTAS COM TRINCAS DENDRITICAS, REFLUIMENTOS LONGITUDINAIS)		IRI	0,0 – 1,0
IRREGULARIDADE TRANSVERSAL		FLECHA MAXIMA POR CONSOLIDAÇÃO (TRILHAS EXTERNA OU INTERNA)		Fmáx.	0,0 – 1,0
DEFORMAÇÕES PERMANENTES	NAS TRILHAS DE RODAS	RUPTURA DE CAMADA DE BASE POR CISALHAMENTO / CORTE	SEM SOLEVAMENTO LATERAL	RUP	1,0
		REFLUIMENTO PLÁSTICO	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	RPT	
		PERDA DE MATERIAL POR BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM FINOS	SEM SOLEVAMENTO LATERAL	BAF	
	NOS BORDOS DO PAVIMENTO	REFLUIMENTO PLÁSTICO DO REVESTIMENTO OU BASE	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	RPL	0,7
		ESCORREGAMENTO DE MASSA FINA	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	EML	0.6
	NOS BORDOS DA PISTA (PLATAFORMA)	AFUNDAMENTO	ASSENTAMENTOS CONTINUADOS POR FALTA DE CONTENÇÃO LATERAL (ACOSTAMENTOS) OU RUPTURAS DE BORDO COM RECALQUES	ABP	0,9
	AFUNDAMENTO LOCALIZADO POR CONSOLIDAÇÃO		SEM SOLEVAMENTO LATERAL	ACL	0,4
	ABATIMENTO DE MACIÇOS TERROSOS		CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL	AC	***
			RUPTURA POR CISALHAMENTO	AR	
			ESCORREGAMENTO	EST	

Figura 70 - Identificação e Codificação das Deformações Permanentes

Portanto, uma vez definidas as frequências absolutas (f_a) e relativa (f_r) de ocorrência de cada defeito através do processo de **varredura métrica** no intervalo - padrão de 20,0m, e estabelecidos os respectivos pesos de responsabilidade - FP_{DP}, calcula-se um índice individual ponderado, tradutor da severidade de cada tipo de deformação permanente, estaca por estaca. Este **Índice de Severidade Individual - ISI_{DP}** é definido através da expressão:

$$ISI_{DP} = f_r \, x \, FP_{DP}$$

Desta forma, dispondo-se do ISI_{DP} correspondente a cada defeito ocorrente por estaca, calcula-se em seguida o **Índice de Severidade Global - ISG_{DP}**, por estaca, correspondente à soma de todos os índices individuais verificados; o valor final é obtido através da expressão:

$$ISG_{DP} = \Sigma \, ISI_{DP}$$

Com base em todas estas considerações, constata-se finalmente que, qualquer que seja o nível de deformação permanente do pavimento, o seu índice de severidade global - ISG_{DP}, será representado por um número necessariamente compreendido igualmente entre ***0 e 320 (CBUQ)***; este parâmetro definidor do *estado de deformação permanente do pavimento* traduz, em razão direta, o grau de degradação do pavimento, ou seja, a sua carência de medidas corretivas em termos de deformação permanente.

Definido, portanto, o intervalo máximo de variação do ISG_{DP}, verificou-se a existência de formulação matemática capaz de traduzir a lei de variação dos valores individuais; o objetivo maior dessa busca analítica foi o de se definir grupos de estados de sanidade que, pelas suas similaridades, demandassem soluções corretivas análogas e/ou equivalentes. Fundamentou essa tese a certeza de que pequenas oscilações nos valores do ISG_{DS} não traduziriam diferenças significativas nas condições de sanidade superficial do pavimento suficientes para demandar soluções corretivas distintas.

Destarte, verificou-se que os intervalos globais de área afetada abrigavam, de maneira notável, uma distribuição exata dos níveis de sanidade regida por uma ***lei logarítmica de base 2***, ou seja, por uma ***progressão geométrica de razão igual 2***, assim traduzida:

DISTRIBUIÇÃO DE NÍVEIS REGIDOS POR LEI LOGARÍTMICA DE BASE 2	
INTERVALOS (CBUQ)	
0	20
20	40
40	80
80	160
160	320

Figura 71 - Distribuição de Níveis Regidos por Lei Logarítmica da Base 2

Seguidamente, procurou-se definir ***níveis conceituais*** que pudessem exprimir, com a distinção necessária, os diferentes estados que um pavimento pode externar quando avaliado sobre o prisma das deformações permanentes. A seleção final, alicerçada por classificações definidas por outros procedimentos de análise, conduziu à consideração de cinco estágios conceituais, bastantes e suficientes para definir, de maneira discreta, os estados de sanidade dos pavimentos:

CONCEITUAÇÃO DOS ESTADOS DE SANIDADE
Excelente
Bom
Regular
Mau
Péssimo

Figura 72 - Conceituação dos Estados de Sanidade

Finalmente, julgou-se ainda válido promover a avaliação conjugada dos parâmetros considerados, ajuizada a partir do confronto entre a magnitude de cada intervalo de variação do ISG_{DP} - áreas comprometidas e seus percentuais relativamente à área total - e a qualificação conceitual a lhe ser atribuída.

Assim considerando, promoveu-se primeiramente uma análise conjugada dos parâmetros considerados - valores do ISG_{DP} e percentagens de áreas comprometidas - atribuindo a cada intervalo o nível de sanidade que se considerou mais representativo para as distintas condições externadas pelo pavimento analisado; os intervalos de variação considerados foram aqueles disciplinados também por uma ***lei logarítmica de base 2*** e os percentuais de área comprometida foram calculados em relação à área total.

Correlação entre os Valores do ISG_{DP}, os Estados de Deformação Permanente e as Percentagens de Área Comprometida (Revestimento-Tipo: Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ)						
Estados de Deformação Permanente	Intervalos de Variação do ISG_{DP}			Área do Pavimento Afetada (%)		
Excelente	0	-	20	0		6,25
Bom	20	-	40	6,25	-	12,5
Regular	40	-	80	12,5	-	25,0
Mau	80	-	160	25,0	-	50,0
Péssimo	160	-	320	50,0	-	100,0

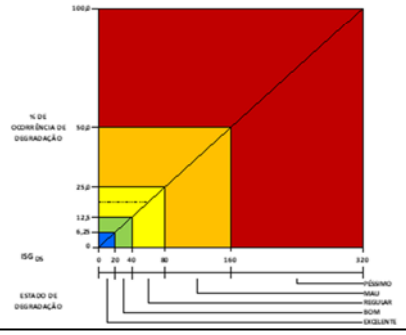


Figura 73 - Representação Gráfica da Correlação ISG_{DP} x Estados de Degradação (CBUQ E TSD)

Destarte, estabelecido a partir da correlação entre a escala tradutora dos cinco níveis conceituais e aquela pertinente à variação do ISG_{DP}. Desta forma, considerando a escala conceitual variando de 0 a 5, bastaria que o novo parâmetro fosse representado por uma função do tipo:

$$Z_{DP} = f(ISG_{DP})$$

ajustada aos pontos de coordenadas indicadas no quadro apresentado a seguir:

CORRELAÇÃO ISG_{DP} x Z_{DP}	
Z_{DS}	ISG_{DP} (CBUQ)
0	0
1	20
2	40
3	80
4	160
5	320

Figura 74 - Correlação ISG_{DP} X Z_{DP}

Considerando para os revestimentos-tipo CBUQ para valores do ISG_{DP} compreendidos entre 0 e 20, regidos por uma relação linear e, para valores entre 20 e 320, regidos por uma relação logarítmica de base 2; os resultados obtidos, traduzindo correlações simplesmente perfeitas para ambos os casos ($r^2 = 1$), assim expressaram:

- para $0 \leq ISG_{DP} \leq 35$:

$$Z_{DP} = \frac{ISG_{DP}}{20}$$

- para $ISG_{DP} > 35$:

$$Z_{DP} = log_2 \frac{2\,x\,ISG_{DP}}{20}$$

Finalmente, julgou-se oportuno e conveniente remeter todos os índices concebidos pela metodologia Paragon à uma escala similar às escalas usuais – AASTHO, DNIT, etc. – inversa à presentemente estabelecida, considerando as melhores qualificações consoante uma escala

crescente. Para o efeito, bastou considerar um artifício matemático representado pela diferença: 5,0 - Z_{DP} que passou a definir um novo indicador comportamental: o **Índice da Condição de Deformação Permanente - ICDP**, que expresso numa lei logarítmica decimal, é definido por:

- para $0 \leq ISG_{DP} \leq 20$:

$$ICDP = 5 - 0,05\ x\ ISG_{DP}$$

- para $ISG_{DP} > 20$:

$$ICDP = 9,12928 - 3,32193\ x \log ISG_{DP}$$

4.2.5.2.4. Avaliação das Características de Deformabilidade Elástica

A deflexão reversível máxima constitui um parâmetro extremamente interessante que, embora exprima de forma sedutora o comportamento de um pavimento quando solicitado pelas cargas do tráfego, não constitui um parâmetro definidor da estrutura.

Entretanto, sua magnitude pura traduz, de forma magnânima e intuitiva, a percepção do malefício imposto à estrutura pelas cargas do tráfego, predicado de alta qualificação numa análise comportamental de pavimentos, notadamente se juntado aos dois índices de análise anteriormente definidos – degradação superficial (ICDS) e de deformação permanente (ICDP). Essa conjunção de parâmetros comportamentais traduziria, de forma extraordinária, a essência de um ***diagnóstico*** perfeito do pavimento.

Todavia, a pretensão de se promover a agregação desse parâmetro esbarrou, inicialmente, na impossibilidade de se poder adotar procedimento análogo àquele empregado na determinação dos outros parâmetros comportamentais, qual seja, a aplicação do processo de **varredura métrica** com as anotações de ocorrências a cada metro; complementarmente, verificou-se ainda que a marcha de cálculo para definição de um índice de severidade da deformabilidade elástica seria naturalmente diferente, haja vista se tratar de uma característica comportamental a ser definida por um parâmetro único: a deflexão reversível máxima.

Assim, embora o ideal fosse a concepção de um **Índice da Condição de Deformabilidade Elástica – ICDE** em moldes análogos àqueles estabelecidos para as características superficiais (ICDS) e de deformação permanente (ICDP), disciplinados por leis de variação na base 2, foi preciso admitir que o valor individual de cada deflexão fosse representativo de cada estaca, proposição respaldada pelo fato de se tratar de um procedimento adotado mundialmente por todas as demais metodologias de avaliação estrutural e de dimensionamento do reforço estrutural de pavimentos rodoviários.

Assim, à imagem e semelhança dos parâmetros anteriores, admitiu-se que as sequências de valores de deflexões reversíveis poderiam ser disciplinadas por uma lei logarítmica, vinculados aos 5 conceitos de severidade anteriormente definidos. Considerando, pois, esta envoltória de condicionamentos, foram definidos os intervalos das **deflexões reversíveis máximas** ($D_{máx.}$) - devidamente regidos por lei logarítmica de base 2 - procedimento em que teve em conta a particularização de revestimento asfáltico do tipo CBUQ, considerando duas categorias de tráfego comercial ($N < 10^7$ e $N \geq 10^7$):

INTERVALOS DE DEFLEXÕES REVERSÍVEIS (Revestimento-tipo: CBUQ)	
Revestimento-tipo: CBUQ	
$N < 10^7$	$N \geq 10^7$
0 – 25	0 – 20
25 – 50	20 – 40
50 – 100	40 – 80
100 – 200	80 – 160
200 – 400 (ou > 400)	160 – 320 (ou > 320)

Figura 75 - Intervalos de Deflexões Reversíveis (Revestimento-tipo: CBUQ)

Seguidamente, ainda à semelhança dos procedimentos anteriores, julgou-se válido correlacionar os intervalos de variação das deflexões reversíveis máximas com os níveis conceituais já definidos, procedimento elaborado também com o intuito de se apreciar a adequabilidade das magnitudes das deflexões reversíveis por intervalo e por natureza do revestimento asfáltico; concomitantemente, julgou-se também oportuno definir, com base nos intervalos de magnitudes das deflexões, os limites percentuais correspondentes a cada um dos estados de sanidade:

CORRELAÇÃO ENTRE OS CONCEITOS DE SANIDADE E OS INTERVALOS DE VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO REVERSIVEL MÁXIMA		
Níveis de Deformabilidade	Revestimento-tipo: CBUQ	
	$N < 10^7$	$N \geq 10^7$
Excelente	0 – 25	0 – 20
Bom	25 – 50	20 – 40
Regular	50 – 100	40 – 80
Mau	100 – 200	80 – 160
Péssimo	200 – 400	160 – 320

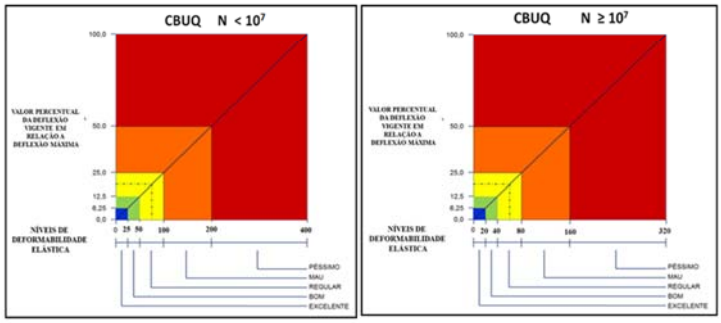


Figura 76 – Representação Gráfica dos Níveis de Deformabilidade

Esta proposição requereu apenas a concepção de um novo parâmetro, estabelecido a partir da correlação entre a escala pertinente aos intervalos de variação das deflexões reversíveis máximas e aquela tradutora dos cinco níveis conceituais, ajustada aos pontos de coordenadas indicadas no quadro apresentado a seguir:

CORRELAÇÃO $D_{máx}$ x DEZ		
Limites dos Intervalos de Deflexão Reversível		
CBUQ		Z_{DE}
($N < 10^7$)	($N \geq 10^7$)	
0	0	0
25	20	1
50	40	2
100	80	3
200	160	4
400	320	5

Figura 77 - Correlação $D_{máx}$ x D_{EZ}

Assim considerando, a forma encontrada para se promover a correlação consistiu em se considerar dois tramos distintos de ajustamentos dos pares homólogos: os valores de $D_{máx}$ compreendidos nos primeiros intervalos, regidos por uma relação linear e os valores compreendidos nos demais intervalos, regidos por uma relação logarítmica de base 2; as análises

de regressão evidenciaram correlações perfeitas para ambos os casos ($r^2 = 1$), definidas pelas expressões:

CORRELAÇÃO $D_{máx.}$ x DEZ		
CBUQ (N < 10^7)	$0 \leq D_{máx.} \leq 25$	$Z_{DE} = \frac{D_{máx.}}{25}$
	$D_{máx.} > 25$	$Z_{DE} = log_2 \frac{2\ x\ D_{máx.}}{25}$
CBUQ (N ≥ 10^7)	$0 \leq D_{máx.} \leq 20$	$Z_{DE} = \frac{D_{máx.}}{20}$
	$D_{máx.} > 20$	$Z_{DE} = log_2 \frac{2\ x\ D_{máx.}}{20}$

Figura 78 - Correlação $D_{máx}$ x D_{EZ}

Entretanto, verifica-se mais uma vez que os valores crescentes do parâmetro Z_{DE} policiam a magnitude crescente das deflexões reversíveis máximas, particularidade que veio requer a aplicação de outro artifício matemático representado pela diferença: 5,0 - Z_{DE}; a este novo parâmetro comportamental deu-se o nome de **Índice da Condição de Deformabilidade Elástica - ICDE**:

Aplicado, portanto, o artifício matemático, e considerando a transformação para logaritmos na base decimal, promoveram-se as deduções necessárias para transformar as equações anteriores em leis logarítmicas na base 10:

VALORES DE ICDE EM FUNÇÃO DE Dmáx.		
CBUQ (N < 10^7)	$0 \leq D_{máx.} \leq 25$	$ICDE = 5,0 - 0,040\ x\ D_{máx.}$
	$D_{máx.} > 25$	$ICDE = 8,643856 - 3,32193 * log\ D_{máx}$
CBUQ (N ≥ 10^7)	$0 \leq D_{máx.} \leq 20$	$ICDE = 5,0 - 0,050\ x\ D_{máx.}$
	$D_{máx.} > 20$	$ICDE = 8,321928 - 3,32193 * log\ D_{máx}$

Figura 79 - Correlação $D_{máx}$ x D_{EZ}

4.2.5.2.5. Diagnóstico Funcional de Pavimentos

4.2.5.2.5.1. Conceituação

No que tange à avaliação dos pavimentos verifica-se, amiúde, a proposição de métodos e critérios de ajuizamento que não se preocupam em determinar, de modo específico e objetivo, o seu **diagnóstico**, processo analítico que se estabelece com o exame das patologias ou de um quadro clínico. Se limitam a definir, conceitual e/ou numericamente, índices individuais que se propõem a traduzir o estado comportamental do pavimento, não fornecendo, entretanto, quaisquer subsídios para se definir a doença específica, o remédio adequado e tampouco suas respectivas dosagens (a natureza, o tipo e a magnitude das intervenções corretivas a empreender).

Na verdade, os níveis conceituais são definidos a partir do tratamento em conjunto de variáveis de distintas naturezas, procedimento que mascara a importância e a preponderância de certos defeitos específicos, particularidade que impede, naturalmente, o estabelecimento do remédio específico e adequado. Em tais procedimentos, o estado do pavimento é definido através de um parâmetro numérico único deduzido do tratamento em conjunto de doenças distintas, com o qual

se estabelecem limites fronteiriços de estados de serventia, tais valores isolados são desprovidos de qualquer consistência que faculte a prescrição do remédio ideal – ***diagnóstico*** - e tampouco de sua dosagem.

Foi, portanto, com base nessa ausência pragmática que se concebeu um novo procedimento de avaliação, dotando-o de qualificações que permitissem o estabelecimento de um verdadeiro **DIAGNÓSTICO** do pavimento, peculiaridade que, fundamentada nas patologias e doenças constatadas, permite a definição de suas severidades, seus remédios e respectivas dosagens curativas.

Primeiramente, estabeleceu-se conceito de **estado de sanidade**, o qual deve ser traduzido pelo *"conjunto de valores das grandezas ou características físicas de um sistema, necessário e suficiente para caracterizar univocamente a sua condição física"*. A ressaltar, ainda, o fato de a propriedade unívoca consistir no estabelecimento de um "*conceito ou atributo que se aplica a sujeitos distintos de maneira absolutamente idêntica, ou seja, que só comporta uma forma de interpretação"*.

4.2.5.2.5.2. Metodologia para Diagnóstico de Pavimentos

Portanto, foi a exigência angular reivindicada pela definição de diagnóstico, ou seja, o estabelecimento preliminar da diagnose que constituiu a premissa basilar para o desenvolvimento da presente metodologia de avaliação de pavimentos. As **características físicas individuais** – manifestações comportamentais – para além de terem sido identificadas de forma extremamente minuciosa, foram posteriormente enquadradas em grupos familiares distintos, compostos tendo em conta as respectivas cargas genéticas.

Assim, após a definição e consideração de uma enorme gama de variáveis que normalmente interferem no **quadro sintomático** de um pavimento, foram elas enquadradas em três grandes ramos familiares: as degradações superficiais, as deformações permanentes e a deformabilidade elástica.

Seguidamente, foram estabelecidos procedimentos para o levantamento e quantificação numérica – através do cálculo das frequências absoluta e relativa de ocorrência – das manifestações de ruína (defeitos), as quais, afetadas de fatores de ponderação (pesos de responsabilidade), permitiram calcular os índices caracterizadores das condições de **degradação superficial (ICDS)** e de **deformação permanente (ICDP)**; procedimento similar foi aplicado para se ter em conta, concomitantemente, os valores das deflexões reversíveis máximas, as quais, divididas em intervalos de amplitude correlacionados com estados conceituais, permitiram o enquadramento das características de **deformabilidade elástica (ICDE)** dos pavimentos rodoviários.

Os resultados deste procedimento permitiram definir, primeiramente, *o* ***estado de Sanidade*** relativo a cada família de características físicas, ou seja, o ***DIAGNÓSTICO INDIVIDUAL*** das distintas linhagens genéticas, com definição clara e quantificada da saúde ou moléstia externada pelo pavimento. Ato contínuo, tendo-se em conta a consideração conjunta e simultânea dos três índices caracterizadores do pavimento – ICDS, ICDP e ICDE – pôde-se definir, através de um algoritmo genético, o ***estado de sanidade global*** do pavimento, ou seja, do seu verdadeiro estado clínico: a definição desse ***espectro sintomático*** por meio da consideração combinada destes três índices permitiu definir, por conseguinte, o ***DIAGNÓSTICO GLOBAL*** do pavimento.

Assim, tendo-se em conta que cada índice é identificado por uma classificação numérica variando de 5 a 0 que traduz o seu estado de sanidade, tem-se:

ÍNDICES COMPORTAMENTAIS x ESTADOS DE SANIDADE		
Grupo	Intervalos de Variação	Estados de Sanidade
1	4,0 ≤ IC ≤ 5,0	EXCELENTE
2	3,0 ≤ IC < 4,0	BOM
3	2,0 ≤ IC < 3,0	REGULAR
4	1,0 ≤ IC < 2,0	MAU
5	0,0 ≤ IC < 1,0	PÉSSIMO

Figura 80 - Índices Comportamentais x Estados de Sanidade

As combinações numéricas dos três índices - ICDS, ICDP e ICDE – ***analisados sempre nesta ordem***, traduzirão, simultaneamente, os estados de sanidade individuais das degradações superficiais, das deformações permanentes e da deformabilidade elástica externados pelo pavimento:

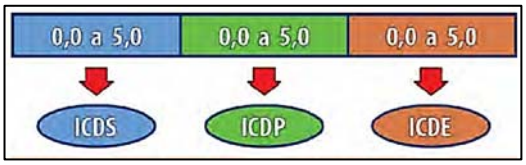


Figura 81 – Combinação Numérica dos Índices de Condição

A análise conjunta dos três índices comportamentais dá origem a 125 combinações que traduzem, em sequência finita de ações executáveis, o ***espectro sintomático*****,** ou seja, o ***estado de sanidade*** dos pavimentos rodoviários; tais combinações, estabelecidas a partir de procedimento preciso, não ambíguo, mecânico e correto, definem o ***algoritmo genético*** do estado comportamental de um pavimento:

ALGORITMO GENÉTICO DOS ESTADOS DE SANIDADE DE UM PAVIMENTO				
111	112	113	114	115
121	122	123	124	125
131	132	133	134	135
141	142	143	144	145
151	152	153	154	155
211	212	213	214	215
221	222	223	224	225
231	232	233	234	235
241	242	243	244	245
251	252	253	254	255
311	312	313	314	315
321	322	323	324	325
331	332	333	334	335
341	342	343	344	345
351	352	353	354	355
411	412	413	414	415
421	422	423	424	425
431	432	433	434	435
441	442	443	444	445
451	452	453	454	455
511	512	513	514	515
521	522	523	524	525
531	532	533	534	535
541	542	543	544	545
551	552	553	554	555

Figura 82 - Algoritmo Genético dos Estados de Sanidade de um pavimento

Dessa forma, a presente metodologia define um sistema de codificação numérica integrada e estabelece uma *linguagem comum e universal* para a caracterização dos pavimentos: o *algoritmo de ordenação genética define o estado de sanidade de um pavimento, independentemente de sua espessura, materiais de constituição e solos de fundação, localização e tráfego suportado*, particularidade que permite a universalização desse procedimento para definição do diagnóstico de pavimentos asfálticos.

A metodologia evidencia que pavimentos que ostentam a mesma codificação genética exibem estados de sanidade idênticos, padecem dos mesmos males e demandam, por conseguinte, intervenções corretivas análogas; por exemplo, todo *diagnóstico 154* evidencia que o pavimento sob análise exibe degradações superficiais acentuadas, deformações permanentes praticamente nulas e uma estrutura robusta, que se comporta excepcionalmente bem sob a ação das cargas do tráfego, demandando não mais que a substituição (remoção e reconfecção) da camada de revestimento existente.

Por outro lado, em que pese o encanto dessa combinação genética, uma preocupação de ordem prática entretanto se apresentou: o elevado número de células comportamentais (125), externando sequencialmente identidades bastante similares – diferenciadas por fronteiras muito tênues, definidas ao rigor de sutilezas comportamentais – embora de fácil identificação numérica, é de

difícil memorização e não faculta uma representação gráfica que permita a definição simples e intuitiva de segmentos que evidenciam comportamentos similares ou homogêneos.

Na busca de suma solução, pensou-se em várias formas de representação gráfica dos três índices considerando por exemplo, suas respectivas escalas cromáticas, a soma dos valores dos numerais componentes, a representação do valor numérico de cada código em escalas verticais e outras.

Ao final, chegou-se à conclusão de que o ideal seria estudar um processo de discretização – transformação da distribuição contínua em unidades grupais – capaz de permitir a conciliação de códigos genéticos que, embora distintos, não externassem diferenças capazes demandar soluções corretivas diferentes.

Das análises efetuadas chegou-se a uma conclusão *suis generis*: essa proposição acima reportada ditava, por si própria, o caminho da discretização: o apartamento do elenco em grupos de células genéticas que demandassem intervenções corretivas similares ou idênticas, conjectura que demandou, por conseguinte, a composição de uma *Árvore de Decisão – Matriz de Decisão* – contemplando a intervenção corretiva demandada por cada estado de sanidade; os estados de sanidade que demandassem mesmo tipo de intervenção comporiam grupos específicos.

Para o efeito, após avaliações meticulosas, verificou-se primeiramente que todas as possíveis soluções de recuperação de um pavimento rodoviário se enquadram em linhagens que compõem a "*Família do 5R*" (Reparos Localizados, Recarga Superficial, Recomposição Superficial, Reforço Estrutural e Reconstrução), curiosamente também regida por um conjunto de cinco opções, confluência que se vincula, de forma conspiradora, com as demais divisões – ou discretizações – até então estabelecidas no âmbito da Metodologia Paragon (estados de sanidade, intervalos de variação, índices de condição, níveis conceituais).

A dissertação sobre os critérios e conceitos admitidos para definição das intervenções corretivas demandadas por cada código genético é apresentada no tópico apresentado a seguir.

Finalmente, cabe destacar o fato de o diagnóstico constituir um poderoso instrumento de auxílio ao projetista, o qual pode *conceber* as intervenções corretivas a empreender antes de processar, pura e simplesmente, a aplicação de qualquer método de dimensionamento de reforços estruturais, mesmo o mais completo.

4.2.5.2.5.3. Soluções Conceptivas para Reabilitação de Pavimentos

4.2.5.2.5.3.1. Considerações Gerais

A proposta de se conceber primeiramente a natureza das intervenções reclamadas por pavimentos rodoviários vem constituir, nos tempos atuais, uma grande "novidade", haja vista que o procedimento usual consiste em se medir e tratar alguns parâmetros – notadamente a deflexão reversível máxima – e dimensionar o reforço estrutural, procedimento que limita as soluções de restauração sempre à adição de camadas a estrutura existente.

Assim considerando, e na expectativa de se poder definir a natureza e o tipo – não a magnitude – das intervenções corretivas a empreender, a linha mestra da metodologia Paragon se alicerçou na busca de procedimentos capazes de propiciar, primeiramente, uma definição cabal dos "***estados de sanidade***" externados pelo pavimento – estaca por estaca e por faixa de tráfego – os quais, por si próprios, definiriam os respectivos "***diagnósticos***" clínicos.

Partindo dessa propositura inicial, a etapa seguinte recaiu na concepção, para cada estado de sanidade diagnosticado, do "remédio" ideal, a ser definido com base na gênese, na quantificação e nos estágios evolutivos das patologias externadas pelo pavimento existente. Desta forma, dispondo-se de um quadro sintomático bem definido e composto o algoritmo genético das combinações dos estados de sanidade, procurou-se, no âmbito da metodologia Paragon, compor uma ***matriz de decisão*** ("expert systems") definida pelas soluções conceptivas reclamadas por cada estado de sanidade externado pelo pavimento!

A essência das ***soluções conceptivas*** se vincula, portanto, ao quadro sintomático externado pelo pavimento, o qual, ao exteriorizar suas deficiências, revela a origem de suas malformações (se de naturezas superficiais ou ocorrentes em profundidades); no âmbito dessa análise, a magia consiste, destarte, em se poder definir a doença que acomete o pavimento, sua gênese e o seu processo evolutivo, particularidades que em conjunto estabelecem a natureza da intervenção requerida. A definição da incisão – local e profundidade – se faz extremamente importante uma vez que nos procedimentos empregados para o dimensionamento de reforço estrutural as espessuras determinadas são sempre por acréscimo, sem nunca se ter em conta eventuais necessidades de correções a níveis internos.

Desta forma, quando as degradações a serem corrigidas são de natureza superficial, as espessuras de reforços calculadas, dependendo das gravidades constatadas, podem ser válidas e quando decorrem de deformações permanentes em uma ou mais camadas – principalmente as de naturezas plásticas ou associadas à inadequabilidade comportamentais e/ou mecânicas dos materiais – as espessuras de reforço calculadas tornam-se inadequadas ou desprovidas de fundamentação; na realidade, constitui veto natural capear pavimentos que externam excessos de degradações superficiais e/ou deformações plásticas externas ou internas comprometedoras, haja vista que em ambos os casos se fazem naturalmente necessário se promover remoções parciais ou totais ou reconfecção das camadas danificadas.

Verifica-se assim a importância de se ***conceber as soluções*** antes de se promover, de forma puramente analítica, o dimensionamento do reforço estrutural de um pavimento qualquer. O dimensionamento teórico de um reforço, em sua essência, parte do princípio de que o sistema estratificado existente, ofertado aos cálculos, se apresenta perfeitamente apto, apenas requerente de um aporte estrutural necessário para suportar as solicitações ulteriores que lhe serão impingidas pelo tráfego futuro. A complementar, pode-se afirmar, com certeza plena, que as ***soluções conceptivas devem condicionar as soluções de caráter estrutural***, as quais carecem de

se render às premissas conceptivas que determinam o nível e a estratificação das malformações existentes.

De modo sanar um pouco as deficiências retrocitadas, julgou-se, no âmbito da metodologia Paragon, que seria importante definir primeiramente as conceituações, as terminologias e as definições das **Tarefas Típicas da Manutenção Rodoviária**. Com base na conceituação formulada e considerando os diversos subsistemas envoltórios, evidenciou-se que as intervenções de recuperação típicas de pavimentos rodoviários poderiam ser agrupadas em uma grande família, tradutora da **natureza** das principais ações corretivas: a **FAMÍLIA DOS 5R**:



Figura 83 – Família dos 5 R

Agora, tendo em conta que o objetivo primordial da presente metodologia consiste no estabelecimento de procedimentos que permitam conceber previamente **a natureza das intervenções corretivas** demandadas por pavimentos existentes, julgou-se oportuno particularizar o elenco de intervenções corretivas-tipos pertinentes à **família dos 5R**. Tal conveniência adveio junto com a possibilidade de se poder introduzir, no âmbito da metodologia Paragon, "***matrizes de intervenções corretivas***" requeridas pelos pavimentos existentes, **concebidas** a partir da análise dos estados de sanidade vigentes, enquadrados no espectro definido pelo algoritmo genético.

Assim considerando, julgou-se oportuno definir e codificar previamente a **Natureza das Intervenções Corretivas** e particularizar os **Tipos Alternativos** dentro de cada uma delas, lembrando que a solução corretiva final pode contemplar uma única medida de corretiva ou uma composição de intervenções. Com o objetivo maior de ressaltar não só a possibilidade como também a necessidade de se aplicar distintas ações corretivas de forma consorciada, procurou-se estabelecer as várias composições plausíveis no âmbito da **Família dos 5R**:

INTERVENÇÕES TÍPICAS DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS VIÁRIOS		
Nº	Intervenção Tipo	Codificação
1	REPAROS LOCALIZADOS	RL
2	REPAROS LOCALIZADOS + RECARGA SUPERFICIAL	RL + RS
3	REPAROS LOCALIZADOS + REFORÇO ESTRUTURAL	RL + REF
4	FRESAGEM REVESTIMENTO (FAIXA) + RECOMPOSIÇÃO SUPERFICIAL	FSG_F + RPS
5	FRESAGEM REVESTIMENTO (FAIXA) + REFORÇO ESTRUTURAL	FSG_F + REF
6	RECONSTRUÇÃO PARCIAL (REMOÇÃO REVESTº + RECONFECÇÃO B + COMPLEMENTAÇÃO DO PAVIMENTO)	REC (B)
7	RECONSTRUÇÃO PARCIAL (REMOÇÃO REVESTº E BASE + RECONFECÇÃO SUBBASE + COMPLEMENTAÇÃO DO PAVIMENTO	REC (SB)
8	RECONSTRUÇÃO TOTAL (REMOÇÃO REVESTIMENTO + BASE + SUBBASE) + PAVIMENTO NOVO	REC (TOTAL)
• Merece citação especial um novo tipo de intervenção que vem sendo praticado no Brasil, adotaco por dificuldades econômicas e/ou falta de projeto, que consiste na fresagem de deformações permanentes devidas a plasticidades elevadas ou nas fresagens do revestimento no eixo, entre trilhas de roda e nos bordos das faixas de tráfego, destinadas a reduzir a magnitude das trilhas de roda; dada a impropriedade dessa ação de manutenção, não foi ela considerada.		

Figura 84 - Intervenções típicas de reabilitação de pavimentos viários

4.2.5.2.5.3.2. Matriz Conceptiva das Intervenções Corretivas ("Árvore de Decisão")

Definidas as naturezas das intervenções corretivas passíveis de aplicação na reabilitação de pavimentos e particularizados os tipos alternativos que compõem cada uma delas, julgou-se ser possível estabelecer procedimentos que vinculassem os ***estados de sanidade*** do pavimento às ***intervenções corretivas*** verdadeiramente demandadas. Para o efeito, bastaria se relacionar os códigos do pavimento (suas características de degradação superficial, de deformação permanente e de deformabilidade elástica) – integrados no espectro definido pelo algoritmo genético – com soluções corretivas previamente concebidas, junção esta que propiciaria, naturalmente, a construção de "***árvores de decisão***" (ou "***expert systems***") para definição das intervenções adequadas à reabilitação dos pavimentos.

Assim, considerou-se que cada célula componente do algoritmo composta pela combinação dos três índices de condição, caso disciplinadas por meio de sequências lógicas, facultaria a definição da ***natureza da intervenção corretiva*** para cada código genético, permitindo o estabelecimento de uma "***matriz de decisão***" completa e consistente. A ressaltar, no estabelecimento desse processo, a vantagem de se poder contemplar, atenta e conjuntamente, as condições específicas (nível e intensidade) das degradações superficiais, das deformações permanentes e das deflexões reversíveis máximas vigentes.

A destacar finalmente, o fato de que as soluções indicadas na árvore de decisão são, por conseguinte, ***conceptivas*** e deverão traduzir, fundamentalmente, a **natureza** e o **tipo** – ou a composição de tipos – da intervenção corretiva reivindicada, mas nunca sua **magnitude**.

Complementarmente, cabe ainda destacar os cuidados tidos na definição da fronteira *delimitadora dos estados de sanidade que demandam correções superficiais sem necessidades de aporte estrutural ou aportes estruturais delgados (operações por cobertura)* e os que *demandam intervenções em profundidade simples sem necessidade de aporte estrutural (recomposições superficiais)*, os quais se vinculam aos estado de sanidade *regular*, responsável pela transição entre o estado *bom* – que nada requer além de alguns reparos de caráter localizado – e o estado *mau,* que demanda reconstruções parciais do pavimento.

Assim considerando, julgou-se válido promover uma subdivisão no âmbito do estado de sanidade "regular" com o objetivo maior de distinguir soluções não carentes de aportes estruturais, mas distintas: aquelas as quais "*demandam recargas superficiais (por cobertura)*" – ***"+ Regular"*** – e as que "*demandam recomposições superficiais da camada de revestimento*" – ***"– Regular"***; à essa fronteira associou-se o valor 2,5.

Todavia, com base em análises complementares, verificou-se que os pavimentos enquadrados no estado de sanidade ***"+ Regular"*** pleiteavam um carinho ainda maior, uma vez que variações sutis no código genético reclamavam soluções corretivas ligeiramente distintas: recargas superficiais não dotadas de efeito estrutural e recargas superficiais eventualmente dotadas de efeito estrutural próprio, haja vista que as deflexões reversíveis nesse intervalo variam de 40 a 80/100mm. Dessa forma, foram considerados três estágios para o estado de sanidade ***"regular"***:

- **estado "++ *regular*"**:

requerendo intervenções corretivas superficiais delgadas sem aporte estrutural próprio;

- ***estado "+ regular"***:

requerendo intervenções corretivas superficiais delgadas com eventuais aporte estrutural próprio; e

- **estado "– *regular*"**:

requerendo intervenções de recomposição" em profundidade, sem necessidade de efeito estrutural

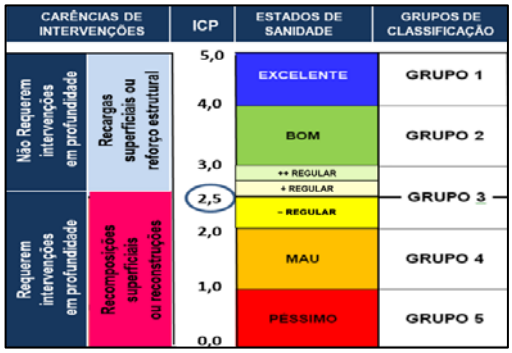


Figura 85 – Divisão do Estado Regular ("++ Regular", "+ Regular" e "- Regular")

Com base em tais considerações, promoveu-se, portanto, o desenvolvimento da *Matriz de Decisão Paragon*, a qual é apresentada a seguir:

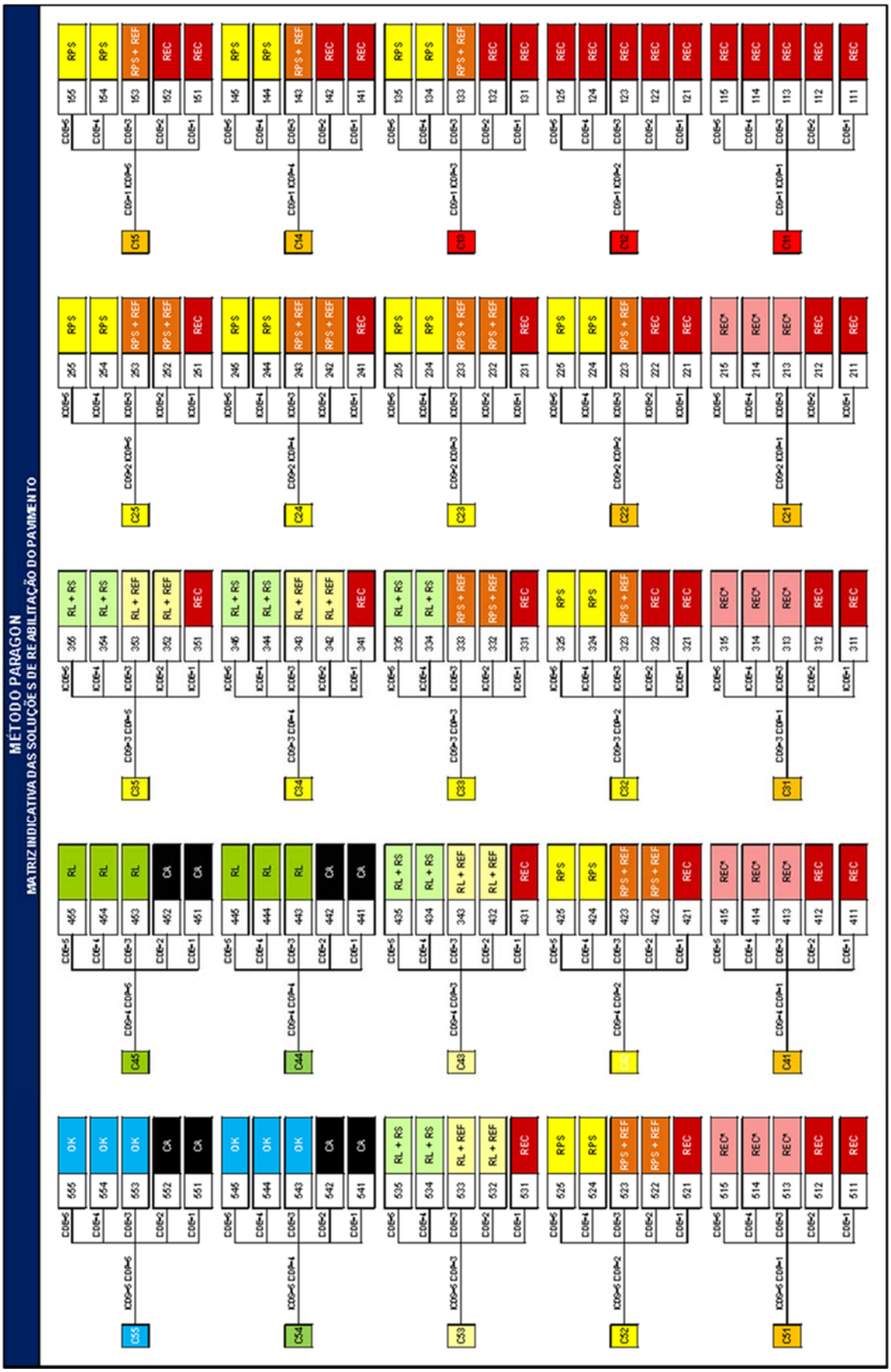

MÉTODO PARAGON
MATRIZ INDICATIVA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO

Figura 86 – Matriz Indicativa das Soluções de Reabilitação do Pavimento

Considerando, pois, a "Árvore de Decisão" proposta pela metodologia Paragon para a concepção das intervenções corretivas demandadas pelo pavimento, julgou-se oportuno listá-la também sob forma matricial, particularidade que faculta uma visão mais holística e contextualizada das vinculações: ***estados de sanidade (código genético) versus solução conceptiva***:

MATRIZ DE DECISÃO *PARAGON* (SOLUÇÕES CONCEPTIVAS DE RESTAURAÇÃO)				
111 (REC)	112 (REC)	113 (REC)	114 (REC)	115 (REC)
121 (REC)	122 (REC)	123 (REC)	124 (REC)	125 (REC)
131 (REC)	132 (REC)	133 (RPS + REF)	134 (RPS)	135 (RPS)
141 (REC)	142 (REC)	143 (RPS + REF)	144 (RPS)	145 (RPS)
151 (REC)	152 (REC)	153 (RPS + REF)	154 (RPS)	155 (RPS)
211 (REC)	212 (REC)	213 (REC*)	214 (REC*)	215 (REC*)
221 (REC)	222 (REC)	223 (RPS + REF)	224 (RPS)	225 (RPS)
231 (REC)	232 (RPS + REF)	233 (RPS + REF)	234 (RPS)	235 (RPS)
241 (REC)	242 (RPS + REF)	243 (RPS + REF)	244 (RPS)	245 (RPS)
251 (REC)	252 (RPS + REF)	253 (RPS + REF)	254 (RPS)	255 (RPS)
311 (REC)	312 (REC)	313 (REC*)	314 (REC*)	315 (REC*)
321 (REC)	322 (REC)	323 (RPS + REF)	324 (RPS)	325 (RPS)
331 (REC)	332 (RPS + REF)	333 (RPS + REF)	334 (RL + RS)	335 (RL + RS)
341 (REC)	342 (RL + REF)	343 (RL + REF)	344 (RL + RS)	345 (RL + RS)
351 (REC)	352 (RL + REF)	353 (RL + REF)	354 (RL + RS)	355 (RL + RS)
411 (REC)	412 (REC)	413 (REC*)	414 (REC*)	415 (REC*)
421 (REC)	422 (RPS + REF)	423 (RPS + REF)	424 (RPS)	425 (RPS)
431 (REC)	432 (RL + REF)	433 (RL + REF)	434 (RL + RS)	435 (RL + RS)
441 (CA)	442 (CA)	443 (RL)	444 (RL)	445 (RL)
451 (CA)	452 (CA)	453 (RL)	454 (RL)	455 (RL)
511 (REC)	512 (REC)	513 (REC*)	514 (REC*)	515 (REC*)
521 (REC)	522 (RPS + REF)	523 (RPS + REF)	524 (RPS)	525 (RPS)
531 (REC)	532 (RL + REF)	533 (RL + REF)	534 (RL + RS)	535 (RL + RS)
541 (CA)	542 (CA)	543 (OK)	544 (OK)	545 (OK)
551 (CA)	552 (CA)	553 (OK)	554 (OK)	555 (OK)
REC* – Reconstrução Parcial do Pavimento – Intervenção com Retrabalhamento/Reciclagem da Camada de Base Com ou Sem Incorporação de Revestimento Asfáltico				

Figura 87 - Matriz de decisão da Metodologia PARAGON

4.2.5.2.5.3.3. Avaliação das Características Estruturais dos Pavimentos

4.2.5.2.5.3.3.1.Introdução

Quando da apresentação dos procedimentos de *Avaliação e Diagnóstico Funcional de Pavimentos* ficou suficientemente evidenciada a enorme importância de se processar, complementarmente, adequadas caracterizações das condições estruturais dos pavimentos, principalmente quando constatada a necessidade de intervenções corretivas que demandam aporte estrutural (reforços estruturais e reconstruções).

Na realidade, ajuizou-se que a quantificação objetiva das características de degradação superficial e de deformação permanente combinadas com o valor absoluto da deflexão reversível máxima seria bastante e suficiente para *se promover* o *diagnóstico funcional do pavimento* e *conceber as medidas corretivas demandadas*.

Essa ótica de avaliação confronta-se, contudo, com a quase totalidade dos métodos de avaliação e de caracterização de pavimentos desenvolvidos e divulgados mundo afora, os quais preconizam levantamentos de um número reduzido de parâmetros com os objetivos de definir segmentos que externem comportamentos uniformes – segmentos homogêneos – e promover

suas respectivas "caracterizações estruturais" com base em valores médios da deflexão reversível máxima, na maioria das vezes considerados isoladamente.

No caso presente, embora se considere que a deflexão reversível máxima constitua um parâmetro completamente insuficiente para definir características estruturais, julga tratar-se de um coadjuvante bastante interessante na definição do *estado de sanidade* dos pavimentos. As deflexões, isoladamente, permitem no máximo a definição dos locais onde o pavimento experimenta maiores ou menores deformações verticais reversíveis quando carregados exteriormente, não se apresentando suficientes sequer para caracterizar o pavimento sob ponto de vista exclusivo da reversibilidade.

Do exposto, torna-se evidente que análises estruturais fundamentadas em valores individuais da deflexão reversível máxima, considerada parâmetro *plenipotenciário e autodefinidor*, podem conduzir a resultados pouco concludentes ou até mesmo errôneos.

Sob tais circunstâncias, no âmbito da metodologia Paragon, considera-se de fundamental importância a contemplação de parâmetros de comportamento mais consistentes – suas grandezas fundamentais –, capazes de permitir a adequada qualificação da estrutura estratificada composta pelo sistema pavimento – solo de fundação.

Deste modo, para se promover uma competente *caracterização estrutural* do sistema estratificado quando submetido a carregamentos exteriores, ajuizou-se que se tornaria fundamentalmente importante diligenciar, no mínimo, a determinação dos seguintes elementos:

- o *perfil constitutivo da estrutura* constituída pelo sistema pavimento – solo de fundação (número de camadas, espessuras e materiais constituintes) e
- as *linhas de influência dos assentamentos reversíveis*, a serem obtidas em ensaios de carga dinâmicos,

os quais, analisados em conjunto, permitem a determinação de grandezas fundamentais, tais como o perfil estratigráfico (número e espessuras das camadas) e os módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson de cada camada constitutiva do pavimento e do solo de fundação.

Complementarmente, ainda no âmbito da presente metodologia, considera-se ainda igualmente importante a realização de sondagens de poço e rotativa, em locais específicos e bem definidos, com três objetivos principais:

- Promover a classificação táctil-visual e identificação dos materiais constituintes das camadas do pavimento e do solo de fundação e determinar as condições de trabalho vigentes, traduzidas pelas características de densificação e de umidade *in situ*;
- Permitir a coleta de amostras dos materiais constitutivos do pavimento e do solo de fundação para caracterizações laboratoriais, proposição que se respalda em experiências pregressas que evidenciaram a importância do conhecimento de parâmetros físicos, mecânicos e de resistência dos materiais em análises teóricas processadas através de fundamentos da Mecânica dos Pavimentos.
- Propiciar a adequada calibração das constantes dielétricas dos materiais constituintes do conjunto pavimento – solo de fundação, muito importantes na análise e interpretação dos perfis estratigráficos em contínuo, medidos pelo Ground Penetrating Radar (GPR);

4.2.5.2.5.3.3.2.Procedimentos e Equipamento para Obtenção das Linhas de Influência

As solicitações usualmente impostas a um pavimento viário são de natureza dinâmica e apresentam particularidades pertinentes aos distintos veículos comerciais. Assim, para a determinação das características estruturais do pavimento existente e dos esforços solicitantes que se desenvolvem no seio de suas camadas e no solo de fundação, faz-se necessário definir as condições representativas da carga-padrão operante, fundamentalmente no que diz respeito às suas magnitudes, às características geométricas de suas distribuições (impressões de contato) e aos tempos de aplicação de carga.

Com esse objetivo e tendo em conta a importância de se definir, com bastante propriedade, os parâmetros tradutores do comportamento estrutural do sistema pavimento – solo de fundação, julgou-se imprescindível promover os estudos pertinentes: definição das características da geometria da impressão de contato, da pressão vertical de compressão imposta na interação pneu–pavimento e do tempo de aplicação da carga representativo da frota de veículos comerciais.

4.2.5.2.5.3.3.3.Definição da Geometria da Carga Representativa

Com o objetivo de avaliar a geometria de distribuição das cargas impostas por um caminhão eixo simples de bandagem dupla carregado com 8,2t e pressão de enchimento dos pneus variando de 80 a 100psi, promoveu-se uma série de experimentos para definição das impressões no contato transmitidas por um conjunto de rodas gêmeas (semieixo traseiro), considerando diversos tempos de aplicação de carga. Os resultados obtidos evidenciaram que:

- baixas pressões de enchimento e tempos de carga elevados revelam contornos em geral irregulares e distribuições de carga não uniformes, com maior concentração nos flancos do que no centro do pneu;
- elevadas pressões de enchimento e tempos de carga reduzidos – da ordem de 1s – revelam contornos bem definidos, de forma sensivelmente circular e praticamente sem concentrações nos flancos dos pneus.

Evidenciaram também a tendência de impressões circulares e permitiram definir que as impressões de contato das rodas gêmeas de um eixo “tandem” duplo poderiam ser representadas por áreas circulares com raios $r = 10,8cm$, distanciadas entre si – de bordo a bordo – em cerca de $10,4cm$).



Figura 88 – Configuração Geométrica das Impressões de Contato

4.2.5.2.5.3.3.4.Definição da Pressão Vertical de Contato

Para definição da pressão de contato pneu–pavimento, ignorados os eventuais efeitos de concentração de tensões junto aos flancos dos pneus, tem sido usualmente considerado que a pressão de contato tende a ser similar à pressão de enchimento.

Para avaliar essa admissão – bastante interessante –, procurou-se cotejar os resultados experimentais obtidos com as características técnicas estabelecidas pelos fabricantes dos veículos comerciais brasileiros – eixo "tandem" duplo com cargas compreendidas entre o eixo-padrão de 8,2t e o eixo legal de 10,0t e pneus calibrados com pressões de enchimento médias de 80 a 100psi – contemplando condições de carregamento distintas (carregado e vazio).

PRESSÃO DE ENCHIMENTO DOS PNEUS x ÁREA DE CONTATO PNEU–PAVIMENTO		
Área de Contato Pneu–Pavimento	Pressão de Enchimento (Eixo Tandem Duplo – Pneu Convencional)	
	8,2t	10,0t
	415,48cm² (r = 11,5cm)	346,36cm² (r = 10,5cm)

PRESSÃO DE ENCHIMENTO X PRESSÃO DE CONTATO			
Área de Contato Pneu–Pavimento	Condições de Carregamento	Pressão de Enchimento (Eixo Tandem Duplo – Pneu Convencional)	
		8,2t	10,0t
	Vazio	78psi 5,48 kgf/cm² (r = 10,91cm)	92psi 6,47 kgf/cm² (r = 10,04cm)
	Carregado	93psi 6,54 kgf/cm² (r = 9,99cm)	101psi 7,10 kgf/cm² (r = 9,58cm)

Figura 89 – Cotejamento entre as Pressões de Enchimento e de Contato dos Pneus de Veículos Pesados

Sendo assim, fica evidenciado que quaisquer que sejam as condições de carregamento, os raios das impressões de contato variam de *9,58cm a 11,5cm*, extremos não refinados que conduzem a um valor médio da ordem de *10,5cm*, bastante razoável para se admitir a *similaridade entre as pressões de enchimento e de contato*. Tais constatações vieram também afiançar as experimentações de campo que denunciaram impressões de contato das rodas gêmeas de um eixo simples carregado representadas por áreas circulares com raios $r = 10,8cm$.

4.2.5.2.5.3.3.5.Definição do Tempo de Aplicação das Cargas

Para definição do tempo de aplicação das cargas rodoviárias impingidas pelos veículos comerciais ao pavimento basta considerar por quanto tempo um determinado elemento (unitário) disposto na superfície de um pavimento é realmente solicitado, atuação esta que é definida pelo tempo necessário para a impressão de contato do pneu–pavimento transladar sobre o elemento unitário considerado ("entrar de um lado e sair do outro"); para esse cálculo, basta definir a velocidade média de percurso dos veículos pesados e o diâmetro de suas respectivas impressões de contato.

Com base em todas essas considerações, julgou-se poder estimar a velocidade média de percurso dos veículos comerciais carregados ao longo da *rede rodoviária brasileira* como sendo da ordem

de v = 80km/h. Para essa velocidade média, considerando a impressão de contato determinada experimentalmente – *Ø = 21,6cm* – calculou-se o tempo que cada elemento unitário da superfície do pavimento permanece sob carga: $t_c = 0,01$ segundo, ao qual corresponde uma frequência de solicitação da ordem de $f = 100\ Hz$, conforme representado a seguir.

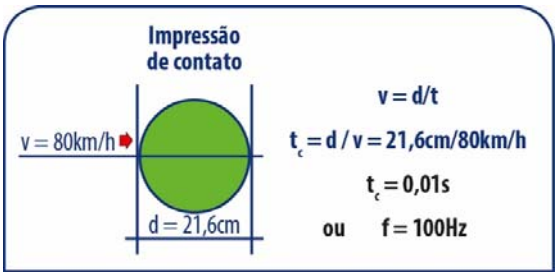


Figura 90 – Tempo de Aplicação de uma Carga Móvel Rolante sobre um Elemento Superficial Unitário

4.2.5.2.5.3.3.6.Seleção do Ensaio de Carga Dinâmica

Como anteriormente alertado, para se caracterizar a estrutura de um pavimento existente faz-se fundamentalmente necessário determinar as linhas de influência dos assentamentos reversíveis provocados à superfície sob a ação de cargas dinâmicas, obtidas, no caso presente, com o emprego do deflectógrafo de pavimento Falling Weight Deflectometer – FWD.



Figura 91 – Falling Weight Deflectometer - FWD

Com o FWD, as medições são pontuais, estaca por estaca, e a integração gráfica das medições processadas por 7 geofones permite a delineação da *linha de influência dos assentamentos reversíveis* detectada no âmbito da carga aplicada.

A título de informação complementar, vale citar que, ao contrário do comumente propalado, *o* FWD *não mede deflexões reversíveis* e sim a magnitude e a velocidade da vibração imposta à estrutura por uma carga dinâmica gerada pelo impacto de um peso em queda livre de sobre um sistema de amortecedores de borracha; registra, por conseguinte, a *Energia Potencial Gravitacional (EPG)*. A onda gerada – pelo choque da carga solicitante – se propaga de forma senoidal e é captada e medida à superfície do pavimento pelos sete geofones, dispostos à distintas distâncias.

O cálculo do efeito dinâmico consiste, por conseguinte, na determinação da força de pico obtida ao se igualar a energia potencial da massa, antes da sua queda, com o trabalho desenvolvido pelos amortecedores de borracha, depois da queda. Os registros da velocidade das ondas de vibração

impostas à estrutura pela carga dinâmica e a definição de seus picos máximos ao centro de aplicação de carga e a distintas distâncias são ilustrados a seguir:

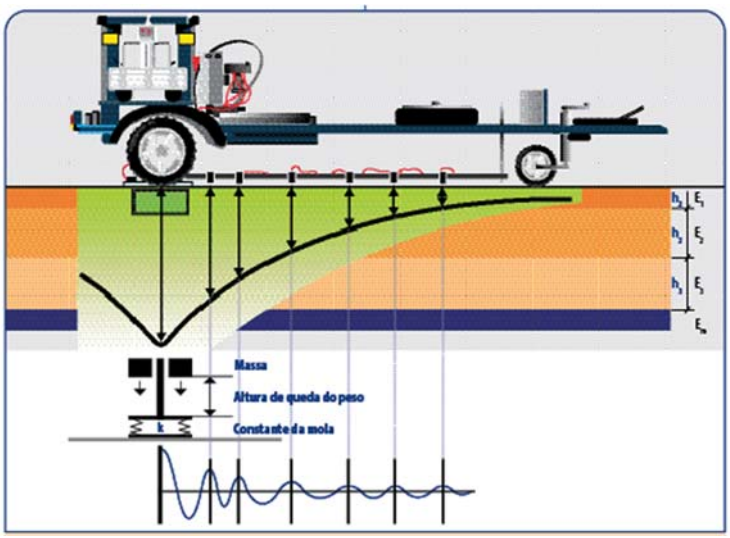


Figura 92 – Registro da Velocidade de Vibração Imposta à Estrutura por uma Carga Dinâmica e Definição dos Picos Máximos da Onda Gerada

Na validação dos ensaios de caracterização estrutural de pavimentos teve-se em conta ainda o fato de o FWD aplicar um carregamento único, diferente do semieixo traseiro de um caminhão, composto de um par de rodas gêmeas, particularidade que demandou a aplicação de uma carga de 4100kgf – soma das cargas correspondentes ao par de rodas gêmeas (2050 kgf/cm^2) – distribuída sobre uma placa circular de r = 15,25cm (Ø = 12”), compatível para exercer uma pressão de solicitação de σ_c = 5,6kgf/cm^2 ao pavimento.

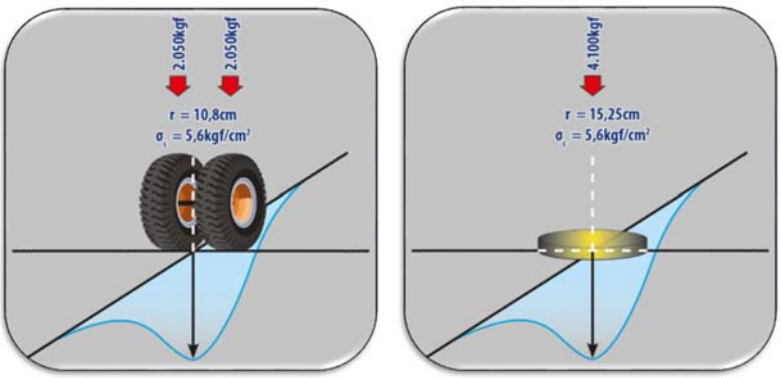


Figura 93 – Simulação das Condições de Aplicação de Cargas pelo FWD e por um Conjunto de Rodas Gêmeas de um Semieixo de um Caminhão

4.2.5.2.5.3.3.7.Definição do Posicionamento Longitudinal dos Geofones

No caso presente, tendo em conta as características de flexibilidade dos materiais constituintes usuais das camadas do pavimento existente e também do solo de fundação, considerou-se os posicionamentos dos sete geofones FWD conforme recomendado pelo *Programa SHRP*, indicados a seguir.

DISPOSIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS GEOFONES (Pavimentos Flexíveis)		
Geofone Nº	Denominação da Deflexão Reversível	Distância em Relação ao Centro da Placa (cm)
1	D_0	0
2	D_{20}	20
3	D_{30}	30
4	D_{45}	45
5	D_{60}	60
6	D_{90}	90
7	D_{120}	120

Figura 94 – Posicionamento dos Geofones no Falling Weight Deflectometer – FWD em relação ao centro de aplicação de carga

4.2.5.2.5.3.3.8.Definição dos Locais de Avaliação com o FWD

No caso presente, conforme disposto nos Termos de Referência, a medição das linhas de influência foi processada a cada 20m, dispostas alternadamente em relação às faixas de tráfego. Para a demarcação das estacas – tarefa sempre morosa e substancialmente imprecisa quando feita por caminhamento –, empregou-se um equipamento eletrônico especialmente desenvolvido – *Automated Mark System* –, o qual, dotado de um *encoder ótico* que permite marcações com precisão milimétrica; o equipamento é ilustrado a seguir.



Figura 95 – Equipamento de demarcação viária *Automated Mark System*

4.2.5.2.5.3.3.9.Procedimentos e Equipamentos para Determinação do Perfil Constitutivo do Pavimento

Uma vez medidas as linhas de influência experimentais dos assentamentos reversíveis com emprego de ensaios de carga dinâmicos, o passo seguinte da caracterização estrutural consiste em pesquisar, na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados exteriormente, linhas de influência teóricas iguais ou similares, procedimento que permite inferir, por analogia, as grandezas fundamentais da estrutura e do solo de fundação.

Nessa busca, que ocorre por processo iterativo, torna-se importante – mas não imprescindível – conhecer o perfil constitutivo (geometria) do pavimento existente ou, mais fundamentalmente, o número e a espessura de suas camadas constitutivas, grandezas que permitem avaliações comportamentais mais consistentes e verdadeiras.

Fundamentados nessa premissa e tendo em conta a enorme importância que o conhecimento do perfil estratigráfico empresta à análise estrutural (*retroanálise*), promoveu-se, no caso presente, o levantamento do perfil constitutivo dos pavimentos existentes através de dois procedimentos conjugados:

a) *Ground-Penetrating Radar (GPR)*

Trata-se de um radar de profundidade que permite a determinação do número e da espessura das camadas componentes do sistema estratificado em contínuo. Acoplado com antenas do tipo *Horn Antenna* (Antena Chifre) e dispositivo *Air Coupled* de 1,0GHz (Antena com contato com ar), é capaz de proporcionar prospecções de até 1,5 metro de profundidade, penetração suficiente para determinação do número e espessuras das camadas existentes.

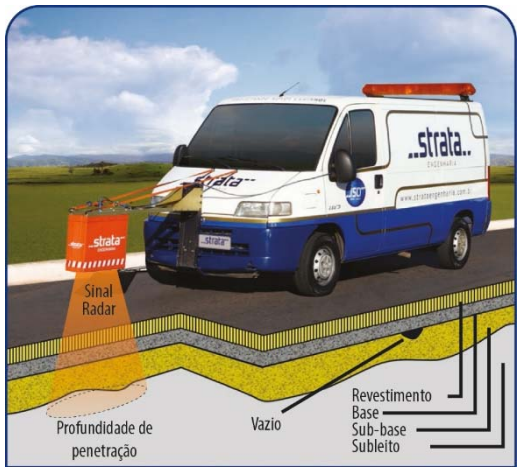


Figura 96 – *Ground-Penetrating Radar* (GPR)

O princípio de funcionamento do GPR consiste na transmissão de ondas eletromagnéticas para o interior do pavimento através de uma antena transmissora. As mudanças das propriedades eletromagnéticas (constante dielétrica) características de cada material constituinte do pavimento fazem com que, a cada mudança de material, fração (parte) das ondas transmitidas seja refletida enquanto a fração restante continua sua trajetória em profundidade. A fração refletida é detectada por uma antena receptora que mede a amplitude e o tempo de viagem da onda (transmitida e refletida); a representação esquemática do processo de mensuração é ilustrada a seguir.

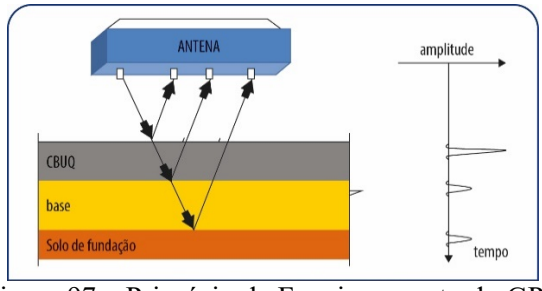


Figura 97 – Princípio de Funcionamento do GPR

A identificação das camadas existentes é processada por meio da interpretação dos registros obtidos quando da realização dos ensaios – penetração/reflexão das ondas eletromagnéticas – conforme ilustrado no "Radargrama" apresentado a seguir.

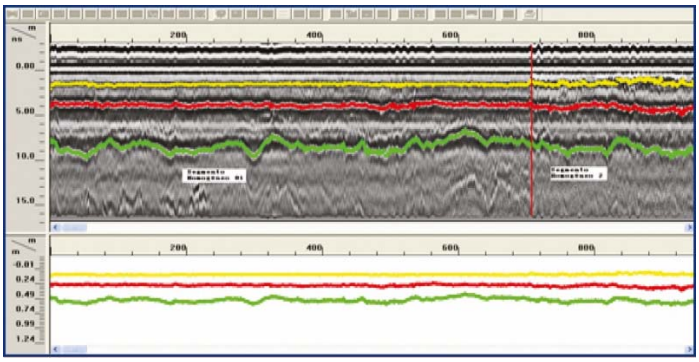


Figura 98 – Interpretação do Radargrama

A determinação da espessura baseia-se, por conseguinte, no cálculo da velocidade e do tempo de percolação da onda eletromagnética numa camada. O tempo de transmissão é a diferença de tempo entre os "picos" que determinam a camada, ou seja, do tempo de ida e volta da onda; a velocidade de transmissão ou de propagação das ondas em cada material é função de sua constante dielétrica específica. Sob tais condições, tem-se as seguintes expressões:

$$Velocidade\ de\ Transmissão = \frac{Velocidade\ da\ Luz}{Constante\ Dielétrica}$$

$$Espessura = \frac{Velocidade\ de\ Trasmissão\ x\ Tempo\ de\ Ida\ e\ Volta}{2}$$

$$Espessura = \frac{Velocidade\ da\ Luz\ x\ Tempo\ de\ Ida\ e\ Volta}{2\ x\ Constante\ Dielétrica}$$

A título de informação complementar, apresentam-se a seguir as constantes dielétricas e as respectivas velocidades de propagação de alguns materiais:

CONSTANTES DIELÉTRICAS E VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NOS MATERIAIS		
Material	**Constante Dielétrica**	**Velocidade (m/ns)**
Ar	1	0,300
Areia Seca	4 – 6	0,120 – 0,150
Argila Saturada	30	0,055
Argila Seca	8	0,110
Argila Saturada	33	0,052
Asfalto	3 – 6	0,120 – 0,170
Concreto	9 – 12	0,087 – 0,100
Água	81	0,033

Figura 99 – Constantes Dielétricas e Velocidades de Propagação das Ondas nos Materiais

b) Sondagens de Poço e Rotativas

As sondagens de poço dever ser localizadas nas zonas centrais em cada segmento homogêneo e de sondagens rotativas, estas dispostas a cada 1000m de extensão. As sondagens de poço visam permitir a classificação táctil-visual dos materiais constituintes das camadas do pavimento e do solo de fundação – não traduzidas pelo Georadar – e a coleta de amostras dos materiais constitutivos para caracterizações laboratoriais. Complementarmente, os resultados das sondagens de poço (espessuras das camadas) permitem promover a calibração das constantes dielétricas dos materiais constituintes do conjunto pavimento – solo de fundação, haja vista que o software do equipamento permite a consideração das espessuras

medidas no campo. As sondagens rotativas são efetuadas com o objetivo de conferir as composições e aferir as espessuras das camadas asfálticas existentes, determinadas através do GPR.



Figura 100 – Sondagens de Poço (Pavimento) e Rotativas (Camada Asfáltica)

4.2.5.2.5.3.3.10. Análise de Consistência das Linhas de Influência Experimentais e Procedimentos para Cálculo das Linhas de Influência Teóricas

A avaliação das características estruturais de um pavimento exige a aplicação de critérios mais profícuos e consistentes que a simples consideração de valores individuais das deflexões reversíveis. Por assim considerar, julgou-se, no âmbito da presente metodologia, que uma adequada caracterização estrutural do sistema estratificado demandaria, no mínimo, a definição do perfil constitutivo da estrutura existente e a interpretação de linhas de influência dos assentamentos reversíveis a serem obtidas através de ensaios de carga dinâmicos.

A consideração conjunta dessas duas variáveis permite, através do artifício matemático denominado *Retroanálise* – desenvolvido pelo Eng.º Almeida Pereira (LNEC 1969), a definição das grandezas fundamentais de um pavimento: número e espessura das camadas constitutivas e os valores de seus respectivos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson.

Em tese, o processo de retroanálise consiste em se pesquisar, na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados exteriormente, linhas de influência teóricas similares àquelas obtidas experimentalmente, procedimento que faculta definir, por analogia, uma *estrutura de trabalho equivalente*, a qual se apresenta suficientemente representativa do conjunto pavimento – solo de fundação existente.

Destarte, obtidas as linhas de influência experimentais, torna-se primeiramente necessário promover uma análise de consistência dos resultados obtidos com o objetivo de se corrigir/eliminar eventuais falhas de leitura pelos sensores de medida (geofones no FWD), procedimento que possibilita a adequada interpretação analítica das linhas de influência experimentais; tais anomalias podem decorrer do mau contato de um ou mais dos geofones (FWD) dispostos sobre a superfície do revestimento (desníveis localizados, sujeira na pista, pedras soltas, sobreposição ou proximidade de fissuras severas, lâmina d'água, etc.) e respondem pela descontinuidade expectada da conformação geométrica dos deflectogramas.

Dessa forma, com o objetivo de identificar e corrigir deflexões espúrias, desenvolveu-se, no âmbito da Metodologia Paragon, um procedimento para consolidação das bacias experimentais, fundamentado na admissão de sua similaridade com uma função sigmoidal que, calculada por

regressão, define uma *"bacia de referência corrigida",* identificando e substituindo as deflexões espúrias.

Essa integração perfeita remete, por conseguinte, a uma função sigmoidal do tipo:

$$D_r = \frac{D_0}{1 + K.r^M}$$

onde:

r – Distância ao centro da bacia deflectométrica (raio);
D_r – Deflexão no raio r (raio);
D_0 – Deflexão no raio 0 (zero);
K e M – Parâmetros obtidos por regressão matemática.

Como a regressão é feita através do *Método dos Mínimos Quadrados*, torna-se necessário primeiramente linearizar a equação, procedimento apresentado a seguir:

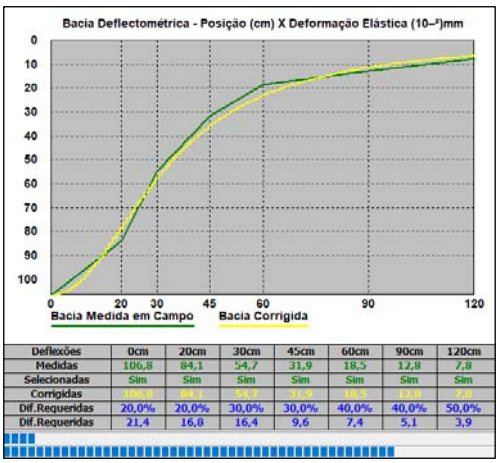
$$D_r = \frac{D_0}{1 + K.r^M}$$

$$\begin{aligned} (1 + K.r^M) &= D_0/D_r \\ K.r^M &= D_0/D_r - 1 \\ \ln(K.r^M) &= \ln(D_0/D_r - 1) \\ \ln(K) + \ln(r^M) &= \ln(D_0/D_r - 1) \\ \ln(K) + \mathrm{M}.\ln(r) &= \ln(D_0/D_r - 1) \end{aligned}$$

Fazendo-se:

$$\ln(K) = b; \quad M = a; \quad \text{tem-se} \quad y = ln\,(D_0/D_r - 1) \;\text{ e }\; \ln(r) = x$$

ou seja, as variáveis que definem a equação $y = a.x + b$ que permite calcular a e b pelo Método dos Mínimos Quadrados e, consequentemente os coeficientes $M = a \;\; e \;\; K = e^b$, necessários à definição da "*bacia de referência*" ilustrada a seguir.



Deflexões	0cm	20cm	30cm	45cm	60cm	90cm	120cm
Medidas	106,8	84,1	54,7	31,9	18,5	12,8	7,8
Selecionadas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Corrigidas	106,8	85,4	54,7	31,9	18,5	12,8	7,8
Dif.Requeridas	20,0%	20,0%	30,0%	30,0%	40,0%	40,0%	50,0%
Dif.Requeridas	21,4	16,8	16,4	9,6	7,4	5,1	3,9

Figura 101 – Consolidação da Bacia Experimental através de Regressão pelo Método dos Mínimos Quadrados

Processada a retromencionada análise de consistência, o universo de linhas de influência experimentais disponíveis se apresenta apto para ser analisado, procedimento que se lavra através do método da *Retroanálise* que se fundamenta nos critérios clássicos da Mecânica dos Pavimentos aplicados a sistemas estratificados elásticos carregados à superfície.

No caso da *Metodologia Paragon*, considerando as condições de contorno estabelecidas por *Donald M. Burmister* ("The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways", Proc. Highways Research Board, vol. 23, 1943), foi desenvolvido um programa de cálculo automático que varre a Teoria da Elasticidade na pesquisa de linhas de influência teóricas similares às linhas de influência experimentais, considerando um sistema estratificado elástico composto por *5 camadas* submetido até *10 cargas* externas.

Denominado *"**RetroStrata**"*, o programa processa uma varredura iterativa na Teoria da Elasticidade através de um artifício de retroalimentação. A pesquisa, processada de forma instantânea – demanda no máximo 5s para processar cada retroanálise – é concluída quando se estabelece a "cobertura" integral da linha de influência experimental; o programa permite o cálculo de mais de 100.000 linhas de influência teóricas ao cabo de uma noitada de operação dos computadores.

A título ilustrativo, apresenta-se a uma tela do programa na qual consta, na lateral esquerda, o ajuste sigmoidal da linha de influência experimental (método dos mínimos quadrados), e na direita, um "instantâneo" da varredura da Teoria da Elasticidade na busca da linha de influência teórica. Nessa visualização constam-se a linha de influência experimental ajustada (amarela), a calculada instantaneamente (vermelha) e melhor bacia ajustada até aquele instante (azul); no canto inferior direito, dentro do quadro branco aparece NI = 0643, que indica o número de tentativas de ajuste já processadas, as quais podem se estender até a tentativa 2000.



Figura 104 – Procedimento de Retroanálise processado pelo Programa RetroStrata

Como informação complementar, vale lembrar ainda que todas as camadas constitutivas, assim como o solo de fundação, contribuem para a composição da linha de influência dos assentamentos reversíveis, ressaltando que as deflexões mais próximas do centro de aplicação da carga são mais influenciadas pelos valores modulares da camada asfáltica, as deflexões medianas pelos valores da camada de base e as deflexões mais extremas pelos valores modulares da camada de sub-base e nomeadamente do solo de fundação.

A título de ilustração apresenta-se, a seguir, uma representação esquemática da distribuição de cargas com a profundidade – que depende nomeadamente da rigidez das camadas – e as predominâncias de responsabilidade de cada camada e do solo de fundação nos valores das deflexões reversíveis.

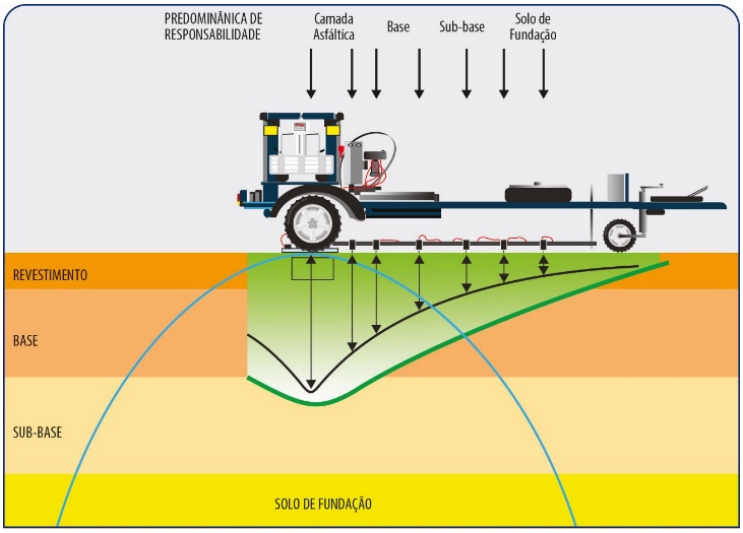


Figura 102 – Representação Esquemática da Distribuição de Cargas com a profundidade e sua influência nos Valores das Deflexões

No âmbito das retroanálises, os cálculos analíticos demandam o conhecimento prévio do *coeficiente de Poisson* (ν) dos materiais constituintes do conjunto pavimento – solo de fundação, definido pela relação entre a deformação transversal relativa e a deformação longitudinal relativa, tratando-se, pois, de uma grandeza adimensional:

$$Coeficiente\ de\ Poisson\ (\upsilon) = \frac{\frac{\Delta t}{e_t}}{\frac{\Delta l}{l_0}}$$

onde:
ν = Coeficiente de Poisson (adimensional);
Δt = variação da dimensão transversal;
e_t = dimensão transversal inicial;
Δl = variação da dimensão longitudinal;
l_o = dimensão longitudinal inicial.

Em termos reais, a determinação do Coeficiente de Poisson é efetuada através de ensaios de tração e são necessários dois dispositivos de medida – de enorme sensibilidade –, um para a medida da deformação transversal e outro para a medida da deformação longitudinal. Dessa forma, como se trata de ensaio difícil de ser executado e sabendo que existe uma variação de valores desses coeficientes para cada material, duas alternativas preditivas se apresentam, ditadas pela experiência de organismos de notório conhecimento: a proposta AASHTO – Guide for

Design of Pavement Structures (1986) e a proposta do Programa SHRP – Strategic Highway Research Program, prestemente adotada:

VALORES DO COEFICIENTE DE POISSON PARA DIVERSOS MATERIAIS		
MATERIAIS	**COEFICIENTE DE POISSON**	
Mistura Asfáltica - Temperatura de Referência (°C)		
Temperatura	**Densa**	**Aberta**
0 – 5,0	0,20	0,35
5,0 – 20,0	0,25	0,40
20,0 – 40,0	0,35	0,40
40,0 – 55,0	0,45	0,45
> 55,0	0,48	0,45
Mistura Asfáltica - Valores Modulares		
S > 35.000kgf/cm²	0,30	
S < 35.000kgf/cm²	0,35	
Concreto de Cimento Portland		
Concreto de Cimento Portland	0,15	
Concreto de Cimento Portland Fraturado	0,30	
Bases e Sub-Bases Estabilizadas		
Com Cimento	0,20	
Com asfalto	0,35	
Granulares	0,35	
Solos de Fundação		
Solo de Fundação Estabilizado	0,35	
Solo de Fundação Coesivo	0,45	
Solo de Fundação Arenoso	0,35	

Figura 103 – Valores dos Coeficientes de Poisson para Diversos Materiais (SHRP)

4.2.5.2.5.3.3.11. Análise e Interpretação das Linhas de Influência Experimentais

A interpretação das *linhas de influência dos assentamentos reversíveis* é processada através de um artifício matemático que consiste em pesquisar, na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados à superfície, *linhas de influência teóricas* iguais ou substancialmente similares às linhas *experimentais*; quando a superposição de ambas as linhas é perfeita, sob as mesmas condições de carregamento, infere-se que as grandezas definidas pela teoria – número de camadas, espessuras, valores modulares e coeficientes de Poisson – são representativas do sistema existente.

Entretanto, considerando que a retroanálise constitui um processo de interpretação teórica, torna-se fundamentalmente importante ter em conta que os valores modulares obtidos devem ser interpretados de forma analítica, como representantes de uma "*estrutura de trabalho equivalente*". Destarte, não devem ser vinculados, obrigatoriamente, a valores modulares dos mesmo materiais obtidos em laboratório, primeiro porque em um sistema estratificado os materiais trabalham de forma consorciada, conjunta e solidária e segundo, porque a teoria desconhece, solenemente, o que é revestimento asfáltico, brita graduada, cascalhos lateríticos, etc.

Em síntese, os resultados obtidos de retroanálises traduzem "*estruturas de trabalho equivalentes*", que exprimem afazeres comportamentais similares àqueles desenvolvidos pelas distintas estruturas pavimento – solo de fundação submetidas a carregamentos externos similares. Nessa avaliação teórica, os cálculos são processados contemplando as camadas sobrepostas, trabalhando de forma

combinada e solidária, condição que estabelece, *per se*, uma diferenciação natural entre os valores modulares teóricos e o obtidos em ensaios laboratoriais.

Entretanto, em que pese tal diferenciação, julga-se que as estruturas teóricas definidas, quando prudentemente analisadas, auxiliam enormemente na interpretação do comportamento das estruturas vigentes, reais, as quais permitem processar avaliações conjecturais de elevada importância, notadamente no que diz respeito ao comportamento específico de cada camada constituinte. Inclusivamente, permite apreciar a obediência ao princípio basilar que rege a concepção de um pavimento: o arranjo estratificado de materiais deve ser disposto com gradientes de nobreza crescentes no sentido da superfície, tanto mais altivos quanto mais próximos das cargas atuantes.

A tese principal é a de que as camadas mais próximas da superfície têm a obrigação de receber e absorver a parcela majoritária das cargas emanadas pelo tráfego, distribuindo a fração restante, de forma abrandada, para o substrato, constituído por materiais menos nobres. Entretanto, nessa iteração entre camadas atuando em conjunto, um princípio novo – completamente desconhecido – se apresenta, traduzido pelo fato de que cada camada inferior deve cumprir uma missão complementar de enorme importância: garantir a *sustentação da camada superior* de forma a evitar que trabalhe em regimes de solicitação forçada.

Essa nova exigência reclama, por conseguinte, um "compromisso de solidariedade" de todas as camadas do pavimento – que deixam de ser somente "protegidas e aliviadas" – que assumem a missão de suportar as superiores. Para verificação de tais compromissos, basta se avaliar relações modulares externadas por camadas sequenciais, pois grandes quocientes evidenciam, seguramente, a ausência de solidariedade da camada inferior.

Face à importância do "fenômeno de solidariedade" no âmbito de uma estrutura estratificada e considerando que análises de relações modulares entre camadas sequenciais podem se mostrar bastante elucidativas sobre as causas de problemas comportamentais de pavimentos, ajuizou-se, para além do conhecimento e da análise conjunta de suas grandezas fundamentais – número e espessuras das camadas constitutivas e respectivos *módulos de elasticidade* – ser extremamente profícuo determinar, concomitantemente, a *contribuição específica de cada camada constituinte e do solo de fundação na deformabilidade* imposta pelas cargas exteriores ao sistema pavimento – solo de fundação.

Portanto, os cálculos são processados e os resultados obtidos são apresentados em tabelas específicas nas quais constam os valores das deflexões medidas pelo FWD (sete geofones), as espessuras das camadas constituintes do pavimento existente, os coeficientes de Poisson adotados, os valores modulares determinados por retroanálise e, finalmente, a contribuição de cada camada e do solo de fundação na deformabilidade imposta ao pavimento pelas cargas aplicadas.

4.2.5.2.5.3.4. Diagnóstico Estrutural de Pavimentos

4.2.5.2.5.3.4.1.Conceituação

Definidos os perfis estratigráficos, os módulos dos materiais constituintes e dos solos de fundação e as contribuições de cada camada no valor da deflexão reversível máxima, tem-se os elementos de exame que permitem – através de análises específicas e minuciosas – o estabelecimento dos *diagnósticos estruturais* do pavimento.

Portanto, dispondo-se desses relevantes de parâmetros de comportamento, devem ser seus valores específicos organizados sob forma gráfica – em lineares sinópticos – e gravados sempre na mesma base de correspondência, ditada pelo estaqueamento. Seguidamente, deve-se considerar o desenvolvimento de cada parâmetro e caracterizar suas distinções sequenciais, tradutoras de diferenças comportamentais específicas; a análise de cada parâmetros, processada de forma independente, através da interpretação dos "***diagramas de amplitude***" de suas variações seriais, constitui um procedimento que permite definir segmentos homogêneos sequenciais, distintos dos que o antecedem e sucedem.

Processada essa delimitação longitudinal de cada parâmetro de comportamento estrutural considerado, o passo seguinte consiste em se promover uma ***análise espectral*** englobando todos os parâmetros em conjunto, confrontando suas fronteiras individuais e contextualizando-as de forma a se poder estabelecer as ***"fronteiras conjunturais"***, traduzidas pela conformidade de todos os parâmetros de comportamento no mesmo segmento; o conjunto de homogeneidades individuais compõe um segmento verdadeiramente homogêneo em termos estruturais.

4.2.5.2.5.3.4.2.Metodologia para Diagnóstico Estrutural de Pavimentos

A caracterização estrutural proposta pela Metodologia Paragon se alicerça na análise conjuntural das grandezas fundamentais que compõem as camadas do pavimento e o solo de fundação (estaca por estaca, por faixa de tráfego), processada através da contemplação conjugada de suas delimitações sequenciais específicas; vislumbrado no espectro global, segmento homogêneo é aquele em que todos os parâmetros de comportamento externam, simultaneamente, conformidade em suas variações.

Destarte, os trabalhos de investigação das *fronteiras modulares comportamentais* são delicados e sensíveis, pois imploram análises concomitantes dos módulos das diferentes camadas (revestimento, base, sub-base e muitas vezes reforço do subleito) e do solo de fundação, os quais, em seus processos de diferenciação sequencial, demandam "*trajetórias de mudança*" que consomem um determinado *"segmento de transição"*. Simultaneamente, somam-se ainda as contribuições de cada camada no valor da deformabilidade máxima, variáveis que também demandam *intervalos de transição* e que evidenciam, não raras vezes, fronteiras conturbadas com trajetórias envolvidas.

Por vezes, as divisões comportamentais envolvem, nos entornos fronteiriços, entrelaçamentos "nebulosos", cuja definição se faz, contudo, necessária para a definição dos segmentos sequenciais. Nesses casos, as divisões requerem extrema sensibilidade, pois contemplam espectros conjunturais diferenciados por fronteiras muito tênues, definidas pelo rigor de sutilezas comportamentais, particularidade que torna a definição das fronteiras comportamentais ainda mais delicada.

A divisão compartimentada de cada grandeza deve ser promovida de forma individual e independente, etapa que tem sido elaborada através do *processo de decoupage*, o qual se prima pela contemplação dos intervalos de amplitude detectados, evidenciados pelas variações sequenciais analisadas; são definidos com base na acuidade visual e na experiência e sensibilidade do analista, não sendo, portanto, definidos por regras rígidas ou fáceis de definir.

As fronteiras estabelecidas por esse processo de *"decoupage"* permitem, ao final, a consideração conjunta dos valores modulares e das contribuições na deformabilidade de cada camada e do solo de fundação, os quais tendem a se apresentar, de forma geral, sensivelmente similares, haja vista as interdependências e vinculações das grandezas comportamentais; as

exceções, quando verificadas, estabelecem em princípio um novo segmento homogêneo, mas devem ser objetos de análises específicas.

Com base no exposto, os diagnósticos são processados, por conseguinte, com base *na contemplação das magnitudes individuais e conjuntas das grandezas fundamentais, na avaliação de suas intensidades, na apreciação das compatibilidades estruturais entre camadas sucessivas e no exame das conformidades conjunturais pertinentes ao sistema estratificado em questão*. Nesse propósito, somam-se ainda *as contribuições das camadas e do solo de fundação na deformabilidade experimentada pelo sistema quando carregado exteriormente*, variável que contribui, de forma notável, no estabelecimento da segmentação homogênea.

Finalmente, lavradas as análises comportamentais e processados os diagnósticos estruturais do pavimento por faixa de tráfego, a continuação dos trabalhos demanda o confronto – existência de identidade – entre os estados comportamentais externados por ambas as faixas de tráfego numa mesma transversal; essas avaliações são verificadas primeiramente pela comparação dos limites fronteiriços de ambas as faixas de tráfego, seguidas do cotejamento das magnitudes dos valores modulares e das contribuições das camadas do pavimento e do solo de fundação na deformabilidade do pavimento.

Quando os tráfegos em ambas as faixas são similares – em termos volumétricos e magnitudes das cargas – a precisão cirúrgica verificada entre as fronteiras limítrofes de ambas as faixas de tráfego estabelece *identidades homozigóticas* que permitem afirmar que o pavimento foi constituído por materiais granulares bastante homogêneos, sobreposto a solos de fundação similares e construído com a mesma técnica executiva. Quando constatadas diferenças de carregamento nas faixas de tráfego – *saídas de fábricas de cimento e de mineradoras, estradas de escoamento da safra de grãos, acesso a portos secos, etc.* –, as condições estruturais externadas pelo pavimento podem ser bastante distintas em ambas as faixas de tráfego.

4.2.5.2.5.3.5. Análise Conjunta dos Diagnósticos Funcional e Estrutural – Diagnóstico Final

Conforme exposto, a *Metodologia Paragon* de avaliação de pavimentos se compõe de duas células másteres:

- a *avaliação funcional*, que se propõe a definir os *estados de sanidade* do pavimento e a estabelecer seu *diagnóstico funcional* e
- a *avaliação estrutural*, que se propõe a determinar as características definidoras da estrutura – *número, espessura e valores modulares das camadas constitutivas e do solo de fundação* – e a estabelecer o seu *diagnóstico estrutural*.

As *avaliações funcionais* se fundamentam no inventário da superfície dos pavimentos, no qual se identificam as diferentes manifestações de ruína existentes, contabilizando-as, às quais se somam medições de parâmetros de conformidade geométrica (traduzidos pelas malformações longitudinais e transversais) e de deformabilidade do sistema quando submetido a cargas externas.

O agrupamento dessas características, através de um algoritmo de ordenação numérica, permite definir os estados de sanidade do pavimento, os quais estabelecem, *per se*, o *diagnóstico funcional*, estaca por estaca; definidos os agrupamentos de diagnósticos similares, análises de identidade complementares facultam a definição dos segmentos que externam comportamentos homogêneos.

As *avaliações estruturais* se propõem a definir o sistema pavimento – solo de fundação como "estrutura", proposição que demanda a definição de suas principais grandezas fundamentais: o perfil constitutivo (número e espessura das camadas) e os valores modulares, coeficientes de Poisson e as contribuições na deformabilidade das camadas constitutivas e do solo de fundação, estaca por estaca; análises de identidade, após as devidas interpretações, definem o *diagnóstico estrutural* dos segmentos que externam comportamentos homogêneos.

Em que pese as diferenças dos procedimentos, é de esperar que o espectro comportamental de um pavimento abrigue ambos os diagnósticos sob o mesmo manto, pois a vinculação simbiótica – *vida comum com o outro* – é implícita e deve traduzir harmonia plena entre os diagnósticos de forma a justificar suas coexistências; não há como avaliar uma estrutura por quaisquer que sejam os processos e deles se depreenderem diagnósticos diferentes e/ou antagônicos.

No caso específico dos pavimentos asfálticos, é seguro afirmar que as malformações externadas à superfície decorrem de falhas comportamentais internas experimentadas pelo sistema estratificado composto pelas camadas do pavimento e pelo solo de fundação. De igual forma, pode se afirmar que também a deformabilidade de uma estrutura está umbilicalmente ligada ao comportamento do sistema sob a ação das cargas externas.

Assim considerando, é de suma importância, na fase final, cotejar os *diagnósticos funcional* (estados de sanidade determinados nas avaliações funcionais) e *estrutural* (valores modulares das camadas constitutivas e do solo de fundação e suas respectivas contribuições na deformabilidade do sistema), proposição que se fundamenta na crença da existência de um transtorno de identidade associativa, ou seja, identidade plena.

De igual forma, os diagnósticos devem ainda interagir e se complementarem mutuamente nas definições das patologias, nas análises de suas causas mais prováveis e de seus processos evolutivos e nas definições dos remédios mais apropriados; as qualificações ou deficiências estruturais – vigorosas ou frágeis – respondem pelos estados de sanidade detectados, distribuídos entre a saúde e a perrengues.

Finalmente, cabe alertar que, embora a definição dos comportamentos homogêneos seja traduzida por um conjunto de estacas que externam padrões comportamentais predominantes, não raras vezes se constata a intromissão de valores não condizentes – representados por pequenos "segmentos" da ordem dos 50 a 100m, normalmente decorrentes de medidas de manutenção efetuadas (remendões ou "panos" de reparações localizadas) ou de problemas de drenagem específicos (cortes em rocha com drenos colmatados) –, os quais não devem entretanto comprometer a tendência esmagadora exteriorizada por determinado estado de sanidade.

4.2.6. AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DO PAVIMENTO E CONCEPÇÃO DAS SOLUÇÕES DE RESTAURAÇÃO ATRAVÉS DA METODOLOGIA PARAGON

O princípio basilar da metodologia Paragon alicerça-se na crença de que o diagnóstico de um pavimento não pode se fundamentar na definição de um parâmetro único, determinado a partir do tratamento conjunto e miscigenado de diferentes manifestações de ruína, de distintas naturezas, gravidades, estágios evolutivos e percentuais de ocorrência. Assim, na busca de uma solução deste questionamento, a alternativa desenvolvida consistiu em se contemplar, de forma particularizada, as distintas ***famílias comportamentais*** – definidas em termos de suas naturezas e gêneses – que caracterizam um pavimento rodoviário, às quais se julgou importante associar as ***condições de deformabilidade*** do sistema quando solicitado pelas cargas do tráfego usuário.

Deste modo, a metodologia Paragon promove a ***avaliação funcional*** de pavimentos rodoviários tendo em conta de forma individualizada as características de *degradação superficial* (fissuras, panelas, remendos, desgaste, migrações *per ascensum*, escorregamentos de massa, etc.) e de *deformação permanente* (irregularidades longitudinal e transversal, afundamentos plásticos laterais ou por consolidação, estufamentos, assentamentos diferenciais e/ou rupturas de maciços terrosos, etc.), associadas às características de *deformabilidade elástica* (deflexão reversível máxima) experimentada pelos pavimentos quando solicitados exteriormente. A fundamentação dessa metodologia se alicerça, portanto, na tese de que uma análise espectral conjunta das distintas famílias permite definir, de modo consistente e abrangente, o nível de "sanidade" – ***diagnóstico funcional*** – externado por um pavimento rodoviário.

Paralelamente contudo à avaliação funcional, a metodologia preconiza a realização complementar de uma ***avaliação estrutural*** do sistema estratificado, a qual deve permitir a definição do ***diagnóstico estrutural*** do conjunto pavimento - solo de fundação, a ser estabelecido a partir do conhecimento dos parâmetros que verdadeiramente caracterizam uma estrutura: o número e a espessura das camadas constitutivas do pavimento existente e as grandezas fundamentais que caracterizam seus materiais constituintes e o solo de fundação (módulos de rigidez/resiliência, coeficientes de Poisson; somam-se ainda no estabelecimento do diagnóstico estrutural as características físicas, a plasticidade, a expansibilidade, a capacidade de suporte e o comportamento mecânico).

4.2.6.1. Levantamento Histórico do Pavimento

A rodovia GO-330, no trecho entre Roncador e Orizona, desempenha um papel estratégico no escoamento de materiais primários, principalmente, do agronegócio. O trecho perpassa o importante município de Pires do Rio, servindo de ligação até o município de Orizona. Conforme dito anteriormente, a rodovia se mantém majoritariamente em Pista simples, com exceção de um pequeno trecho localizado dentro do perímetro urbano de Pires do rio, entre as estacas 400 e 572, o qual ostentou mudanças na geometria da via e até no tipo de pavimento. Por fim, é importante salientar que todo o intervalo do perímetro urbano de Pires do rio não será avaliado, visto que além das variações de traçado e de pavimento observadas, se trata de uma região com características urbanas, ou seja, drenagem urbana, fiação elétrica, e em diversos pontos, casas extremamente próximas ao pavimento existente.

4.2.6.2. Avaliação das Características Funcionais dos Pavimentos

Tendo em conta as preconizações estabelecidas pela metodologia Paragon, aplicaram-se os procedimentos necessários para se definir os índices caracterizadores das condições representativas de cada família considerada (degradação superficial, deformação permanente e deformabilidade elástica); seguidamente, com base nos resultados obtidos, foram analisados e avaliados seus inter-relacionamentos considerando suas magnitudes, graus de importância e prioridades, particularidades que permitiram definir os ***diagnósticos*** tradutores dos estados de sanidade externados pelo pavimento, requisito maior para se poder ***conceber*** as intervenções corretivas realmente requeridas.

Para a consecução dessa exigência, fez-se necessário promover primeiramente a identificação e o tratamento de todas as manifestações de ruína externadas pelo pavimento – degradações superficiais e deformações permanentes – sempre processado por faixa de tráfego, no âmbito do universo delimitado por cada estaca; as manifestações de ruina ocorrentes e suas repetições foram identificadas e quantificadas a partir de "***varreduras métricas***".

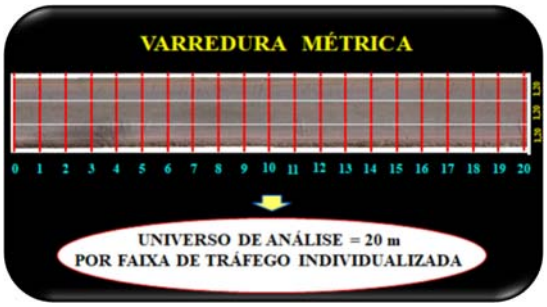


Figura 104 – "Varredura métrica" das degradações superficiais e deformações permanentes (por estaca e por faixa de tráfego)

4.2.6.3. Levantamentos Efetuados

Com base no exposto, foram realizados os seguintes levantamentos para avaliação das características do pavimento:

- **Filmagem digital com vídeo-registro da superfície do pavimento**

A filmagem em contínuo do pavimento foi processada ao longo de cada faixa de tráfego empregando o equipamento denominado ***Ortogonal Pavement Scanner*** – anteriormente apresentado – o qual processa a filmagem ortogonal da superfície do pavimento por meio de câmera filmadora digital de altíssima resolução - do tipo Full HD (1920x1080 pixels). Toda a filmagem é processada em uma mesma base de referência bidimensional, determinada pelo trabalho conjugado de um ***encoder ótico*** para registro das distâncias percorridas com um ***GPS – Global Positioning System*** de última geração, operando em dupla frequência L1/L2 (L1 utiliza comprimentos de onda com 19 cm e L2 comprimentos de onda com 24 cm); o resultado dessa associação garantiu a perfeita disposição sequencial ao longo do trecho e o sistema de gravação (vídeo-registro/encoder) permitiu a identificação, a localização e caracterização de todas as manifestações ocorrentes no pavimento.

- **Levantamento visual contínuo do estado da superfície (LVC)**

O levantamento de todas as manifestações de ruína externadas pelo pavimento existente foi realizado através da análise das filmagens digitais contínuas, as quais permitiram detectar,

identificar a natureza, avaliar a gravidade e definir a área comprometida de cada defeito detectado, tarefa facilitada sobremaneira pelo software de visualização que permite "percorrer" a estrada (comandos de ida e volta) – no escritório – tantas vezes quantas necessárias e aplicar "zoom" nas manifestações de mais difícil detecção. As filmagens realizadas ao longo de cada uma das faixas de tráfego permitiram, por conseguinte, a quantificação das diferentes manifestações de ruína através de um **processo de varredura métrica** – metro a metro – devidamente referenciado a um sistema de coordenadas XY (sistema ortogonal).

- **Levantamento da Irregularidade Longitudinal (IRI)**

Para a medição da irregularidade longitudinal, empregou-se o equipamento ***Five Laser Profile System***, perfilógrafo dotado de 5 (cinco) sensores a laser (anteriormente apresentado) - enquadrado na classificação do *HPMS Field Manual* como **Classe II** (sem contato) – capaz de promover a medição, *em contínuo*, nas duas trilhas de roda, do ***International Roughness Index (IRI)***, parâmetro tradutor das características de conformação geométrica longitudinal da pista.

- **Levantamento da Irregularidade Transversal ($F_{máx.}$ e Perfil Transversal)**

Para a medição das ***flechas nas trilhas de roda ($F_{máx.}$)***, empregou-se um ***Transverso - perfilógrafo a laser*** – Classe II (sem contato) – equipamento já apresentado anteriormente, que processa a filmagem digital de um feixe de raio laser projetado no pavimento que revela o perfil transversal integral, em contínuo, externado pelo pavimento, permitindo ainda a identificação da natureza das deformações permanentes constatadas (se plásticas ou por consolidação)

- **Levantamento das Deflexões Reversíveis Máximas (D_0)**

O levantamento das deflexões reversíveis máximas do pavimento existente foi processado por meio do equipamento ***Falling Weight Deflectometer – FWD*** (Especificação DNER-PRO 273/96) aplicando uma carga dinâmica (energia potencial gravitacional) de 4.100 kgf – tempo de aplicação da ordem dos 2 centésimos de segundo – distribuída numa placa de diâmetro ∅ = 30,5cm, condição que proporcionou uma pressão de contato σ_c = 5,6 kgf/cm^2; o posicionamento dos geofones foi determinado de acordo com as distâncias do centro de aplicação especificadas.

4.2.6.4. Tratamento e Integração dos Dados e Resultados Obtidos

A caracterização funcional do pavimento foi lavrada contemplando toda a sorte de defeitos – identificação, classificação, quantificação e repartição percentual –, estaca por estaca ("varredura métrica"), precedida entretanto de uma análise patológica das principais manifestações de ruina detectadas, procedimento coadjuvante, de importância superior na concepção das melhores soluções de restauração. Concluindo, na caracterização dos defeitos, julgou-se também importante delimitar suas áreas comprometidas, procedimento necessário à definição e quantificação das recuperações localizadas a serem efetuadas.

Com essa visão espectral, a caracterização funcional do pavimento no caso presente foi procedida contemplando três etapas distintas, a saber:

- Análise Patológica das Principais Manifestações de Ruína do Pavimento e Interpretação de Parâmetros de Comportamento Correlatos;
- Levantamento Visual Contínuo (LVC) - Linear de Defeitos, Percentuais de Ocorrência e Códigos Genéticos, e

- Levantamento Específico das Áreas Degradadas - LEAD

a) **Análise Patológica das Principais Manifestações de Ruína do Pavimento e Correlações com a Deformabilidade do Pavimento**

A análise patológica das doenças (manifestações de ruina) de um pavimento, que consiste em definir suas naturezas, diagnosticar as causas e estabelecer tratamentos, traz consigo um benefício enorme para se processar um diagnóstico preciso das alterações funcionais e estruturais verificadas.

Assim, embora se promova a identificação, classificação e quantificação dos defeitos – procedimentos usuais nas metodologias de avaliação – julga-se importantíssimo analisar também suas gêneses, causas mais prováveis e processos evolutivos, minudências que auxiliam sobremaneira na concepção de soluções de restauração ideais. Dessa forma, com os objetivos retrocitados, complementados com o propósito de não incorrer em falhas similares àquelas detectadas no pavimento original, julgou-se pertinente discorrer sobre as patologias (pathos = doença e logos = estudo) das principais manifestações de ruína detectadas no pavimento, responsáveis pelos evoluídos estados de sanidade detectados.

- *Bombeamento de água com finos*: Processo que ocorre em locais onde há sobreposição do tratamento superficial duplo existente por "*panos*" de microrrevestimento asfáltico, o que é bastante comum no trecho em estudo. Os tratamentos superficiais não externam trincamento devido à sua gênese, uma vez que não são massas asfálticas e sim um mosaico de pedras justapostas unidas por uma emulsão asfáltica. Entretanto, a sobreposição dos tratamentos por camadas delgadas de microrrevestimento faz com que as águas retidas entre as camadas – em razão de degradações superficiais que possibilitam a entrada de águas pluviais – sejam bombeadas consoante às cargas de tráfego atuantes e, consequentemente, que os finos do revestimento asfáltico existente e da parcela superior da camada de base sejam levados. Nota-se o bombeamento de água com finos como um problema constante no trecho em análise;

- *Peladas:* Advém notadamente da aderência inadequada de camadas asfálticas delgadas de microrrevestimento, decorrente nomeadamente do fato de não serem dotadas de peso específico próprio, aderente, particularidade potencializada por suas aplicações sobre superfícies velhas, sujas e degradadas e por notórias deficiências na pintura de ligação. As eventuais deficiências da pintura de ligação, quase sempre ocorrentes em intervenções de manutenção, decorrem principalmente da inexistência de limpeza adequada da pista (inexistência de ar comprimido ou jatos de água lavagem específica), da inadequação da emulsão asfáltica selecionada e do desrespeito aos seus tempos de rompimento e de cura após sua aplicação. A conjugação dessas particularidades, aliada aos tipos de solicitação provocados pelos pneus – contato compressivo seguido de sucção – respondem pelo "arrancamento" de placas da camada asfáltica delgada, formando "peladas", que na acepção da palavra, não constituem as conhecidas panelas, originárias de decadências estruturais.

- *Remendos existentes:* Presentes em grande número ao longo do trecho analisado, os remendos são medidas paliativas aplicadas para tratar a alta frequência de defeitos no pavimento. Destacam-se entre essas patologias as panelas, um tipo de dano particularmente crítico, que expõe a camada de base do pavimento e exige correções

imediatas. Além disso, o desgaste superficial, agravado pela contínua solicitação de veículos, e as fissuras – que, em estágios mais avançados, podem comprometer seriamente o revestimento – também motivam a aplicação de remendos. Assim, os remendos são comumente executados para remediar esses problemas e tentar manter a funcionalidade da via, ainda que de forma temporária.

- *Fissuras:* No presente trecho oriundas ora das camadas granulares, ora de microrrevestimentos asfálticos sobrepostos, são também frequentes e denotam o mau grau de conservação da rodovia. É essencial pontuar que as regiões revestidas apenas por Tratamento Superficial não ostentam fissuras relacionadas a fadiga, uma vez que tratamentos não são dotados do "efeito de placa" e, portanto, não se comportam como um único corpo capaz de se deformar por inteiro em razão de uma carga atuante.

- *Irregularidade longitudinal:* Avaliada através de valores médios de IRI, permite aferir os graus de conforto, segurança e economia ofertados aos usuários da via. No trecho em estudo aproximadamente 75% dos conceitos do IRI se enquadram como "Ruim" ou "Péssimo", ou seja, se tratam de segmentos da rodovia que apresentaram valores de irregularidade acima de 3,5m/Km. Em contrapartida, no caso dos pequenos segmentos onde foram constatados percentuais dos conceitos "Excelente" e "Bom", verificou-se a existência de microrrevestimentos, os quais contribuem diretamente para a redução das irregularidades longitudinais no pavimento, embora já bastante degradados.

  É válido destacar também a homogeiniedade entre os dois sentidos da via, haja visto que os conceitos apresentaram percentuais semelhantes nas duas pistas, com variação máxima de 2,3% na ocorrência de um mesmo conceito. A existência de disparidades entre os conceitos antagônicos, se deve à execução de camadas de microrevestimento em alguns pontos do trecho, o que promove uma melhoria considerável na condição de trafegabilidade nesses locais.

Procedida essa análise patológica das enfermidades externadas pelo pavimento, considerou-se pertinente uma análise adicional das condições de deformabilidade experimentadas pelo pavimento quando carregado exteriormente, particularidade que normalmente se vincula aos processos de surgência e agravamentos das manifestações de ruína detectadas, e que contribui, de maneira notável para a explicação de várias patologias detectadas.

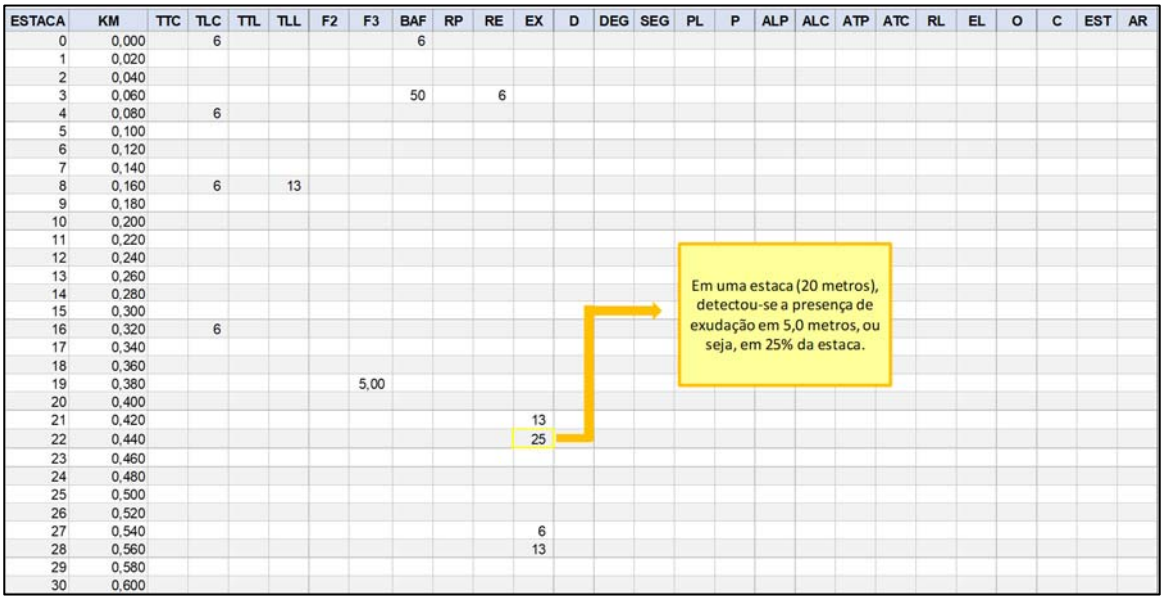
- *Deflexões recuperáveis*:

  Os levantamentos deflectométricos realizados no trecho com o FWD – "Falling Weight Deflectometer" apresentaram valores elevados de deflexões recuperáveis no trecho, com destaque no segmento em tratamento superficial duplo, situado entre o km 5,00 e o km 8,00, em que as deflexões apresentaram valores ainda maiores, comparado ao restante da rodovia (na ordem de 73 x 10^{-2} mm). Por via de regra, o levantamento deflectométrico se mostrou homogêneo, e os valores elevados demonstram que há um comportamento estrutural inadequado no trecho de forma generalizada.

  Essa carência estrutural que reflete em um comportamento deflectométrico deficitário, foi ainda mais evidente no trecho de tratamento superficial, justificado pela baixa espessura da camada e pelo arranjo dos agregados. Devido à forma de execução do tratamento, em que o agregado e ligante são executados separadamente, esse tipo de revestimento não atua como uma camada estruturante e, por isso, tem como resultado uma dissipação menor das tensões aplicadas pelas cargas de tráfego. Desta forma, admitem-se maiores tensões nas camadas de base e sub-base, dado que o tratamento não é suficientemente eficaz para dissipá-las.

b) **Levantamento Visual Contínuo (LVC) - Linear de Defeitos, Percentuais de Ocorrência e Códigos Genéticos**

O levantamento das manifestações de ruína externadas pelo pavimento foi realizado por faixa de tráfego, em áreas pertinentes a cada estaca (20 m x 3,5m), através da análise específica das filmagens do vídeo-registro. As filmagens, realizadas de forma contínua, facultaram levantamentos das ocorrências através de um **processo de varredura métrica** – metro a metro – devidamente referenciado a um sistema de coordenadas XY (sistema ortogonal), procedimento que consentiu os ordenamentos estaca por estaca; os resultados obtidos, apresentados em termos de percentuais de ocorrência métrica de cada defeito em intervalos fixos de 20 m, relacionados em tabelas confeccionadas nos moldes do modelo apresentado a seguir, são apresentados como anexos ao ***Projeto de Pavimentação***.



ESTACA	KM	TTC	TLC	TTL	TLL	F2	F3	BAF	RP	RE	EX	D	DEG	SEG	PL	P	ALP	ALC	ATP	ATC	RL	EL	O	C	EST	AR
0	0,000		6					6																		
1	0,020																									
2	0,040																									
3	0,060							50		6																
4	0,080		6																							
5	0,100																									
6	0,120																									
7	0,140																									
8	0,160		6		13																					
9	0,180																									
10	0,200																									
11	0,220																									
12	0,240																									
13	0,260																									
14	0,280																									
15	0,300																									
16	0,320		6																							
17	0,340																									
18	0,360																									
19	0,380						5,00																			
20	0,400																									
21	0,420										13															
22	0,440										25															
23	0,460																									
24	0,480																									
25	0,500																									
26	0,520																									
27	0,540										6															
28	0,560										13															
29	0,580																									
30	0,600																									

Figura 105 – Modelo do Levantamento Visual Contínuo – LVC processado estaca por estaca.

De forma a se proporcionar uma melhor apreciação das ocorrências e de suas respectivas intensidades, concebeu-se também um modelo de representação gráfica – sinóptico linear – no qual se pôde representar todas as manifestações de ruína detectadas, indicando-as consoante suas frequências relativas, dispostas em termos percentuais na escala vertical (traço completo, 100%; traços incompletos, correspondentes aos percentuais de ocorrência); os resultados obtidos, por faixa de tráfego, estaca por estaca, são ilustrados a seguir:

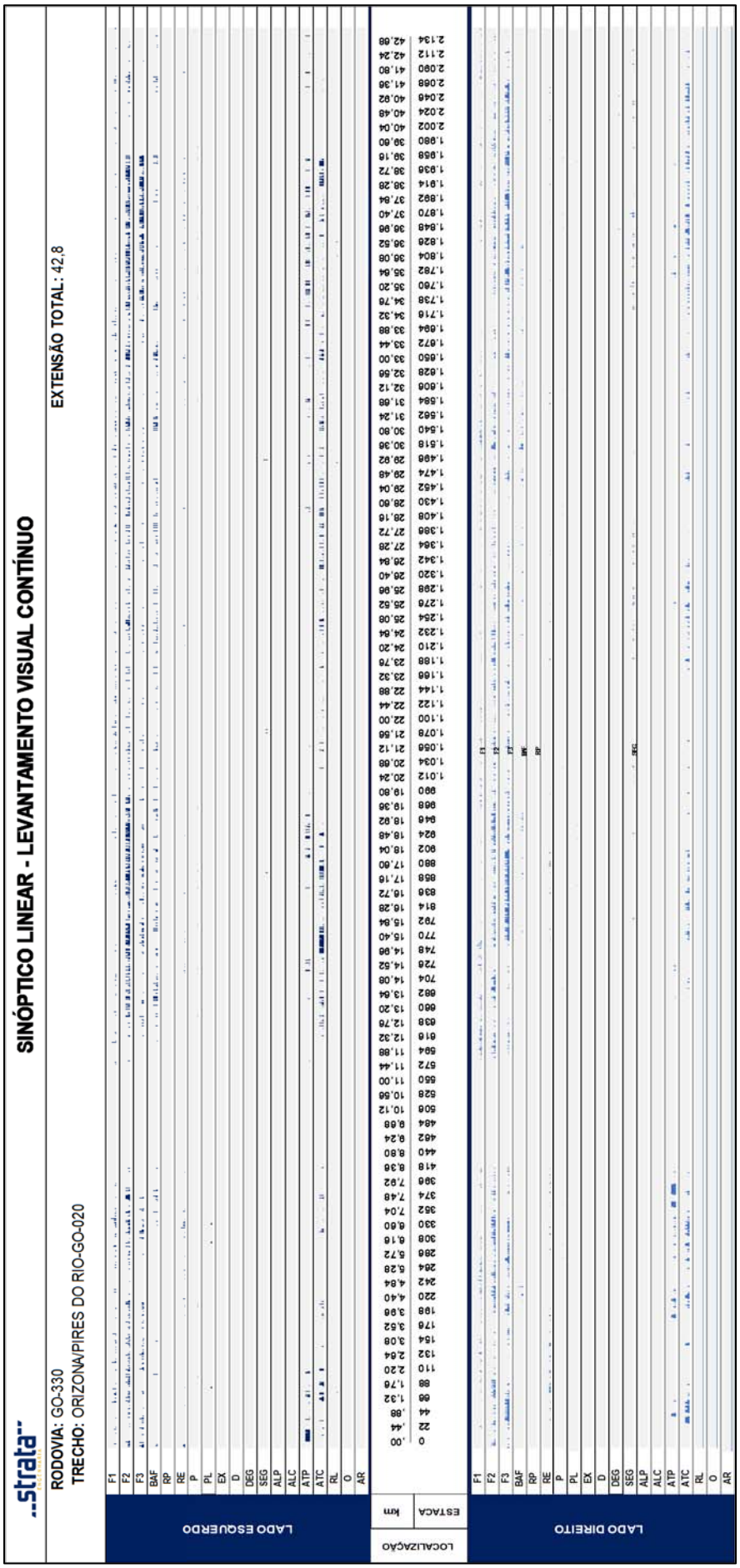


Figura 106 – Levantamento Visual Contínuo – LVC - Linear do contemplando os defeitos e os respectivos percentuais de ocorrência, processado por faixa de tráfego, estaca por estaca.

Lavrada a fase de análise dos dados obtidos nos levantamentos, promoveu-se seguidamente o cálculo dos índices caracterizadores das condições comportamentais com o objetivo de definir os estados de sanidade exibidos pelo pavimento; a conjugação dos códigos genéticos e suas contemplações no algoritmo de ordenação numérica, permitiram a definição do ***diagnóstico funcional*** do pavimento, por faixa de tráfego, estaca por estaca.

Os resultados obtidos foram também anotados e contabilizados em tabelas apropriadas – apresentadas como anexos ao ***Projeto de Pavimentação*** – nas quais são exibidas as patologias constatadas, expressas em termos de percentagens de ocorrência por estaca, concomitantemente com os valores caracterizadores dos principais parâmetros de comportamento (IGG, D_0, IRI, $F_{máx,}$) e o Código Genético do Diagnóstico exibido pelo pavimento, por estaca; um modelo ilustrativo da tabela-padrão é apresentado a seguir:

DADOS DO LEVANTAMENTO

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO:** 42,831 km

TRECHO: 330-EGO **PISTA / LADO:** PISTA SIMPLES / LADO DIREITO

EST	KM	TTC	TLC	TTL	TLL	F2	F3	BAF	RP	RE	EX	D	DEG	SEG	PL	P	ALP	ALC	ATP	ATC	RL	EL	O	C	EST	AR	Grupo 0	Grupo 1	IGG	VSA	D0	IRI	FL	Grupo	Solução
0	0,000						25																						15	4	74	8	0	423	RPS + REF
1	0,020						25																						35	3	53	4	15	423	RPS + REF
2	0,040																												11	4	52	5	8	523	RPS + REF
3	0,060																												12	4	49	2	9	543	OK
4	0,080					50																							13	4	49	5	10	423	RPS + REF
5	0,100					25	13																						20	4	57	8	9	423	RPS + REF
6	0,120					25																							11	4	58	10	8	423	RPS + REF
7	0,140					50																							4	5	42	26	3	423	RPS + REF
8	0,160																												3	5	42	7	2	523	RPS + REF
9	0,180					13																							3	5	41	25	2	523	RPS + REF
10	0,200					13																							4	5	41	7	3	523	RPS + REF
11	0,220																												1	5	38	10	1	524	RPS
12	0,240					13																							4	5	38	23	3	524	RPS
13	0,260					6	6																						12	4	46	27	6	523	RPS + REF
14	0,280						25																						20	4	47	8	4	423	RPS + REF
15	0,300																												4	5	54	10	3	523	RPS + REF
16	0,320																												5	5	55	9	4	523	RPS + REF
17	0,340																												8	4	46	10	6	523	RPS + REF
18	0,360																												11	4	46	12	8	523	RPS + REF
19	0,380																												11	4	51	10	8	523	RPS + REF
20	0,400																												11	4	52	13	8	523	RPS + REF
21	0,420																												9	4	48	14	7	523	RPS + REF
22	0,440																												9	4	48	12	7	523	RPS + REF
23	0,460																												4	5	60	7	3	523	RPS + REF
24	0,480																												3	5	61	6	2	523	RPS + REF
25	0,500					13																							7	5	58	19	5	523	RPS + REF
26	0,520					13																							9	4	58	16	7	523	RPS + REF
27	0,540																												8	4	59	13	6	523	RPS + REF
28	0,560																												7	5	61	13	5	523	RPS + REF
29	0,580						13																						18	4	82	16	8	522	RPS + REF
30	0,600		6				25																						30	3	81	20	10	422	RPS + REF

Figura 107 – Modelo do Levantamento Visual Contínuo – LVC, Parâmetros de Comportamento e Diagnóstico (Por faixa de tráfego, estaca por estaca)

Ato contínuo à apresentação dos resultados em lineares e tabelas, julgou-se que uma avaliação individualizada dos *Códigos Genéticos do Pavimento (ICDS, ICDP e ICDE)* calculados poderia ser melhor apreciada através de representações gráficas de suas variações ao longo de todo o trecho; tal proposição adveio da consideração de que análises de desenvolvimento dos códigos genéticos poderiam fornecer informações importantes para a tomada de decisões e ações corretivas, permitindo inclusive a revisão das estratégias de definição das soluções conceptivas.

Complementarmente, com o objetivo de suavizar as flutuações aleatórias e destacar as tendências ou padrões dos índices comportamentais, ajuizou-se ser bastante interessante aplicar, concomitantemente, o critério da média móvel simples, ferramenta analítica que representa a média de um conjunto de valores em intervalos específicos, atualizada com a adição de novos dados (no caso 4 estacas) após remoção dos dados mais antigos; os resultados obtidos – variações lineares e média móveis – são apresentados a seguir em lineares gráficos.

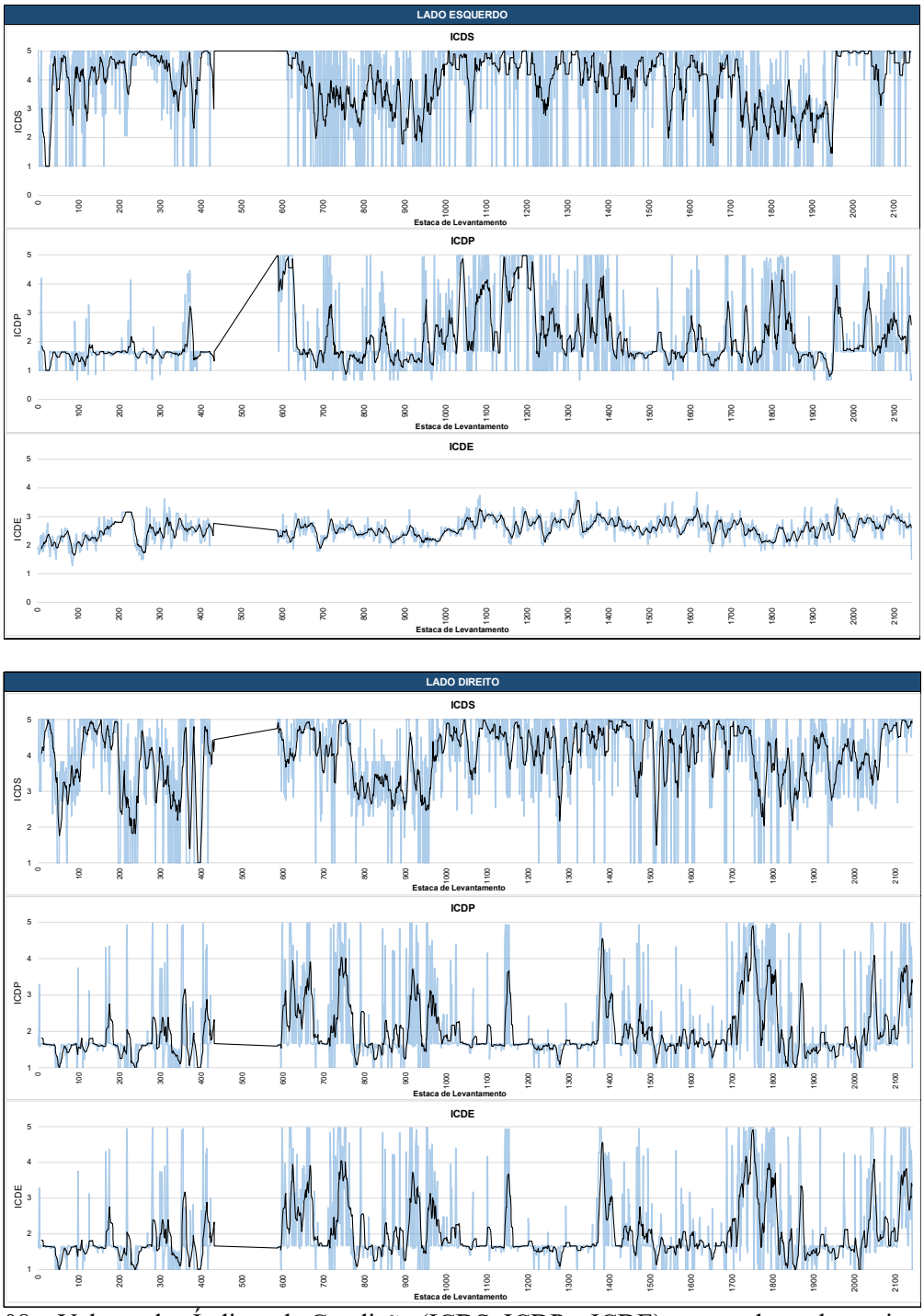


Figura 108 – Valores dos Índices de Condição (ICDS, ICDP e ICDE) externados pelo pavimento (por faixa de tráfego, estaca por estaca) e valores correspondentes das respectivas médias móveis.

Finalmente, ainda com o objetivo de se aprofundar na avaliação da população definida, promoveu-se o tratamento estatístico dos índices tradutores das *condições operacionais* (degradação superficial e de deformação permanente – ICDS e ICDP) detectados em todas as estacas, o qual evidenciou condições de circulação ruins e inapropriadas para os usuários, uma vez que quase 70% da extensão do trecho é abrangida pelos estados de sanidade "Péssimo" e "Mau". É importante salientar que o ICDP é o principal responsável pela obtenção demasiada dos referidos estados de sanidade, visto que os principais defeitos observados no trecho estão associados a cortes e cisalhamentos na camada de base.

Esses dados analisados isoladamente, podem falsear o real estado da rodovia em questão, e por isso, o índice da condição de deformabilidade elástica foi também calculado e tem papel fundamental na análise das reais condições da via, o qual evidenciou uma tendência clara ao estado "Regular", caracterizado por deflexões medianas ou pouco elevadas, com uma similaridade notável entre ambas as faixas de tráfego avaliadas. Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

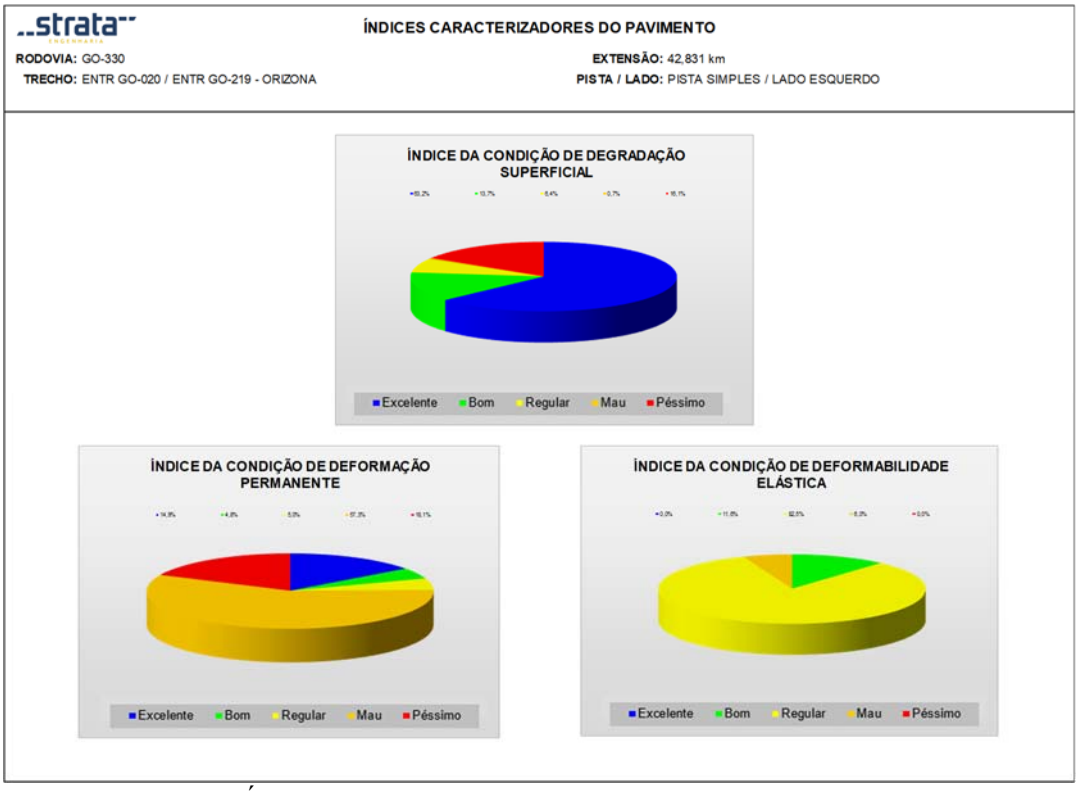


Figura 109 - Índices Caracterizadores do Pavimento (Metodologia Paragon)
Lado Esquerdo

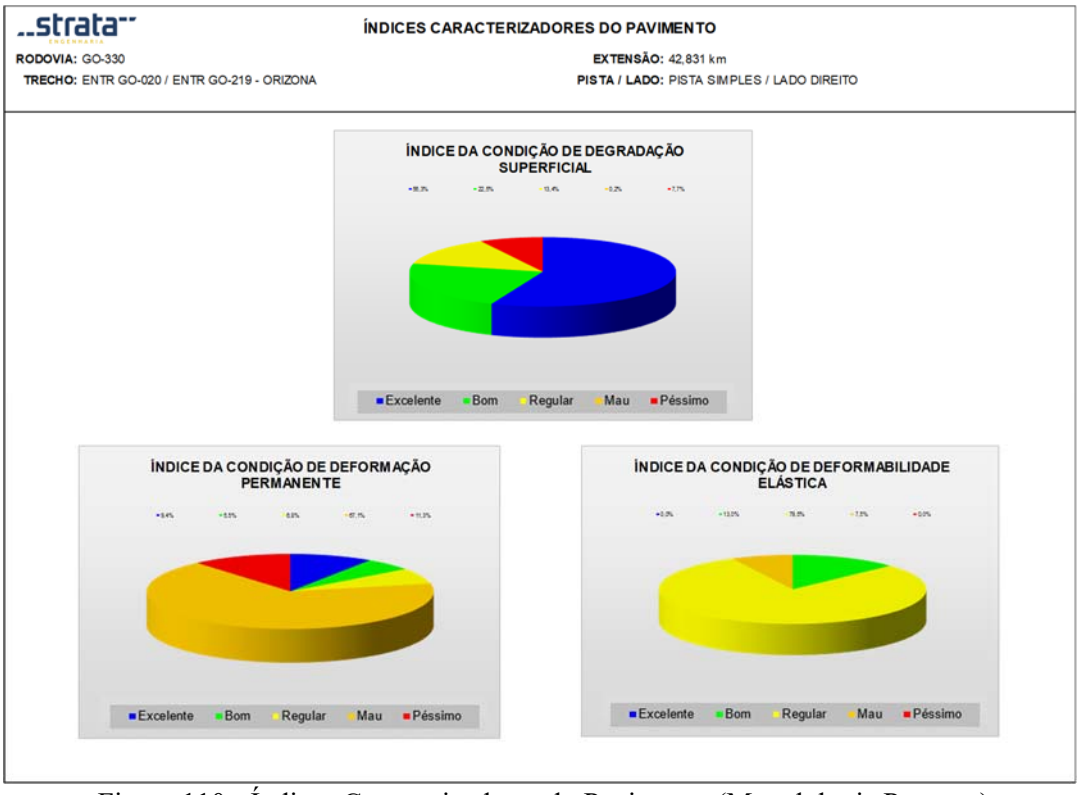


Figura 110 - Índices Caracterizadores do Pavimento (Metodologia Paragon)
Lado Direito

De igual forma, julga-se sempre válido verificar eventuais tendências de agrupamento dos estados de sanidade, as quais podem traduzir as distintas épocas de execução das intervenções de manutenção realizadas e suas respectivas eficácias. Como ilustração de agrupamentos constatados no caso presente da GO-309, rodovia que evidencia um pavimento bastante combalido – exibindo códigos genéticos predominantemente distribuídos no entorno de 524 a 522 –, porém entremeados por outros três agrupamentos distintos que exibem condições funcionais distintas, bem caracterizadas.

A constituição do pavimento apresentou características muito semelhantes ao longo do trecho, com a execução alternada de camadas de microrevestimento asfáltico, tanto sobre os intervalos revestidos por tratamentos superficiais duplos (TSD), quanto pelas regiões revestidas com CBUQ. O fato de haver a aplicação do microrevestimento em diferentes épocas, sem a execução de intervenções em profundidade, promove uma disparidade entre os índices, uma vez que a estrutura do pavimento se encontra comprometida, porém superficialmente externa uma boa condição de trafegabilidade. Desta forma, o algoritmo genético indicado pela Metodologia Paragon reflete tais particularidades da via, e por isso entrega valores elevados de condições superficiais, valores de 5 a 3, enquanto os índices relacionados às deformações permanentes e elásticas apresentam valores abaixo de 3.

Como o tráfego se mantém constante e a constituição do pavimento é similar ao longo do trecho, tais agrupamentos traduzem, na realidade, os estados de sanidade externados por intervenções de manutenção (“capinhas” asfálticas ou microrrevestimentos) realizadas em épocas distintas. O primeiro exibe *qualificações superficiais* excelentes (544 ao 522) decorrentes de intervenções de manutenção recentes, o segundo, qualificações superficiais regulares (425 ao 421) e o terceiro, externando qualificações superficiais más (324 ao 322), e ainda, há também a presença significativa de locais com degradação total (115 ao 111). Tais resultados evidenciam a rápida evolução das degradações superficiais nas intervenções processadas (“capinhas” e/ou

microrrevestimentos) e consequentemente, suas ineficácias perante às cargas atuantes; os resultados obtidos são ilustrados a seguir.

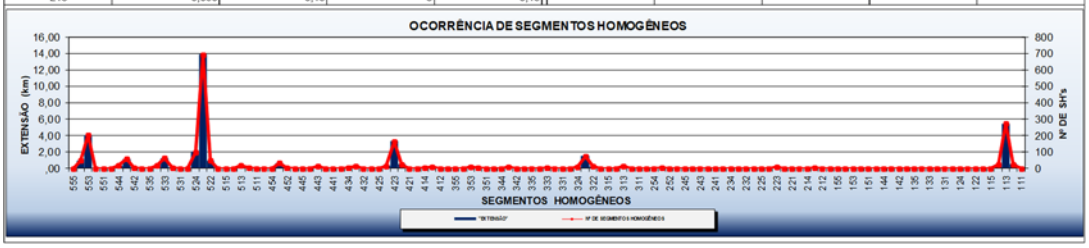
..strata..

RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO:** 42,831 km

TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **PISTA / LADO:** PISTA SIMPLES / LADO ESQUERDO

ÍNDICES CARACTERIZADORES DO PAVIMENTO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL (%)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL (%)	ÍNDICES CARACTERIZADORES DO PAVIMENTO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL (%)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL (%)
554	0,940	2,35	47	2,35	114	0,460	1,15	23	1,15
553	4,060	10,15	203	10,15	113	5,460	13,65	273	13,65
544	0,360	0,90	18	0,90	112	0,500	1,25	25	1,25
543	1,140	2,85	57	2,85					
542	0,020	0,05	1	0,05					
534	0,360	0,90	18	0,90					
533	1,220	3,05	61	3,05					
532	0,040	0,10	2	0,10					
524	1,980	4,95	99	4,95					
523	13,840	34,60	692	34,60					
522	0,960	2,40	48	2,40					
513	0,340	0,85	17	0,85					
512	0,020	0,05	1	0,05					
453	0,620	1,55	31	1,55					
452	0,060	0,15	3	0,15					
443	0,260	0,65	13	0,65					
434	0,040	0,10	2	0,10					
433	0,240	0,60	12	0,60					
424	0,300	0,75	15	0,75					
423	3,300	8,25	165	8,25					
422	0,500	1,25	25	1,25					
414	0,020	0,05	1	0,05					
413	0,140	0,35	7	0,35					
353	0,180	0,45	9	0,45					
352	0,060	0,15	3	0,15					
343	0,120	0,30	6	0,30					
333	0,100	0,25	5	0,25					
324	0,160	0,40	8	0,40					
323	1,500	3,75	75	3,75					
322	0,220	0,55	11	0,55					
313	0,220	0,55	11	0,55					
253	0,040	0,10	2	0,10					
223	0,160	0,40	8	0,40					
213	0,060	0,15	3	0,15					



..strata..

RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO:** 42,831 km

TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **PISTA / LADO:** PISTA SIMPLES / LADO DIREITO

ÍNDICES CARACTERIZADORES DO PAVIMENTO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL (%)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL (%)	ÍNDICES CARACTERIZADORES DO PAVIMENTO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL (%)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL (%)
554	0,220	0,56	11	0,56	332	0,040	0,10	2	0,10
553	2,120	5,35	106	5,35	324	0,200	0,51	10	0,51
552	0,100	0,25	5	0,25	323	3,060	7,73	153	7,73
544	0,240	0,61	12	0,61	322	0,580	1,46	29	1,46
543	1,120	2,83	56	2,83	314	0,040	0,10	2	0,10
542	0,060	0,15	3	0,15	313	0,540	1,36	27	1,36
534	0,180	0,45	9	0,45	312	0,020	0,05	1	0,05
533	1,740	4,39	87	4,39	233	0,020	0,05	1	0,05
532	0,060	0,15	3	0,15	223	0,040	0,10	2	0,10
524	3,160	7,98	158	7,98	114	0,320	0,81	16	0,81
523	12,460	31,46	623	31,46	113	2,240	5,66	112	5,66
522	0,580	1,46	29	1,46	112	0,480	1,21	24	1,21
514	0,020	0,05	1	0,05					
513	0,200	0,51	10	0,51					
512	0,020	0,05	1	0,05					
454	0,040	0,10	2	0,10					
453	0,840	2,12	42	2,12					
452	0,060	0,15	3	0,15					
444	0,020	0,05	1	0,05					
443	0,380	0,96	19	0,96					
442	0,060	0,15	3	0,15					
434	0,060	0,15	3	0,15					
433	0,320	0,81	16	0,81					
432	0,080	0,20	4	0,20					
424	0,660	1,67	33	1,67					
423	5,240	13,23	262	13,23					
422	0,580	1,46	29	1,46					
413	0,540	1,36	27	1,36					
412	0,040	0,10	2	0,10					
353	0,260	0,66	13	0,66					
352	0,080	0,20	4	0,20					
343	0,160	0,40	8	0,40					
342	0,120	0,30	6	0,30					
333	0,200	0,51	10	0,51					

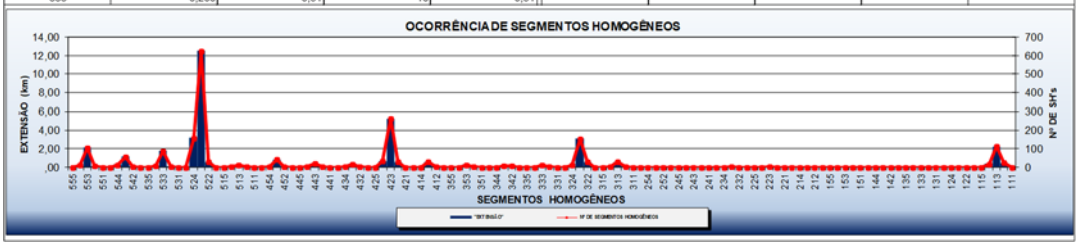


Figura 111 - Resumo das Características do Diagnóstico (Metodologia Paragon).

c) *Levantamento Específico das Áreas Degradadas - LEAD*

No âmbito dos inventários de superfície agencia-se o levantamento das manifestações de ruína exteriorizadas pelo pavimento, sem contudo se demandar a delimitação das áreas comprometidas, as quais devem ser alvo de intervenções saneadoras de caráter localizado quando as soluções de restauração contemplarem o aproveitamento da camada de revestimento existe.

Assim considerando, julga-se importante não só identificar as diferentes patologias, como também definir os respectivos processos corretivos ("tapa-buracos", remoções, remendos superficiais ou profundos por operação mecânica ou fresagens localizadas e recomposição, etc.), os quais precisam de ter suas localizações bem definidas e serem devidamente quantificados. Dessa forma, no âmbito da metodologia Paragon, promove-se a demarcação das áreas comprometidas – por faixa de tráfego e em contínuo – registrando-as em lineares gráficos georreferenciados dispostos em sistema ortogonal (registro XY).

Os resultados, obtidos a partir da aplicação de software especialmente desenvolvido, são tratados em relação à faixa de tráfego plena ou considerando somente nas trilhas de roda (divisão da faixa em três frações com larguras da ordem de 1,20 metros); esse procedimento último é adotado antevendo-se uma possível utilização combinada de fresadoras (1,20 m de largura) com engenhos de compactação mais robustos.

A delineação em lineares gráficos, com precisão centimétrica – instruções em VBA (*Visual Basic for Application*) – permite a definição das diferentes operações executivas e a quantificação dos materiais necessários. Os resultados obtidos são apresentados como anexos ao ***Projeto de Pavimentação*** e, com o objetivo demonstrativo, apresentam-se a seguir um exemplo de gráfico XY e a simbologia indicada:



Figura 112 – Tela do programa - Tecnologia Strata

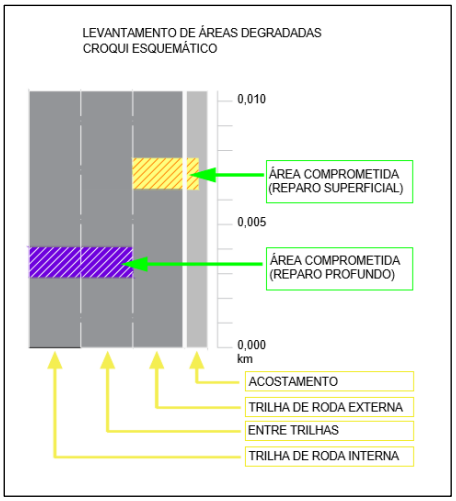


Figura 113 – Levantamento Específico de Áreas Degradadas – Croquis Esquemático.

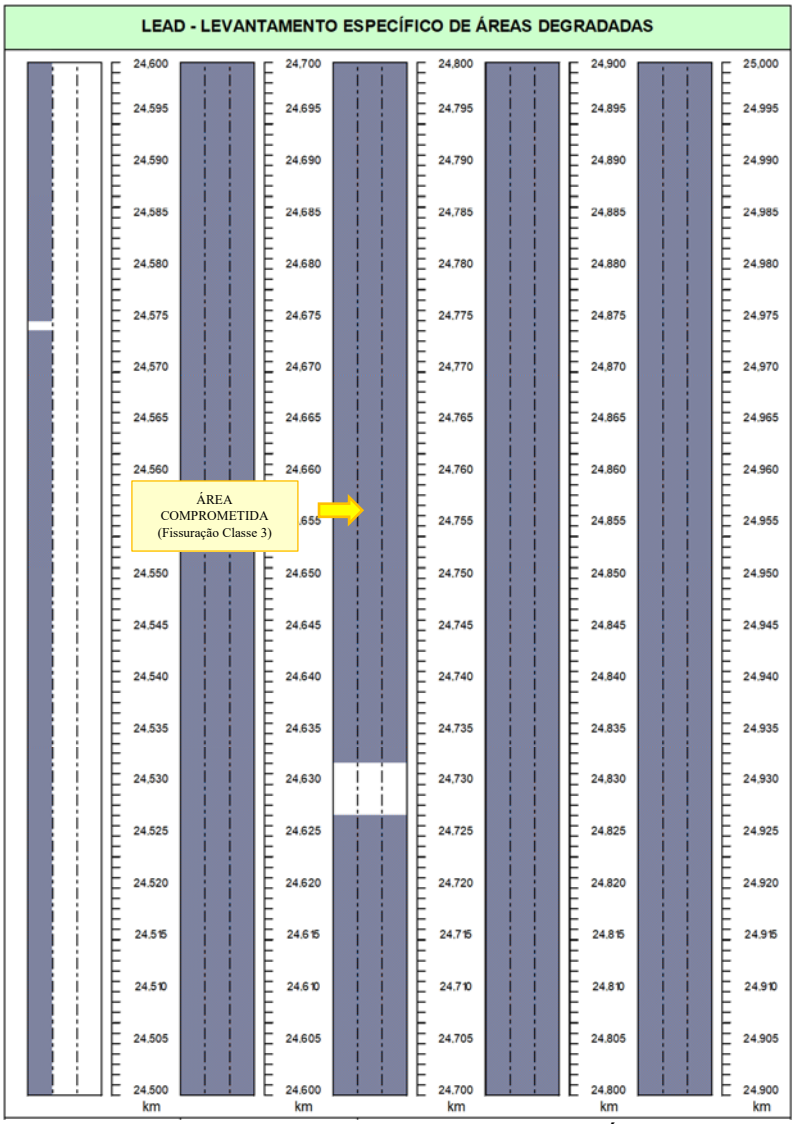


Figura 114 – Modelo do Levantamento Específico de Áreas Degradadas.

4.2.6.4.1. Diagnóstico Funcional do Pavimento Existente

No âmbito da metodologia Paragon, promoveu-se primeiramente os ***diagnósticos parciais*** – por família de degradação e por deformabilidade elástica – e por fim, o ***diagnóstico funcional*** – do pavimento, considerando em conjunto todos os índices de condição (ICDS, ICDP e ICDS); esse procedimento final objetivou fundamentalmente: a) a definição sequencial (estaca por estaca) dos "**estados de sanidade**" externados pelo pavimento ao longo de toda a sua extensão e b) a definição do conjunto de estacas que externam idênticos estados de sanidade (Segmentos Homogêneos).

A conjugação conjunta e simultânea dos códigos genéticos pertinentes a cada família de degradação permitiu definir o ***diagnóstico funcional*** do pavimento, deliberado estaca por estaca. Os resultados obtidos foram anotados e contabilizados em tabelas apropriadas – anteriormente apresentadas – nas quais foram exibidos os valores dos códigos genéticos dos pavimentos. Presentemente, com o objetivo de facilitar a análise e proporcionar uma visão espectral dos ***diagnósticos funcionais*** evidenciados sequencialmente pelo pavimento – por faixa de tráfego, estaca por estaca –, ajuizou-se ser mais apropriado e consistente a contemplação dos resultados a partir de representações gráficas lineares, disciplinadas pela escala cromática definida anteriormente:



Figura 115 - Estados de Sanidade

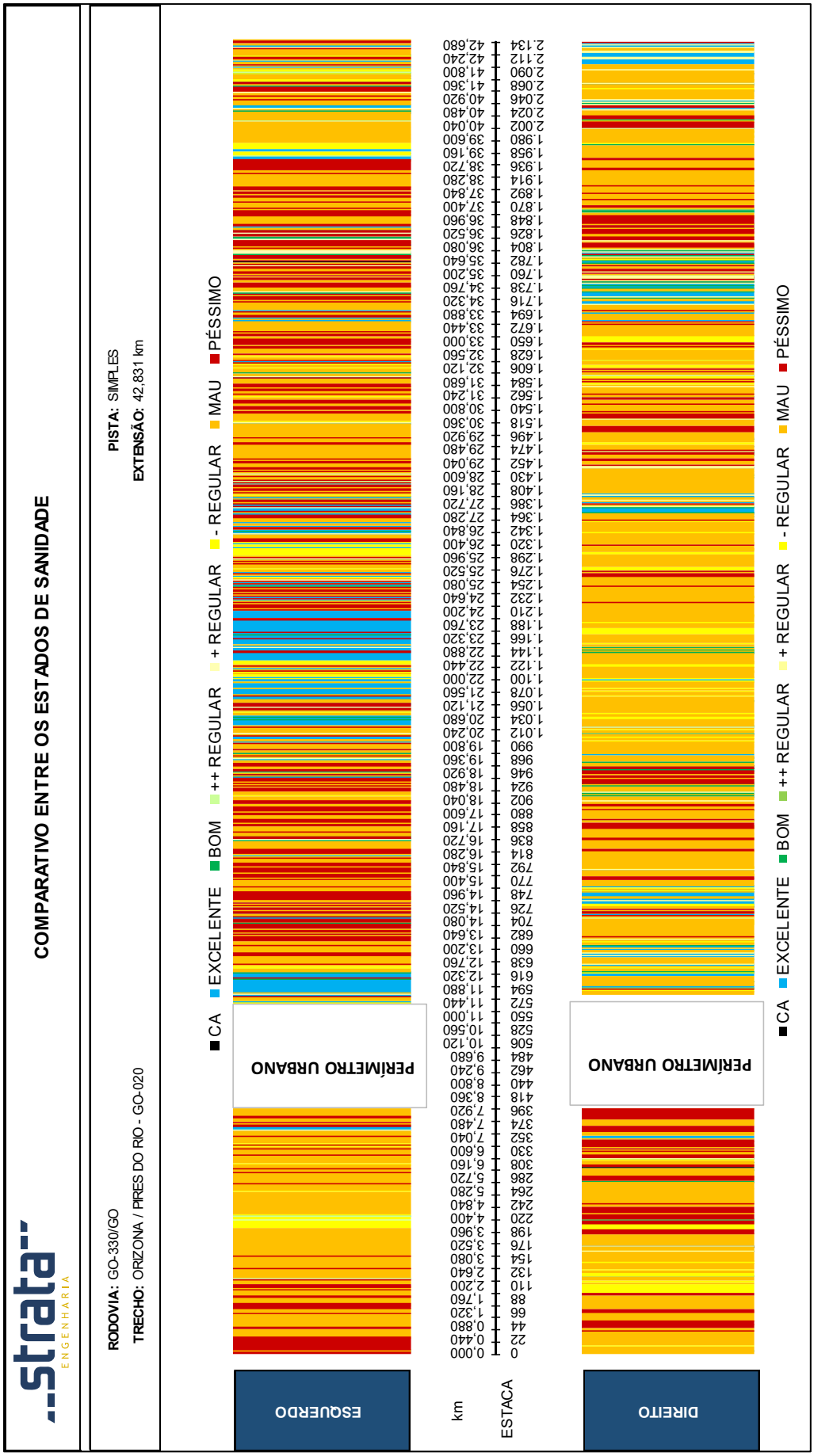


Figura 116 – Diagnóstico Funcional externado pelo pavimento
(estaca por estaca, por faixa de tráfego – Lados Esquerdo e Direito)

4.2.6.4.2. Análise dos Diagnósticos Funcionais

O propósito de análise de conjuntos de sanidade se alicerça na crença de que *"doentes que externam males idênticos, requerem tratamentos com o mesmo remédio"*. No contexto de pavimentos, isso requer a definição de segmentos homogêneos, ou seja, de sequências contínuas de estacas que exibam estados de sanidade análogos, definidos através de exame espectral disciplinado pelos diagnósticos dominantes; essa dominância procede uma vez que se verifica, não raras vezes, a existência de estacas nas quais o pavimento externa diagnósticos diferenciados, distinguidos por fronteiras muito tênues que são estabelecidas ao rigor de sutilezas comportamentais; tais estacas estão integradas ao conjunto dominante.

De igual forma, torna-se igualmente necessário contemplar existência de estados de sanidade maléficos e destoantes ("casos anômalos", estados ""péssimo" ou "mau") incrustados no seio dos diagnósticos suaves, dominantes, os quais decorrem, normalmente, da existência de patologias graves – ocorrentes de forma isolada, aleatória e conflitante – e devem ser tratados à parte, sem comprometer a sequência dominante; quando desarmônicos para melhor (estados "excelente" ou "bom") decorrem de intervenções de manutenção localizadas ("panos" de recuperação ou "remendões") que mascaram a realidade comportamental do pavimento, alçando-o a patamares de serventia adequados; tais ocorrências não apresentam consistência suficiente para comporem segmentos homogêneos individualizados.

No caso presente, a análise dos lineares de diagnósticos obtidos – representados por uma escala cromática diversificada – evidenciou uma notável heterogeneidade, traduzida pela ***existência de estados funcionais extremos e antagônicos,*** com predominância de estados de sanidade que demonstram comprometimento do pavimento, os quais requerem intervenções em profundidade: o estado de sanidade "**Péssimo**" é verificado em 18,6% na Faixa Esquerda e 12,7% na Faixa direita, enquanto o estado "**Mau**" é verificado em 51,0% na Faixa Esquerda e 56,1% na Faixa direita.

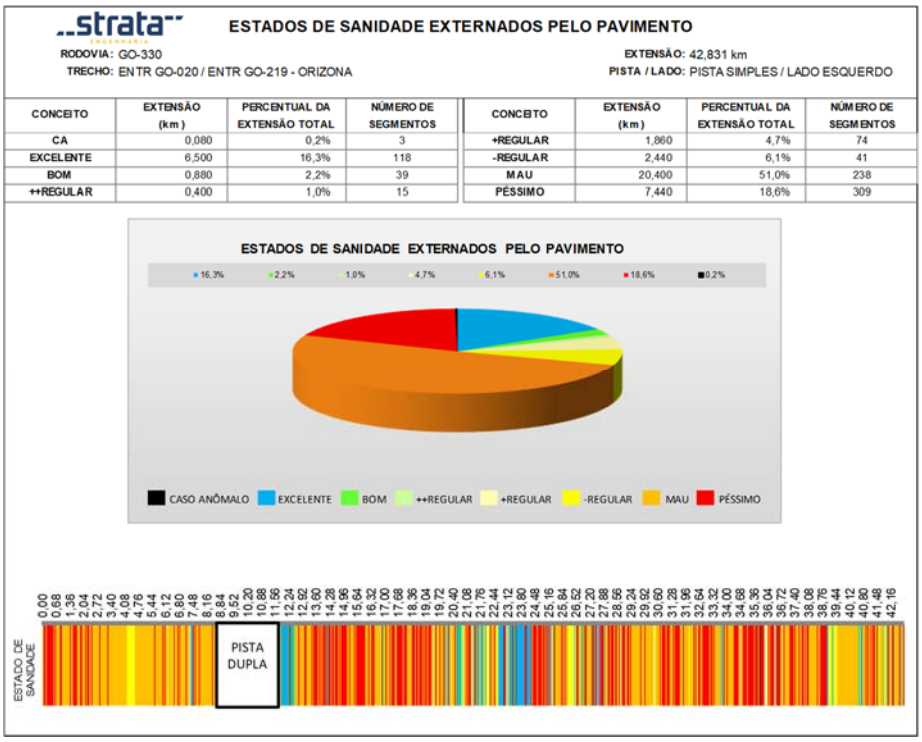
É valido destacar que os estados de sanidade "**Excelente**", "**Bom**" e "**++Regular**", somados, representam 20,4% e 23,1% nos sentidos crescente e decrescente respectivamente. Essa baixa representatividade de estados de sanidade satisfatórios reforça a urgente necessidade de intervenções corretivas mais robustas na rodovia, as quais seriam capazes de assegurar uma significativa melhora da estrutura vigente.

Com base em tais constatações, vale ainda destacar que os segmentos externando estados de sanidade satisfatórios, em geral curtos e ocorrentes de formas aleatória e dispersa, decorrem do "mascaramento" funcional proporcionado por coberturas recentes de microrrevestimentos asfálticos a frio ou capas delgadas de concreto asfáltico, normalmente aplicados em faixas distintas. Assim, disseminados no meio da falência generalizada, para além de não externarem consistência para composição de segmentos homogêneos distintos, foram ainda compostos por intervenções delgadas que não oferecem aportes estruturais significativos; destaque-se ainda que tais intervenções foram processadas exatamente sobre os segmentos onde o pavimento exibia degradações ainda mais acentuadas, naturalmente.

Do exposto, julga-se que o pavimento existente até possa ser "dividido" em alguns segmentos homogêneos, todavia, ao se analisar o trecho de forma contínua, constata-se uma homogeneidade espetacular, tanto na condição externada pelo pavimento, quanto nas soluções demandadas pelo mesmo. Destarte, concluiu-se que o trecho em questão requer, majoritariamente, intervenções corretivas em profundidade, em que será executada toda a

remoção do revestimento se estendendo até a crosta superficial da base; a remoção da fração mais superficial da base se faz necessária dado que algumas das patologias presentes no trecho promoveram a contaminação superficial dessa camada, de modo a possibilitar a adoção de uma única solução para o trecho.

Visando uma avaliação mais objetiva da ocorrência dos estados de sanidade que caracterizam o pavimento existente, promoveu-se a contextualização estatística dos estados de sanidade verificados:



CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS	CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS
CA	0,080	0,2%	3	+REGULAR	1,860	4,7%	74
EXCELENTE	6,500	16,3%	118	-REGULAR	2,440	6,1%	41
BOM	0,880	2,2%	39	MAU	20,400	51,0%	238
++REGULAR	0,400	1,0%	15	PÉSSIMO	7,440	18,6%	309

Figura 117 – Distribuição Percentual dos Estados de Sanidade externados pelo Pavimento Lado Esquerdo

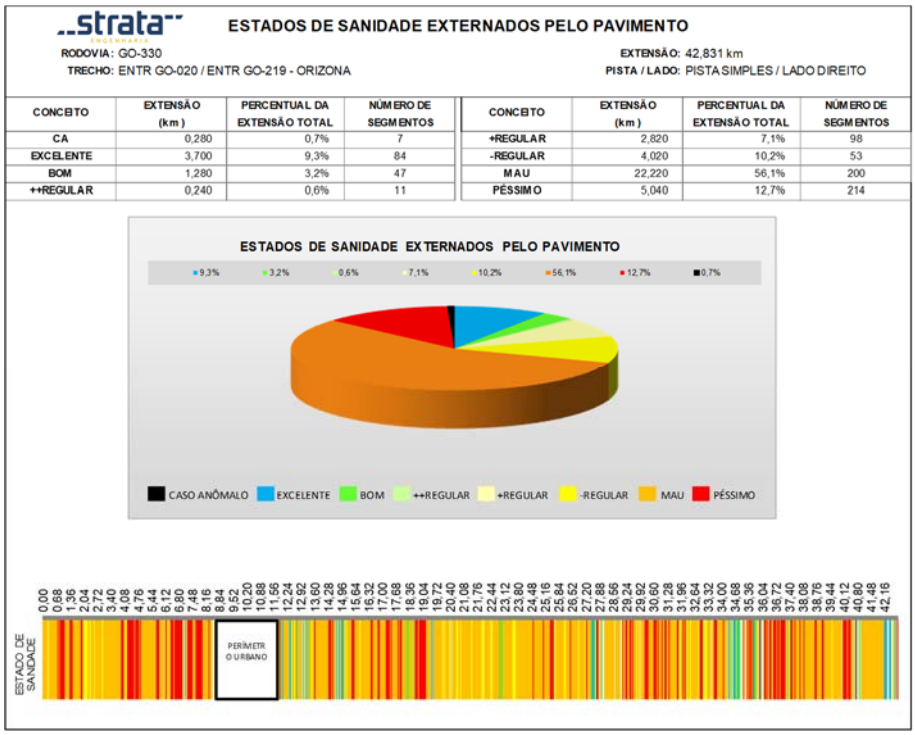


Figura 118 – Distribuição Percentual dos Estados de Sanidade externados pelo Pavimento Lado Direito

Visando realçar a não contemplação dos denominados “segmentos adequados” que se dispõem de forma aleatória ao longo do trecho, poucos, muitas vezes não externando coincidências entre as faixas de tráfego e externando extensões extremamente reduzidas, julgou-se oportuna a apresentação de um gráfico identificando Índices de Condição Operacional (ICDS e ICDP) que externam, concomitantemente, valores superiores a 2,5, nas extremidades do trecho, ou seja, que não requerem intervenções em profundidade, enquanto a parte central da rodovia externou uma alta frequência de valores abaixo do limite aceitável, e por isso, demandam intervenções em profundidade.

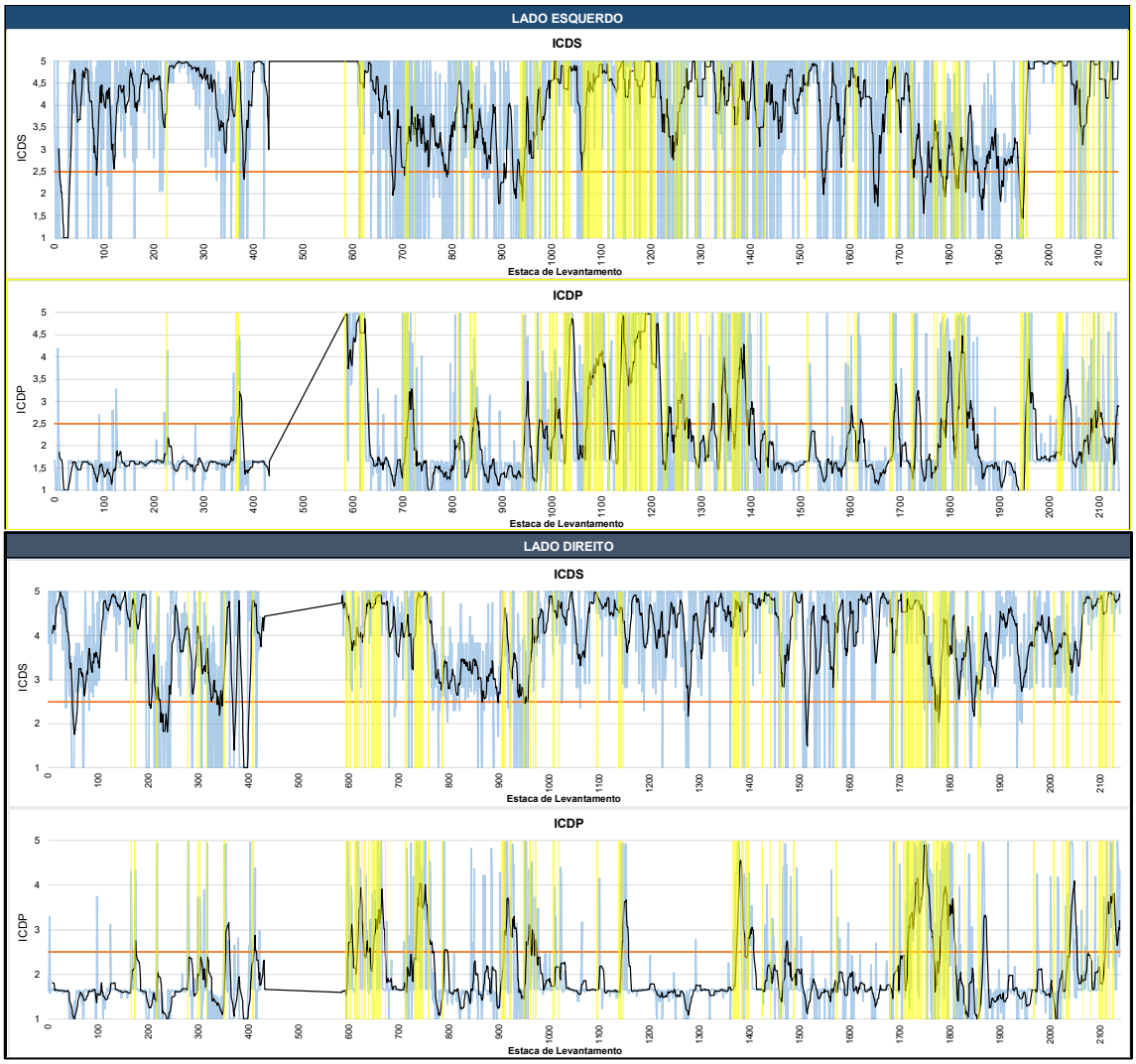


Figura 119 – Identificação dos Segmentos que não Demandam Intervenções em Profundidade.

4.2.6.4.3. Soluções Conceptivas

Finalmente, tendo-se em conta a vinculação dos estados de sanidade com as "Soluções Conceptivas" definidas na ***Matriz de Decisão Paragon***, verifica-se que o pavimento demanda, predominantemente, intervenções do tipo reconstrução total ou parcial, e recomposição superficial com reforço, em aproximadamente 75% do trecho. Esses valores se agravam ainda mais, ao se verificar que menos de 20% do trecho externam condições adequada de trafegabilidade, estando esses intervalos distribuídos de forma aleatório e dispersa, o que impossibilita a criação de alguns segmentos de solução para eles. Dessa forma, na prática, os referidos parcos intervalos estarão incrustados nos segmentos dominantes que requerem intervenções em profundidade, seguindo a assertiva que os justos pagam pelos pecadores.

SOLUÇÕES CONCEPTIVAS PARA A RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO:** 42,831 km
TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **PISTA / LADO:** PISTA SIMPLES / LADO ESQUERDO

SOLUÇÃO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS	SOLUÇÃO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS
CA	0,080	0,2%	3	RL + REF	1,860	4,7%	74
OK	6,500	16,3%	118	RPS	2,440	6,1%	41
RL	0,880	2,2%	39	RPS + REF	20,400	51,0%	238
RL + RS	0,400	1,0%	15	REC OU REC*	7,440	18,6%	309

SOLUÇÕES CONCEPTIVAS PARA A RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO:** 42,831 km
TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA **PISTA / LADO:** PISTA SIMPLES / LADO DIREITO

SOLUÇÃO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS	SOLUÇÃO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS
CA	0,280	0,7%	7	RL + REF	2,820	7,1%	98
OK	3,700	9,3%	84	RPS	4,020	10,2%	53
RL	1,280	3,2%	47	RPS + REF	22,220	56,1%	200
RL + RS	0,240	0,6%	11	REC OU REC*	5,040	12,7%	214

Figura 120 – Distribuição Percentual das soluções reclamadas pelo pavimento

4.2.6.4.4. Conclusões

Conforme descrito anteriormente, o pavimento em análise corresponde a um segmento da rodovia GO-330 situado entre os municípios de Roncador e Orizona, passando por Pires do Rio. O trecho tem extensão total de 42,831 km e é constituído, majoritariamente, por pista simples, com duas faixas de tráfego de largura média de 3,40 m cada, além de acostamentos descontínuos em ambas as extremidades, com largura média de 1,60 m cada. No que se refere à estrutura do pavimento, verificou-se, a partir das sondagens de campo, que tanto a camada de base quanto a de sub-base são majoritariamente compostas por cascalho com características lateríticas. O solo de fundação, por sua vez, é constituído por material areno argiloso, com presença de pedregulho em alguns furos. Porém, é válido destacar que também foram identificadas ocorrências de cascalho com características lateríticas em determinados pontos do solo de fundação. A camada de revestimento asfáltico, por sua vez, é constituída ora por tratamento superficial duplo (único e exclusivamente na região antes do perímetro urbano de Pires do Rio), e por Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) no restante do trecho. Para mais, é importante salientar novamente que parte do trecho em questão perpassa dentro do perímetro urbano de Pires do Rio, não foi avaliada no presente trabalho, uma vez que a região em questão conta com diversas complicações, para a determinação de soluções de pavimento, como: a constante variação do traçado - ora a rodovia se torna uma avenida ou até uma rua local; proximidade com residências, fato que além de limitar as possíveis soluções de restauração, também representa um fator dificultador para a execução das obras de intervenção; existência de redes de eletricidade, água e esgoto, a baixo do pavimento e por fim, destaca-se ainda a constante variação do revestimento existente nesse intervalo, tendo regiões com piso Sextavado, outras com paralelepípedo, além de alguns intervalos com revestimento asfáltico.

De maneira geral, pode-se afirmar que a rodovia exibe um comportamento bastante uniforme ao longo de sua extensão, uma vez que o estado de degradação do pavimento é generalizado, externando sanidade bastante combalida, traduzidos por estados “Péssimo”, “Mau” e “-Regular”. Desse modo, as soluções conceptivas demandadas pelo pavimento serão definidas predominantemente em profundidade, como a reconstrução parcial e recomposição superficial, visando a restauração da funcionalidade e da vida útil do pavimento.

O sequencial de diagnósticos obtidos – representado em lineares cromaticamente diversificados – evidenciou uma notável heterogeneidade, caracterizada pela coexistência de diferentes estados funcionais, muitas vezes opostos. No entanto, observa-se uma predominância significativa de condições em que o pavimento se encontra comprometido, demandando intervenções em profundidade. Aproximadamente 70% do trecho apresenta estados de sanidade classificados como “Péssimo” e “Mau”, indicando a necessidade de reconstrução parcial ou total, bem como a adição de aporte estrutural para restabelecer a capacidade funcional da rodovia.

Vale ainda destacar que os segmentos externando estados de sanidade satisfatórios, decorrem da execução coberturas recentes de microrrevestimentos asfálticos a frio. Tais segmentos, para além de disseminados no meio da falência generalizada, foram compostos por intervenções delgadas que não oferecem aporte estrutural significativo.

A destacar ainda em tais constatações, a grande identidade verificada entre os comportamentos externados concomitantemente por ambas as faixas de tráfego ao longo de todo o trecho. Quando vislumbrada sob uma ótica holística, a similaridade funcional entre ambas as faixas de tráfego é extraordinária, pois a comparação sequencial dos resultados, estaca por estaca, numa mesma seção transversal, evidencia uma coincidência homozigótica notável; a coexistência de

diagnósticos funcionais externam, simultaneamente, as péssimas e as boas qualidades funcionais do pavimento. Essa correlação homogênea indica que as condições funcionais do pavimento, sejam elas boas ou degradadas, tendem a se manifestar simultaneamente em ambas as faixas, reforçando a necessidade de intervenções planejadas de forma integrada.

A similitude comportamental das faixas de tráfego se manifestou também quando considerados os principais parâmetros de comportamento (deflexão reversível, irregularidade longitudinal e flechas nas trilhas de roda), pois verifica-se boa semelhança entre as magnitudes e as respectivas distribuições percentuais desses principais parâmetros de comportamento.

As deflexões reversíveis se distribuíram predominantemente no intervalo de 40 a 80 × 0,01 mm em ambas as faixas de tráfego, indicando um comportamento relativamente homogêneo nesse parâmetro. Já os valores de IRI apresentaram maior dispersão, com a faixa direita exibindo predominância de valores entre 2,0 e 3,5 m/km, enquanto a faixa esquerda registrou, valores médios de IRI entre 3,0 e 4,5 m/km. Por fim, as flechas nas trilhas de roda ocorreram com maior frequência no intervalo entre 3 e 7 mm. Embora esses valores possam sugerir um bom desempenho da base ao longo do trecho analisado, a realidade observada contraria essa interpretação. Conforme mencionado anteriormente, o cisalhamento da camada de base, um dos defeitos mais recorrentes no pavimento, evidencia que a referida camada granular além de não apresentar um comportamento satisfatório, também demanda de aportes estruturais para o cumprimento da vida útil projetada para o trecho.

Os resultados obtidos são apresentados a seguir, em gráficos onde se expressam os percentuais de ocorrência de cada parâmetro por intervalos de variação (histogramas) e as extensões (em km) ocupadas por cada um dos intervalos:

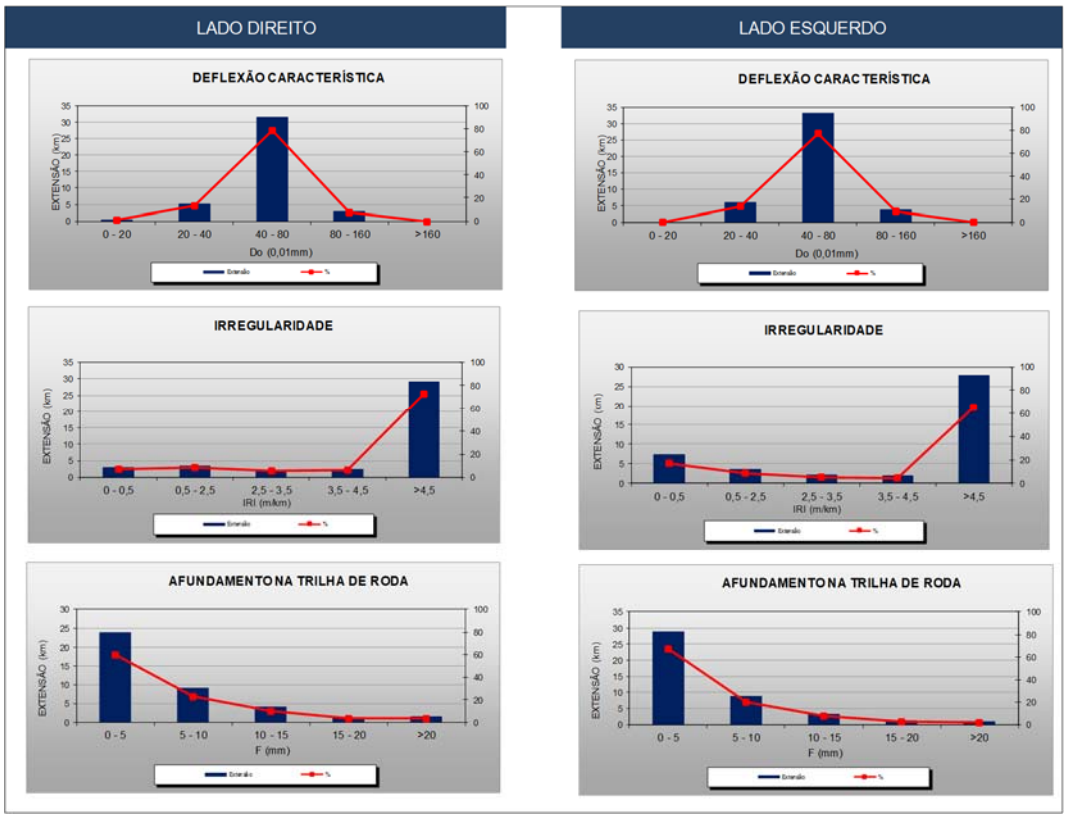


Figura 121 – Percentuais de ocorrência e extensões totais abrangidas pelos principais parâmetros de comportamento (Metodologia Paragon)

A similaridade comportamental entre ambas as faixas de tráfego foi também externada pela comparação dos índices caracterizadores do pavimento em ambas as faixas de tráfego, principalmente no que se refere ao índice da condição de degradação superficial, o qual evidenciou paridade notável. Os resultados obtidos são apresentados a seguir, em gráficos onde se expressam os percentuais de ocorrência de cada índice de condição por intervalos de variação (histogramas) e as extensões (em km) ocupadas por cada um dos intervalos:

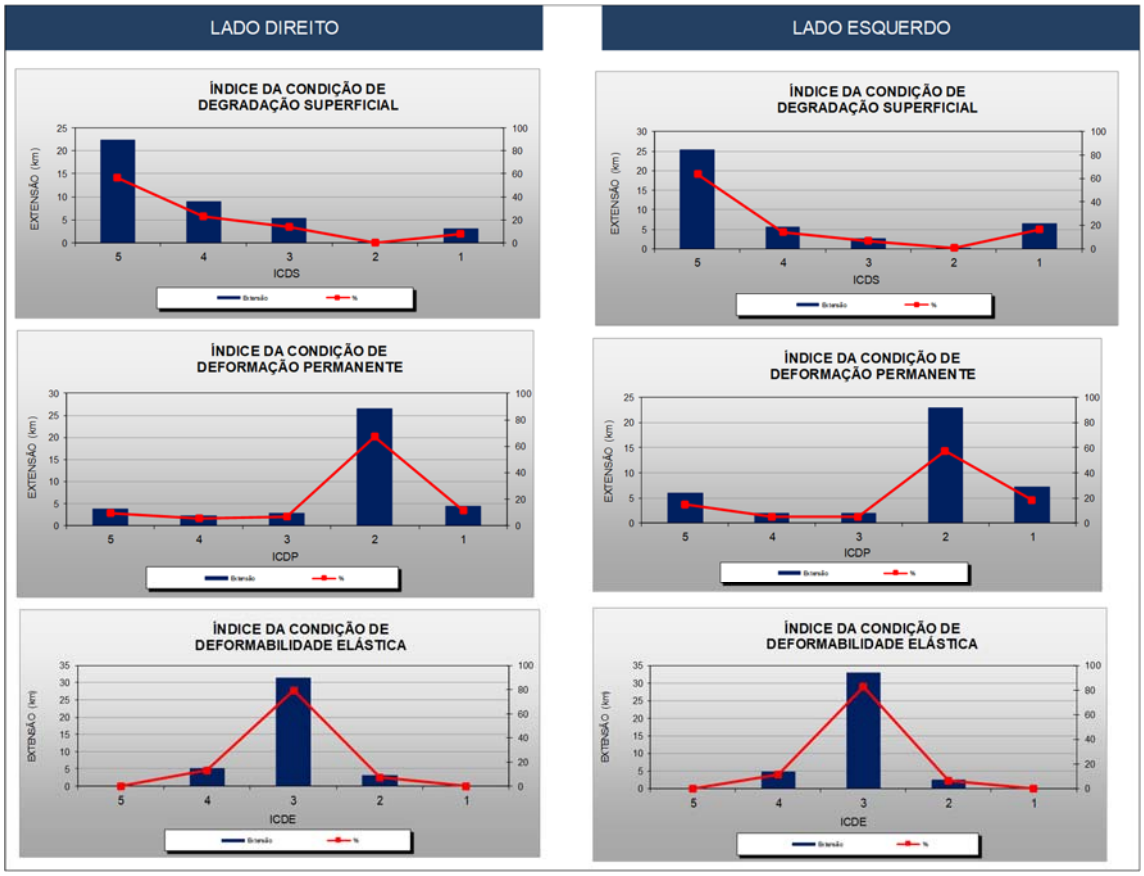


Figura 122 – Percentuais de ocorrência e extensões totais abrangidas pelos principais parâmetros de comportamento (Metodologia Paragon).

4.2.6.4.5. Cotejamento entre os Conceitos de Serventia DNIT (Pro-006/2003) e o Diagnóstico Funcional Definido pela Metodologia Paragon

Conforme vem de se expor, no âmbito do presente Projeto de Restauração foram aplicados dois procedimentos de ***avaliação*** funcional do pavimento existente, a saber:

- através da Norma ***DNIT PRO-006/2003***, procedendo os levantamentos por amostragem, em faixas alternadas e contemplando as duas faixas de tráfego simultaneamente, com os conceitos de serventia definidos por segmento homogêneo, acrescentada de uma proposição de aprimoramento, contemplando o processo de varredura métrica – quantificação das ocorrências metro a metro – em universos de análise de 20 m (estaca por estaca) considerando a área superficial total; nessa alternativa, os conceitos de serventia foram definidos por estaca;

- através da metodologia ***PARAGON***, por meio de levantamento contínuo realizado por faixa de tráfego, o qual se apoia na análise e interpretação conjugada das distintas famílias de degradação e da deformabilidade elástica do pavimento. No âmbito do

diagnóstico funcional, os defeitos são quantificados por meio de "varredura métrica" e os resultados são definidos para universos de análise de 20 m (estaca por estaca), contemplando as duas faixas de tráfego de forma individualizada.

A proposição presente consiste, pois, em se cotejar os resultados obtidos pelos distintos procedimentos, mesmo sabendo que a consideração conjunta de ambas as faixas de tráfego e a definição por segmentos homogêneos– método DNIT – pode conduzir a falhas de interpretação, o que não constitui problema no caso presente, haja vista a identidade filosófica de ambas as metodologias. Dessa forma, em que pesem as diferença de propósito, considerou-se interessante promover um cotejamento entre os resultados obtidos pelas metodologias DNIT ***(conceitos de serventia)*** e Paragon ***(Diagnóstico)*** com o objetivo de avaliar eventuais discrepâncias, pouco prováveis, pois ambas as metodologias guardam estreito relacionamento contextual, se diferindo fundamentalmente nos critérios de contemplação e no rol de defeitos considerados.

De forma a se processar o retromencionado cotejamento, julgou-se que a opção mais perfeita seria através da comparação direta dos lineares gráficos pertinente a cada metodologia, contemplando os respectivos conceitos/diagnóstico, devidamente distinguidos pela escala cromática anteriormente definida.

Numa primeira etapa, considerou-se o procedimento DNIT PRO-006/2003 contemplando conjuntamente ambas as faixas de tráfego e a definição conceitual por segmento homogêneo, o qual se relaciona a um predomínio dos conceitos "Regular" (44%) e "Ruim" (36%), que se resumem a um nível de serventia bastante combalido, que acomete 80% da extensão do trecho; da fração restante, 20% denunciam um comportamento adequado ("Bom").

Quando do cotejamento dos resultados de ambas as metodologias, observa-se que, embora os dois procedimentos caracterizem as graves deficiências funcionais externadas pelo pavimento, a severidade constatada pelos diagnósticos Paragon é mais acentuada, exibindo um agravamento em relação aos conceitos DNIT: os estados de sanidade externam diagnósticos "Péssimo" enquanto a metodologia DNIT PRO-006/2003 qualifica a maior parte dos segmentos existentes com os conceitos de serventia de "Ruim" e "Regular". Tais constatações decorrem fundamentalmente dos fatos da normativa DNIT tratar os dados por segmentação homogênea e de alguns tipos de defeitos que são considerados exclusivamente pela metodologia Paragon (como, por exemplo, os bombeamentos de água com finos), particularidade que estabelece percentuais de ocorrência menos acentuados da metodologia DNIT PRO-006/2003, haja vista o abrandamento das frequências absolutas e, por conseguinte, das frequências relativas.

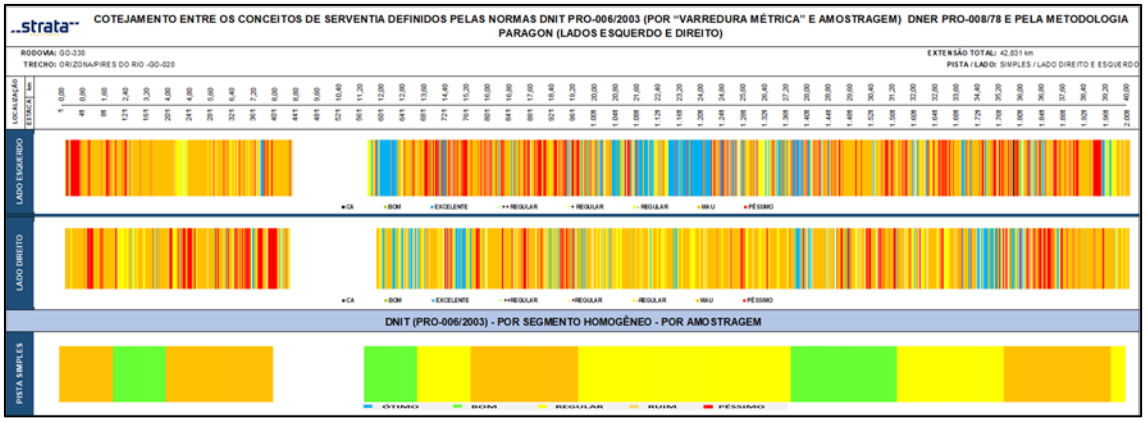


Figura 123 – Cotejamento entre os Diagnósticos Metodologia Paragon x Norma DNIT PRO-006/2003 por Segmento Homogêneo.

Seguidamente, por se dispor dos resultados obtidos pela normativa DNIT PRO-006/2003 tratados por varredura métrica (aprimoramento proposto pela Strata Engenharia), mesmo que considerando o tratamento dos dados de ambas as faixas de tráfego em conjunto e um número reduzido de manifestações de ruina, considerou-se mais pertinente e consistente promover o cotejamento com os resultados da metodologia Paragon, também processados por estaca.

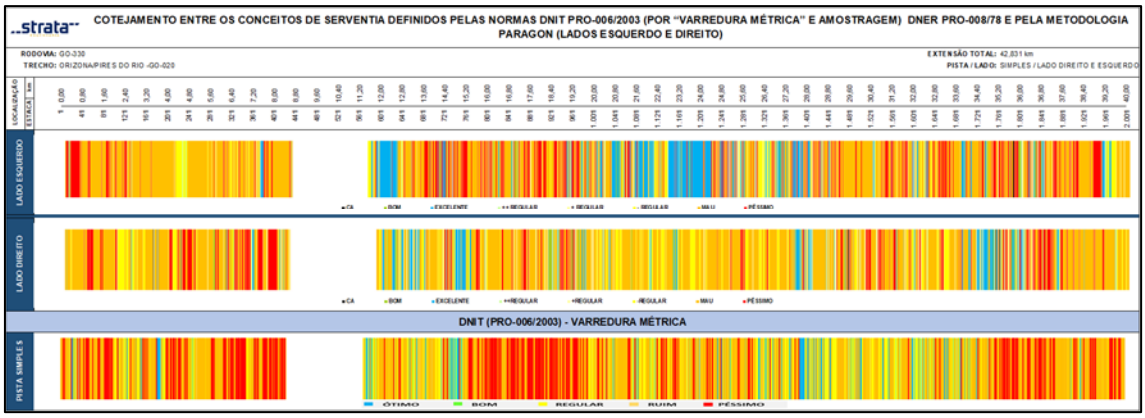


Figura 124 – Cotejamento entre os Diagnósticos Metodologia Paragon x Norma DNIT PRO-006/2003 por Varredura Métrica.

Os resultados obtidos refletem uma realidade bem mais consistente, com ambos os procedimentos evidenciando os maus estados de sanidade externados pelo pavimento existente, particularidade que evidencia seu estado avançado de exaustão - sua falência em termos de "vida útil" – e que impede sua recuperação, nesses pontos, por meio da sobreposição de camadas asfálticas; o pavimento existente requer majoritariamente, para sua reabilitação, a remoção das camadas asfálticas extremamente degradadas e aportes estruturais potentes, que propiciem sua prestação de serviços futura.

Com certa complacência e esmero ótico e com o devido carinho analítico, julga-se que os diagnósticos PARAGON por faixa de tráfego, caso "miscigenados", traduziram, em boa medida, os conceitos de serventia obtidos pela metodologia DNIT.

Finalmente, de forma a se poder apreciar os cotejamentos metodológicos de forma um pouco mais objetiva, calcularam-se os percentuais de ocorrência de cada estado de sanidade conceituado pelas duas metodologias. Embora os resultados finais tenham sido bem parecidos, é importante destacar que a metodologia PARAGON, por considerar uma variedade de defeitos e parâmetros relevantes no ato de diagnóstico, proporcionou resultados diferentes, que aos olhos da consultora traduziram de forma mais sensível a condição atual do pavimento. Os resultados em questão são apresentados a seguir:

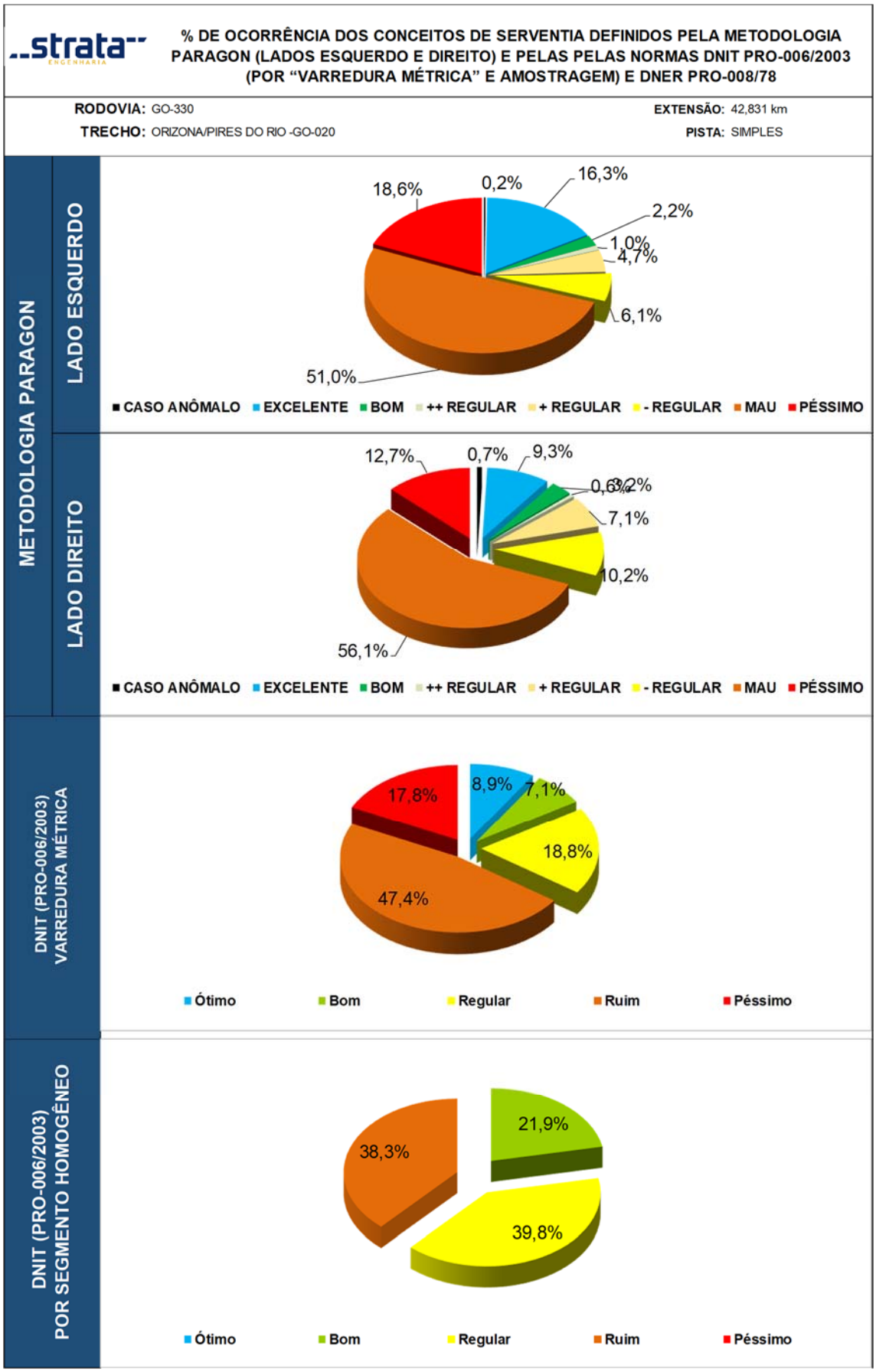


Figura 125 – Cotejamento entre os diagnósticos PRO-006/2003 versus PARAGON.

4.2.6.4.6. Avaliação e Diagnóstico Estrutural do Pavimento Através da Metodologia PARAGON

Embora se considere que a deflexão reversível máxima constitua um parâmetro interessante e importante na definição do estado de sanidade dos pavimentos rodoviários, evidenciou-se anteriormente que esse parâmetro individualmente não se presta para definir características estruturais de um sistema pavimento - solo de fundação. Por si próprias, as deflexões máximas permitem apenas uma definição clara dos locais onde o pavimento experimenta maiores ou menores deformações verticais reversíveis quando carregados exteriormente, não se apresentando suficientes para caracterizar o pavimento sequer do ponto de vista exclusivo da reversibilidade.

Do exposto, torna-se evidente que análises estruturais fundamentadas única e exclusivamente em valores da deflexão reversível máxima, considerada como parâmetro autodefinidor ou autossuficiente, podem conduzir a resultados pouco concludentes ou até mesmo errôneos. Sob tais circunstâncias, no âmbito da presente metodologia, julgou-se de fundamental importância promover a busca de parâmetros mais apropriados, capazes de traduzir com maior qualificação as características da estrutura estratificada de um pavimento.

Destarte, considera-se fundamentalmente importante promover uma competente Caracterização Estrutural do sistema estratificado composto pelo conjunto pavimento – solo de fundação, principalmente quando submetido a esforços provocados pelas cargas do tráfego pesado. Assim considerando, ajuizou-se que para se processar caracterizações estruturais adequadas se fariam necessárias, no mínimo, a determinação dos seguintes elementos:

- ✓ perfil constitutivo da estrutura do pavimento-solo de fundação (número de camadas, espessuras e materiais constituintes e suas propriedades), e
- ✓ linhas de influência dos assentamentos reversíveis provocadas por cargas aplicadas à superfície do sistema estratificado

os quais, quando analisados em conjunto, permitem a determinação de importantes grandezas fundamentais da estrutura, tais como o número de camadas, as espessuras e os módulos de elasticidade e os coeficientes de Poisson das camadas constituintes e do solo de fundação.
Paralelamente, considerou-se ainda igualmente importante, na caracterização estrutural do pavimento, a realização de poços de inspeção para a determinação das características físicas vigentes nas camadas do pavimento e no solo de fundação e a coleta de amostras para caracterizações laboratoriais ordinárias.

Os trabalhos para se estabelecer o diagnóstico estrutural do pavimento foram portanto desenvolvidos com base nas definições do perfil estratigráfico do pavimento existente e nas medições das linhas de influência dos assentamentos reversíveis.

4.2.6.4.6.1. Levantamentos Efetuados e Resultados Obtidos

4.2.6.4.6.1.1. Perfil constitutivo do pavimento

Análises de linhas de influência experimentais dos assentamentos reversíveis experimentais com base na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados (multicamadas) permitem definir - por analogia - as grandezas fundamentais do sistema pavimento - solo de solo de fundação, procedimento que entretanto demanda, de preferência, o conhecimento prévio do perfil constitutivo (geometria) do pavimento existente, ou mais fundamentalmente, do número e das espessuras de suas camadas, haja vista as vantagens inerentes de se poder promover

retroanálises teóricas dispondo da estratigrafia verdadeira. No âmbito de tais determinações, o ideal é sempre o emprego de um radar de profundidade – vide ilustração apresentada a seguir – o qual faculta da determinação específica do sistema estratificado exatamente nos locais onde foram processadas as medições das linhas de influência com o *Falling Weight Deflectometer.*

- **Sondagens com o GPR**

Para o presente projeto, a utilização do Georadar (*Ground Penetrating Radar* – GPR) proporcionou a determinação da espessura em contínuo do revestimento asfáltico existente, o que subsidiará a determinação assertiva das espessuras para fins de avaliação do pavimento e quantitativos. As espessuras asfálticas encontradas são apresentadas a seguir, em linear específico:

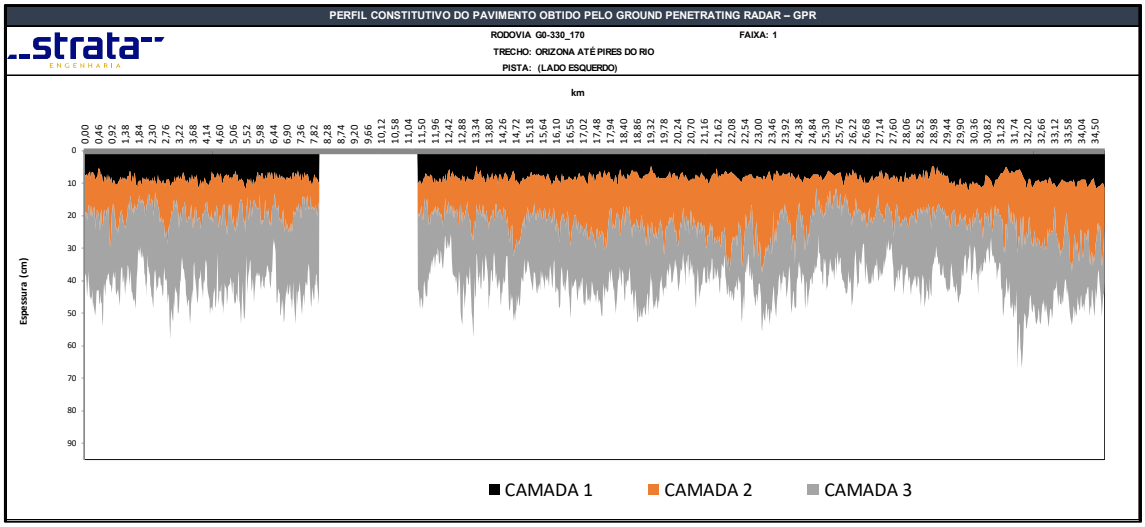


Figura 126 - Perfil Constitutivo do Revestimento do Pavimento processado através do Georadar.

- **Sondagens de Poço**

As sondagens de poço foram executadas com os objetivos maiores de definir o número e espessuras das camadas constitutivas e de permitir a classificação táctil-visual dos materiais constituintes das camadas do pavimento e do solo de fundação – não traduzidas pelo Georadar – e a coleta de amostras para as necessárias caracterizações laboratoriais.

De forma a atender às premissas do Termo de Referência pertinente ao presente Contrato de Prestação de Serviços, foram realizados 51 poços de sondagem ao longo da rodovia, visando a definição do número e espessuras das camadas da estrutura estratificada, a classificação expedita dos materiais e a coleta de amostras para caracterizações laboratoriais. Os Boletins de Sondagem, mosaico fotográfico e resultados das caracterizações laboratoriais são apresentados nos Estudos Geotécnicos.

Os resultados obtidos nas sondagens de poço foram também utilizados na calibração das prospecções em profundidade realizadas com o GPR, uma vez que o software do equipamento faculta a entrada das espessuras físicas medidas em campo para a correção das constantes dielétricas; esse procedimento, que permite definir, com enorme precisão, o *perfil constitutivo* em contínuo dos pavimentos estudados e, por conseguinte, aprimora o cálculo de suas principais grandezas estruturais: os módulos de elasticidade das misturas asfálticas, dos materiais granulares e dos solos de fundação e respectivos coeficientes de Poisson.

A disposição dos furos de sondagem, um modelo dos Boletins de Sondagem elaborados e o perfil estratigráfico detectado, contando com as camadas (espessuras e materiais constituintes) são apresentados na sequência:



Figura 127 - Posicionamento e distribuição das sondagens de poço efetuadas ao longo do pavimento.

BOLETIM DE SONDAGEM

RODOVIA: GO-330 **EXTENSÃO:** 42,49km

TRECHO: Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador)

ESTUDO : CAMADA DE PAVIMENTO

PI	ESTACA	POSIÇÃO	PROFUNDIDADE (m)		ESPESSURA (CM)	CAMADA	COORDENADAS W	COORDENADAS S	CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA
01	5	LD	0,00	0,04	4,00	REVESTIMENTO	48°14'46.08"O	17°22'18.58"S	CBUQ
			0,04	0,21	17,00	BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARELADO
			0,21	0,41	20,00	SUB-BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARELADO
			0,41	1,50	109,00	SUBLEITO			SOLO ARENO ARGILOSO AMARELADO
02	117	LE	0,00	0,02	2,00	REVESTIMENTO	48°14'50.718"O	17°21'22.38"S	TRATAMENTO SUPERFICIAL
			0,02	0,15	13,00	BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARELADO
			0,15	0,26	11,00	SUB-BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARELADO
			0,26	1,50	124,00	SUBLEITO			SOLO ARENO ARGILOSO AMARELADO C/PEDREGULHO
03	200	LD	0,00	0,02	2,00	REVESTIMENTO	48°15'11.70"O	17°20'36.06"S	TRATAMENTO SUPERFICIAL
			0,02	0,23	21,00	BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARELADO
			0,23	0,55	32,00	SUB-BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARRONZADO
			0,55	1,50	95,00	SUBLEITO			SOLO ARENO ARGILOSO AMARELADO
04	305	LE	0,00	0,02	2,00	REVESTIMENTO	48°15'47.86"O	17°19'44.376"S	TRATAMENTO SUPERFICIAL
			0,02	0,19	17,00	BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARRONZADO
			0,19	0,39	20,00	SUB-BASE			CASCALHO COM CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS AMARELADO
			0,39	1,50	111,00	SUBLEITO			SOLO ARENO ARGILOSO AMARELADO

(PERÍMETRO URBANO DE PIRES DO RIO)

Figura 128 - Boletim de Sondagem. Definição da Estratigrafia e dos Materiais Constituintes do Pavimento Existente (PI-01 a PI-05).

Desta forma, com base nos resultados das prospecções efetuadas pôde-se elaborar o perfil estratigráfico do pavimento existente apresentado a seguir:

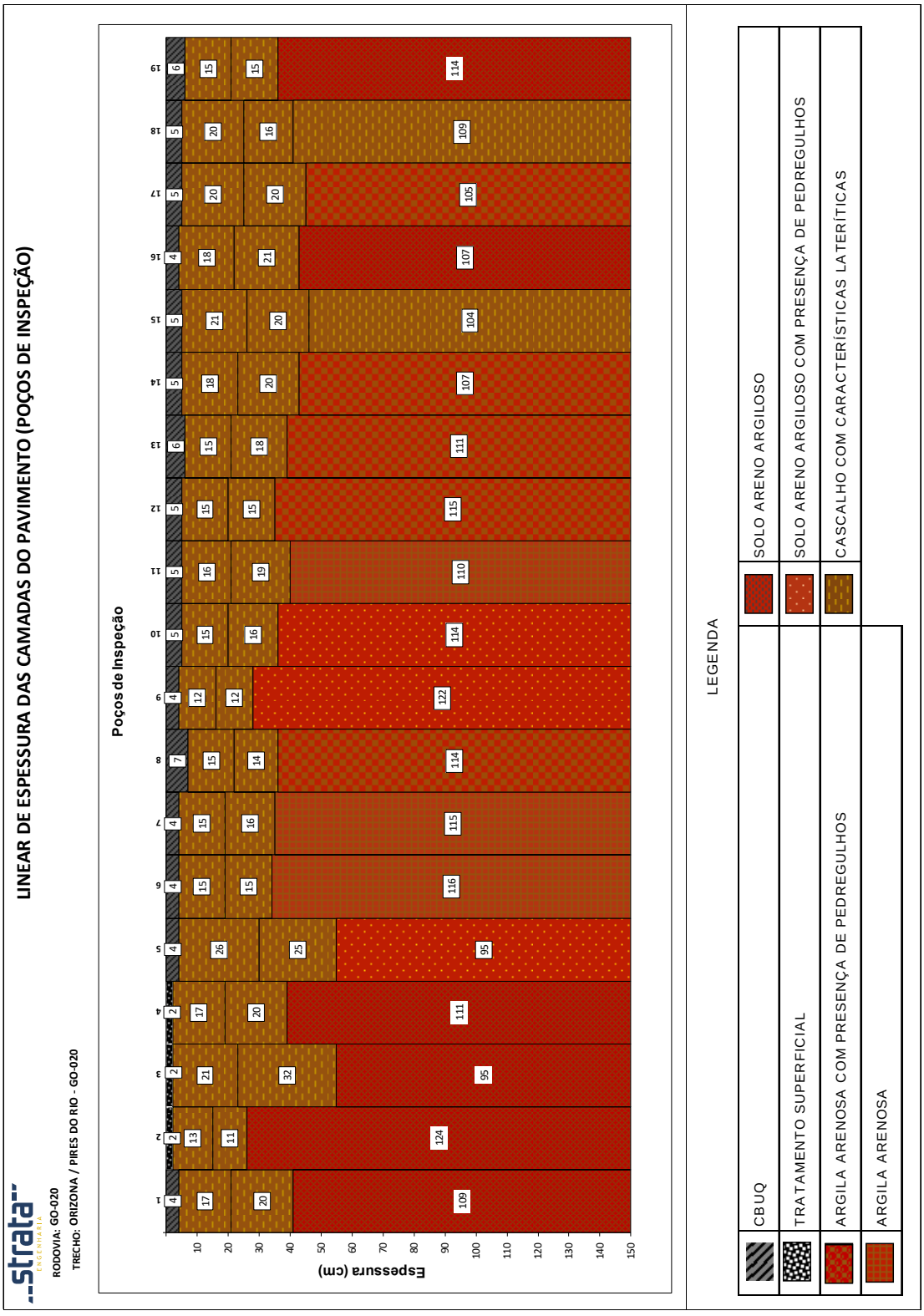


Figura 129 - Perfil Constitutivo do Pavimento Existente – PI-01 a PI-19

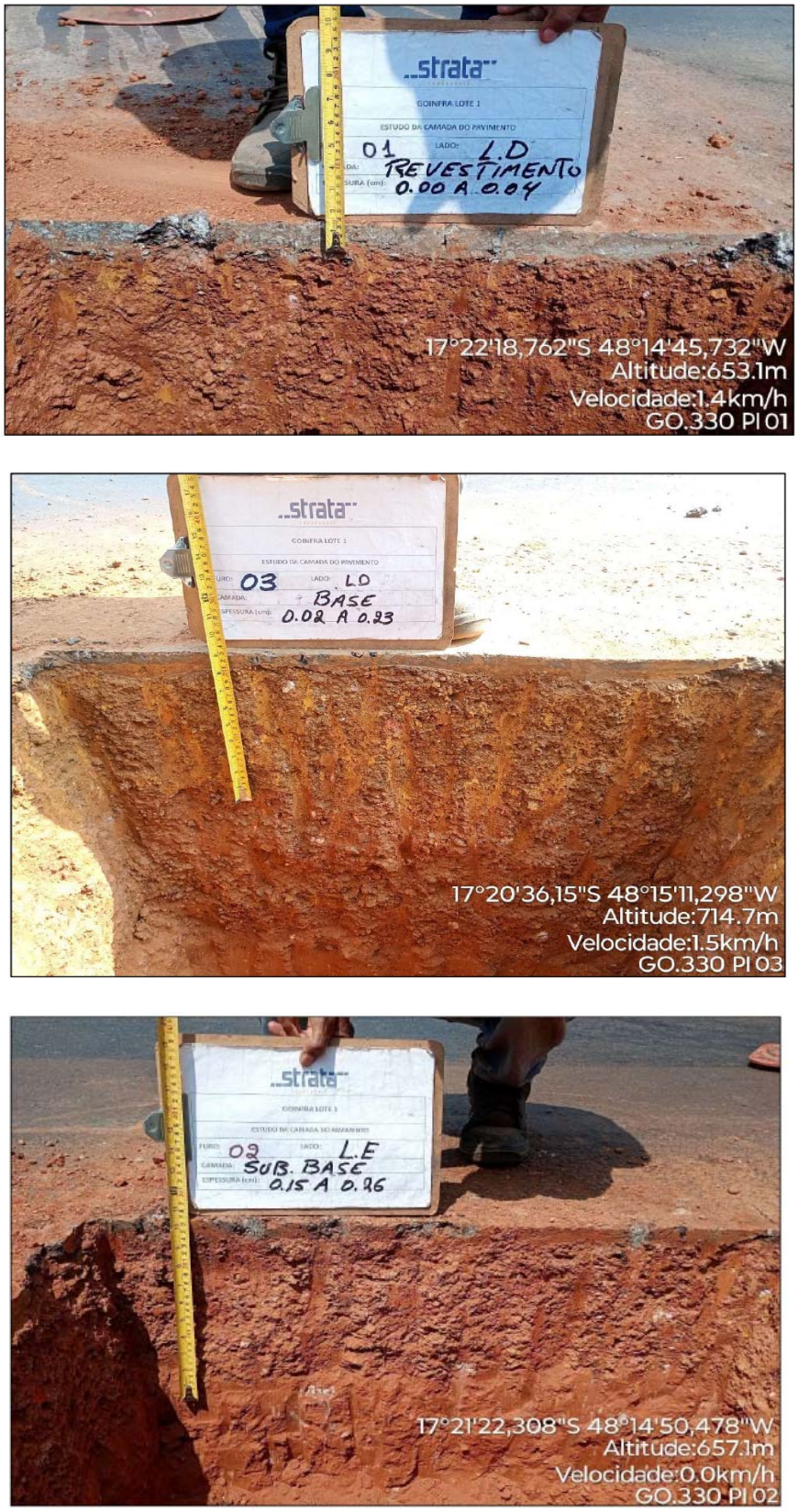


Figura 130 – Exemplos das prospecções geotécnicas executadas no trecho.

4.2.6.4.6.1.2. Levantamento das Linhas de Influência dos Assentamentos Reversíveis

As linhas de influência dos assentamentos reversíveis foram obtidas através da utilização do equipamento ***Falling Weight Deflectometer – FWD***, calibrado para aplicar uma carga dinâmica de 41 kN (energia potencial gravitacional) para impor ao sistema pavimento – solo de fundação velocidades vibratórias similares àquelas impingidas pelas cargas impostas pelo tráfego comercial usuário; as ondas vibratórias senoidais (velocidade e amplitude) são captadas por 7 geofones, dispostos sob o eixo de aplicação da carga e à distintas distâncias do centro (200, 300, 450, 650, 900 e 1200 mm); os resultados obtidos, após apurado tratamento matemático (dupla integração) processado pelo "*hardware*" do próprio FWD, definem os valores das deflexões reversíveis máximas verificadas às distintas distâncias.

As medições das linhas de influência com o FWD foram realizados a cada 40 metros contados em uma mesma faixa e a cada 20 m contados em faixas alternadas e os resultados obtidos, gravados em tabelas conforme modelo apresentado a seguir; são apresentadas na Etapa 2 do presente contrato de prestação de serviços; os resultados das medições obtidas pelos 7 geofones – em cada medição da linha de influência –, por faixa de tráfego, foram plotados também em lineares gráficos conforme ilustrado a seguir.

GO INFRA — **LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO (FWD)** — ..strata..

RODOVIA: GO-330 **SENTIDO:** CRESCENTE **FAIXA:** 1

TRECHO: ORIZONA / PIRES DO RIO - GO-020 **EXTENSÃO:** 8,470 km

DISTÂNCIA (km)	ESTACA	PRESSÃO NOM. (kPa)	CARGA NOM. (kN)	TEMPERATURA (°C)		DEFLEXÕES (0.01 mm)							Raio C. (m)	DATA	HORA
				Ar	Sup	D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120			
0,000	0	576	41	25	37	74,3	48,9	34,3	22,9	16,7	9,4	6,7	78,7	18/05/2024	15:33:00
0,040	2	592	42	25	37	51,6	28,8	17,9	10,2	6,0	2,8	2,1	87,7	18/05/2024	15:34:00
0,080	4	588	42	25	37	48,8	27,8	18,0	10,2	6,3	3,3	2,4	95,2	18/05/2024	15:35:00
0,120	6	590	42	25	38	57,7	29,9	18,4	10,4	6,1	3,1	2,3	71,9	18/05/2024	15:36:00
0,160	8	588	42	25	37	41,7	25,4	17,4	10,6	6,6	3,0	2,1	122,7	18/05/2024	15:36:00
0,200	10	590	42	25	36	41,0	23,3	16,4	10,6	7,4	4,1	2,9	113,0	18/05/2024	15:37:00
0,240	12	589	42	25	36	38,0	22,5	16,2	11,7	8,7	5,2	3,5	129,0	18/05/2024	15:38:00
0,280	14	589	42	25	36	46,6	22,6	14,6	9,5	6,8	4,3	3,3	83,3	18/05/2024	15:38:00
0,320	16	589	42	25	36	55,4	35,5	24,8	16,2	11,3	8,4	6,9	100,5	18/05/2024	15:39:00
0,360	18	586	41	25	33	45,5	26,8	17,3	11,4	8,4	6,0	5,0	107,0	18/05/2024	15:40:00
0,400	20	593	42	25	34	51,7	28,9	19,3	12,3	8,8	5,9	4,7	87,7	18/05/2024	15:41:00
0,440	22	584	41	24	36	48,0	31,3	21,5	15,2	11,4	8,4	6,4	119,8	18/05/2024	15:41:00
0,480	24	592	42	24	36	61,2	39,1	28,8	20,6	15,0	9,5	6,6	90,5	18/05/2024	15:42:00
0,520	26	589	42	25	36	58,4	38,0	26,1	16,7	12,4	8,2	5,1	98,0	18/05/2024	15:43:00
0,560	28	584	41	24	36	59,6	34,0	22,8	14,6	10,8	7,1	5,3	78,1	18/05/2024	15:43:00
0,590	30	567	40	24	35	81,9	58,9	42,5	30,8	23,4	15,2	10,5	87,0	18/05/2024	15:44:00

Figura 131 – Dados deflectométricos (FWD) já processados.

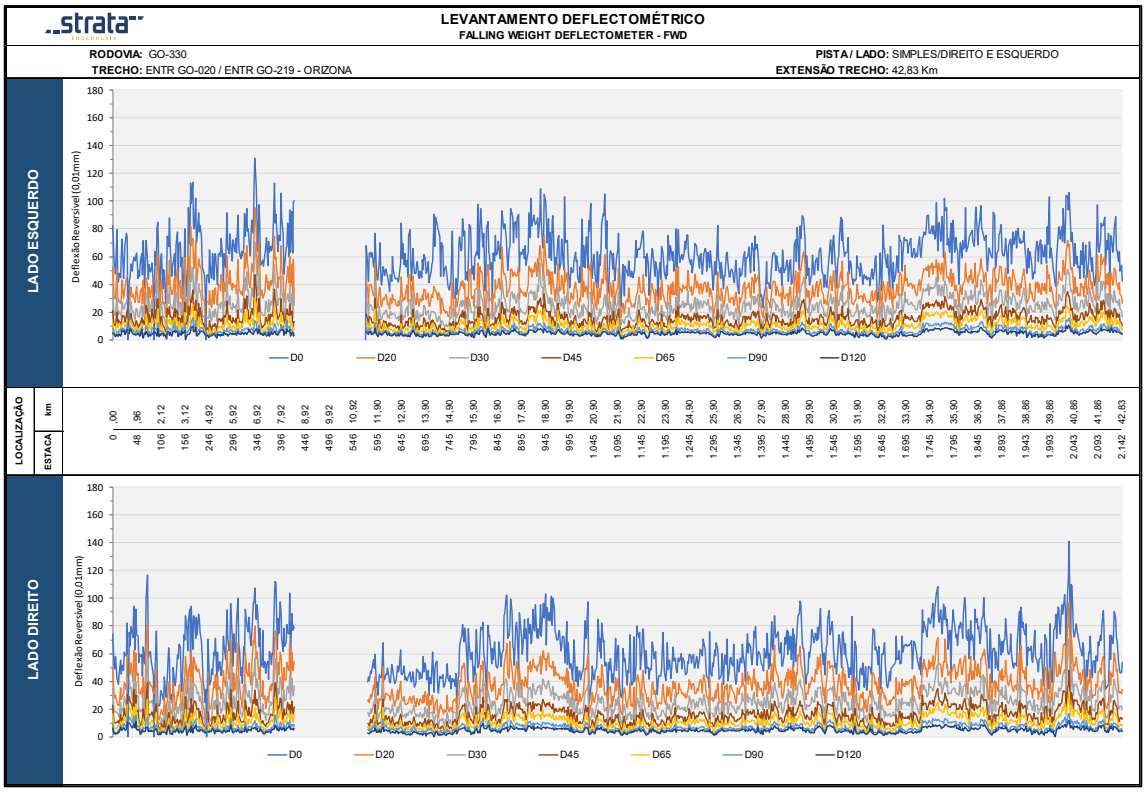


Figura 132 - Representação gráfica das deflexões reversíveis obtidas através do FWD pelos 7 Geofones.

As retroanálises de todas as linhas de influência experimentais medidas foram processadas através do programa computacional denominado ***RetroStrata***, desenvolvido no âmbito da empresa com base na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados exteriormente; as espessuras das camadas consideradas na definição dos perfis constitutivos – revestimento, base e sub-base – foram aquelas detectadas através das sondagens de poço em cada segmento.

Complementarmente, com o objetivo maior de se poder avaliar mais adequadamente o comportamento reológico das misturas asfálticas existentes destinadas à constituição dos reforços de pavimento a serem aplicados, foram procedidas medições das temperaturas do revestimento (termômetros ultrassensíveis, do tipo emissor-captador de luz infravermelha) e do ar ambiente, os quais compõem o FWD; no presente caso, os levantamento foram executados entre as 08:00h e as 17:00h; os resultados obtidos foram gravados em mídia magnética e plotados em lineares gráficos também apresentados a seguir:

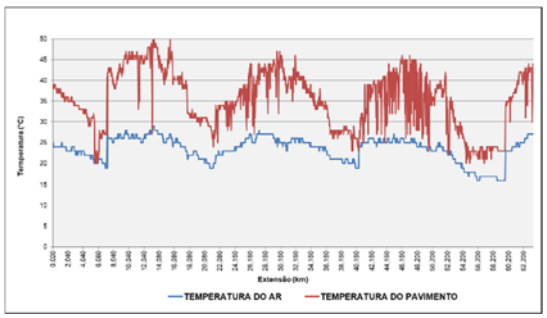
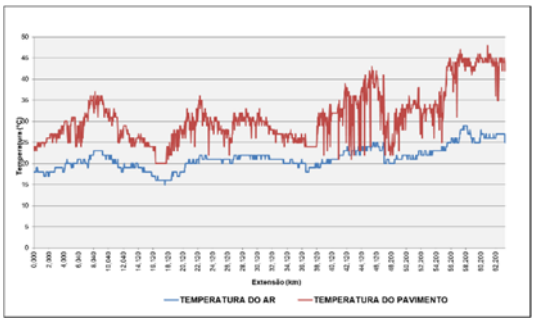
TEMPERATURAS DO AR AMBIENTE E DO PAVIMENTO	
PISTA SIMPLES	
Lado Esquerdo	Lado Direito
	

Figura 133 - Representação gráfica das temperaturas do ar e do pavimento medidas pelo FWD.

4.2.6.4.6.1.3. Diagnóstico Estrutural do Pavimento

A interpretação das linhas de influência dos assentamentos reversíveis é processada através de um artifício matemático que consiste em pesquisar, na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados à superfície, linhas de influência teóricas iguais ou substancialmente similares às linhas experimentais; quando a superposição de ambas as linhas é perfeita, sob as mesmas condições de carregamento, infere-se que as grandezas definidas pela teoria – número de camadas, espessuras, valores modulares e coeficientes de Poisson – são representativas do sistema existente.

Assim, considerando que a retroanálise constitui um processo de interpretação teórica, torna-se fundamentalmente importante se ter em conta que os valores modulares obtidos devem ser interpretados de forma analítica, como representantes de uma "estrutura de trabalho equivalente". Destarte, não devem ser vinculados, obrigatoriamente, a valores modulares dos mesmo materiais obtidos em laboratório, primeiro porque em um sistema estratificado os materiais trabalham de forma consorciada, conjunta e solidária e segundo, porque a teoria desconhece, solenemente, o que é revestimento asfáltico, brita graduada, cascalhos lateríticos, etc.

Realça ainda esse alerta o fato de que os cálculos processados em termos de avaliação estrutural serem procedidos contemplando um sistema estratificado, com as camadas trabalhando de formas combinadas e solidárias, condição que estabelece, por si, uma diferenciação natural entre os valores modulares obtidos através de ensaios laboratoriais; os resultados obtidos a partir de retroanálises de linhas de influência experimentais – medidas no campo – traduzem, na realidade, uma "estrutura de trabalho equivalente", a qual externa um trabalho comportamental similar àquele desenvolvido pela estrutura composta pelo conjunto pavimento – solo de fundação existente.

Entretanto, julga-se que resultados obtidos a partir da obtenção de estruturas teóricas similares, quando devidamente analisados, auxiliam enormemente na interpretação de sistemas estratificados reais. A analogia entre os comportamentos teóricos e reais pode conduzir a soluções consistentes e elucidativas e/ou explicar particularidades importantes, tal como a existência / ausência do "fenômeno da solidariedade" em sistemas estratificados, o qual se materializa, de forma magnânima, quando as camadas constitutivas do sistema são compostas com materiais externando gradientes de nobreza crescentes – no sentido da superfície – de

forma gradativa, sem variações bruscas e/ou grandes disparidades; a sua inexistência se verifica em sistemas que externam transições de nobreza excessivas e agressivas entre duas camadas consecutivas, as quais apresentam diferenças modulares muito elevadas, notadamente quando a camada superior apresenta módulos substancialmente mais elevados que aqueles pertinentes à camada inferior.

Assim, embora se trate de uma ótica incomum (desconhecida), é preciso que cada camada inferior assuma o compromisso extra de "sustentar" condignamente a camada superior, garantindo-lhe condições para exercer, com plenitude, a função estrutural para a qual foi concebida, sem se submeter a regimes de trabalhos forçados. Desse modo, de forma complementar, ainda no âmbito da metodologia Paragon, julgou de grande importância avaliar a contribuição de cada camada constituinte e do solo de fundação na deformabilidade imposta ao pavimento pelas cargas exteriores.

Análises análogas permitem ainda avaliações conjecturais sobre o comportamento específico de cada camada constituinte quando disposta no seio de uma estrutura estratificada, permitindo avaliar a obediência ao princípio original de composição de um pavimento: o arranjo estratificado composto com materiais que apresentem gradientes de nobreza crescentes no sentido da superfície, ou seja, tanto mais nobres quanto mais próximos às cargas atuantes.

Vislumbradas sobre esse princípio conceptivo, cabem às camadas superiores absorver as maiores parcelas da carga atuante e distribuir a fração restante para as camadas inferiores, menos nobres, processo iterativo que se desenvolve até que ao componente final, o solo de fundação. Toda essa fundamentação se baseia na proposição básica de se aliviar o solo de fundação, o qual, por constituir o componente mais frágil do sistema – motivo da existência do pavimento – constitui o material que mais contribui, em tese, na deformabilidade do sistema quando carregado exteriormente.

Entretanto, em que pese a virtude dessa premissa original, estudos fundamentados em análises tensionais de pavimentos evidenciam condições de contribuição nem sempre respeitantes a essa regra conceptiva, se alterando, de forma notável, consoante a qualificação das camadas inferiores. Exemplo prático dessa afirmativa se dá quando todas as camadas do pavimento e o solo de fundação externam qualificações excepcionais – elevados módulos de elasticidade –, condição que impõe à camada de base, por se situar diretamente sob as condições de carga, a maior contribuição na deformabilidade sofrida pelo pavimento carregado.

Assim, enquanto num pavimento – solo de fundação composto por materiais tradicionais, a contribuição do solo de fundação na deformabilidade é da ordem de 60% (a camada de base com cerca de 25%), o condicionamento se inverte totalmente se substituídos os materiais do solo de fundação e de camada sub-base por materiais mais nobres, externando valores modulares mais elevados: nesse caso, a camada de base passa a responder por cerca de 50 % (solo de fundação com cerca de 30%) na deformabilidade do conjunto carregado.

Dessa forma, o diagnóstico estrutural do pavimento se lavra através da análise conjunta dos valores modulares das camadas constituintes e do solo de fundação determinados pelas retroanálises e das respectivas contribuições nos valores da deformabilidade experimentada pela estrutura quando carregada exteriormente. O procedimento básico inicia-se com a análise individual de cada valor modular e das contribuições na deformabilidade, estratagema que permite estabelecer a sequência dos distintos intervalos de amplitude estruturais que se apresentam sequencialmente, os quais são, em seguida, analisados em conjunto. As divisas

fronteiriças que estabelecem as composições espectrais homogêneas das distintas variáveis, definem os distintos comportamentos estruturais que compõem o sistema ao longo de todo o trecho.

Os resultados das retroanálises e contribuições na deformabilidade obtidos foram gravados em tabelas como a apresentada no modelo a seguir, as quais são apresentadas como anexo ao ***Projeto de Pavimentação***. Paralelamente, com o objetivo de propiciar maior sensibilidade nas análises das magnitudes e das variações modulares e contribuições ao longo de todo o trecho, julgou-se interessante promover suas representações sob forma gráfica – lineares sinópticos – artifício que propicia promover a divisão dos segmentos que externam magnitudes particulares, distintos daqueles que o antecedem e sucedem; a definição dos segmentos dotados de predicados próprios estabelece os distintos diagnósticos estruturais.

strata ENGENHARIA

RESULTADOS DAS LINHAS DE INFLUÊNCIA - RETROANÁLISE

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES/ESQUERDO
TRECHO: PIRES DO RIO - OROZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,830 km

POSIÇÃO	DEFLEXÕES REVERSÍVEIS (10^{-2} mm)							REVESTIMENTO				TSD + BASE				BASE				SUB-BASE				SUBLEITO			
(km)	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120	H (cm)	C.P.	E (kgf/cm²)	Inf. (%)	H (cm)	C.P.	(kgf/cm	Inf. (%)	H (cm)	C.P.	E (kgf/cm²)	Inf. (%)	H (cm)	C.P.	E (kgf/cm²)	Inf. (%)	H (cm)	C.P.	E (kgf/cm²)	Inf. (%)
0,000	74,30	47,50	35,40	23,70	16,80	9,70	6,30	4,0	0,30	41.480	0,3					17,0	0,35	2.241	35,3	20,0	35,26	2.254	43,1	0,0	0,40	1.179	31,0
0,040	51,60	28,00	18,10	10,20	6,40	3,10	1,80	4,0	0,30	31.155	0,6					19,0	0,35	2.996	43,1	22,0	43,05	3.814	26,7	0,0	0,40	1.855	19,1
0,080	48,80	26,90	18,00	10,60	6,80	3,50	2,10	4,5	0,30	31.828	1,4					19,0	0,35	3.018	41,8	22,0	41,81	4.046	24,6	0,0	0,40	1.856	18,4
0,120	57,70	28,90	18,50	10,50	6,70	3,30	2,00	2,5	0,30	40.687	0,3					19,0	0,35	2.689	47,8	22,0	47,82	3.974	27,0	0,0	0,40	1.841	19,7
0,160	41,70	25,40	17,40	10,30	6,60	3,30	2,00	5,5	0,30	49.014	1,5					19,0	0,35	3.147	37,6	22,0	37,61	3.901	23,1	0,0	0,40	1.830	17,6
0,200	41,00	23,10	16,50	10,70	7,40	4,30	2,80	5,5	0,30	56.617	0,7					19,0	0,35	2.455	48,0	22,0	48,04	4.015	19,1	0,0	0,40	1.993	14,6
0,240	38,00	22,30	16,70	11,50	8,40	5,20	3,60	5,5	0,30	45.767	1,1					19,0	0,35	3.245	40,9	22,0	40,87	3.888	19,8	0,0	0,40	2.012	14,3
0,280	46,60	21,40	15,10	10,00	7,20	4,40	3,00	3,5	0,30	59.676	0,3					19,0	0,35	2.796	52,3	22,0	52,33	3.478	19,4	0,0	0,40	1.954	13,0
0,320	55,40	33,20	25,30	17,80	13,30	8,30	5,80	5,0	0,30	53.627	0,4					18,5	0,35	2.934	33,9	20,0	33,90	2.206	32,6	0,0	0,40	1.536	22,7
0,360	45,50	24,50	18,30	12,70	9,50	6,00	4,30	4,5	0,30	33.929	1,5					19,0	0,35	3.216	41,5	22,0	41,53	3.802	22,7	0,0	0,40	1.912	15,3
0,400	51,70	27,10	19,80	13,40	9,70	6,00	4,10	5,0	0,30	39.490	1,3					19,0	0,35	3.019	41,9	22,0	41,85	3.820	26,1	0,0	0,40	1.853	18,8
0,440	48,00	29,30	22,70	16,40	12,50	8,10	5,80	6,0	0,30	56.267	0,6					19,0	0,35	2.948	34,1	20,0	34,11	3.103	28,3	0,0	0,40	1.499	21,6
0,480	61,20	38,50	29,50	20,60	15,30	9,40	6,50	5,0	0,30	56.322	0,4					17,0	0,35	2.272	35,0	20,0	34,97	2.228	35,7	0,0	0,40	1.466	25,0
0,520	58,40	36,40	27,00	18,10	12,90	7,60	5,00	5,5	0,30	54.987	0,5					17,0	0,35	2.252	34,5	20,0	34,47	2.249	34,3	0,0	0,40	1.499	24,2
0,560	59,60	32,10	23,50	15,90	11,50	7,00	4,80	3,5	0,30	36.536	0,5					19,0	0,35	2.946	38,9	22,0	38,91	2.935	33,3	0,0	0,40	1.476	23,5
0,590	81,90	56,70	44,80	32,10	23,90	14,80	10,10	6,0	0,30	43.311	0,5					16,0	0,35	2.098	31,3	19,0	31,25	1.793	50,3	0,0	0,40	1.168	36,3
0,640	75,50	52,30	41,50	30,00	22,60	14,10	9,80	6,0	0,30	55.330	0,4					15,5	0,35	1.878	25,5	19,0	25,54	1.836	51,5	0,0	0,40	1.199	35,1
0,680	65,90	44,40	35,30	25,90	19,80	12,70	9,00	5,5	0,30	54.124	0,4					18,0	0,35	2.911	26,0	19,0	26,03	1.635	43,7	0,0	0,40	1.176	29,2
0,720	79,70	50,40	38,40	26,60	19,50	11,80	8,10	4,5	0,30	54.157	0,2					17,0	0,35	2.202	29,2	19,0	29,15	1.803	51,6	0,0	0,40	1.162	33,5

Figura 134 - Planilha modelo dos resultados das linhas de Influência, Resultados das Retroanálises e contribuição das camadas nos valores das deflexões reversíveis máximas.

A divisão compartimentada das grandezas foi promovida por um processo de "decoupage", o qual permite a definição de intervalos de amplitude ditados pelas variações sequenciais definidas com base na acuidade visual e na experiência profissional, não sendo definido por regras rígidas nem fáceis de se definir. Os distintos comportamentos estruturais do pavimento são determinados pela homogeneidade dos valores modulares das camadas constitutivas e do solo de fundação, afiançados pela igualdade de suas contribuições nos valores da deformabilidade elástica; cada diferenciação individual determina uma subdivisão na segmentação do conjunto.

Na etapa final, promove-se o cotejamento entre os segmentos sequenciais com o objetivo de, contemplando a análise espectral, definir diagnósticos estruturais que externam grande identidade, ao ponto de serem considerados similares ou mesmo idênticos; todo esse arcabouço técnico é processado por faixa de tráfego individualizada.

Os resultados obtidos, dispostos em lineares gráficos, e as análise e interpretações processadas serão descritos nos subtópicos a seguir.

4.2.6.4.6.1.4. Análise e Interpretação dos Diagnósticos Estruturais

No encadeamento das análises processadas, foram adotados quatro procedimentos básicos:

- a divisão de cada variável considerada – valores modulares e contribuição na deformabilidade – em segmentos caracterizados por intervalos nos quais as amplitudes de variação são homogêneas, por faixa de tráfego;

- o cotejamento entre os comportamentos estruturais externados pelo pavimento em ambas as faixas de tráfego, locais e sequenciais, ocorrentes ao longo do trecho, procedimento que se fundamentou na análise das magnitudes das variáveis (intervalos de amplitude) e no posicionamento das fronteiras estabelecidas para cada faixa de tráfego;

- o cotejamento entre os intervalos homogêneos definidos ao longo do trecho comparando as magnitudes externadas pelas distintas variáveis – por faixa de tráfego –, seguido de análises de similaridade, ou seja, da existência de identidades análogas e, finalizando,

- análise e interpretação dos comportamentos estruturais externados por cada conjunto de segmentos homogêneos, contemplado as magnitudes – individuais e conjuntamente – dos valores modulares e das contribuições dos componentes na deformabilidade expressa pelo sistema quando solicitado exteriormente.

Com base na análise e interpretação dos valores modulares e das contribuições de cada camada e do solo de fundação na deformabilidade experimentada pelo pavimento carregado, verificou-se primeiramente que os pavimentos de ambas as faixas de tráfego externam comportamentos estruturais bastante similares, assertiva que fica evidente na comparação sequencial dos intervalos de amplitude das variáveis contempladas.

Da análise comparativa observou-se ainda, de forma complementar, um correspondência perfeita nos sequenciais de comportamentos estruturais externados por ambas as faixas de tráfego, assertiva afiançada pela coincidência precisa verificada nas fronteiras das segmentações detectadas ao longo do trecho; as fronteiras comportamentais, definidas pela homogeneidade conjuntural dos intervalos de amplitude das variáveis (módulos e contribuições na deformabilidade), evidenciam a existência de ***09 (nove) segmentos homogêneos*** dispostos sequencialmente ao longo do trecho. Análises sequenciais evidenciaram alguns deles fundamentalmente iguais a outros dispostos em descontinuidade que, devidamente agrupados, traduziram na realidade ***04 (quatro)*** comportamentos estruturais distintos.

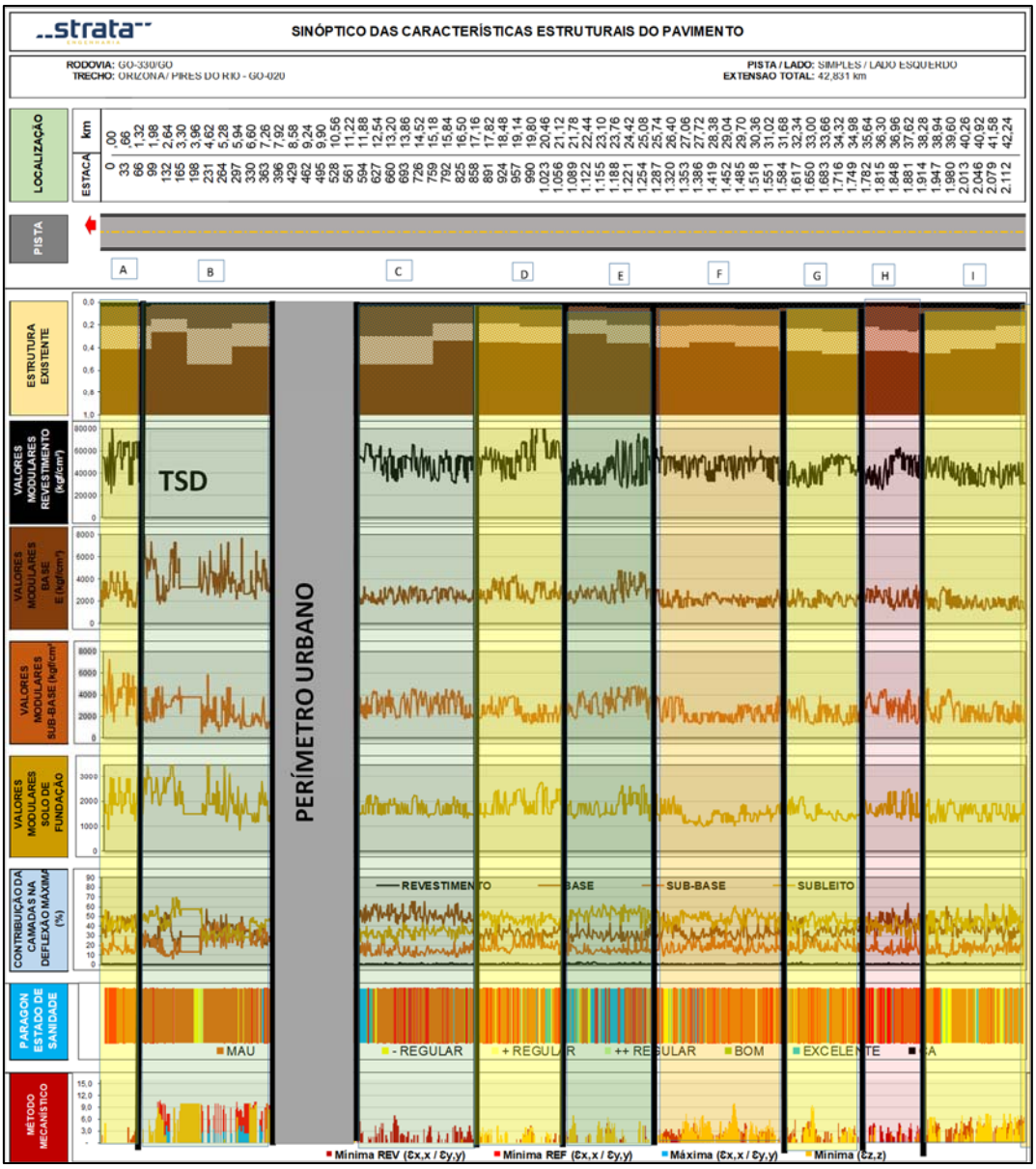


Figura 135 - Identificação dos comportamentos similares e cotejamento entre os resultados – LE.

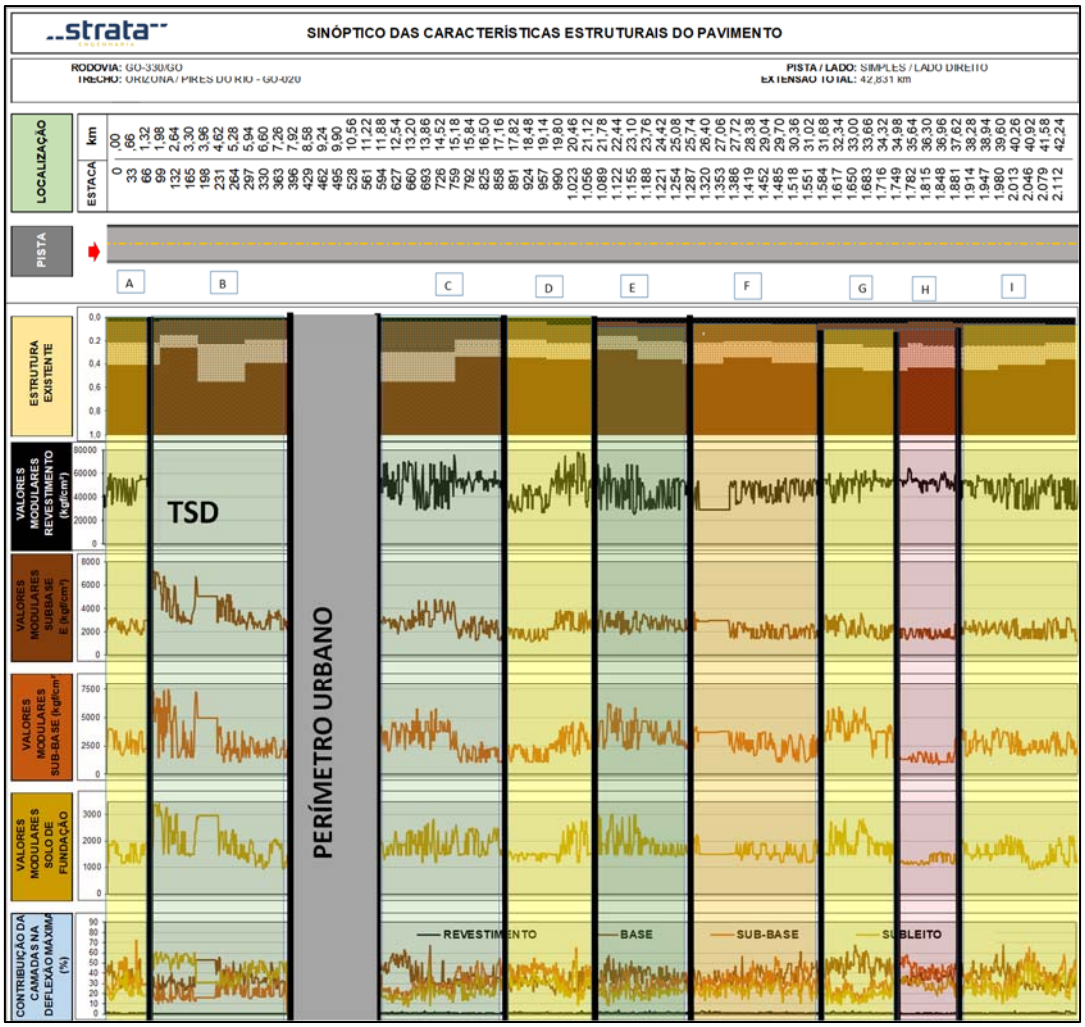


Figura 136 - Identificação dos comportamentos similares e cotejamento entre os resultados – LD.

Finalmente, tendo em vista que o pavimento em questão externou a existência de 4 *comportamentos estruturais distintos* (em 9 segmentos homogêneos), julgou-se oportuno e pertinente promover análises e interpretações de cada um deles, contemplando conjuntamente as magnitudes e variações de seus módulos de elasticidade e das contribuições de cada camada na deformabilidade do pavimento. Por outro lado, embora no âmbito da metodologia Paragon as análises sejam processadas por faixa de tráfego, no caso presente, face à similitude entre as fronteiras comportamentais constatadas em ambas as faixas e à identidade sequencial verificada entre os comportamentos, as análises estruturais serão processadas em conjunto.

- **Segmento A, D, G e I (sombreamento Amarelado)**:

  Os segmentos A, D, G e I, sombreados com a cor amarela, apresentam um pavimento com comportamento deficiente. O revestimento asfáltico nesses segmentos possui um valor modular médio de 40.000 kgf/cm². A camada de base e de solo de fundação, por sua vez, apresentam valores modulares variando entre 2.200 e 3.500 kgf/cm², enquanto a sub-base possui um valor médio de 2.800 kgf/cm².

  Em relação às contribuições, observa-se uma baixíssima contribuição do revestimento, o qual apresenta uma contribuição inferior a 3%. No que tange as camadas granulares do pavimento, constatou-se uma variação não só nos percentuais de contribuição de cada uma das camadas na deflexão, bem como na camada responsável pela maior

contribuição na deformabilidade. A camada de base contribui, em média, com 46%, enquanto que o solo de fundação e a sub-base contribuíram com 35% e 17%, respectivamente. Tal constatação constitui um fato notável, haja vista que, nos procedimentos convencionais, ao se ter em conta a distinção entre os distintos graus de nobreza dos materiais empregados na constituição das camadas constituintes, tal responsabilidade deveria ser debitada ao solo de fundação, o mais frágil dos elementos constituintes.

- **Segmentos B, C e E (sombreamento Esverdeado)**:

  Trata-se dos segmentos que externam as condições estruturais mais aceitáveis do trecho do trecho. No caso do segmento B, verificaram-se os maiores valores modulares médios. Destarte, as camadas granulares possuem valores de 3.800 kgf/cm² para a base e 3.000 kgf/cm² para a sub-base. Já o solo de fundação apresenta um valor médio de 2.000 kgf/cm². Tal fato está diretamente relacionado com o fato do segmento em questão contar com um Tratamento Superficial Duplo (TSD) como revestimento, fato esse que justifica a não existência de valores modulares para o revestimento, visto que é notório que uma camada de TSD não promova ganhos estruturais palpáveis, haja vista que se trata de apenas uma camada de pedras justapostas conectadas por um baixo percentual de asfalto residual, presente nas emulsões asfálticas. Diante do baixíssimo poder de dissipação do TSD, no que tange as tensões impingidas pelo tráfego solicitante, as camadas granulares (principalmente base e sub-base) ficam muito mais expostas as tensões de compressão vertical.

  Os segmentos C e E, por sua vez, são revestidos por CBUQ, o que acarretou uma variação nos valores modulares de cada uma das camadas constituintes. A camada de revestimento nesses segmentos possui um valor modular médio de 51.000 kgf/cm², enquanto que as camadas de base e de solo de fundação, por sua vez, apresentam valores modulares variando entre 2.000 e 4.000 kgf/cm². A sub-base desses intervalos apresentou o maior valor médio de todo o trecho, atingindo um valor médio de 3.800 kgf/cm².

  No que se refere à contribuição das camadas do pavimento para a deflexão reversível máxima, constatou-se um cenário discordante ao descrito para os segmentos listados acima, visto que além de se observar uma notável redução no percentual médio de contribuição da camada de base, atingindo uma média de 40%, verificou-se também em um dos segmentos, que o solo de fundação assumia o papel de maior contribuinte, enquanto os demais ainda tinham a base com os maiores percentuais. Ademias, novamente o subleito foi o segundo maior contribuinte, participando de 36% da deflexão máxima reversível. A sub-base e o revestimento contribuíram com 21% e 3%, respectivamente.

- **Segmento F (sombreamentos Alaranjado)**:

  O segmento em questão apresenta um comportamento estrutural inferior, se comparado com os anteriores, principalmente no âmbito dos valores modulares médios das camadas granulares. A camada de base apresentou uma significativa queda dos seus valores modulares, com um módulo médio em torno de 2.200 kgf/cm² e, frequentemente,

valores inferiores a 2.000 kgf/cm². A sub-base também sofreu uma redução, exibindo valores médios de aproximadamente 1.800 kgf/cm². No tocante ao solo de fundação, constatou-se que foi a camada que externou a maior redução do seu valor modular médio, mantendo-se próximo de 1.400 kgf/cm², diferentemente do observado nos segmentos anteriores. Por fim, o revestimento asfáltico não apresentou diminuições significativas, mantendo seu valor modular

Quanto à contribuição das camadas granulares na deformabilidade do sistema, percebe-se uma tendência de mudança nas características, pois o solo de fundação começa a representar a maior fração da contribuição na deflexão máxima (em média, 38%), embora haja pontos em que a base retome o papel de maior contribuinte. Em geral, a base contribuiu, em média, com 33%, enquanto a sub-base teve uma média de aproximadamente 26%.

- **Segmento H (sombreamento avermelhado)**:

  O segmento em questão conta com a pior condição estrutural do trecho, sendo essa corroborada pelos menores valores modulares médios do trecho, no que tange todas as camadas constituintes do pavimento. Começando pela camada de base, onde o valor modular médio encontrado foi de 2.000 kgf/cm². Com relação aos módulos da camada de sub-base os segmentos apresentaram valores médios de 1.500 kgf/cm², com ocorrência frequente de módulos acima de 1.800 kgf/cm², e o solo da fundação, em compasso com o restante do trecho, demonstrou uma péssima capacidade de suporte, externando módulos médios de 1.000 kgf/cm².

  No que se refere à contribuição para a deformabilidade do sistema, observa-se que as camadas de base e de solo de fundação assumem o papel de maior contribuinte, alternando entre si, dentro do intervalo. Os percentuais de contribuição de ambas as camadas se mantiveram próximas a 35%, enquanto que a sub-base, ostentou de uma contribuição média de 26%.

É exposto a seguir um resumo com os intervalos dos segmentos apresentados:

SEGMENTOS COM COMPORTAMENTOS ESTRUTURAIS HOMOGÊNEOS										
RODOVIA GO-330										
SEGMENTO	SOMBREAMENTO	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			Km INICIAL	Km FINAL	EXTENSÃO (km)
A	Amarelado	0	+	0	86	+	0	0,000	1,720	1,720
B	Esverdeado	86	+	0	400	+	0	1,720	8,000	6,280
PERÍMETRO URBANO										
C	Esverdeado	570	+	0	863	+	0	11,400	17,260	5,860
D	Amarelado	863	+	0	1059	+	0	17,260	21,180	3,920
E	Esverdeado	1059	+	0	1276	+	0	21,180	25,520	4,340
F	Alaranjado	1276	+	0	1575	+	0	25,520	31,500	5,980
G	Amarelado	1575	+	0	1755	+	0	31,500	35,100	3,600
H	Avermelhado	1755	+	0	1900	+	0	35,100	38,000	2,900
I	Amarelado	1900	+	0	2142	+	0	38,000	42,831	4,831

Figura 137 - Definição dos segmentos de comportamentos estruturais similares e respectivos intervalos de ocorrência (resultados obtidos em ambas as faixas de tráfego).

4.2.6.4.6.2. Cotejamento Entre os Diagnósticos Funcional e Estrutural da Metodologia Paragon

Conforme vem de se expor, a metodologia de avaliação de pavimentos Paragon se compõe em duas células másteres:

- a ***avaliação funcional***, que se propõe a definir os "***estados de sanidade***" do pavimento, ou seja, estabelecer o seu ***diagnóstico funcional*** e,

- a ***avaliação estrutural***, que se propõe a determinar as características definidoras da estrutura – ***número, espessura e valores modulares das camadas constitutivas e do solo de fundação*** – que permitem promover o seu ***diagnóstico estrutural***,

As ***avaliações funcionais*** se fundamentam no inventário da superfície dos pavimentos, no qual se identificam as diferentes manifestações de ruína existentes, contabilizando-as, às quais se somam medições de parâmetros de comportamento funcional, traduzidos pelas malformações longitudinais e transversais; o agrupamento destas características permite definir os estados de sanidade – ou o ***diagnóstico funcional*** – externados pelo pavimento estaca por estaca.

As ***avaliações estruturais*** se propõem a definir o sistema composto pelo pavimento – solo de fundação como uma estrutura, proposição esta que demanda a definição da estratificação e a determinação dos valores modulares e coeficientes de Poisson das camadas constitutivas e do solo de fundação, grandezas que traduzem o comportamento – ***diagnóstico estrutural*** – do pavimento estaca por estaca. Para o efeito, promove-se a determinação perfil constitutivo (número e espessura das camadas) do pavimento e das linhas de influência dos assentamentos reversíveis impostos pelas cargas solicitantes, características que aliadas propiciam a determinação dos módulos de elasticidade das camadas e do solo de fundação.

Em que pesem as diferenças dos procedimentos, é de se esperar que o espectro comportamental de um pavimento esteja abarcado ou envolto pelo mesmo manto, ou seja, tem de haver uma vinculação simbiótica – ***vida comum com o outro*** – extraordinária, traduzida por uma harmonia plena entre os distintos diagnósticos que justifique suas coexistências; não há como se avaliar uma estrutura, por quaisquer que sejam os processos e deles se depreender diagnósticos diferentes e/ou antagônicos. No caso específico dos pavimentos rodoviários tem-se em mente que as malformações externadas à superfície decorrem, seguramente, de falhas comportamentais verificadas no sistema estratificado composto pelas camadas constituintes do pavimento e pelo solo de fundação; complementarmente, tem se também em conta que a deformabilidade de uma estrutura está umbilicalmente ligada ao comportamento do sistema sob a ação das cargas externas.

Assim considerando, julga-se importante comparar os resultados cotejando os estados de sanidade determinados nas avaliações funcionais – ***diagnóstico funcional*** – com os valores modulares das camadas constitutivas e do solo de fundação e suas respectivas contribuições na deformabilidade do sistema – ***diagnóstico estrutural*** – haja vista que, para além da crença na existência de um transtorno de identidade associativa – identidade plena – julga-se que os diagnósticos devem se interagir e se complementarem mutuamente nas definições das patologias, nas análises de suas causas mais prováveis e de seus processos evolutivos.

No caso do pavimento em questão, verificou-se primeiramente que o diagnóstico funcional do pavimento se caracterizou por externar uma predominância absoluta de estados de sanidade 'bem como deteriorados – predomínio dos estados de sanidade "Péssimo" e "Mau" – em que pese a existência de algumas poucas e curtas inserções externando estados mais adequados. Em contrapartida, em termos estruturais, o pavimento exibe diagnósticos estruturais que se compuseram em 9 (nove) segmentos homogêneos, particularidade que representa, em princípio, uma desconformidade.

Promovidas análises sobre essa desconformidade, verificou-se inicialmente que a notável ocorrência de trincamentos FC-2 exibindo "bombeamento de água com finos" constitui uma particularidade importante, haja vista que a associação desse fenômeno é mais usual em fissurações FC-3, quando o pavimento externa estados mais combalidos. As análises dessa precipitação do fenômeno evidenciaram que suas surgências decorriam fundamentalmente das constantes intervenções de sobreposição direta de capas delgadas sobe estrutura estratificada existente, sem que fossem promovidas recuperações específicas.

Com efeito, os defeitos existentes, principalmente desgastes excessivos, se refletem para as delgadas capas sobrepostas após uma prestação de serviços reduzida, em tese, bastando apenas a ocorrência de um período chuvoso. As fissuras ascendidas à nova capa e, portanto, ainda sem erosões de bordo, passam a evidenciar bombeamentos de água com finos, decorrente do fato de a camada asfáltica subjacente, quando recapeada, se encontrava integralmente fissurada, problema sanado com as intervenções promovidas no pavimento.

Ademais, é importante evidenciar a pujança exorbitante de segregações de massas em todas as camadas asfálticas verificadas – novas e antigas – defeito nocivo, simplesmente desconsiderado, ou sequer contemplado. Nesse contexto, basta um período chuvoso para que um pequeno número de solicitações dê origem ao processo de bombeamento de água com finos, maior responsável pelos colapsos prematuros verificados no âmbito do presente trecho de estrada.

Ainda, no que tange aos trincamentos devido aos processos de fadiga, vale lembrar a existência de um agravante bastante indesejável, que se traduz pela elevada contribuição da camada de base na deformabilidade sofrida pelo pavimento quando carregado exteriormente – da ordem dos 35%. Contribuindo mais na deformabilidade, a camada de base, fletindo mais, responde pelo desenvolvimento de tensões de tração mais elevadas na face inferior da camada de revestimento asfáltico, as quais, respondem pela imposição de um regime de tração forçada, extremamente indesejável. No caso presente, mesmo que as deflexões reversíveis máximas vigentes não sejam extremamente elevadas – dispostas em torno de $60x10^{-2}$mm – seguro se torna afirma que respondem por uma potencialização do processo de fadiga das camadas asfálticas sobrepostas.

Dito isso, a justificativa para a "pseudo divergência" verificada entre os diagnósticos funcional e estrutural do pavimento em questão, decorre do preciosismo dos levantamentos efetuados e das causas dos defeitos verificados, de naturezas eminentemente executiva, que nada têm a ver com o desempenho estrutural do sistema pavimento – solo de fundação existente.

Os resultados obtidos, considerando ambos os diagnósticos funcional e estrutural, são ilustrados nos lineares sinópticos apresentados a seguir:

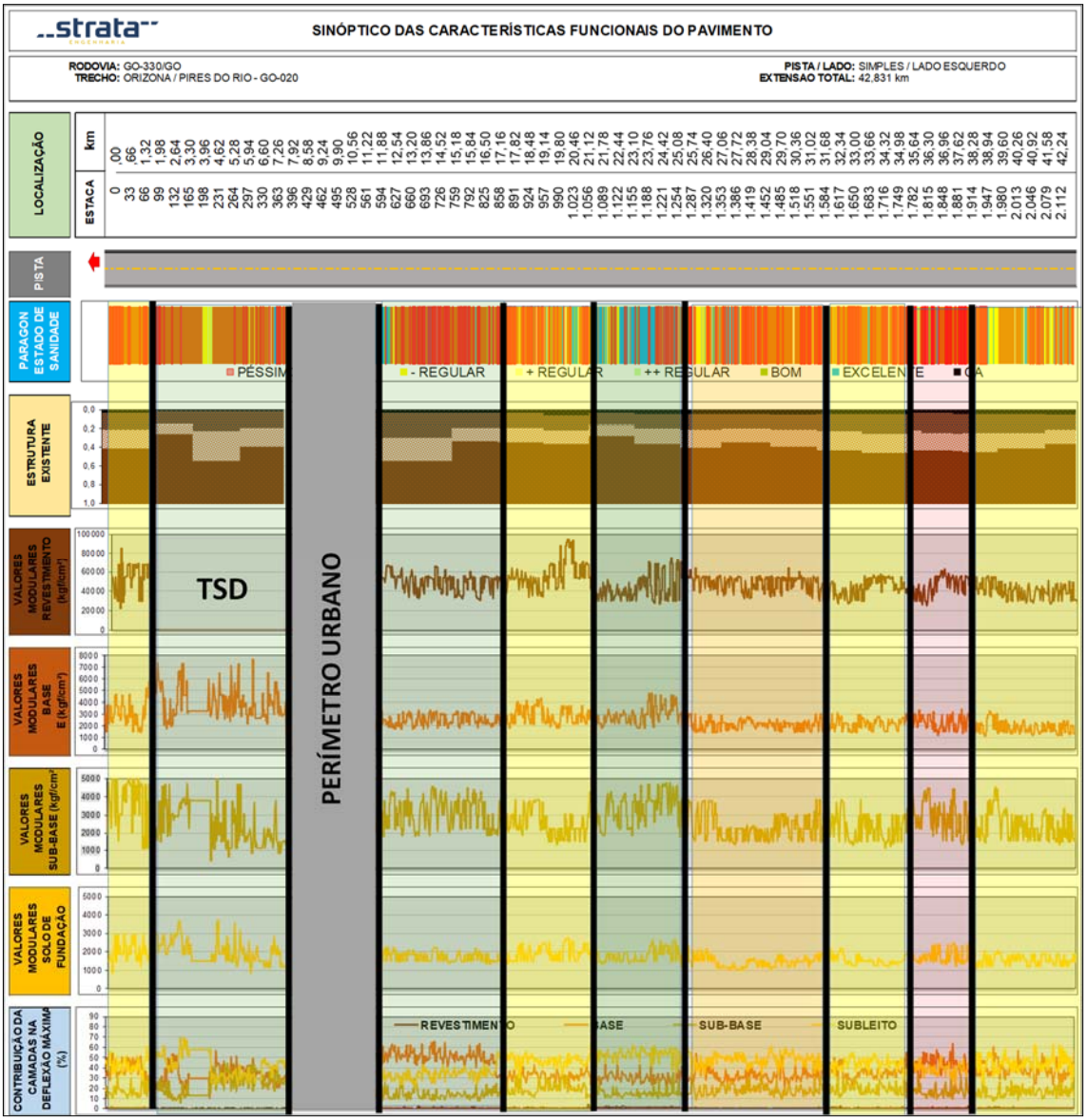


Figura 138 - Cotejamento do diagnóstico funcional com o diagnóstico estrutural e os resultados geotécnicos (Faixa Esquerda).

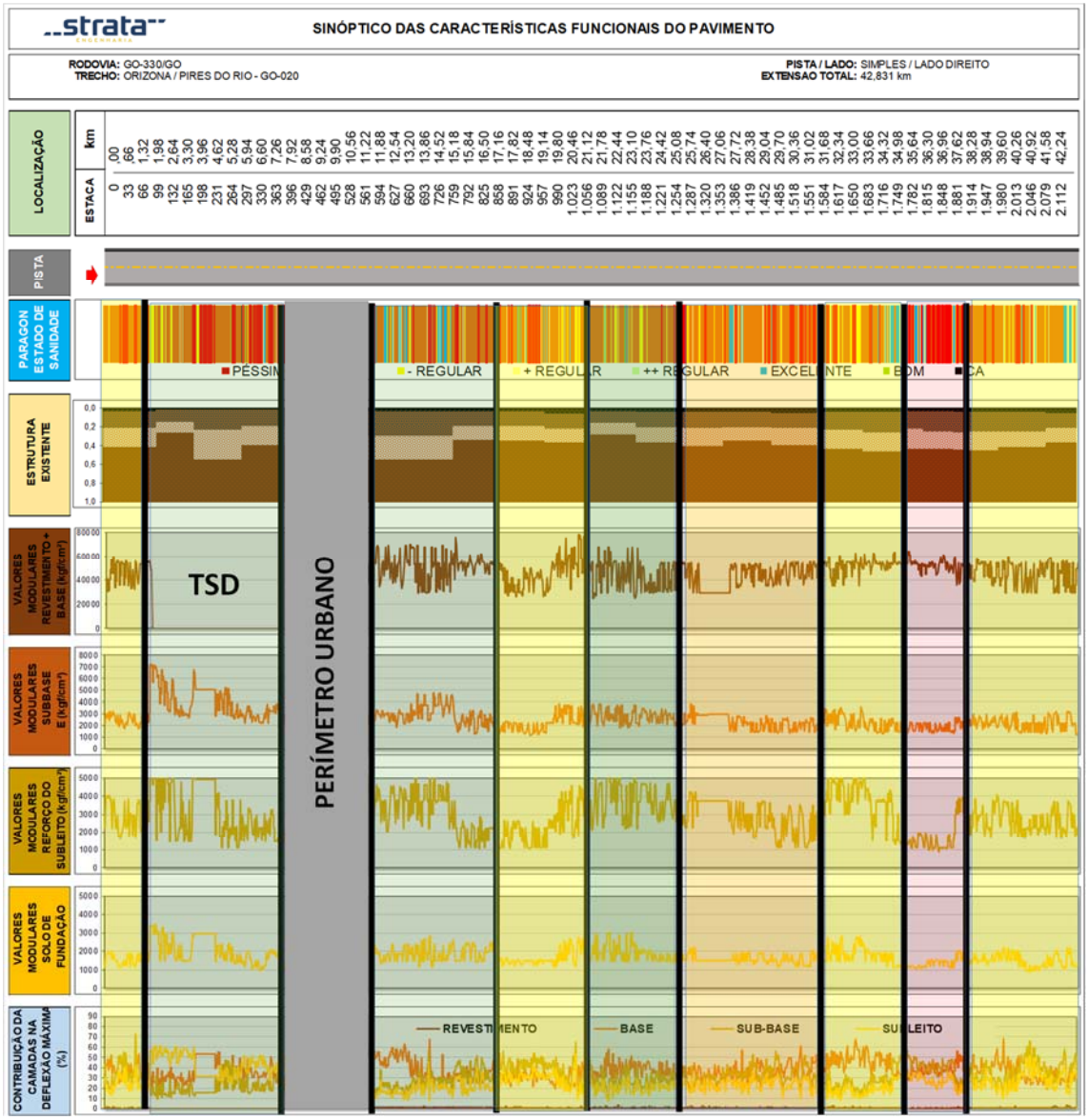


Figura 139 - Cotejamento do diagnóstico funcional com o diagnóstico estrutural e os resultados geotécnicos (Faixa Direita).

4.2.6.4.6.2.1. Características Geotécnicas dos Materiais Granulares e dos Solos de Fundação e Seus Relacionamentos com as Características Funcionais e Estruturais do Pavimento

Conforme exposto anteriormente, os estudos geotécnicos das camadas granulares do pavimento existente foram processados a partir da realização de sondagens de poço – uma para cada segmento homogêneo – realizadas primeiramente com os objetivos de definir o número e a espessura das camadas constitutivas e promover a definição da natureza – classificação táctil-visual – dos materiais constituintes das camadas granulares do pavimento (base e sub-base) e dos solos de fundação. Segundamente, foram promovidas com o intuito de coletar amostras para realização dos ensaios de caracterização, compactação, capacidade de suporte e expansão; os resultados obtidos (boletins de sondagem e características geotécnicas dos materiais constitutivos) são apresentados no como anexos nos ***Estudos Geotécnicos***.

Realizadas as caracterizações laboratoriais – granulometrias, limites de Atterberg, compactação, CBR e expansão – pôde-se constatar inicialmente uma qualificação dos materiais granulares de constituição e dos solos de fundação, resultados que a princípio corroboram as análises estruturais, deduzidas da análise e interpretação das linhas de influência dos assentamentos reversíveis. De forma, verificou-se uma grande identidade entre os resultados laboratoriais e as principais manifestações de ruina acusadas – remendos, fissuras e desgaste – e não acusadas – deformações permanentes plásticas – pelo inventário da superfície.

Assim considerando, verificou-se primeiramente, tal como deduzido anteriormente nas análises de comportamento estrutural, que os materiais das camadas de base e de sub-base são bastante semelhantes: em geral cascalho com características lateríticas nos dois substratos, ambos os materiais apresentam composição granulométrica coincidente, com predomínio de materiais graúdos e, consequentemente, boas capacidades de suporte e um comportamento pouco líquido e plástico.

As características físicas dos materiais de base e sub-base, bem como a análise estatística dos resultados geotécnicos obtidos para ambas, são dispostos a seguir.



Figura 140 – Características Físicas do Material Constituinte da Camada Base Existente (PI-04 e PI-15).

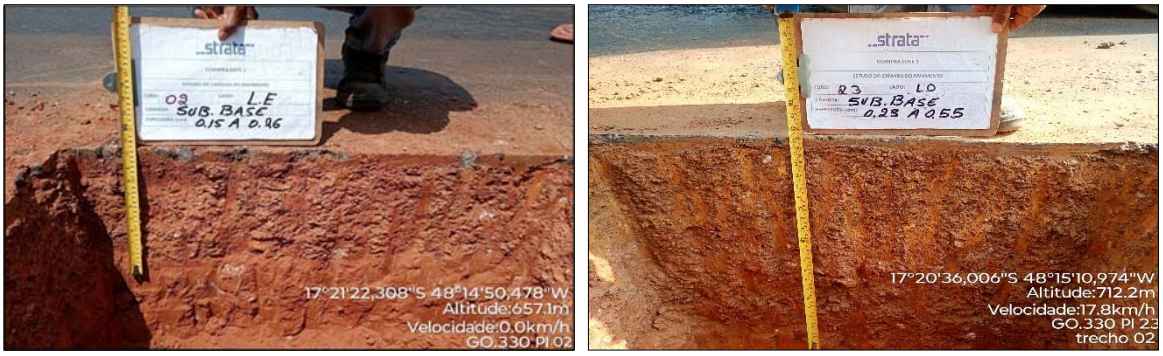


Figura 141 – Características Físicas do Material Constituinte da Camada de Sub-base (PI-02 e PI-19).

As eventuais variações de tonalidade e composição se devem seguramente às explorações de jazidas distintas ou a possíveis alterações nos horizontes de exploração dos materiais utilizados, que ainda assim externam similaridade em todas as demais características geotécnicas.

De forma a se poder promover um cotejamento entre os materiais granulares constitutivos das camadas de base e de sub-base, ajuizou-se pertinente considerar os resultados estatísticos obtidos para o conjunto de amostras coletadas – pertinentes a 19 diferentes poços de inspeção – procedimento que se justificou dada a elevada identidade. Assim considerando, apresentam-se a seguir os resumos estatísticos calculados, contemplando as características de plasticidade, granulometrias, compactação e CBR:

PARÂMETRO	LIMITES		GRANULOMETRIA							COMPACTAÇÃO		55 GOLPES		IG
ESTATÍSTICO	LL	IP	2"	1"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	Hót	D max.	Exp.	CBR	
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
$\bar{X}$	30	8	100	94	78	58	45	33	21	9,1	2,149	0,05	91,07	
σ	2,55	1,88	0,00	2,74	6,69	5,40	5,30	4,17	2,66	1,15	0,05	0,05	20,02	
μmín	29	7	100	93	76	56	43	32	20	8,7	2,134	0,03	85	0
μmáx	31	8	100	95	80	59	47	34	21	9,4	2,163	0,06	97	
Xmín	28	6	100	92	71	52	40	29	18	7,9	2,100	0,00	72	
Xmáx	33	10	100	97	84	63	50	37	23	10,2	2,197	0,10	111	

Figura 142 – Resumo Estatístico das Características dos Materiais constituintes da Camada de Base (55 golpes).

PARÂMETRO	LIMITES		GRANULOMETRIA							COMPACTAÇÃO		26 GOLPES		IG
ESTATÍSTICO	LL	IP	2"	1"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	Hót	D max.	Exp.	CBR	
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
$\bar{X}$	30	9	99	92	78	59	46	35	22	11,3	2,020	0,06	28,32	
σ	2,76	2,15	2,98	5,52	7,94	7,95	9,09	7,73	5,50	1,22	0,07	0,07	5,77	
μmín	29	8	98	91	76	56	44	32	21	11,0	1,999	0,04	27	0
μmáx	31	9	100	94	80	61	49	37	24	11,7	2,041	0,08	30	
Xmín	28	7	96	87	70	51	37	27	17	10,2	1,950	0,00	23	
Xmáx	33	11	100	98	86	66	55	42	28	12,5	2,090	0,13	34	

Figura 143 – Resumo Estatístico das Características dos Materiais constituintes da Camada de Sub-base (26 golpes).

As granulometrias das camadas de base e sub-base, tendo em conta que se tratam de materiais naturais (produzidos pela natureza), podem ser consideradas extremamente similares, sendo de se destacar a igualdade do diâmetro nominal máximo e das frações finas passantes nas peneiras. Além disso, ambos os materiais externam índices de plasticidade e limites de liquidez, uma vez que a fração passante na peneira N° 40 apresenta limite de liquidez próximo a 25 e índice de plasticidade inferior a 15%-NORMA DNIT 098/2007 – ES-, além de uma expansão pouco expressiva (da ordem de 0,15%) e, por fim, índices de grupo iguais a 0, em ambos os casos (na base e sub-base).

No tocante aos valores CBR, verifica-se uma discrepância nos resultados obtidos em laboratório, plenamente justificada pelo fato de ambos terem sido compactados com energias diferentes: o material da camada de base com energia superior, correspondente à do *Proctor Modificado* (55 golpes) enquanto o material de sub-base foi compactado com energia correspondente à do *Proctor Intermediário* (26 golpes); tais energias de compactação foram selecionadas em função da prática construtiva usual. Assim considerando, verificaram-se os valores CBR médios da camada de base da ordem de 91% e da camada de sub-base da ordem dos 23%. Vale pontuar que o CBR médio da camada de base – de aproximadamente 90% – supera os 80% preconizados na normativa vigente DNER 667/22.



Figura 144 – Representação do solo de fundação (subleito) característico do pavimento.

No caso do subleito, observou-se que há certa heterogeneidade nos materiais presentes na composição da camada, tanto no que tange a resistência dos solos, quanto na distribuição granulométrica. Todavia, ao se analisar exclusivamente os resultados dos Limites de Attenberg, constata-se uma incrível homogeneidade das amostras, o que indica uma matriz de solo comum para todos os materiais.

Além disso, nota-se uma grande diferença em relação às camadas granulares anteriormente expostas. Enquanto as camadas granulares superiores apresentaram concentrações semelhantes entre materiais finos e grossos, os materiais do subleito ensaiados apresentaram uma formação com alta concentração de Silte + Argila, sendo este material detentor da maior fração de composição na grande maioria dos furos. Em seguida, os pedregulhos também foram observados em concentrações expressivas nas amostras de solo de fundação, notando-se em alguns furos frações semelhantes ou até superiores às de Silte + Argila. Por fim, quanto ao CBR, o solo de fundação da GO-330 apresentou uma capacidade de suporte satisfatória, uma vez que externou valores de CBR distribuídos em torno de 9%, e um IG= 2.

As análises estatísticas bem como as características do solo de fundação, estão dispostas na tabela a seguir:

PROCEDÊNCIA DO MATERIAL CAMADA DO PAVIMENTO - SUBLEITO	ELABORAÇÃO: strata ENGENHARIA

PARÂMETRO	LIMITES		GRANULOMETRIA							COMPACTAÇÃO		12 GOLPES		IG
ESTATÍSTICO	LL	IP	2"	1"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	Hót	D max.	Exp.	CBR	
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
$\bar{X}$	32	9	99	99	94	88	79	68	43	14,8	1,813	0,13	15,44	
σ	4,21	1,83	2,58	3,21	11,79	15,34	19,73	20,83	13,22	2,04	0,11	0,13	6,74	
μmín	31	9	99	98	91	84	73	62	39	14,2	1,779	0,09	13	2
μmáx	34	10	100	100	98	93	85	74	47	15,4	1,847	0,17	17	
Xmín	28	7	97	96	83	73	60	48	30	12,8	1,702	0,00	9	
Xmáx	37	11	100	100	100	100	98	88	56	16,8	1,925	0,26	22	

Figura 145 – Resumo Estatístico das Características dos Materiais constituintes da Camada de Solo de Fundação (12 golpes).

Em síntese, pode-se afirmar que as caracterizações geotécnicas processadas remetem a um com uma boa capacidade de suporte, assertiva essa que não foi validade ao se analisar, tanto as conclusões obtidas nas análises modulares, quanto os diagnósticos funcional e estrutural elaborados não só pela metodologia Paragon, mas também pelas normativas DNIT PRO-006/2003 e DNER PRO-11/79. Os elevados valores médios de CBR obtidos principalmente para as camadas de base e de solo de fundação talvez não sejam os melhores tradutores da real condição externada pelos materiais constituintes do pavimento, uma vez que para elaboração do referido ensaio, o material coletado sofre alterações no que tange tanto a sua granulometria, quanto a umidade da amostra. Além disso, o ensaio de CBR não leva em conta o comportamento da estrutura como um todo, de modo a fornecer apenas a resistência do material da camada estudada. Esse pode ser outro fator preponderante para as diferenças citadas, visto que em casos onde o pavimento não apresenta um comportamento solidário entre as camadas, e a deflexões se concentram muito em apenas uma delas, mesmo dispondo de materiais com uma notável capacidade de suporte, as camadas podem ficar mais susceptíveis uma perda de resistência constante e gradual, até que chegue o momento do rompimento pelo acúmulo de deformações permanentes.

Para finalizar, apresenta-se uma síntese dos resultados laboratoriais que caracterizam os materiais granulares das camadas granulares de base e sub-base e os solos de fundação.

strata ENGENHARIA

GRÁFICO DOS ENSAIOS

RODOVIA: GO- 330
TRECHO: ORIZONA/ PIRES DO RIO- GO-020 (PRÓXIMO RONCADOR)
EXTENSÃO: 42,49 km

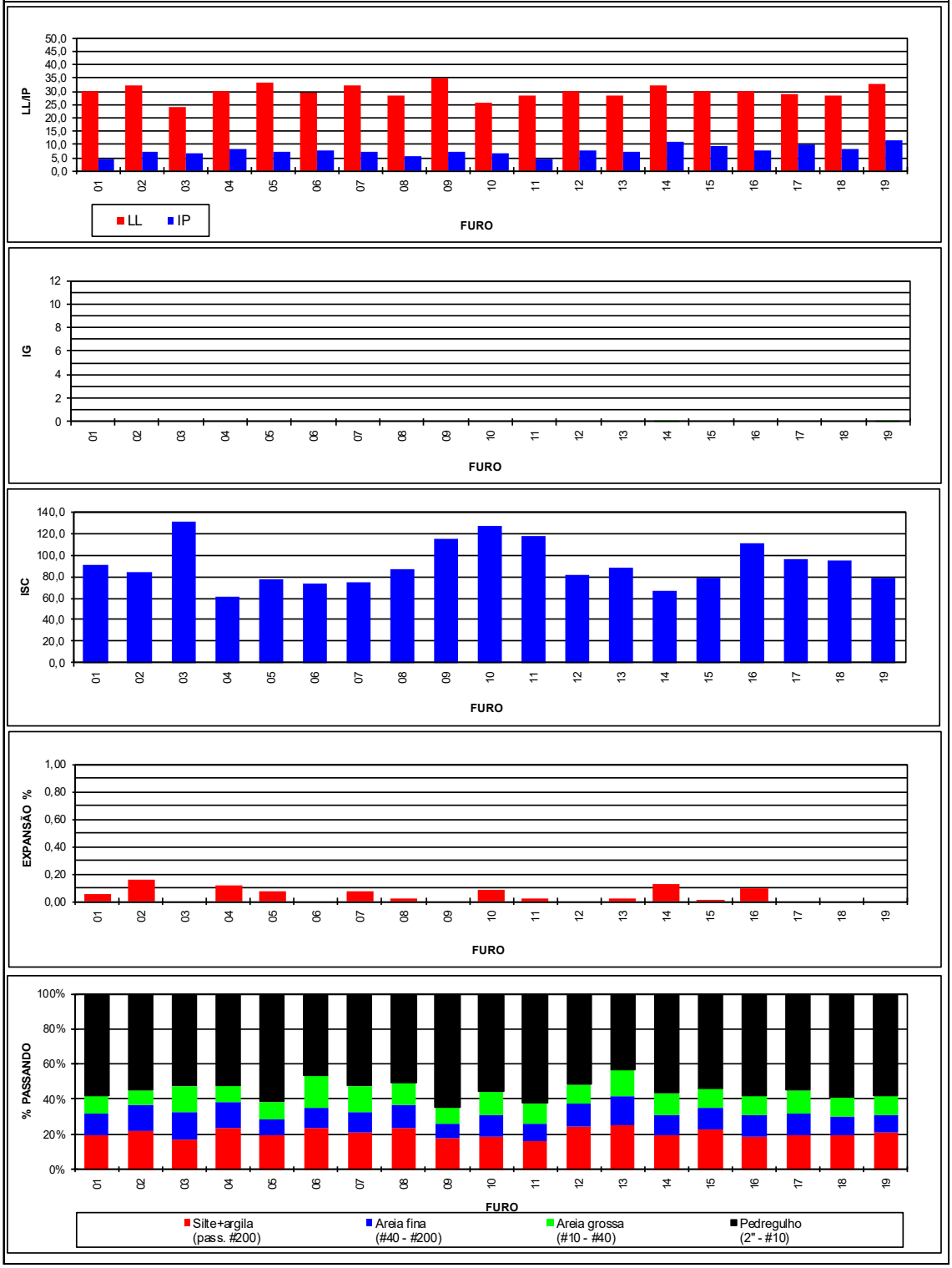


Figura 146 – Base Granular – Principais Características Geotécnicas.

GRÁFICO DOS ENSAIOS

RODOVIA: GO- 330
TRECHO: ORIZONA/ PIRES DO RIO- GO-020 (PRÓXIMO RONCADOR)
EXTENSÃO: 42,49 km

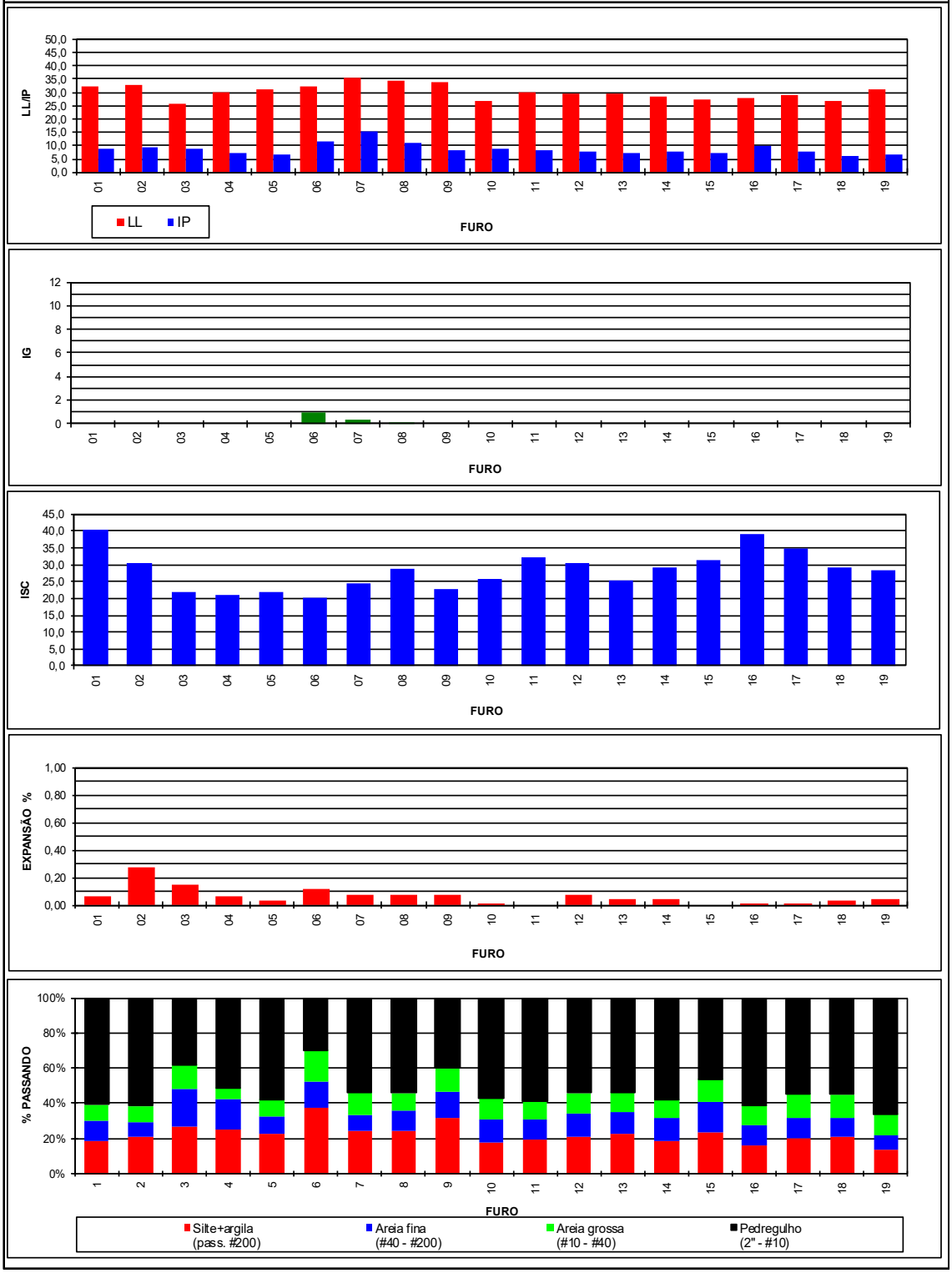


Figura 147 – Sub-base Granular – Principais Características Geotécnicas.

GRÁFICO DOS ENSAIOS

RODOVIA: GO- 330
TRECHO: ORIZONA/ PIRES DO RIO- GO-020 (PRÓXIMO RONCADOR)
EXTENSÃO: 42,49 km

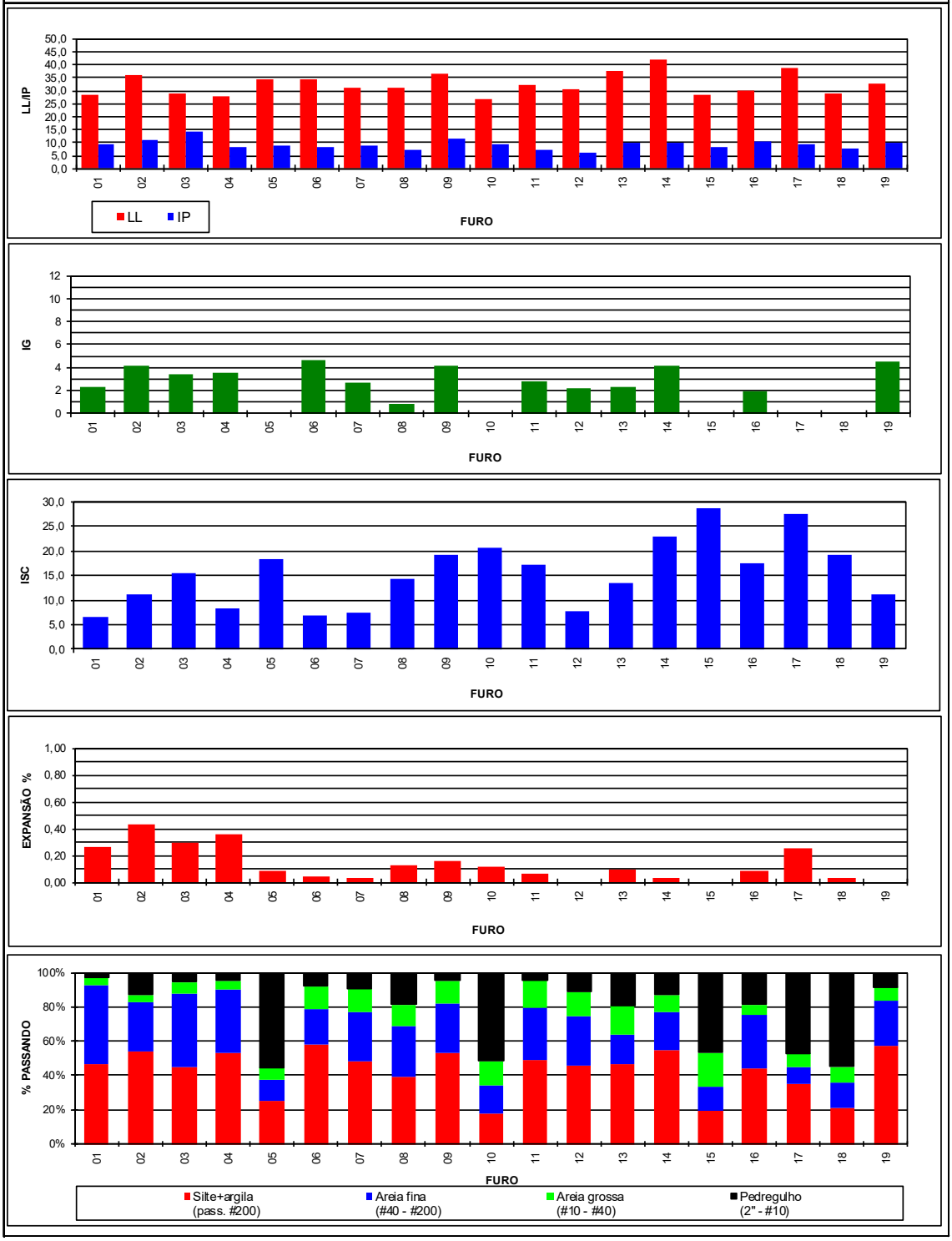


Figura 148 – Solo de Fundação – Principais Características Geotécnicas.

4.2.6.4.6.3. Conclusões

A rodovia em análise, que compreende o trecho da Rodovia GO-330 com início no município de Orizona e fim no município de Roncador, teve seu pavimento, tal como vem de se demonstrar, devidamente diagnosticado em termos funcionais e estruturais.

Na análise espectral que resultou no diagnóstico funcional, observou-se que o elevado nível de degradação do pavimento é predominantemente atribuído a uma gama restrita de defeitos superficiais, principalmente fissurações. As fissuras mais frequentes são as de tipos FC-2 e FC-3, além dos bombeamentos de água com finos (BAF). Além disso, os desgastes, que se manifestam ao longo de todo o trecho, são característicos do tipo de revestimento presente na via: o microrevestimento.

Os estados de sanidade "Péssimo", "Mau" e "– Regular" perfizeram um total de aproximadamente 78% da pista direita do trecho e 76% da pista esquerda, fato que revelaa um pavimento extremamente combalido e já debitado, fundamentalmente, às fissurações constatadas; os segmentos que externam estados mais adequados, curtos e esporádicos, decorrem da existência de "panos" de recargas superficiais dos tipos "capinha" e/ou microrrevestimentos a frio. Dada a ineficácia estrutural de tais intervenções de manutenção, pode-se inferir que os estados de sanidade verdadeiramente representativos são os originais, "mascarados" por *recargas superficiais sem efeito estrutural próprio*.

Em termos de ***fissuração***, foram constatadas duas situações que se associam aos maus estados de sanidade exteriorizados pelo pavimento, os quais estão vinculados diretamente às fissurações, ora oriundas das camadas granulares, ora advindas do micorrevestimentos asfálticos existentes.

a) ***Bombeamento de água com finos:*** Os elevados índices de vazios, provenientes da fissuração supracitada – favorecem a penetração das águas pluviais que, estancadas pelas camadas asfálticas inferiores – e também pela camada de base imprimada –, são submetidas a esforços de compressão vertical, exercidos pelas cargas dos veículos carregados, além do tráfego muito elevado (principalmente nas faixas mais externas).

   Sob compressão, as águas retidas – fluído incompressível e que não acumula energia – repassam, de forma integral, os esforços recebidos ao meio circundante (entornos subjacente e laterais) através de jatos hidrodinâmicos, de magnitudes notáveis, os quais respondem primeiramente pelo "striping" dos agregados – desnudamento total da película asfáltica – e, em seguida, pela geração finos, fruto da moagem das arestas e roçagem das paredes dos agregados (despidos e sobrepostos), impostas pelas pesadas cargas do tráfego usuário; as águas retidas e miscigenadas comprometem ainda mais o processo de desgaste dos agregados pois trabalham como agente lubrificante, facilitando as movimentações diferenciais internas dos agregados.

   As águas retidas, agora miscigenadas com o material finamente pulverizado existente e gerado, continuam, entretanto, a se submeter aos mesmos esforços verticais de compressão, gerando os jatos hidrodinâmicos que passam a responder, agora, pelo bombeamento da "água suja" para fora do pavimento, processo que carreia consigo a fração de finos sólidos. Assim se lavra o denominado "bombeamento de água com finos", materializado pela perda de material sólido, que "descaça" o revestimento existente e se decanta – dotado de maior peso específico – nas bordas superficiais das fissuras, particularidade que responde por suas "rendagens"; em casos de

bombeamentos intensos – tráfegos fortes e chuvas intensas – os finos são carreados até os bordos da pista, muitas vezes trespassando até mesmo os acostamentos; o carreamento de sólidos responde pelo comprometimento pleno da camada asfáltica existente, que passa a trabalhar em regime de tração forçada.

b) ***Fenômeno da Fadiga***: Em todo sistema estratificado carregado exteriormente, as camadas dotadas de "efeito placa" são submetidas à esforços de tração horizontal que respondem instalação do fenômeno da fadiga. No caso presente, para além do tráfego volumoso e pesado (processo de fadiga usual), um processo diferenciado e bastante nefasto responde pela potencialização das condições de solicitação impostas à camada de revestimento existente: a) a sobreposição de camadas asfálticas executadas ao nível de intervenções de manutenção, normalmente concebidas sem qualquer dimensionamento, compostas com *misturas mau projetadas, fabricadas sem qualquer controle de qualidade e executadas com técnicas bastante deficientes*.

   - No que tange ao fenômeno da fadiga propriamente dito pode-se afirmar que o tráfego pesado usuário já suportado, foi bastante volumoso e pesado, pois esse segmento de estrada constitui parte de um dos principais eixos rodoviários do Brasil. Apenas a título de rememoração sobre as características do tráfego usuário, lembra-se que a previsão de solicitações futuras para um período de 10 anos é traduzida por números "N" da ordem de:

$$\text{"N"}_{\text{USACE (10 anos)}} = 1{,}32 \times 10^7 \text{ e "N"}_{\text{AASHTO (10 anos)}} = 3{,}60 \times 10^6$$

$$\text{"N"}_{\text{USACE (10 anos)}} = 3{,}06 \times 10^7 \text{ e "N"}_{\text{AASHTO (10 anos)}} = 8{,}50 \times 10^6$$

No que diz respeito às qualidades das "capinhas", constatou-se um elevado nível de desgaste do microrrevestimento asfáltico existente, o que originou diretamente outros tipos de defeitos. Adicionalmente, alguns dos pontos cujo revestimento asfáltico se resume a um tratamento superficial duplo apresentam diversos defeitos, bem como desagregações, estrias, peladas e panelas. Nesse contexto, os tipos de defeitos mais frequentes no trecho são ***reparos localizados*** de diversas naturezas, idades e composição. Já em relação às ***deformações permanentes***, a análise do inventário da superfície evidenciou a recorrente presença de *afundamentos nas trilhas de roda por consolidação*.

Complementarmente, verificou-se que os *remendos* existentes no trecho se primam por suas deficiências, fruto de faltas de controle de fabricação das massas asfálticas e de execução; são empregadas massas asfálticas sem os devidos rigores tecnológicos, com espessuras delgadas e aplicadas sem controles de execução (temperaturas baixas e compactações deficientes), particularidades que tornam os remendos incapazes de restaurar a capacidade estrutural localizada do pavimento; mau executados, comprometem ainda a conformação longitudinal do pavimento.



Figura 149 – Remendo recente já apresentando desprendimento do material asfáltico, representando o comprometimento da trafegabilidade.

No tocante ao nível de Irregularidade longitudinal externado pelo pavimento, constatou-se um valor médio de IRI de **3,5 m/km**, grau de irregularidade consideravelmente elevado que se justifica pela recorrência de remendos superficiais que caracterizam o pavimento existente. Em alguns segmentos, devido à aplicação de camadas de microrrevestimento asfáltico, verificam-se melhorias nas condições de trafegabilidade, traduzidas por valores de IRI que remetem o pavimento a uma condição superficial "Regular". Cabe destacar que, em que pese a melhoria de circulação proporcionada, os microrrevestimentos não constituem intervenções qualificadas para promover qualquer tipo de aporte estrutural ao pavimento e não são duradouros.

Na análise espectral que resultou no ***diagnóstico estrutural***, verificam-se 9 segmentos, que na realidade traduzem 4 macro-comportamentos distintos.

Com base na análise dos valores modulares obtidos e da contribuição de cada camada para a deflexão reversível máxima, constatou-se que a rodovia analisada apresenta características estruturais adequadas, embora existam variações significativas entre os segmentos. De forma geral, a camada de base apresentou valores modulares variando entre **2.000 kgf/cm² e 4.500 kgf/cm²** ao longo de toda a extensão da rodovia. Essa amplitude indica que, apesar das diferenças pontuais, a estrutura mantém condições não favoráveis para o suporte de cargas, de modo a demandar intervenções em profundidade ou nas camadas superiores, especialmente no revestimento asfáltico.

Em relação à sub-base, os módulos situam-se entre **2.000 kgf/cm² e 3.000 kgf/cm²**, demonstrando uma boa capacidade de suporte. Já os solos de fundação, com valores médios variando entre **1.500 kgf/cm² e 2.000 kgf/cm²**, também evidenciam uma razoável capacidade estrutural ao longo de todo o trecho analisado. Por fim, no que tange as camadas asfálticas, observou-se uma significativa variação nos módulos ao longo do trecho, estando os valores modulares variando entre **30.000 kgf/cm² e 50.000 kgf/cm²**.

Adicionalmente, valer ressaltar que nos trechos onde foi constatada a presença de tratamento superficial como revestimento, os módulos das camadas asfálticas não foram considerados, uma vez que o Tratamento Superficial e o Microrrevestimento Asfáltico não são dotados de "*efeito*

de placa", ou seja, não trabalham como um corpo único na resistência aos esforços de compressão impingidos pelo tráfego atuante. Por se tratarem de camadas delgadas, esses materiais possuem limitações contribuição estrutural do pavimento. Dessa forma, ambas as camadas se comportam de maneira semelhante à camada de base, permitindo que elas sejam analisadas conjuntamente, e consequentemente o módulo seja obtido também a partir da análise unificada.

Com base no exposto, pode-se afirmar que há uma relação direta e determinante entre os comportamentos funcional e estrutural observados. Essa relação evidencia que a estrutura estratificada, composta por materiais granulares de boa qualidade e solos de fundação excepcionais, apresentará qualificações adequadas para continuar prestando serviços no futuro, desde que haja, primeiramente, a remoção das camadas asfálticas deficientes atualmente presentes e que ocorra também uma reciclagem da camada de base existente, com incorporação do revestimento fresado, e de um percentual de cimento. Essas medidas além de serem capazes e corrigir todas as questões funcionais apontadas anteriormente, também fornecerão um notável ganho estrutural para o pavimento, de modo a permitir que o mesmo resista vida útil determinada para esse projeto.

4.2.7. PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

4.2.7.1.Introdução

O presente Projeto de Pavimentação foi desenvolvido visando a concepção e a definição de um pavimento com estrutura devidamente qualificada para suportar as cargas a serem impingidas pelo tráfego ao longo de uma duração de vida de 10 anos, garantindo conforto, segurança e economia aos usuários. Desse modo, o objetivo do presente arrazoado é a elaboração de um projeto de restauração para a rodovia GO-330, compreendida entre Orizona e Pires do Rio/GO-020, com extensão de 42,831 km, conforme estaqueamento de campo.

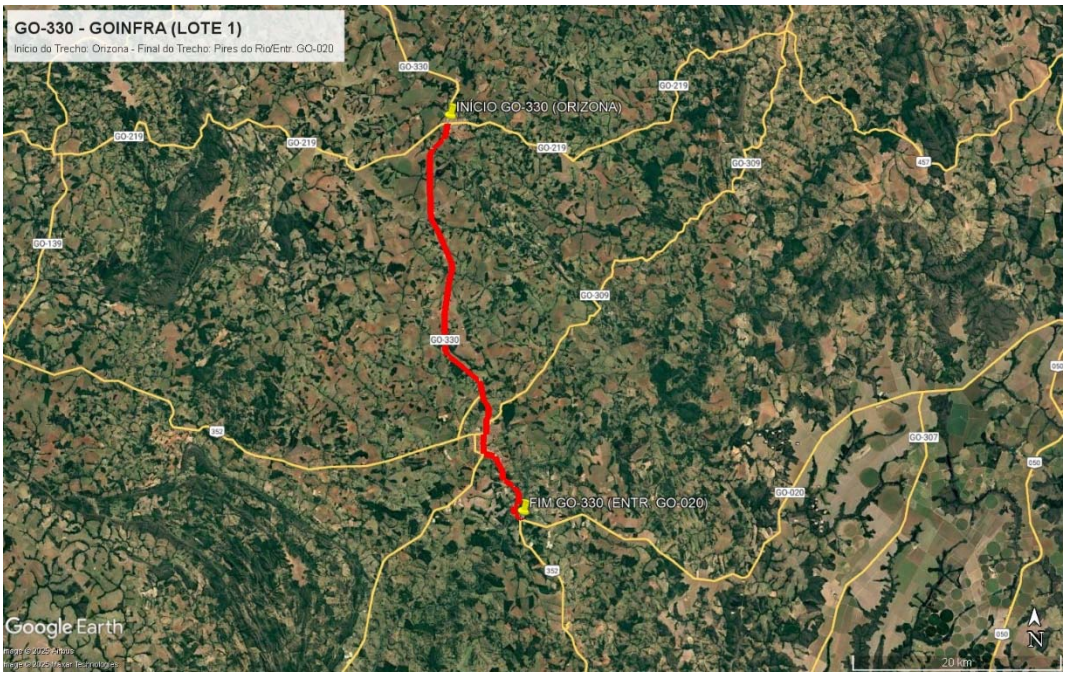


Figura 150 - Trecho a ser restaurado – GO-330

Posto isso, o Projeto de Restauração do pavimento existente da rodovia GO-330 se fundamentará em análises dos resultados obtidos através das Avaliações Funcional e Estrutural e Diagnóstico do Pavimento Existente e, consequentemente, do dimensionamento do reforço estrutural processado através dos métodos oficiais do DNIT (PRO-11 e PRO-269), procedimento adotado com o objetivo maior de se poder promover o cotejamento entre as soluções preconizadas pelas diferentes metodologias e permitir a definição da solução final com maior consistência e qualificação. Como os retromencionados métodos de dimensionamento de reforço de pavimentos são de origem empírica, julgou-se oportuno aplicar, **complementarmente**, uma metodologia adicional calcada na avaliação racional das estruturas, fundamentada na análise das tensões e deformações (horizontais de tração/compressão e verticais de compressão) que atuam nas camadas de um sistema estratificado, solicitado por cargas exteriores – Método Paragon.

No âmbito da seleção das metodologias, julgou-se ainda, em face dos diagnósticos funcional e estrutural do pavimento do trecho, que seria conveniente ter em consideração a necessidade de reconstrução, seja parcial ou total, a ser dimensionada com base no critério de resistência: para o efeito, selecionaram-se o ***Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT*** e a **metodologia de análise mecanística** calcada com base na Teoria da Elasticidade.

4.2.7.2.Dimensionamento do Reforço Estrutural do Pavimento Existente

4.2.7.2.1. Considerações Gerais

Com o objetivo de avaliar as carências estruturais externadas pelo pavimento existente foram aplicados os métodos de dimensionamento de reforços de pavimento preconizados pelas metodologias ***DNIT PRO-011/69 e PRO-269/94***. Complementarmente, no caso presente, optou-se ainda pela aplicação de uma metodologia estruturalista calcada no cotejamento entre os esforços atuantes (tensões e deformações específicas horizontais de tração/compressão e verticais de compressão) em um sistema estratificado quando solicitado por cargas exteriores e os esforços resistentes intrínsecos a cada material constituinte; para o efeito foi considerado o ***Método Paragon***. No âmbito da seleção das metodologias, julgou-se ainda, em face dos diagnósticos funcional e estrutural do pavimento, que seria conveniente ter em consideração a necessidade de reconstruções, parcial ou total, a ser dimensionada com base no critério de resistência: para o efeito, selecionou-se o ***Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT*** a ser avaliado através da aplicação de metodologia de análise mecanística calcada em fundamentos da Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados elásticos carregados exteriormente.

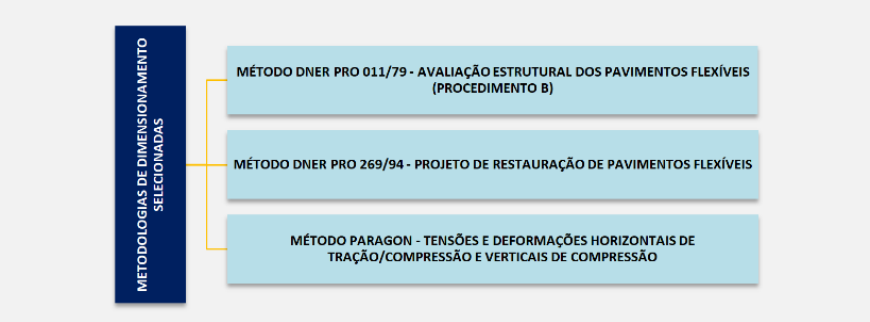


Figura 151 - Metodologias selecionadas para o reforço estrutural

Para a aplicação dos métodos DNER PRO-11/79 e DNER PRO-269/94, promoveu-se primeiramente a avaliação objetiva da superfície do pavimento, considerando a área total correspondente a cada estaca (10 metros avante e 10 metros à ré); nas avaliações efetuadas foram consideradas todas as patologias preconizadas e as flechas das trilhas de rodas. Ato contínuo, promoveu-se a definição e a identificação de segmentos de comportamentos homogêneos, a qual levou em consideração a análise simultânea dos principais parâmetros que caracterizam o comportamento funcional dos pavimentos, seguido da definição do Índice de Gravidade Global (IGG) e do cálculo da deflexão característica, conforme cada uma das duas metodologias.

Para a aplicação do Método Paragon - calcado em técnicas estruturalistas alicerçadas pela Mecânica dos Pavimentos - após os levantamentos e análise dos resultados da auscultação, processaram-se as determinações dos índices caracterizadores do pavimento (ICDS, ICDP e ICDE), os quais permitiram a definição do estado de sanidade das seções unitárias (20 m) e de seus respectivos diagnósticos; numa segunda fase, promoveram-se os dimensionamentos estruturais pautados no cotejamento entre os esforços atuantes – tensões horizontais de tração e verticais de compressão – e os esforços resistentes, intrínsecos a cada material constituinte do sistema pavimento - solo de fundação.

Ressalta-se que o número N foi calculado a partir da consideração dos Fatores de Equivalência de Cargas - FEC preconizados pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos – ***USACE*** e a

partir dos FEC determinados pelo método da *American Association of State Highway and Transportation Officials* – ***AASHTO***; os valores de número N, a saber: ***Número N (USACE) = 1,32 x 10^7*** **e** ***Número N (AASHTO) = 3,60 x 10^6*** no Posto de Pesquisa 4 e ***Número N (USACE) = 3,06 x 10^7*** **e** ***Número N (AASHTO) = 8,50 x 10^6*** no Posto de Pesquisa 5. Deste modo, o projeto de restauração da rodovia em questão será baseado no número "N" obtido através do Posto de Pesquisa 5 até o km 15,44 e do Posto de Pesquisa 4 a partir do km 15,44 até o final do trecho – devido .

Valores de número "N" adotados:

Km 0,00 – Km 15,44:

Número "N" **(USACE): 3,06 x 10^7**

Número "N" **(AASHTO): 8,50 x 10^6**

Km 15,44 – Km 42,831:

Número "N" **(USACE): 1,32 x 10^7**

Número "N" **(AASHTO): 3,60 x 10^6**

Na sequência, apresenta-se uma descrição sinóptica das metodologias selecionadas para elaboração dos projetos de restauração:

4.2.7.2.2. DNER-PRO 11/79

A avaliação estrutural do pavimento através do DNER-PRO 11/79 é parte essencial da auscultação do trecho em estudo, conforme Termo de Referência pertinente ao presente contrato, e deve ser elaborada após a verificação de suas condições de aplicabilidade, definidas a partir dos critérios transcritos na taebla apresentada a seguir:

Tabela 2 – Diretrizes para definição de soluções de restauração

DIRETRIZES PARA DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES DE RESTAURAÇÃO (DNER-PRO 11/79 – PROCEDIMENTOS)					
Hipótese I	Hipótese II		Hipótese III	Hipótese IV	Hipótese V
IGG ≤ 180					**IGG > 180**
$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	$D_p \geq D_{adm}$ $R \geq 100$		$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	$D_p \geq D_{adm}$ $R < 100$	
	$D_p \leq 3\ D_{adm}$	$D_p > 3\ D_{adm}$			
Qualidade Estrutural					
Boa	Regular	Má	Regular para Má	Má	Má
Critério de Dimensionamento					
Dimensionamento Necessário	Deformabilidade	Deformabilidade e Resistência	Deformabilidade e Resistência	Resistência	Resistência
Medidas Corretivas					
Correção Funcional	Reforço	Reforço ou Reconstrução	Reforço ou Reconstrução	Reforço ou Reconstru-ção	Reconstrução

Portanto, uma vez constatado que os parâmetros de comportamento do pavimento permitem enquadrá-lo nas denominadas **HIPÓTESES II** e **III** o procedimento de cálculo deverá se desenvolver em conformidade com as etapas seguintes.

PARTE A – Parâmetros Relativos ao Pavimento Existente

a) Determinação da Deflexão Característica

$$D_C = \overline{D} + \sigma$$

onde:

Dc = deflexão característica (10-2 m);

$\overline{D}$ = média aritmética das deflexões vigentes, e

σ = desvio-padrão da amostra.

São estabelecidos os intervalos de aceitação para os valores individuais das deflexões, por meio da definição dos limites superiores (LS) e inferiores (LI) através da equação:

$$LS = \overline{D} + z\sigma \qquad LI = \overline{D} - z\sigma$$

onde:

z = Variável dependente do número de amostras em um segmento homogêneo;

n = número de amostras no segmento homogêneo, conforme a tabela abaixo.

Tabela 3 – Variáveis e Número de Amostras

Variáveis e Número de Amostras	
N	**Z**
3	1
4	1,5
5-6	2
7-19	2,5
≥ 20	3

Com a finalidade de apoiar-se na presente metodologia, foram estabelecidas correlações entre as deflexões características obtidas por meio dos resultados medidos pelo equipamento FWD, e as deflexões características obtidas por meio dos resultados de medição utilizando a Viga Benkelman conforme descrito no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – DNIT:

✓ Deflexão (D_{FWD}) seja menor do que 85 x 10^{-2} mm:

$$D_B = 20{,}645(D_{FWD} - 19)^{0{,}351}$$

✓ Deflexão (D_{FWD}) seja maior do que 85 x 10^{-2} mm:

$$D_B = 8{,}964(D_{FWD} - 60)^{0{,}715}$$

onde:

D_B = deflexão característica obtida pela Viga Benkelman (10^{-2} mm);

D_{FWD} = deflexão característica obtida pelo FWD (10^{-2} mm);

b) Fixação do Fator de Correção Sazonal (F_s)

Os fatores de correção sazonais das deflexões são definidos a partir da natureza do solo de fundação e das condições climáticas vigentes na época da realização da campanha deflectométrica. Os valores recomendados são os que se apresentam a seguir.

Tabela 4 –Fatores de correção sazonal

FATORES DE CORREÇÃO SAZONAL		
Natureza do Solo de Fundação	F_s	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 – 1,30	1,0
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 – 1,40	1,0

c) Cálculo da Deflexão de Projeto

$$D_P = D_C + F_S$$

onde:

D_P = deflexão de projeto (10^{-2} mm);

D_c = deflexão característica referida à época do levantamento deflectométrico (10^{-2} n

F_s = fator de correção sazonal.

d) Determinação da Deflexão Admissível (D_{adm}) pela Equação:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N$$

onde:

N = Número de solicitação de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2t, determinado tendo em consideração os fatores de equivalência definidos pelo USACE (Corpo de Engenheiros do Exército Americano).

e) Determinação de R (Raio de Curvatura da Bacia de Deformação)

$$R = \frac{10x^2}{2(D_0 - D_x)}$$

onde:

D_0 = Deflexão máxima vigente (medida);

x = Distância a partir do centro de carga;

D_x = Deflexão a x cm do do centro de aplicação de carga.

PARTE B – Parâmetros Relativos ao Reforço do Pavimento

f) Critérios para Avaliação Estrutural

Deve ser utilizado o Quadro V do DNER-PRO 11-79 definindo o critério a ser empregado, se pelo deflectométrico ou resistência, ou por ambos.

g) Dimensionamento do Reforço pelo Critério de Deformabilidade

$$h_{CB} = k \log \frac{D_P}{D_{adm}}$$

onde:

h_{CB} = espessura do reforço em termos de CBUQ (cm);

k = "potência do reforço", própria do material usado no reforço (DNIT: para CBUQ 40).

h) Dimensionamento do Reforço com Camadas Múltiplas

O PRO-11/79 preconiza que, caso o dimensionamento determine a utilização de espessuras de reforço, em termos de concreto betuminoso, superiores a 5,0 cm, devem ser pesquisadas outras soluções para constituição das camadas inferiores do reforço do pavimento existente.
Para o cálculo das espessuras das camadas não constituídas com concreto betuminoso, devem ser adotados os "coeficientes de equivalência estrutural" recomendados pelo DNIT, transcritos a seguir.

Tabela 5 – Fatores de equivalência estrutural

FATORES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL (DNER-PRO 11/79)		
Componentes do Reforço do Pavimento		Coeficiente de equivalência estrutura
Concreto betuminoso		2,00
Pré-misturado a quente, de graduação densa		1,70
Pré-misturado a frio, de graduação densa		1,40
Macadame betuminoso por penetração		1,20
Brita graduada (CBR > 80)		1,10
Material granular (CBR ≥ 60)		1,00
Solo-cimento:		
Resistência à Compressão Simples aos 7 dias	RCS > 45 kgf/cm²	1,70
	RCS < 45 kgf/cm²	1,40
	RCS < 28 kgf/cm²	1,00

A espessura de concreto betuminoso substituída deverá ser multiplicada por:

$$\frac{2{,}00}{\text{Coef. Equiv. Estrutural do Material a Utilizar}}$$

4.2.7.2.3. DNER-PRO 269/94

A avaliação estrutural do pavimento existente através do Método DNER-PRO 269/94 deve ser processada após a verificação de atendimento as suas condições de aplicabilidade, definidas conforme os critérios indicados a seguir:

Tabela 6 – Diretrizes para definição de soluções de restauração

DIRETRIZES PARA DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES DE RESTAURAÇÃO (DNER-PRO 269/94)			
Hipótese 1	Hipótese 2	Hipótese 3	Hipótese 4
Tipo de Solo de Fundação			
I e II		III	
$D_C \leq 140$	$D_C > 140$	$D_C \leq 160$	$D_C > 160$
Critério de Dimensionamento			
DEFORMABILIDADE	RESISTÊNCIA	DEFORMABILIDADE	RESISTÊNCIA

Portanto, constatado que os parâmetros de comportamento considerados permitem enquadrar o pavimento nas denominadas HIPÓTESES 1 e 3, o procedimento de cálculo deverá se desenvolver em conformidade com as etapas a seguir descritas.

PARTE A – Parâmetros Relativos ao Pavimento Existente

a) Determinação da Deflexão Característica

$$D_C = \overline{D} + \sigma$$

onde:
D_c = deflexão característica (10^{-2} mm);
$\overline{D}$ = média aritmética das deflexões (10^{-2} mm);
σ = desvio-padrão da amostra.
Com a finalidade de apoiar-se na presente metodologia, foram estabelecidas correlações entre as deflexões características obtidas por meio dos resultados medidos pelo equipamento FWD, e as deflexões características obtidas por meio dos resultados de medição utilizando a Viga Benkelman conforme descrito no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – DNIT:

- ✓ Deflexão (D_{FWD}) seja menor do que 85 x 10^{-2} mm:

$$D_B = 20,645\,(D_{FWD} - 19)^{0,351}$$

- ✓ Deflexão (D_{FWD}) seja maior do que 85 x 10^{-2} mm:

$$D_B = 8,964\,(D_{FWD} - 60)^{0,715}$$

onde:

D_B = deflexão obtida por viga Benkelman (10^{-2} mm);

D_{FWD} = deflexão obtida pelo FWD (10^{-2} mm);

b) Determinação da Estrutura de Referência

Sondagens de poço e rotativas devem permitir a classificação das camadas componentes do pavimento no que tange as suas constituição e função e a determinação de suas espessuras reais. No que tange às camadas betuminosas existentes, deve-se definir fundamentalmente o número e as respectivas espessuras, as quais serão consideradas em conjunto para definição da ***espessura da camada betuminosa (h_e)***.
Na definição da ***espessura da camada granular (H_{cg})*** devem ser consideradas conjuntamente as camadas de base, de sub-base e do reforço do subleito quando constituídas por materiais que contenham menos de 35%, em peso, passando na peneira ASTM nº 200 (0,075mm); são considerados como materiais granulares os solos arenosos, solos pedregulhosos, solo estabilizado mecanicamente, solo-brita, brita graduada, macadames, etc.

A **estrutura de referência** deve ser constituída sempre por 3 camadas as quais recebem as seguintes denominações:

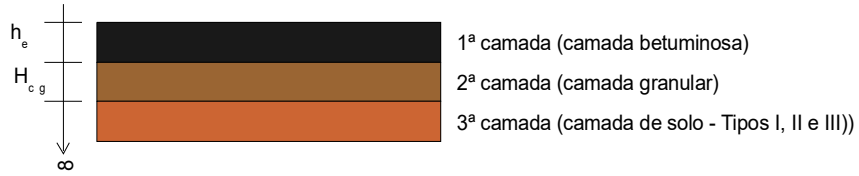


Figura 152 - Estrutura de Referência

c) Classificação do Solo da 3ª Camada

Os solos devem ser classificados em três grupos definidos em termos de suas características resilientes e estabelecidas em função do valor do **Índice de Suporte Califórnia** (**CBR**) e da **Percentagem de Silte** (**S**). O ensaio CBR deve ser realizado com amostras compactadas com energia correspondente a do Proctor Normal e a percentagem de silte, do material que passa na

peneira ASTM nº 200 (0,075 de abertura), calculada a partir do ensaio de granulometria por sedimentação, pela expressão:

$$S = 100 - \frac{P_1}{P_2} x100$$

onde:

S = percentagem de silte;

P_1 = percentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,005mm, determinada na curva de distribuição granulométrica;

P_2 = percentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,075mm, determinada na curva de distribuição granulométrica.

Os solos da 3ª camada são então classificados de acordo com o disposto na tabela apresentada a seguir.

Tabela 7 – Grupo de solos

GRUPOS DE SOLOS			
CBR (%)	≤ 35	35 – 65	> 65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

d) Cálculo da Espessura Efetiva do Conjunto de Camadas Asfálticas (h_{ef})

Trata-se da determinação da espessura estrutural equivalente ao conjunto de camadas asfálticas detectadas.

$$h_{ef} = -5{,}737 + \frac{807{,}961}{D_c} + 0{,}972\,I_1 + 4{,}101\,I_2$$

onde:

h_{ef} = espessura efetiva (cm);

I_1 e I_2 = constantes relacionadas às características resilientes do solo da 3ª camada da estrutura de referência;

As constantes I1 e I2 são definidas como indicado na tabela apresentada a seguir:

Tabela 8 – Valores das constantes I

VALORES DAS CONSTANTES I_i			
H_{cg} (cm)	Tipo de Solo	I_1	I_2
≤ 45	I	0	0
	II	1	0
	III	0	1
> 45	-	0	1

No cálculo da espessura efetiva se deve ainda atender a seguinte exigência:

$$0 \le h_{ef} \le h_e$$

ou seja:

Se $h_{ef} > h_e$, adotar $h_{ef} = h_e$

Se $h_{ef} < 0$, adotar $h_{ef} = 0$

Quando o revestimento asfáltico existente externar um grau de trincamento (classes 2 e 3, remendos e panelas) elevado, traduzido por uma das seguintes condições:

TR > 50%

FC2 + FC3 > 80% e FC3 > 30%

recomenda o presente método adotar o **limite inferior de h_{ef}**, ou seja, ***h_{ef} = 0***, bem como considerar a solução de recapeamento em camadas integradas de CBUQ e pré-misturado, com a finalidade de minimizar o fenômeno de reflexão de trincas no revestimento projetado.

PARTE B – Parâmetros Relativos à Restauração do Pavimento

e) Definição do Período de Análise

O período de análise (período de projeto) para as obras de recuperação do pavimento, em anos, deve ser previamente fixado.

f) Definição da Taxa de Crescimento do Tráfego

Deve ser determinada em função de dados históricos disponíveis ou fixada pelo Órgão Rodoviário.

g) Determinação do Número N

O parâmetro de tráfego a ser utilizado no projeto e que traduz o número de solicitações de um eixo-padrão de 8,17t deve ser calculado para o período de projeto considerado, de acordo com os fatores de equivalência de carga preconizados no Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER, edição de 1979; tais fatores são aqueles definidos pelo ***USACE*** (Corpo de Engenheiros do Exército Americano).

h) Cálculo da Deflexão Máxima Admissível (D_{adm})

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log N_p$$

onde:

Dadm = deflexão máxima admissível (10^{-2}mm);

Np = número acumulado de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80,12 kN (8,17 tf) para o período de projeto.

i) Dimensionamento do Reforço Estrutural

- **Cálculo de Espessura de Reforço**

O cálculo da espessura de reforço estrutural, em ***concreto asfáltico***, deve se processar através da expressão:

$$H_R = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{D_{adm}}} - 1,357 h_{ef} + 1,016 I_1 + 3,893 I_2$$

onde:

HR = espessura da camada de reforço em concreto asfáltico (cm);

Dadm, hef , I1 e I2 = variáveis já anteriormente definidas.

- **Solução de Recapeamento**

As soluções finais de recapeamento, tendo por base o valor de H_R (espessura de reforço dimensionada), devem atender ao disposto nas hipóteses apresentadas a seguir:

- **Caso 1: 3,0 cm < H_R < 12,5 cm**

A adoção de camadas integradas de CBUQ e pré-misturado ou de camada única de CBUQ (capa e "binder") constituem soluções que devem ser consideradas a partir das condições de superfície existente, contemplando as características de deformabilidade das misturas asfálticas a serem aplicadas.

- **Caso 2: 12,5 cm < H_R < 25,0 cm**

Recomenda-se a adoção de camadas integradas de CBUQ e pré-misturado de acordo com o seguinte critério:

$$\mathbf{H_{pm} = 0,60 H_R \quad e \quad H_{CA} = H_R - H_{pm}}$$

onde:

H_{pm} = espessura da camada de pré-misturado (cm);

H_{CA} = espessura da camada de CBUQ (cm);

H_R = espessura de reforço, em concreto asfáltico (cm).

- **Caso 3: $H_R > 25,0$ cm**

Recomenda que as camadas integradas não sejam constituídas exclusivamente com concreto asfáltico, devendo-se estudar também a alternativa de remoção do revestimento existente e de camada subjacentes, com a reconstrução do pavimento.

- **Caso 4: $H_R \leq 3,0$ cm**

A partir de análises das condições externadas pelo pavimento existente, contemplar soluções com lama asfáltica e tratamento superficial.

- **Caso 5: Restrições Econômicas**

O método contempla também a possibilidade de se adotar, face a restrições econômicas, uma solução de reforço por etapas; na Norma, são apresentados modelos para mais duas soluções sucessivas dentro do período de análise.

j) Dimensionamento do Reforço Contemplando a Reciclagem

As espessuras do **revestimento existente a ser reciclada** e a do **reforço complementar** devem ser determinadas de acordo com as etapas a seguir descritas:

- **Cálculo do Módulo de Resiliência Efetivo do Revestimento Existente**

$$\log M_{ef} = 11,19 - 2,753 \log D_C - 1,714 \log h_e - 0,0053 I_1 + 0,2766 I_2$$

onde:

M_{ef} = módulo de resiliência efetivo do revestimento asfáltico existente; não se deve adotar valor mínimo Mef < 1000 kgf/cm2 ;

D_C = deflexão característica de projeto (x 10^{-2} mm);

H_e = espessura da camada betuminosa existente (cm);

I_1 e I_2 = constantes relacionadas às características resilientes do tipo de solo de fundação.

- **Determinação do Módulo de Resiliência da Mistura Asfáltica Reciclada**

Deve ser determinado o *módulo de resiliência* e/ou a *resistência à tração por compressão diametral* da mistura betuminosa reciclada, dosada em laboratório.

- **Cálculo da Relação Modular**

$$\mu = \frac{MR_C}{M_{ef}}$$

onde:

μ = relação modular;

MR_C = módulo de resiliência da mistura betuminosa reciclada (kgf/cm²);

M_{ef} = módulo de resiliência efetivo do revestimento existente (kgf/cm²).

- **Cálculo da Deflexão de Projeto Característica após a Execução da Camada Reciclada**

$$\overline{D_C} = D_C\left[\frac{h_c}{h_e}\left(\mu^{1/3}-1\right)+1\right]^{-1,324}$$

onde:

Dc = deflexão de projeto vigente sobre o pavimento existente (x 10^{-2} mm);

hc = espessura da camada betuminosa existente (cm);

he = espessura da camada de mistura betuminosa reciclada (cm) correspondente à espessura de corte, que deve atender à seguinte condição 3,0 cm ≤ hc ≤ (he – 2);

μ = relação modular;

$\overline{D_c}$ = deflexão de projeto característica a ser obtida sobre o revestimento reciclado considerando a espessura hc (x 10^{-2} mm).

- **Solução de Recapeamento**

  - **1º Caso: μ ≤ 1,0**
    - Solução de restauração: deve ser determinada pelo procedimento convencional, sem reciclagem. Contudo, desde que $\overline{D_c}$ ≤ D_{adm} ou H_R ≤ 3,0cm, admite-se a reciclagem considerando a espessura mínima de corte de modo promover melhorias nas condições de rolamento do revestimento betuminoso existente.

  - **2º Caso: μ > 1,0**
    - Calcular $\overline{D_c}$ para os **diferentes valores de h_c** compreendidos no intervalo 3,0 < h_c ≤ (h_e – 2)
      1ª Hipótese: $\overline{D_c} \leq D_{adm}$

- **Solução de restauração:** reciclagem com espessura de corte igual a h_c
  2ª Hipótese: $\overline{D_c} > D_{adm}$

- **Solução de restauração**: solução mista, composta por camada de reciclagem + camada de recapeamento. Neste caso passa-se a considerar uma solução mista com a camada inferior, com espessura a ser ditada pela mais vantajosa profundidade de corte h_c e uma **camada complementar** de mistura asfáltica convencional, com espessura HR, dimensionada ao se considerar que a deflexão característica da camada reciclada passa a ser $\overline{D_c}$. Assim, basta recalcular HR pelo procedimento normal, fazendo-se $D_c = \overline{D_c}$ no cálculo de h_{ef}

4.2.7.3. Metodologia de Dimensionamento PARAGON

4.2.7.3.1. Sinóptico Metodológico

De forma sucinta apresenta-se a seguir o sequencial das atividades que regem o desenvolvimento de um Projeto de Restauração de pavimentos existentes. Compõem o elenco as etapas indicadas na **Figura 4**:

a)	1ª Fase	Demarcação da Base Quilométrica e dos Pontos de Referência (PTR);
b)	2ª Fase	Auscultação do Pavimento (Levantamentos de Campo);
c)	3ª Fase	Avaliação do Pavimento (Processamento e Interpretação dos Resultados);
d)	4ª Fase	Diagnóstico do Pavimento e Concepção das Soluções Corretivas;
e)	5ª Fase	Caracterização das Solicitações Rodoviárias e Quantificação;
f)	6ª Fase	Caracterização Estrutural do Sistema Pavimento - Solo de Fundação;
g)	7ª Fase	Caracterização Laboratorial dos Materiais Componentes do Pavimento Existente e destinados à Constituição das Intervenções Corretivas;
h)	8ª Fase	Dimensionamento do Reforço Estrutural/Reconstrução.

Figura 153 - Sequência de Atividades de um Projeto de Restauração de Pavimentos

A primeira fase inicia-se pela Demarcação da Base Quilométrica (DBQ) e dos Pontos de Referência (PTR) ao longo de todo o trecho, etapa processada com o emprego do equipamento denominado Automated Mark System, composto por uma máquina de pintura especial dotada de distanciômetro afinado por um encoder ótico de altíssima precisão e de um Global Positioning System (GPS) de última geração, operando em dupla frequência L1/L2.

Esse equipamento promove a demarcação das estacas duodecamétricas – dispostas a cada 20m – com tinta branca e das estacas hectométricas (a cada 100m), com tintas branca e amarela; todas as estacas são devidamente georreferenciadas e as hectométricas numeradas na pista, de forma sequencial.

A *segunda fa*se consiste na *Auscultação dos Pavimentos*, etapa que se processa através de levantamentos de campo compostos por escaneamentos digital (Multifunction) ou a laser (LCMS) da superfície do pavimento em contínuo – detecção, identificação e mensuração de todas as manifestações de ruína existentes – e medição das irregularidades longitudinais (inclusive o IRI) e transversais (inclusive a $F_{MÁX.}$). Tais levantamentos são complementados ainda por medições das linhas de influência dos assentamentos reversíveis (linhas de influência e Do) e dos perfis constitutivos do pavimento existente, em contínuo por meio do (GPR) e pontuais, por meio de sondagens de poço e rotativas; também são medidas as temperaturas do pavimento e do ar ambiente (Tp/Tar).

A *terceira fase* inicia-se pelo exame de consistência dos dados de campo, etapa seguida pela análise e interpretação dos resultados obtidos, processadas para universos de avaliação limitados a 20 metros – estaca por estaca; esses intervalos de análise são submetidos a processos de *varredura métrica*, nos quais se registra a existência dos defeitos ocorrentes metro a metro, procedimento que permite quantificar o número de semi-intervalos de 1m afetados – *frequência absoluta* –, bem como o percentual de semi-intervalos comprometidos no universo de análise (20 metros) – *frequência relativa.*

O processamento, a análise e a interpretação dos resultados obtidos permitem a perfeita caracterização do pavimento – *por estaca e por faixa de tráfego* – e a determinação de parâmetros de comportamento tradutores das distintas famílias que compõem a vertente funcional (*Índices das Condições de Degradação Superficial – ICDS, de Deformação Permanente – ICDP e de Deformabilidade Elástica – ICDE*).

A consideração preliminar de cada família comportamental de forma individualizada, seguida de suas análises integradas (conjuntas), possibilita a singularização do sistema pavimento - solo de fundação e permite a definição dos segmentos que requerem distintos níveis de intervenções corretivas.

A *quarta fase* constitui no estabelecimento do *diagnóstico dos pavimentos*, etapa crucial e mais importante do processo, lavrado através da definição do estado de sanidade (código genético) externado pelo pavimento, predicado que permite *conceber e definir a natureza das soluções corretivas requeridas*. Embora se trate de uma exigência relevante para o sucesso de uma obra, nos procedimentos usuais de avaliação de pavimentos esta etapa tem sido relegada a um plano de insignificância, ou seja, sequer, é contemplada.

No caso específico de pavimentos que demandam apenas correções de caráter funcional, a natureza das soluções – que se caracterizam por não apresentar efeito estrutural próprio – define naturalmente a medida corretiva requerida; no caso de pavimentos que demandam medidas corretivas de caráter estrutural (reforços estruturais ou intervenções em profundidade) faz-se necessário promover o dimensionamento estrutural.

A *quinta fase* é constituída pela caracterização das solicitações impostas pelas cargas do tráfego, exigência fundamental para a determinação das características estruturais do pavimento existente e dos esforços solicitantes em suas camadas e no solo de fundação. Assim, torna-se imperioso definir a geometria da impressão de contato, a pressão vertical de compressão imposta na interação pneu–pavimento e o tempo de aplicação das cargas impostas pelos veículos pesados carregados.

No tocante à geometria, verificou-se anteriormente que as impressões de contato das rodas gêmeas de um eixo comercial padrão poderiam ser representadas por áreas circulares com r = 10,8 cm, distanciadas entre si – de bordo interno a bordo interno – por distâncias da ordem de 10,4 cm; sob tais condições, um carregamento-padrão (eixo simples com carga de 8,2 toneladas) responderá pela imposição de uma carga de 2050kgf a cada uma das rodas componentes (par de rodas gêmeas) que, uniformemente distribuídas, exercerão pressões de contato σ_c = 5,6kgf/cm2.

Quanto ao tempo de aplicação de carga a que os elementos de um pavimento – superficiais e internos – são submetidos à ação das cargas móveis aplicadas à superfície, desenvolveu-se um procedimento de cálculo específico no qual se contemplam as características do tráfego atuante (velocidade de circulação, distâncias entre eixos e impressão de contato pneu–pavimento), a natureza dos materiais constituintes de cada camada constitutiva e o posicionamento do ponto considerado em termos de profundidade.

A *sexta fase* corresponde à caracterização estrutural da constituição do sistema formado pelo pavimento - solo de fundação, a qual é processada, primeiramente, pela determinação do *perfil constitutivo da estrutura, em contínuo*, por meio do emprego de um radar de profundidade – *Ground Penetrating Radar (GPR)* etapa complementada por sondagens rotativas e de poço pontuais, dispostas a espaçamentos previamente especificados.

Nas sondagens de poço, além da medição das espessuras de cada camada e da classificação táctil-visual dos materiais constituintes, são coletadas amostras para as caracterizações laboratoriais e determinação das principais grandezas físicas e geotécnicas (granulometria, limites de Atterberg, Índice de Grupo, expansão, etc.) e mecânicas (Compactação e CBR).

Seguidamente, processa-se a medição das linhas de influência experimentais por meio de ensaios de carga dinâmicos realizados com deflectógrafos dos tipos Curviâmetro Dinâmico e FWD, as quais permitem, tendo em conta o perfil estratigráfico da estrutura, processar a retroanálise das linhas de influência experimentais. A aplicação desse procedimento permite determinar as grandezas estruturais fundamentais – módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson – das camadas do pavimento e do solo de fundação.

A *sétima fase* consiste em verificar a existência e a potencialidade dos materiais e recursos naturais disponíveis (pedreiras, areais, materiais granulares, cascalhos e solos) necessários à implantação das intervenções corretivas requeridas pelos pavimentos existentes.

Dessa forma, definida a natureza conceptiva das intervenções corretivas demandadas pelos distintos estados de sanidade externados pelo pavimento existente, devem ser apreciadas as qualificações geotécnicas dos materiais prospectados e suas quantidades; as *caracterizações laboratoriais* dos materiais, individualmente ou em composições, torna-se importante, haja vista que destinam-se à composição das novas camadas do pavimento (recargas superficiais, recomposições superficiais, reforços estruturais e também eventuais reconstruções).

A *oitava fase* corresponde ao *Dimensionamento das Intervenções de caráter estrutural – tipos Reforço Estrutural ou Reconstrução*. Esse procedimento constitui o propósito desta segunda parte da *Metodologia Paragon*, na qual se apresenta um Método de Dimensionamento calcado em técnicas que vislumbram o pavimento como uma estrutura estratificada elástica – composta de camadas – submetida a esforços quando solicitada por cargas exteriores, atuando à superfície.

Em sua essência, a proposição básica do método consiste em garantir que os esforços atuantes não excedam os esforços resistentes (máximos admissíveis) intrínsecos aos materiais constituintes e ao solo de fundação. No âmbito da presente metodologia, cuidados especiais são tidos na caracterização dos materiais destinados à composição das camadas de reforço estrutural, com definições específicas dos respectivos valores modulares e leis de fadiga e de deformação permanente.

Em uma vertente complementar, desenvolveu-se um procedimento analítico para se ter em conta a capacidade de tráfego restante do pavimento existente – seguramente já combalido – com o objetivo de lhe proporcionar condições intrínsecas para garantir sua prestação de serviços futura. Esse procedimento foi concebido com o intuito de se ter em conta, embora de maneira indireta, as características das camadas granulares, quase nunca objetos de análises especiais em laboratório e normalmente desconsideradas no âmbito dos dimensionamentos processados à luz da Mecânica dos Pavimentos.

Com o objetivo de atender a todos os quesitos técnicos propostos pela presente metodologia, a Strata Engenharia montou dois Centros Tecnológicos de Engenharia Rodoviária (CTER), o primeiro com o nome do *Professor Armando Martins Pereira*, em Brasília-DF, e o segundo com o nome do *Professor Humberto Santana*, em Martinho Campos-MG.



Figura 154 - Centro Tecnológico de Engenharia Rodoviária Professor Humberto Santana.

4.2.7.3.2. Considerações Gerais

Quando um pavimento evidencia carência estrutural e pleiteia intervenções corretivas, faz-se imperativo qualificá-lo para suportar as solicitações que lhe serão impingidas pelo tráfego futuro, exigência que demanda, além da definição da natureza e do tipo da intervenção corretiva, também a definição da *magnitude* da intervenção a empreender.

Dessa forma, o dimensionamento do reforço estrutural de um pavimento exige a verificação de certo número de condições suplicantes que demandam espessuras de reforço distintas, devendo se selecionar, naturalmente, a maior, capaz de satisfazer a todas as demais.

Nos procedimentos usuais avaliam-se primeiramente as resistências da camada de reforço à fadiga e do solo de fundação às deformações permanentes, sempre através do cotejamento entre os esforços atuantes – impostos pelas cargas do tráfego – e os esforços resistentes máximos admissíveis, definidos pelas respectivas leis de comportamento, estabelecidas em função de números de solicitações.

No âmbito da Metodologia Paragon, ajuizou-se ser importante ter em conta, para além dessas verificações retrocitadas, mais duas avaliações de qualificação estrutural: a vida de fadiga residual da camada de revestimento asfáltico existente pós-reforço e a capacidade de tráfego restante do pavimento existente, uma forma indireta de se contemplar a capacidade de suporte das camadas granulares. Ambas as verificações foram concebidas a partir do compromisso do reforço estrutural em "aliviar" a estrutura subjacente, naturalmente debilitada, de forma a torná-la apta para uma prestação de serviços futura.

Assim considerando, o dimensionamento da camada de um reforço estrutural deve ter em conta, primeiramente, a sua resistência intrínseca, *a ser avaliada contemplando a magnitude das tensões/extensões de tração máximas que atuarão sua fibra inferior – mais tracionada –*, as quais deverão se subordinar ao valor resistente máximo admissível, intrínseco ao material, definido em função do número de solicitações futuras (lei de fadiga); superado esse limite, a camada passa a trabalhar em regime forçado, condição que responderá pela redução de sua vida útil, em trabalho.

Seguidamente, em verificação inusitada, julgou-se importante avaliar as qualificações do revestimento asfáltico existente (caso aproveitado na nova estruturação) para sua prestação de serviços futura, haja vista que seu regime de trabalho em tração horizontal se manterá, mesmo depois de protegido pelo reforço de pavimento; na realidade, é preciso ter em conta a vida de fadiga residual do revestimento existente, *uma vez que o reforço estrutural não transforma um revestimento velho em revestimento novo*.

Essa definição, simples em tese, consiste no cotejamento entre os esforços atuantes na face inferior da camada de revestimento existente, considerando diferentes espessuras de reforço e o seu esforço resistente máximo admissível, proposição que, entretanto, *esbarra na dificuldade de se definir*, com o rigor necessário, *a resistência residual da camada asfáltica antiga à fadiga*, haja vista já se apresentar ela naturalmente combalida e, na maior parte das vezes, externando fissurações atribuídas ao próprio fenômeno da fadiga.

Apesar de se julgar válido avaliações similares – desde que decidido pelo aproveitamento da camada de revestimento existente –, a apreciação de seu comportamento à fadiga durante sua prestação de serviços futura deverá ser processada de forma *extremamente meticulosa*,

contemplando o tráfego já suportado e empregando equações preditivas da vida de fadiga que contemplem as características físicas da mistura existente, as propriedades dos ligantes residuais e os graus de trincamento exibidos.

Em continuidade, necessário se faz avaliar a resistência dos solos de fundação – o mais frágil dos componentes - às solicitações verticais de compressão que o irão atuar, as quais respondem pelas surgências e magnitudes das deformações permanentes – afundamentos (flechas) nas trilhas de roda por consolidação – que serão impostas ao sistema pavimento - solo de fundação pelas cargas do tráfego futuro; na verificação da lei de resistência do solo de fundação julga-se importante contemplar, concomitantemente, também o tráfego já suportado.

Assim, com o objetivo de suprir essa lacuna importante nas avaliações a serem processadas, ajuizou-se ser possível ter em conta eventuais demandas estruturais contemplando a capacidade de tráfego restante do pavimento existente, característica capaz de definir suas qualificações para uma determinada prestação de serviços futura. Para o efeito, concebeu-se que eventuais fraquezas poderiam ser compensadas pela submissão do pavimento à condições de trabalho mais amenas, "alívio" a ser aportado por um reforço estrutural dotado de espessura apropriada (a ser devidamente dimensionada).

No espectro pleno, verifica-se portanto que, para além das verificações das resistências à fadiga (camadas de reforço e de revestimento existente) e à deformação permanente (solo de fundação), a Metodologia Paragon complementa suas verificações comportamentais contemplando uma quarta condição de dimensionamento, alicerçada nas necessidades de se avaliar a capacidade de tráfego restante do pavimento e de qualificá-lo para suportar as solicitações ulteriores, previstas para sua prestação de serviços futura; essa proposição última será explanada a seguir no âmbito da presente dissertação.

4.2.7.3.3. Proposição Metodológica

Tendo em conta, portanto, as premissas retrocitadas, desenvolveu-se uma metodologia própria, calcada nos critérios clássicos da Mecânica dos Pavimentos, na qual se vislumbra o pavimento como um sistema estratificado elástico submetido a esforços solicitantes (tensões e deformações) impostos por cargas exteriores aplicadas à superfície, conforme ilustrado na Figura a seguir.

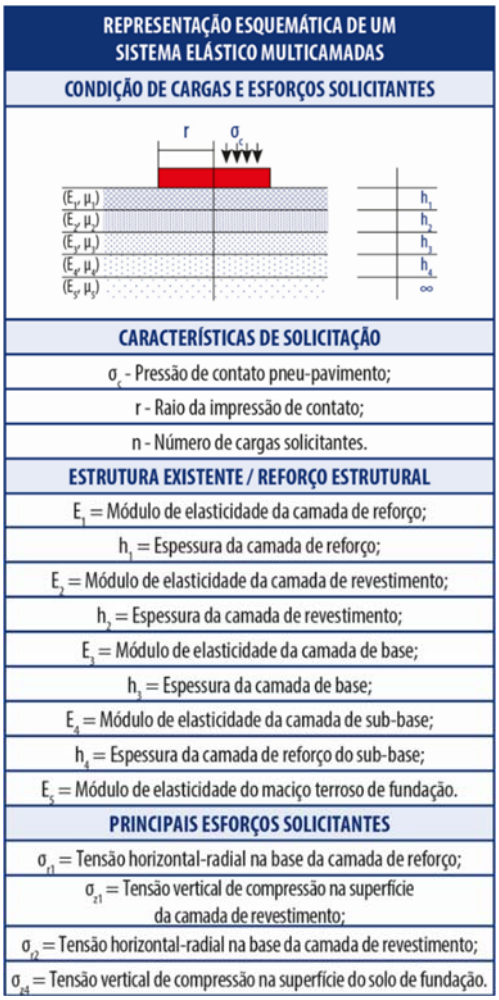


Figura 155 – Representação esquemática de um sistema elástico multicamadas

O axioma postulado nessa metodologia consiste em cotejar os *esforços atuantes* que se desenvolvem no seio de cada camada constitutiva do sistema pavimento - solo de fundação quando carregado exteriormente, com os *esforços resistentes*, intrínsecos a cada material constituinte, de forma que esses esforços coexistam em harmonia na estrutura final.

Considerando, pois, que essa exigência se estabelece com a garantia de que os esforços solicitantes não sobrepujem os esforços resistentes, a espessura da camada de reforço deve ser suficiente para atender suas exigências intrínsecas e, ao mesmo tempo, proteger as camadas constituintes do pavimento e o solo de fundação, aliviando-os, de modo garantir seus perfeitos desempenhos durante suas prestações de serviço futuras.

Dessa forma, para a aplicação efetiva da presente metodologia, faz-se necessário promover primeiramente a caracterização estrutural do sistema estratificado formado pelo pavimento - solo de fundação, exigência que se cumpre com a determinação de suas grandezas fundamentais: perfil estratigráfico do pavimento existente (número e espessura das camadas), módulos de elasticidade das distintas camadas constitutivas e do solo de fundação e respectivos coeficientes de Poisson.

Para estabelecer tais grandezas fundamentais determina-se primeiramente o número e a espessura das camadas constituintes, empregando um GeoRadar e sondagens de poço/rotativas, promovendo em seguida, a medição das linhas de influência dos assentamentos reversíveis; para esta tarefa última, são empregados deflectógrafos dos tipos Curviâmetro Dinâmico ou

Falling Weight Deflectometer (FWD), equipamentos que traduzem condições de solicitação (carga representativa, pressão vertical de contato, tempo de aplicação de carga, etc.) praticamente idênticas àquelas impostas ao pavimento por um veículo pesado carregado se deslocando a 80 km/h.

A consideração de ambos os equipamentos traz consigo uma diferença sutil, pois uma carga circular simples, ao puncionar um pavimento, gera uma zona de influência que se desenvolve de forma radial, perifericamente à área circular da carga. Quando a carga é aplicada por um par de rodas gêmeas de um semieixo comercial – aplicadas simultaneamente –, as solicitações se somam, gerando uma área de influência que, embora componha uma "bacia de deformação", externa uma zona distribuição conflituosa entre as duas cargas; na realidade não se verifica uma distribuição radial (**Figura 7**).

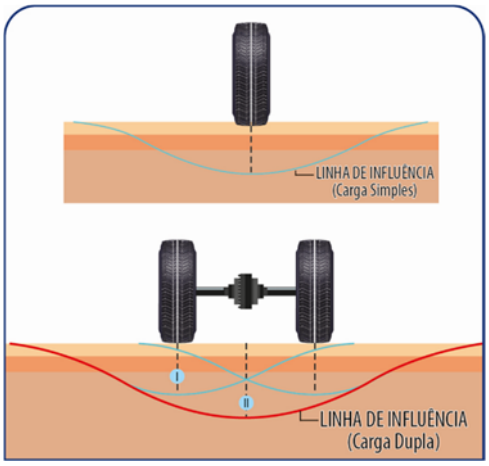


Figura 156 – Distribuições das cargas de rodas simples e duplas e suas zonas de influência

Sob tais condições, para que ambos os ensaios possam traduzir resultados idênticos, torna-se fundamentalmente importante estabelecer uma equivalência entre as solicitações exercidas por ambas as configurações de carregamento – carga aplicada e área de distribuição – de forma que as tensões horizontais de tração e verticais de compressão impostas às camadas do pavimento e ao solo de fundação sejam substancialmente similares; uma explanação desse cotejamento será detalhada em tópico mais adiante.

Dispondo-se, portanto, das linhas de influência dos assentamentos reversíveis experimentais e do perfil estratigráfico, promove-se a retroanálise, artifício matemático que consiste em pesquisar, na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados exteriormente, linhas de influência teóricas similares às experimentais, investigação que faculta a consignação, por analogia, das principais características estruturais do sistema estratificado existente.

Na pesquisa das linhas de influência teóricas dos assentamentos reversíveis são aplicados os critérios clássicos da Mecânica dos Pavimentos embasados na Teoria da Elasticidade, cujas fronteiras foram devidamente pontuadas por Donald M. Burmister ("The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems") em 1945. Contempladas, portanto as condições de fronteira estabelecidas, desenvolveu-se, no âmbito da metodologia Paragon, um programa de cálculo automático – RetroStrata – no qual se considera o pavimento um sistema estratificado elástico carregado à superfície, composto por camadas constituídas com diferentes materiais e arranjadas consoante a disposição geométrica desejada.

A título ilustrativo, apresenta-se a seguir uma tela do programa na qual consta, na lateral esquerda, o ajuste sigmoidal da linha de influência experimental (método dos mínimos quadrados), e na direita, um "instantâneo" da varredura da Teoria da Elasticidade na busca da linha de influência teórica. Nessa visualização última constam-se a linha de influência experimental (verde), a calculada instantaneamente (vermelha) e melhor bacia ajustada até aquele instante; no canto inferior direito, dentro do quadro branco aparece NI = 053, que indica o número de tentativas de ajuste já processadas, as quais podem se estender até a tentativa 2000.

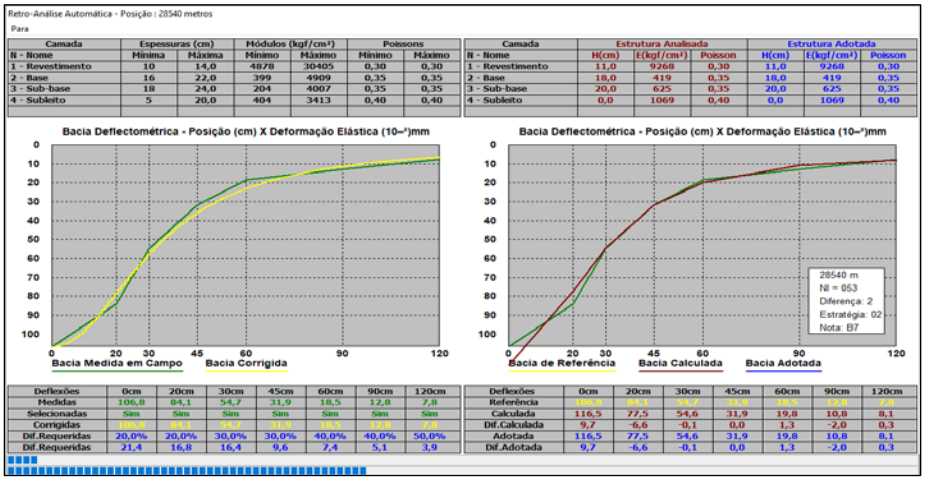


Figura 157 - Consolidação da Bacia Experimental Através de Regressão pelo Método dos Mínimos Quadrados

Portanto, caracterizado o sistema pavimento - solo de fundação existente, faz-se necessário promover a caracterização estrutural da mistura asfáltica selecionada para composição da camada de reforço estrutural, exigência que se cumpre com as definições de seus módulos de rigidez e coeficiente de Poisson e de sua Lei de Comportamento à Fadiga. Para atendimento a essas exigências, duas proposições básicas se apresentam:

- a dosagem experimental da mistura em laboratório com a confecção de corpos de prova e suas submissões a ensaios experimentais para a determinação do módulo de rigidez e da Lei de Fadiga; os ensaios para determinação módulo devem ser conduzidos no mínimo a três frequências de aplicação de carga distintas (por exemplo 0,1 - 1,0 e 25Hz) de forma a possibilitar o cálculo da "Curva Mestra", a qual permite definir valores modulares para distintos – e representativos – tempos de aplicação de carga, ou

- o emprego de leis previsionais, estabelecidas por organismos internacionais de notório reconhecimento – vertente que exibe enorme consistência – alicerçada por inúmeras e exaustivas experimentações realizadas durante décadas por organismos rodoviários, centros de pesquisa e programas integrados de cooperação internacional.

A título ilustrativo, apresentam-se representações esquemáticas dos principais esforços atuantes (tensões horizontais de tração no reforço e no revestimento existente e vertical de compressão no solo de fundação) em um sistema estratificado elástico, carregado à superfície por uma carga circular única (Figuras 9 e 10):

a) As tensões horizontais de tração máximas que atuam nas camadas betuminosas (ou cimentadas) – dotadas de "efeito de placa" – quando da ação de carregamentos externos, ocorrem sempre em suas faces inferiores, fibra mais tracionada; esses esforços, repetidos um enorme número de vezes – quando

superiores ao limite mínimo de fadiga – respondem pela fadiga das misturas asfálticas, fenômeno responsável pelo trincamento das camadas;

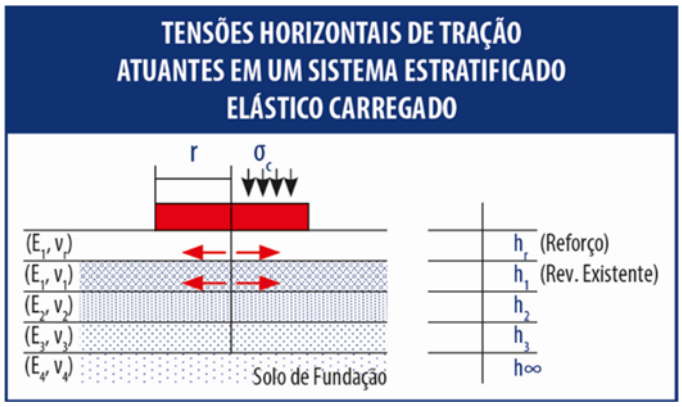


Figura 158 - Representação esquemática das tensões horizontais de tração atuantes na face inferior de camadas asfálticas (Reforço e Pavimento Existente) e/ou cimentadas

b) As tensões verticais de compressão que atuam todas as camadas do pavimento e o solo de fundação, decrescem com a profundidade, mas assumem importância superior quando atuam o solo de fundação, o mais frágil dos materiais de constituição do sistema. Essas tensões respondem pela imposição de deformações permanentes ao pavimento, sempre decorrentes dos processos de consolidação ou densificação impostos pela repetição das cargas do tráfego; as maiores contribuições, em tese, são pertinentes aos solos de fundação, com os materiais granulares contribuindo de forma menos relevante.

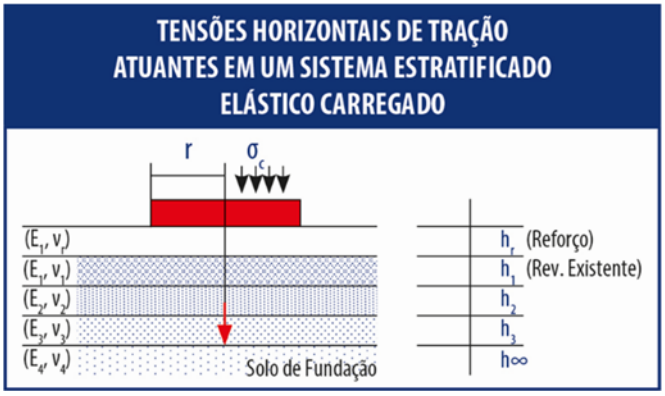


Figura 159 - Representação esquemática das tensões verticais de compressão

4.2.7.3.3.1.1ª Condição de Dimensionamento: Verificação da Resistência das Misturas Asfálticas à Fadiga (Reforço e Revestimento Existente)

4.2.7.3.3.1.1. Modelos de Fadiga de Misturas Asfálticas

Os esforços que se desenvolvem no seio de camadas asfálticas de reforço – dotadas do "efeito de placa" – não são simples, pois um mesmo elemento interno se submete alternadamente à tensões horizontais de tração e de compressão e à tensões verticais de compressão consoante o posicionamento da carga.

Essa alternância de esforços de solicitação imposta durante a transição de uma carga móvel rolante, bastante complexa, responde pela manifestação dos dois principais processos de fissuração impostos às camadas asfálticas, bastante distintos, porém clássicos. Essa distinção, de importância singular, requer a descrição, mesmo que de forma sintética, dos processos de fissuração que podem ocorrem em camadas asfálticas:

a. o primeiro processo, seguramente o mais rigoroso, decorre das fissurações que se desenvolvem na face inferior da camada asfáltica – fibra mais severamente tracionada quando de carregamentos externos –, as quais progridem no sentido ascendente ante a repetição das cargas, trespassando a camada (de baixo para cima – *bottom-up*) e se manifestando na superfície; inicialmente incipientes, são progressivas, se ramificam, formam malha que, ao final do ciclo, ostentam bordas erodidas, e

b. o segundo processo, menos agressivo, decorre das fissurações que nascem à superfície e se propagam em sentido descendente, para o fundo da camada (de cima para baixo – *top-down*), procedidas de tensões de tração geradas na superfície: os esforços de tração horizontal se desenvolvem na zona de acomodação final da "bacia" de deformação sofrida pelo pavimento – ante o carregamento externo – com a fração além, não afetada pela carga.

Completamente independente do posicionamento da carga, verifica-se ainda mais um mecanismo gerador de fissurações superficiais, que tendem a se desenvolver de cima para baixo: no caso de solicitações por rodas duplas de um semieixo traseiro de um veículo pesado carregado verifica-se o desenvolvimento de tensões de tração transversais gerados na seção fletida disposta entre as rodas gêmeas (zona de distribuição de tensões conflituosas).

No primeiro processo, um elemento qualquer da camada asfáltica experimenta esforços horizontais que têm suas naturezas ditadas pelo seu posicionamento na camada e pelo posicionamento relativo da carga móvel rolante que se desloca à superfície; a posição da carga móvel determina a natureza das tensões horizontais a que o elemento estará submetido, se de tração ou de compressão, as quais se alternam sequencialmente e exibem magnitudes distintas consoante sua disposição no seio da camada. Merecem respeito maior as tensões horizontais de tração – responsáveis pela fadiga da mistura asfáltica – que se desenvolvem na fibra inferior da camada solicitada, local onde atingem seus valores maximum maximorum (**figura a seguir**):

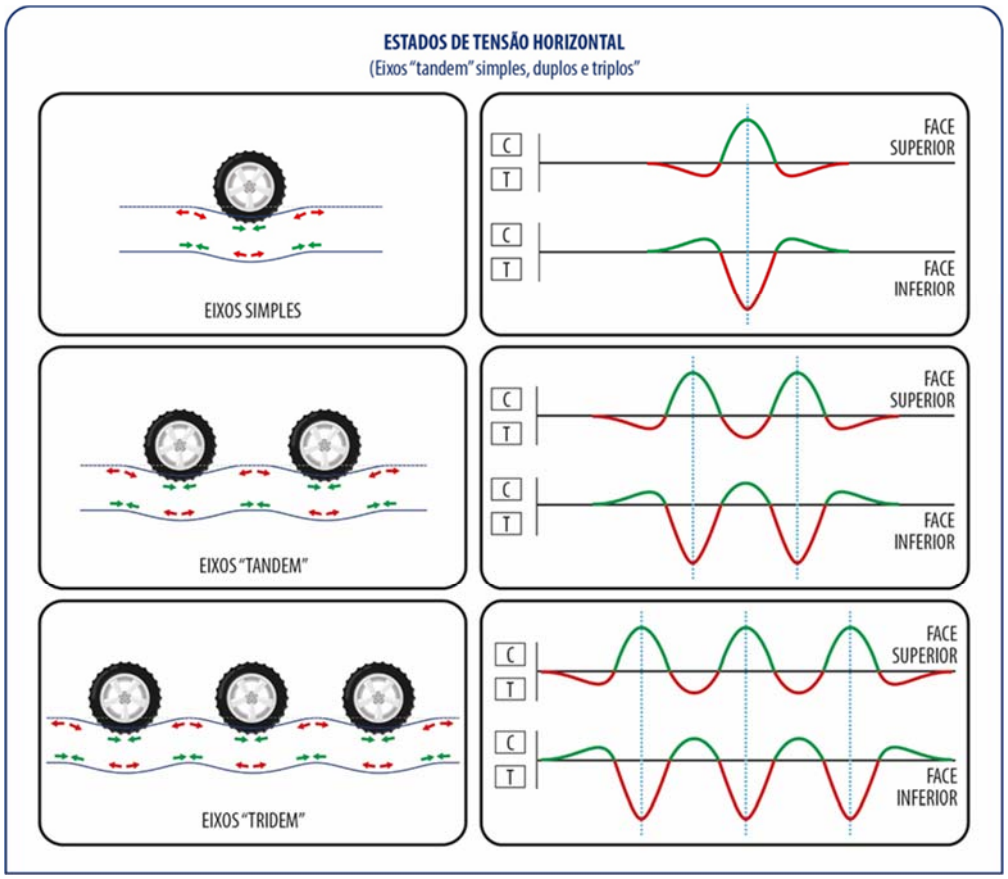


Figura 160 - Estados de Tensão Horizontal gerados nas fibras superior e inferior do revestimento asfáltico quando da atuação de sistemas multieixos

Da análise da representação gráfica apresentada, verifica-se que esforços de mesma natureza ocorrem igualmente nas fibras inferiores e superiores, destacando-se que os esforços de tração horizontal – que respondem pela instalação do fenômeno da fadiga – são significativamente maiores na face inferior, condição que potencializa o processo de progressão das fissuras de baixo para cima.

No que tange ao segundo processo, verifica-se primeiramente que os esforços de tração horizontal na face superior – também vinculado ao posicionamento relativo da carga móvel – são de menor monta e as fissuras surgentes muito provavelmente não chegam a atingir o fundo da camada asfáltica, até mesmo porque seu desenvolvimento, naturalmente mais lento, é atropelado pela potência evolutiva das fissuras de baixo para cima.

Nessa simbiose comportamental, pode-se afirmar que o processo *top-down* se submerge perante o processo *bottom-up*, coibição que não impede a soma dos dois para composição do dano final; destaque-se ainda o fato de que os modelos de fissuração se potencializam sob a ação conjugada de configurações de eixos mais complexas ("tandens" duplos, triplos ou mais eixos).

Na complementação do processo de fissuração de cima para baixo, verifica-se ainda uma ingerência sutil provocada pelo desenvolvimento de tensões de tração transversais na seção disposta entre as rodas gêmeas, derivadas da imposição de um regime de flexão superficial diferenciado. Esse processo de solicitação, que se desenvolve transversalmente na zona disposta entre as duas impressões de contato solicitantes, decorre da interação entre as zonas de influência de cada carga: a influência mútua sobreposta responde pela distensão transversal das fibras superiores da camada asfáltica de revestimento.

No caso das cargas duplas – cargas gêmeas atuando lado a lado –, o processo de esmaecimento dos esforços horizontais ao longo da área periférica de cada carga se apresenta severamente comprometido na zona disposta entre as duas cargas atuantes: o intervalo existente entre elas é reduzido para comportar as distâncias de "inversão" necessárias, particularidade que implica a interação das zonas de influência e a eliminação da "distribuição radial".

No desenvolvimento do processo de solicitação superficial de uma carga única, a zona disposta diretamente sob a carga sofre esforços radiais de compressão horizontal – máximos sob a carga –, os quais, ao longo do alcance radial da carga (zona de influência), vão diminuindo gradativamente, sofrendo, ao final da transição desse percurso, uma mutação plena, quando as fibras superiores são obrigadas a se distender para absorver a acomodação final da camada disposta além da zona de influência da carga.

Sob esse condicionamento, desenvolve-se um estado de tensões inusitado, não previsto, pois as cargas duplas (atuando de forma conjugada e próxima), ao puncionarem o pavimento, infligem lhe deformações verticais (reversíveis) que sofrem um transtorno de distribuição na zona disposta entre as cargas: sem o espaço necessário para seu desenvolvimento periférico, interagem e se somam, impondo à fração superior da camada de desgaste, nessa zona interposta, uma flexão convexa transversal, esforço que se materializa por uma distensão das fibras superiores, que passam a trabalhar em regime de tração horizontal; uma representação esquemática desse processo de solicitação é ilustrado pela **figura a seguir**.

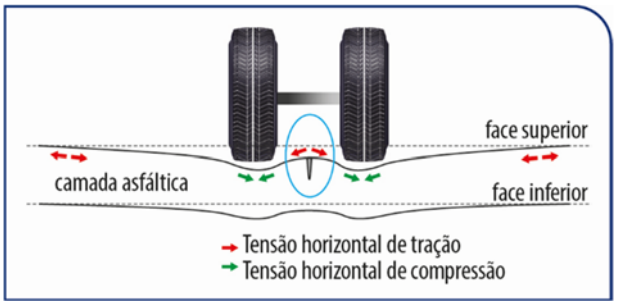


Figura 161 – Tração transversal originada pela flexão convexa imposta entre rodas na fração superior da camada asfáltica.

Essa flexão transversal convexa advém, portanto, de um arranjo interno forçado para acomodar – sem espaço disponível – a transição das fibras comprimidas sob a carga para as fibras tracionadas necessária à conformação geométrica ao extremo da deformabilidade; como essa exigência não se cumpre, as duas linhas de influência interagem, se superpondo e se somando, processo que dá origem a uma zona superficial composta exclusivamente de tração na flexão.

Essa distensão transversal, que se potencializa sob condições de carregamento lento (tempos de carga longos) e temperaturas elevadas, pode, após um determinado número de solicitações, dar origem ao desenvolvimento de fissuras longitudinais na fração superior da camada asfáltica, as quais externam tendências de propagação no sentido descendente. Originárias da superfície e com desenvolvimento de cima para baixo (*top-down*), ocorrem sistematicamente nas trilhas de roda – predominantemente junto à sua linha central – e são mais propensas a surgir quando da existência de tráfego composto de várias configurações de eixos tandem múltiplos.

Ocorrendo em curtas extensões, de forma aleatória e individualizada, dificilmente assumem proporções capazes de comprometer, de maneira significativa, o pavimento, podendo se conectar longitudinalmente e apresentar erosões nas bordas com a continuidade das cargas. Sua constatação, entretanto, não é usual e pode ser de difícil identificação, até mesmo porque sua

miscigenação com fissurações de fadiga, que externam potencial evolutivo substancialmente mais acelerado, dificulta uma detecção específica; muitas vezes os desenvolvimentos são truncados pelo complexo de fissuras já ramificado que se apresenta.

A predição da vida de fadiga fundamenta-se no conceito de dano cumulativo proposto por Miner – *Lei de Miner* (*Yang H. H. Pavement Analysis and Design. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1993).* O dano é calculado como a razão entre um determinado (ou previsto) número de aplicações de carga e o número máximo admissível de repetições de carga estabelecido considerando algum critério ou nível de falha; o dano é calculado como expresso na equação apresentada a seguir:

$$D = \sum_{i=1}^{T} \frac{n_i}{N_i}$$

em que:

D = dano acumulado;
T = número total de períodos;
n_i = número de solicitações aplicadas no período i;
N_i = número final de solicitações que levam um critério de falha no período i,

a qual evidencia, teoricamente, que a falência por fadiga deve ocorrer a um valor de dano acumulado igual a 1.

E para prever o número de repetições de carga que leva uma mistura asfáltica à fadiga por fissuração, o modelo mais usado é uma função da tensão e/ou extensão de tração e da rigidez da mistura (módulo de rigidez), traduzido pela expressão:

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{k_2} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_3}$$

em que:

N_f = Número terminal de aplicações de carga até atingir a ruptura;
ε = Deformação específica de tração imposta ao ensaio experimental;
E = Módulo de Elasticidade da mistura asfáltica considerada;
k_1, k_2, k_3 = Coeficientes de ajustamento pertinentes a cada mistura asfáltica.

Expostos os princípios básicos que regem o fenômeno da fadiga, o processo de dimensionamento de reforços estruturais demanda, por conseguinte, o cálculo das *tensões horizontais de tração máximas* que desenvolver-se-ão em suas fibras inferiores – mais tracionadas – e também nas fibras inferiores da camada de revestimento asfáltico existente (quando decidido pelo seu aproveitamento), sempre considerando o sistema estratificado solicitado pelas cargas do tráfego. Para o efeito, com base nos critérios clássicos da moderna técnica estruturalista – ditados pela Mecânica dos Pavimentos e alicerçados pela Teoria da Elasticidade – devem ser primeiramente definidas *as leis de variação das tensões e/ou extensões máximas atuantes, estabelecidas em função de diferentes espessuras de reforço estrutural (variação sequencial crescente).*

Na sequência, com base nas características da mistura asfáltica selecionada para a composição da camada de reforço estrutural e também da camada de revestimento existente, devem ser definidas suas respectivas *leis de resistência à fadiga*, estabelecidas com base na consideração

conjunta dos valores das tensões e/ou deformações solicitantes e dos respectivos números de aplicação de carga necessários para conduzi-las à ruptura (*Diagramas de Wöhler*).

O passo final consiste em cotejar os esforços atuantes com os esforços resistentes, intrínsecos a cada material constitutivo, e garantir, através da seleção de espessuras de reforço adequadas, a submissão dos esforços atuantes aos esforços admissíveis; essa verificação, que estabelece a garantia de resistência dos materiais à fadiga imposta pelas cargas do tráfego (futuro), deve ser processada para cada uma das camadas asfálticas consideradas.

4.2.7.3.3.1.2. Lei de variação dos esforços atuantes na face inferior da camada de reforço

A lei de variação dos esforços atuantes é estabelecida pelo cálculo das tensões e/ou extensões de tração na face inferior (fibra mais tracionada) da camada de reforço verificadas para espessuras sequenciais e crescentes, pares homólogos que são gravados em sistemas cartesianos; a majoração das espessuras é processada por incrementos de 0,5 em 0,5cm.

Esse procedimento permite, por conseguinte, estabelecer as leis de variação dos esforços atuantes considerando distintas espessuras de reforço, as quais primam por externarem duas particularidades suis generis. A primeira pelo fato de o desenvolvimento externar sistematicamente a mesma forma curvilínea, similar a uma *catenária invertida*. A segunda, por evidenciar que *uma camada de reforço pode se submeter a diferentes esforços horizontais – de compressão e de tração – consoante sua espessura.*

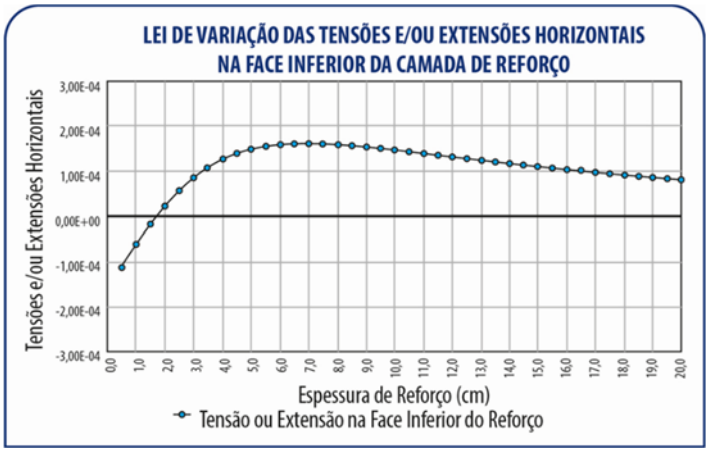


Figura 162 – Esforços horizontais atuantes na face inferior da camada de reforço estrutural sobreposta a um sistema estratificado composto pelo pavimento/solo de fundação.

Da observação das leis de variação obtidas, sempre dispostas em forma de domo, observa-se primeiramente que, quando uma camada de reforço externa espessuras muito delgadas, os esforços que atuam em sua face inferior são de compressão horizontal, particularidade que decorre da "inexistência" de massa inercial própria e respeitável, condicionamento que não lhe confere condições de trabalho como uma "camada" propriamente dita, dotada de "efeito de placa".

Quando externando espessuras delgadas, funciona como uma "massa parasita" que se "incorpora" à camada inferior, a qual passa a ditar sua forma comportamental: a face superior da camada de revestimento existente trabalha em regime de compressão horizontal quando solicitada pelas cargas do tráfego.

Desse modo, uma camada asfáltica de reforço bastante delgada – desprovida de "identidade" própria – não trabalha como uma "camada" na acepção da palavra, ou seja, por não apresentar a rigidez necessária – função de sua "compleição física" – não é dotada de "desejo próprio", e sua tendência será, portanto, se "incorporar" à camada de revestimento existente, acompanhando sua curvatura côncava e trabalhando em regime integral de compressão horizontal.

Com ganhos (incrementos) gradativos de espessura, essa "não camada" vai ganhando massa inercial e se personalizando, criando resistência cada vez maior ao regime de submissão comportamental, até que, ao atingir determinada espessura, a fronteira da obediência é rompida: nesse instante, fisicamente, a "não camada" se transforma em "camada", adquirindo "identidade própria", passando a ser dotada de "efeito de placa" e a se submeter, quando carregada exteriormente, a esforços de tração horizontal em sua fibra inferior e de compressão horizontal em sua fibra superior, disciplinados pela existência de uma "linha neutra".

A partir, portanto, dessa transição comportamental – deformação horizontal "zero" – com o incremento contínuo das espessuras, as tensões horizontais de tração na fibra inferior da camada vão majorando, crescentes até atingirem um determinado pico – domo de uma curva em forma de catenária invertida -–, quando sofrem uma inflexão, ou seja, os esforços de tração horizontal começam a decrescer. Com a continuidade do aumento da espessura, a camada de reforço vai se tornando uma fortaleza inercial e tendendo a se comportar como um bloco monolítico, o qual se submente a esforços de tração horizontal cada vez menores; com elevadas espessuras, as tensões de tração se tornam simbólicas, praticamente nulas.

Concluindo, torna-se importante ressaltar que essa camada, quando dotada de massa inercial substancialmente elevada – exibindo sua fração inferior em estado de repouso passivo, isenta de solicitações – exerce uma proteção ilimitada da camada de revestimento existente, tornando-a praticamente inerte, sem se submeter a quaisquer esforços de fadiga.

4.2.7.3.3.1.3. Leis de Comportamento à Fadiga de Misturas Asfálticas destinadas à Composição dos Reforços Estruturais

Definida a mistura asfáltica a ser empregada na composição do reforço estrutural, devem ser determinadas suas características de comportamento sob a ação de cargas repetidas, as quais são estabelecidas por meio de *ensaios laboratoriais de carregamento dinâmico* ou por *métodos previsionais*, desenvolvidos por organismos internacionais de notório reconhecimento; ambas as vertentes permitem a determinação das leis de fadiga para as misturas asfálticas selecionadas, estabelecidas em função das magnitudes dos esforços máximos aplicados – *tensões e/ou extensões de tração* – e dos respectivos números de aplicações de carga que levam à ruptura.

As leis previsionais, estabelecidas através da compilação de resultados obtidos há mais de meio século por instituições internacionais normativas e de pesquisa de notório conhecimento – englobando uma massa de dados excepcional –, estabelecem as relações entre as tensões e/ou deformações de tração aplicadas (ensaios à tensão constante ou à deformação controlada) com o número terminal de solicitações (Nf), definido por algum critério de ruína.

- Leis de fadiga obtidas por meio de ensaios específicos:

As leis de fadiga são obtidas através da realização de ensaios laboratoriais que empregam procedimentos diversos, podendo se citar, entre os ensaios mais tradicionais, os de tração na flexão, considerando um ou mais pontos de carga e flexão de consolas trapezoidais, aos quais

se soma o ensaio brasileiro de “Tração Indireta por Compressão Diametral”; uma ilustração de um ensaio de tração na flexão é apresentada na figura a seguir.

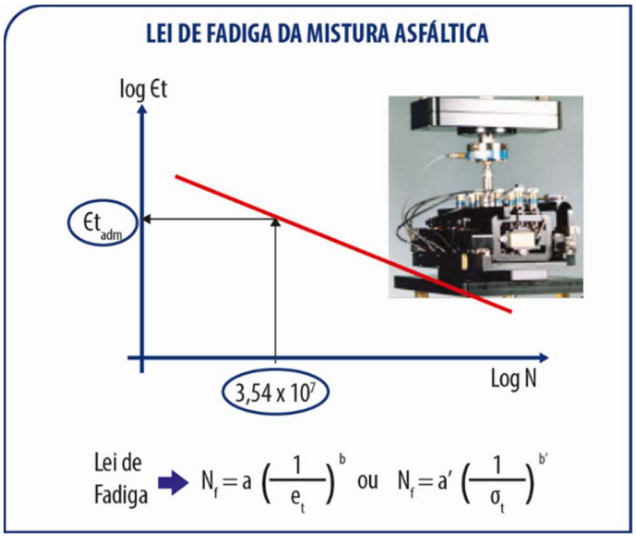


Figura 163 - Determinação das Leis de Fadiga de Misturas Asfálticas por Caracterização Laboratorial

- Leis de fadiga obtidas por correlações analíticas:

Vários são os organismos normativos, centros de pesquisas e universidades que desenvolvem estudos de altíssimas qualificações e propõem leis comportamentais, umas mais simples e outras mais completas, que consideram as principais propriedades fenomenológicas e reológicas dos ligantes asfálticos de constituição e as propriedades físicas das misturas betuminosas.

Dentre as mais simples, que correlacionam apenas os números de aplicações de carga com as tensões e/ou extensões máximas admissíveis, merecem destaque:

Quadro 1 – Leis de fadiga, entidades e pesquisadores

LEIS DE FADIGA, ENTIDADES E PESQUISADORES	
AUTORES	**EXPRESSÕES**
Centre de Recherches Routières – CRR	$E_t = 1{,}600 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}210}$
Transport and Road Research Laboratory – TRRL	$E_t = 5{,}480 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}231}$
University of Texas (B.W. Porter and T.W. Kennedy)	$E_t = 2{,}770 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}329}$
Federal Highway Administration (FHWA)	$E_t = 1{,}930 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}194}$
Pier Ullidtz (Denmark)	$E_t = 2{,}280 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}178}$
Nottingham University Mistura Densa – CAP pen.100 Mistura Densa – CAP pen.180/200 Concreto Asfáltico	 $\epsilon_t = 6{,}810 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}285}$ $\epsilon_t = 11{,}38 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}347}$ $\epsilon_t = 3{,}480 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}204}$
TRRL (Pell e Brown) 7,9% de CAP e 2,9% de vazios 6,5% de CAP e 3,6% de vazios	 $\epsilon_t = 1{,}754 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}196}$ $\epsilon_t = 0{,}873 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}164}$
NAASRA (Austrália)	$\epsilon_t = 3{,}570 \times 10^{-3} \times N^{-0{,}200}$
LNEC (P. Gontijo)	
Estágio de Fadiga – Fissuração Incipiente à Superfície (N_1)	$\epsilon_t(N_1) = 3{,}803 \times 10^{-3} \times N_1^{-0{,}26}$
Estágio de Fadiga – Fissuração em Malha à Superfície (N_2)	$\epsilon_t(N_2) = 6{,}051 \times 10^{-3} \times N_2^{-0{,}29}$
Estágio de Fadiga – Fissuração sem Reação Adicional (N_3)	$\epsilon_t(N_3) = 1{,}618 \times 10^{-2} \times N_3^{-0{,}35}$

Na indisponibilidade de se poder definir em laboratório a Lei de Fadiga da mistura asfáltica selecionada, e caso se queira trabalhar com margem plena de segurança – principalmente em estradas submetidas a tráfego extremamente pesado e volumoso –, julga-se que a seleção da Lei de Fadiga Mais Severa pode ser definida pela análise do espectro envoltório das leis comportamentais propostas por diferentes entidades/pesquisadores, espectro que permite definir os valores limítrofes máximos admissíveis garantidores dos bons e maus comportamentos.

Assim, de modo bastante conservador, mas com segurança plena, a Lei de Fadiga que garante o "bom" comportamento das misturas asfálticas é definida pela expressão:

$$\varepsilon_t = 11{,}10 \times 10^{-3} \, N^{-0{,}349}$$

Na ilustração gráfica exibida a seguir (**Figura 15**), apresenta-se o espectro das Leis de Fadiga consideradas e os limites que disciplinam as garantias de "Bom" e Mau" comportamentos de misturas asfálticas, limites que podem ser considerados bastante conservadores na linha de segurança de resultados; os resultados dizem respeito a valores de deformação relativa de tração horizontal estabelecidos em função no número de aplicação da carga padrão de 8,2t:

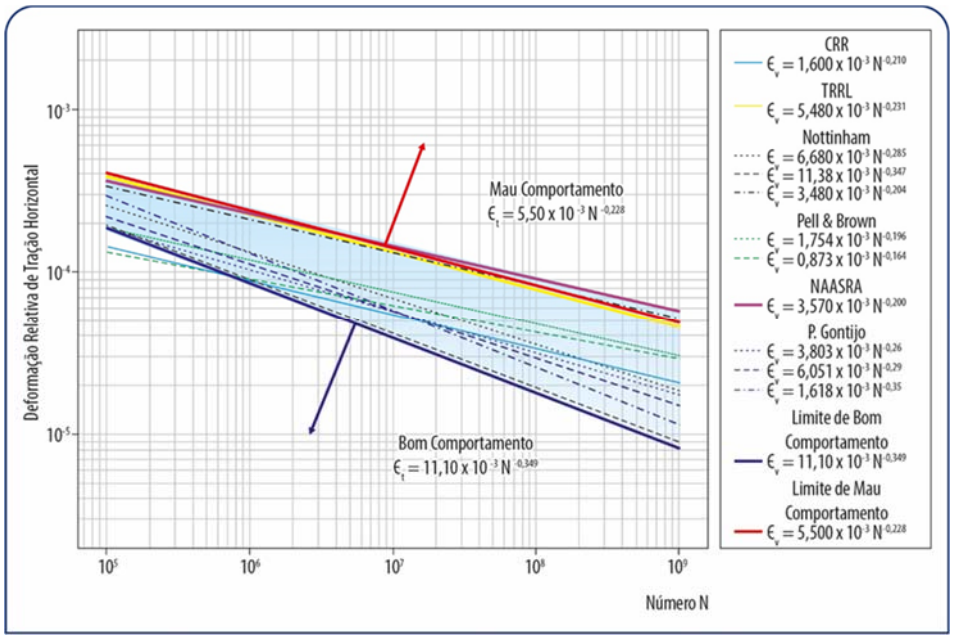


Figura 164 – Espectro de Leis de Fadiga de Fadiga que disciplina os 'Bom" e "Mau" comportamento de misturas asfálticas

Mais recentemente (2004), todavia, os extensos experimentos de campo desenvolvidos pelo Programa SHRP através de seu *Long Term Pavement Performance (LTPP)* com 640 trechos experimentais – aos quais se somaram ainda resultados de pesquisas realizadas por outras entidades associadas – foram objeto de *pesquisa final* patrocinada pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) e propiciaram o desenvolvimento de um Guia de Dimensionamento de Pavimentos nos EUA – *Guide For Mechanistic-Empirical Design Of New And Rehabilitated Pavement Structures*.

As pesquisas realizadas contaram com a cooperação da Federal Highway Administration (FHWA), tendo sido conduzidas pela National Cooperative Highway Research Program, que é administrada pelo Transportation Research Board (TRB) do National Research Council.

No âmbito dos trabalhos desenvolvidos, os pesquisadores do NCHRP 1-37A, após estudos substancialmente específicos, concluíram pela contemplação de apenas dois modelos previsionais de leis de fadiga de misturas asfálticas, os quais foram selecionados para serem avaliados e calibrados com base em dados extraídos de pistas experimentais, *seguramente por suas consistências*.

Os métodos selecionados foram desenvolvidos por dois organismos de renome mundial: a Shell Oil (Bonnaure, F., Gravois, A., and Udron, J. - A New Method of Predicting the Fatigue Life of Bituminous Mixes. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologist, vol. 49, 1980*) e o The Asphalt Institute. *(*Research and Development of the Asphalt Institute's – Thickness Design Manual (MS-1), 9th Edition. *Research Report 82-2, 1982*).

Em face, entretanto, das diferenças nas precisões iniciais aliadas ao fato de o modelo do The Asphalt Institute ter evidenciado melhores tendências e menor dispersão na correlação com os dados de campo, os pesquisadores decidiram abandonar as abordagens com o Shell Oil e de concentrar esforços apenas na calibração final do modelo MS-1.

Essa decisão veio reforçada pelo fato de esse modelo de fadiga adotado ter sido fortemente avaliado em numerosas e expressivas experimentações de campo (640 trechos experimentais);

complementarmente, vale destacar que os pesquisadores não constataram nenhuma evidência efetiva de ocorrência de fissurações longitudinais do tipo top-down.

O modelo de fadiga selecionado foi, por conseguinte, o proposto pelo The Asphalt Institute (Manual Series MS-1), o qual se baseia predominantemente em ensaios de fadiga realizados à tensão constante, tendo sido estabelecido com base em resultados de numerosas e sequenciais experimentações; o modelo é definido por uma lei de fadiga única:

$$N_f = f_0.C\,[4,325\,x\,10^{-3}\;\;x\;(\frac{1}{\varepsilon})^{3,291}\,x\,\left(\frac{1}{E}\right)^{0,854}\;]$$

em que:

Nf = Número terminal de solicitações do eixo-padrão rodoviário;

εt = Deformação específica horizontal na fibra inferior da camada betuminosa;

E = Módulo de rigidez da mistura, em psi;

f0 = Fator laboratório–campo introduzido na equação com o objetivo de converter os resultados de fadiga obtidos em laboratório (bastante mais severos) em resultados de campo e

C = Fator de ajustagem na formulação de diferentes misturas por meio da equação:

$$C = 10^{M} \quad \text{onde} \quad M = 4,84\,x\,\left(\frac{V_b}{V_v + V_b} - 0,69\right)$$

em que:

Vv = Volume de vazios;

Vb = Teor efetivo de betume (%).

Esta equação modelo foi desenvolvida por Witczak et al. (Thickness Design Manual – MS-1 – 9th Edition) que utilizou a relação básica de fadiga desenvolvida por Fred Finn et al. em seu estudo clássico apresentado no NCHRP Project 1-10 (Systems Approach to Pavement Systems Formulation, Performance Definition and Materials Characterization – Final Report – Materials Research and Development, Inc., March 1968) incorporando os ajustes volumétricos desenvolvidos por Carl Monismith et al.

Cabe ressaltar complementarmente o fato de o The Asphalt Institute ter utilizado um fator de calibração igual a 18,4 para ajustar os resultados de laboratório – bastante mais severos que as solicitações de campo – às constatações de campo, considerando um nível de fissuração – nas trilhas de roda – igual a 20%.

4.2.7.3.3.1.4. Verificação da Resistência das Camadas de Reforço à Fadiga

Uma vez estabelecida a lei de variação dos *esforços máximos atuantes* na face inferior da camada de reforço estrutural considerando diferentes espessuras e definido o esforço resistente *máximo admissível* intrínseco à mistura asfáltica selecionada, em função do número de solicitações previsto para sua prestação de serviços futura – *lei de fadiga* –, o passo seguinte, no âmbito da presente metodologia, consiste em promover o respectivo cotejamento, procedimento que visa permitir a definição de espessuras que garantam a plena submissão das *tensões e/ou extensões atuantes à tensão e/ou extensão resistente máxima admissível.*

Desta forma, a definição da espessura final a ser considerada para se contemplar o fenômeno da fadiga na camada de reforço deve ser disciplinada pela compatibilização entre os esforços atuantes e o esforço resistente admissível:

$$\sigma_{h\ (atuante)} \leq \sigma_{t\ (lim.)} \quad \text{e/ou} \quad \varepsilon_{h\ (atuante)} \leq \varepsilon_{t\ (lim.)}$$

Com o objetivo de ilustrar a presente proposição, promoveu-se a representação gráfica da lei de variação dos esforços atuantes máximos na face inferior da camada de reforço considerando diversas espessuras e do esforço resistente máximo admissível, intrínseco à mistura selecionada; a espessura a ser selecionada, tal como já mencionado, deve ser ditada pela garantia de que o esforço atuante não sobrepuje o esforço resistente:

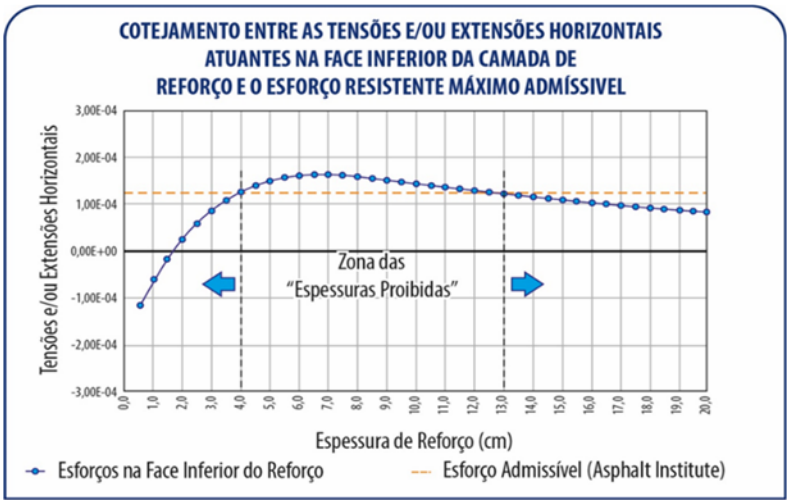


Figura 165 – Cotejamento entre os esforços atuantes na face inferior da camada de reforço e o esforço máximo admissível para o material

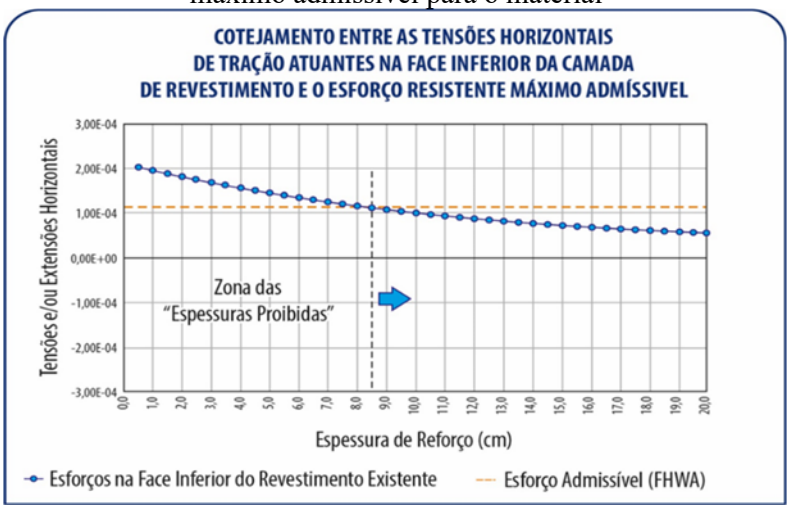


Figura 166 – Cotejamento entre os esforços atuantes na face inferior da camada de revestimento existente e o esforço máximo admissível para o material

4.2.7.3.3.1.5. Espessuras de Reforço para atendimento ao Critério de Fadiga

A proposição de um reforço estrutural requer, pelos compêndios convencionais, a definição da espessura ideal, a qual é normalmente obtida por meio de formulações matemáticas que contemplam uma série de parâmetros de comportamento.

No caso da Metodologia Paragon, a filosofia para definir a espessura de um reforço estrutural é, entretanto, diferente, pois não se busca a espessura ideal e sim a definição das espessuras que não podem ser adotadas, identificadas por aquelas nas quais os esforços atuantes sobrepujam o esforço resistente máximo admissível. Destarte, excluídas as espessuras dispostas na "zona proibida", qualquer espessura atende ao critério proposto.

No caso do dimensionamento do reforço estrutural, o cotejamento entre a lei de variação dos esforços solicitantes e o esforço máximo admissível, intrínseco à mistura asfáltica, estabelece duas "zonas de espessura admissíveis", instituídas pelas interseções da curva de variação dos esforços atuantes com a reta que traduz o valor do esforço resistente admissível: a zona situada aquém da primeira interseção e a zona disposta além a segunda interseção; a zona intermediária define a "zona das espessuras proibidas", na qual os esforços atuantes sobrepujam os esforços resistentes:

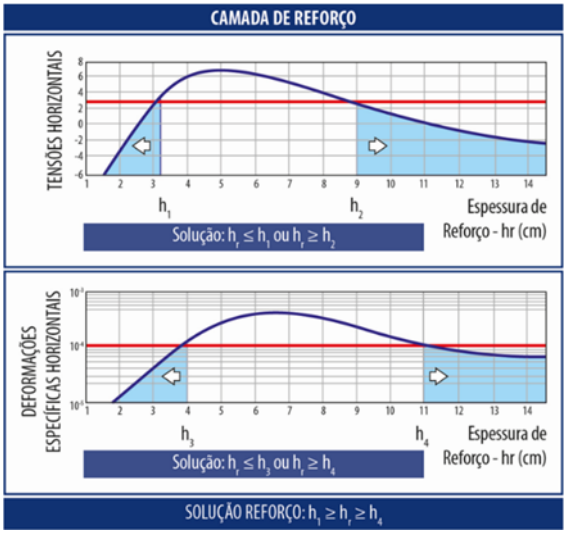


Figura 167 - Cotejamentos entre as leis de variação das tensões e extensões máximas atuantes e os esforços resistentes máximos admissíveis em uma camada de reforço asfáltico

Cabe ainda destacar que em alguns casos – função da robustez da estrutura vigente e do número de solicitações previsto –, o esforço máximo admissível pertinente à resistência à fadiga da mistura preconizada para constituição do reforço estrutural não é atingido pela curva de variação dos esforços atuantes, condição que estabelece uma singularidade notável: qualquer espessura de reforço, tendo em conta a fadiga da mistura asfáltica selecionada, é suficiente; o pavimento não demanda aportes estruturais – em termos de fadiga – para garantir o seu perfeito desempenho durante sua prestação de serviço futura.

4.2.7.3.3.2.2ª Condição de Dimensionamento: Verificação da Resistência do Revestimento Asfáltico Existente à Fadiga

4.2.7.3.3.2.1. Modelos de Fadiga de Misturas Asfálticas

Na ótica da metodologia Paragon, é importante se ter em conta e avaliar a severidade dos esforços de tração que continuarão a solicitar a camada de revestimento existente após o reforço estrutural, haja vista que suas naturezas consumistas responderão, seguramente, pela continuidade do processo de fadiga, embora com menor intensidade.

Assim, tal como evidenciado para a camada de reforço estrutural, os esforços horizontais que se desenvolvem no seio da camada de revestimento existente – mesmo após protegido por uma camada de reforço estrutural – não são simples, pois todos os seus elementos internos são submetidos, de forma sistemática, à esforços de tração horizontal alternada e verticais de compressão, esses diminuindo com a profundidade.

4.2.7.3.3.2.2. Lei de variação dos Esforços Atuantes na Face Inferior da Camada de Revestimento Existente após o Reforço

Como a camada de revestimento existente é dotada de "efeito de placa", torna-se ela sujeita a esforços de tração em sua face inferior, os quais serão máximos quando a camada se encontra desnudada, despida de cobertura, em seu estado natural. Inclusivamente, foi esse nível de solicitação máxima que respondeu pelo presente estágio de fadiga do revestimento existente, o qual passou a reclamar condições de alívio para dar continuidade à sua prestação de serviços futura.

Assim considerando, a definição da espessura de reforço para esse atendimento específico deve ser processada de forma análoga à anterior, garantindo que os esforços solicitantes na face inferior da camada de revestimento existente sejam subordinados ao esforço resistente máximo admissível, intrínseco ao material constituinte e às condições vigentes.

No âmbito da presente metodologia, o processo de resolução dessa exigência consiste, primeiramente, na determinação da lei de variação dos esforços atuantes na camada de revestimento existente, calculada contemplando espessuras de reforço estrutural crescentes, de 0,5 em 0,5cm:

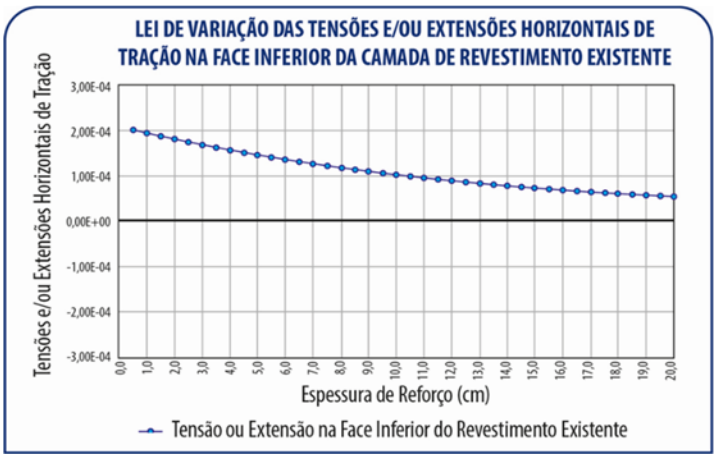


Figura 168 – Esforços de tração atuantes na face inferior da camada de revestimento existente sobreposta por reforço estrutural externando diferentes espessuras

Aplicado esse procedimento, verifica-se que a lei de variação dos esforços na camada de revestimento existente com o aumento das espessuras da camada de reforço é disciplinada por

um comportamento diferenciado daquele verificado para o reforço, pois os valores dos esforços de tração serão, nesse caso, sempre decrescentes: tanto maior a espessura do reforço, tanto menor o esforço atuante na face inferior da camada de revestimento existente.

Essa particularidade, bastante natural face o revestimento externar uma espessura constante – inexistência de espessuras reduzidas – culmina, entretanto, com as mesmas premissas definidas anteriormente, pois grandes espessuras de reforço – dotadas massa inercial notável – aliviam enormemente a camada de revestimento, a qual pode passar a trabalhar em regime de tração simbólico, de muito pequena magnitude; sob tais condições, a camada de revestimento existente se encontra resguardada do fenômeno da fadiga, particularidade que impede a evolução de seu trincamento atual durante sua prestação de serviços futura.

Cabe ressaltar nessa proposição final que os valores modulares das camadas do pavimento (revestimento, base, sub-base) e do solo de fundação são aqueles definidos pela retroanálise e que o valor modular da camada de reforço é determinado em experimentações laboratoriais ou pelo emprego de leis preditivas, fundamentadas nas características físicas da mistura asfáltica e reológicas do ligante asfáltico de constituição.

Na complementação desse processo, vale realçar que a seleção da lei de fadiga para definição dos valores resistentes admissíveis da mistura asfáltica antiga – naturalmente combalida, objeto de inúmeras solicitações e muitas vezes externando fissurações consideráveis que, inclusive, respondem pela demanda das obras de recuperação do pavimento existente –, precisa ser vislumbrada com reservas, tarefa bastante delicada que exige muita meticulosidade e prudência.

4.2.7.3.3.2.3. Leis de Comportamento à Fadiga da Mistura Asfáltica Componente do Revestimento Existente

Conforme exposto, a Metodologia Paragon preconiza avaliar também as condições de resistência à fadiga da camada de revestimento existente quando de sua consideração para composição final do pavimento pós-restaurado, proposição a ser admitida quando externa índices de trincamento máximo da ordem dos 20%.

No âmbito dessa proposição, relembra-se o melindre e a delicadeza de se avaliar a "vida residual de fadiga" de uma camada de revestimento existente, com longa prestação de serviços e já externando níveis consideráveis de fissuração (máximo de 20%), caso contemplada a sua permanência na estrutura final após o reforço. Para o efeito, ajuizou-se, após uma série de análises e contemplações, que a lei de fadiga mais apropriada para contemplar as condições vigentes seria aquela desenvolvida pela Highway Administration – FHWA (1985), estabelecida contemplando o emprego de parâmetros de formulação pertinentes à mistura existente e características fenomenológicas do ligante recuperado.

Essa lei previsional, selecionada com o objetivo de se avaliar a resistência residual à fadiga de uma mistura asfáltica já combalida, para além da consideração do percentual de trincamento nas trilhas de roda, considera os seguintes parâmetros principais:

- o módulo de rigidez do revestimento existente (definido por meio das retroanálises);
- a deformação específica máxima de tração calculada na face inferior da camada asfáltica, e
- o teor volumétrico do ligante asfáltico recuperado e suas características fenomenológicas e reológicas (penetração, temperaturas de amolecimento e da mistura, índice de suscetibilidade térmica, índice de penetração, etc.).

A lei proposta pela FHWA – Federal Highway Administration é definida pela expressão (1985):

$$N_f = f_i\,[2,67\ x\ 10^{-10} x\ \beta^5 x\ \varepsilon_t^{-5}\ x\ |E^*|^{-1,4}]$$

em que:

Nf = Vida de fadiga da camada asfáltica;

β = 0,300 x PI - 0,015 x PI x Vb - 0,198;

em que:

PI = (20 - 500 x IST)/(1 + 50 x IST);

IST = (log 800 - log Pen)/(Tab - Tpen)

E* = Módulo dinâmico (ksi);

εt = Deformação máxima de tração atuante na camada asfáltica;

IST = Índice de susceptibilidade térmica do asfalto;

PI = Índice de penetração do asfalto;

Tab = Temperatura de amolecimento "Anel & Bola";

Tpen = Temperatura do ensaio de penetração (Fº);

Vb = Volume de asfalto (%);

fi = Fator de calibração laboratório – campo do modelo:

a) 12,32 para 10% ou menos de área com trincas FC-2;

b) 16,20 para 20% de área com trincas FC-2.

Nessa equação da FHWA observa-se a contemplação de um fator de calibração denominado laboratório – campo, proposto para se estabelecer uma maior identidade entre os resultados obtidos em ensaios de laboratório – extremamente mais severos, realizados de forma continuada sob carregamentos constantes e processados até que haja a ruptura do corpo de prova – e as solicitações reais, verificadas no campo, onde as cargas ocorrem de formas atemporal e aleatória; tais fatores de ajuste são tanto mais condescendentes quanto maior o índice de fissuração admitido.

Todavia, tendo em conta que a camada de revestimento a ser avaliada já se encontra combalida, externando índices de fissuração de até 20%, ajuíza-se que para o cálculo sua vida de fadiga residual se justifica a abstração desse fator de ajuste, adotando a lei de fadiga da FHWA na sua forma original. Embora essa proposição já agregue, per se, um caráter bastante conservador, julga-se que a debilidade adquirida durante a prestação de serviços da camada de revestimento pode ser mais adequadamente contemplada descontando o número de aplicações de carga já suportado pelo pavimento existente (admissão de maiores extensões de tração):

$$N_f - N_{Suportado} = [2,67\ x\ 10^{-10}\ x\ \beta^5\ x\ \varepsilon_t^{-5}\ x\ /E^*/^{-1,4}]$$

Finalmente, a título de acautelamento, cumpre lembrar mais uma vez que o cotejamento entre os esforços de tração atuantes na face inferior da camada de revestimento antigo e o valor de sua vida de fadiga residual precisa ser vislumbrado com reservas, sempre com muita

meticulosidade e prudência. Entretanto, julga-se que a contemplação do nível de "alívio" proporcionado à camada existente pela sobreposição da camada de reforço, "fecha o cerco" a eventuais falhas por omissão, as quais podem responder por insucessos causais – e nunca considerados –, decorrentes de falência comportamental externada pela camada de revestimento.

4.2.7.3.3.2.4. Verificação da Resistência da Camada de Revestimento Existente à Fadiga

Uma vez estabelecidas a lei de variação dos *esforços máximos atuantes* na face inferior da camada de revestimento existente considerando distintas espessuras de reforço e selecionada a lei de fadiga para definição do *esforço resistente máximo admissível* para o número de solicitações previstos para incidir sobre o pavimento durante sua prestação de serviços futura, o passo seguinte, no âmbito da presente metodologia, consiste em promover o respectivo cotejamento.

Esse procedimento final almeja, por conseguinte, definir as espessuras de reforço que garantam a plena submissão das *tensões e/ou extensões horizontais de tração máximas atuantes à tensão e/ou extensão resistente máxima admissível* pertinente ao material constituinte da camada de revestimento existente, determinada em função do número de aplicações de carga previsto para sua prestação de serviços futura (Lei de Fadiga). Essa exigência assim se expressa:

$$\sigma_{h\ (atuante)} \leq \sigma_{t\ (lim.)} \quad \text{e/ou} \quad \varepsilon_{h\ (atuante)} \leq \varepsilon_{t\ (lim.)}$$

Com o objetivo de ilustrar a presente exigência, promoveu-se a representação gráfica da lei de variação dos esforços atuantes máximos na face inferior da camada de revestimento existente considerando diversas espessuras e do esforço resistente máximo admissível, intrínseco à mistura existente; a espessura a ser selecionada, tal como já mencionado, deve ser ditada pela garantia de que o esforço atuante não sobrepuje o esforço resistente:

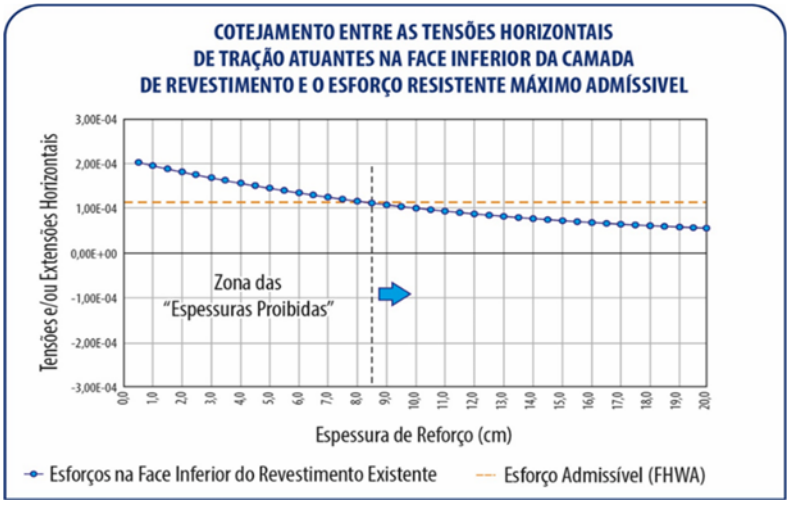


Figura 169 – Cotejamento entre os esforços atuantes na face inferior da camada de revestimento existente e o esforço máximo admissível para o material

4.2.7.3.3.2.5. Espessuras de Reforço para Atendimento ao Critério de Fadiga

A Metodologia Paragon preconiza a verificação, de forma Adicional, da qualificação da camada de revestimento asfáltico existente para a sua prestação de serviços futura (vida de projeto), a ser processada contemplando os esforços de tração que atuarão sua fibra mais tracionada (após o reforço) e seu esforço resistente máximo admissível.

Assim, caso definido pelo aproveitamento dessa camada de revestimento no âmbito da estruturação final, julga-se importante – em que pese algumas (válidas) contestações – aferir ou pelo menos avaliar seu comportamento futuro frente ao número de solicitações a que ainda será submetida, sistemática que objetiva "fechar o cerco" a eventuais falhas por inadequabilidade intrínseca.

Assim considerando, o reforço estrutural passa a ter uma responsabilidade a mais, qual seja, a se proteger também a camada de revestimento asfáltico existente. Sua obrigação única é garantir alívio à camada de revestimento existente garantindo, com sua espessura, que os esforços de tração que a atuarão sejam submissos ao seu esforço resistente máximo admissível; o esforço solicitante máximo na camada de revestimento – marco inicial – se verifica quando ela ainda se encontra desnudada, despida de qualquer cobertura (sem camada de reforço).

Sob tais condições, a interseção da reta correspondente ao valor limite máximo admissível de fadiga só intercepta a curva de variação dos esforços atuantes com as variações de espessura uma única vez, estabelecendo, assim, duas zonas de admissibilidade: a zona disposta antes da interseção que corresponde à zona de espessuras proibidas (esforços atuantes superiores ao esforço resistente da camada de revestimento) e a zona disposta após a interseção que traduz a zona das espessuras admissíveis (esforços atuantes submissos ao resistente). A seleção da espessura final de reforço fica a critério do projetista, porém, sempre condicionada às demandas das outras condições de dimensionamento.

Por fim, cabe destacar que em alguns casos – função da robustez do reforço estrutural e da qualificação do revestimento existente –, o limite de resistência máximo admissível da camada de revestimento existente pode não ser atingido pela curva de variação dos esforços atuantes, condição que estabelece uma singularidade notável: a camada de revestimento existente não demanda quaisquer benefícios estruturais para sua prestação de serviços futura (Figura 21).

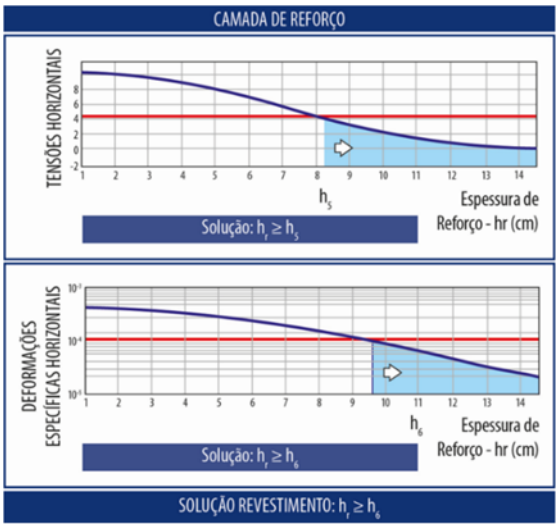


Figura 170 - Cotejamentos entre as leis de variação das tensões e extensões máximas atuantes e os esforços resistentes máximos admissíveis na camada de revestimento existente

4.2.7.3.3.2.6. Condição de Verificação Adicional: Resistência à Fadiga de Camadas de Base ou Sub-base Compostas com Cimento Portland

Quando os pavimentos são compostos com camadas de base ou sub-base cimentadas – dotadas de "efeito de placa" – são eles denominados "semirrígidos", e tais camadas, quando sujeitas a carregamentos externos, são submetidas a esforços de tração em suas faces inferiores, os quais, caso excessivos ou de monta significativa, respondem por seus processos de trincamento por fadiga, portanto distintos daqueles derivados de origens térmicas (acomodação volumétrica).

A surgência e evolução do processo de trincamento por fadiga se dá de forma similar àquela que ocorre nas camadas asfálticas, e a vida de fadiga é definida pela relação entre as tensões e/ou deformações específicas e o número terminal de aplicações de carga.

Assim, tendo em conta os benefícios que advêm do emprego de camadas cimentadas de elevada rigidez na constituição dos pavimentos, capazes de aliviar sobremaneira as tensões no topo do leito do pavimento, torna-se naturalmente necessário ter em conta, no dimensionamento de um reforço estrutural – quando for o caso – também os critérios de ruptura por fadiga das camadas tratadas com cimento.

Entretanto existe uma diferenciação comportamental natural entre as "bases cimentadas", tratadas com percentuais elevados de cimento Portland – sempre superiores a 5% – e as "bases modificadas (ou melhoradas) com cimento", as quais são contempladas com reduzidos teores de cimento Portland, da ordem dos 3 a 4%. Nas primeiras, que podem ser compostas com britas graduadas ou solos, são naturais as ocorrências de trincas por retração térmica, que demandam avaliações através de ensaios de resistência à tração, e nas segundas, compostas com os mesmo materiais e teores mais reduzidos de cimento, não se verificam trincamentos de acomodação volumétrica, podendo suas características de suporte serem definidas por ensaios CBR.

4.2.7.3.3.2.7. Leis de Comportamento à Fadiga de Bases de Solo Cimento (SC) e de Solo Modificado (Melhorado) com Cimento (SMC)

Mais recentemente, quando do desenvolvimento do novo Guia de Dimensionamento de Pavimentos - MEPDG dos EUA, a Portland Cement Association (PCA) fez novas

experimentações para rever seus antigos modelos de fadiga para bases de Solo-Cimento (SC) e de Solos Modificados (ou Melhorados) com Cimento (CMS).

De forma objetiva, avaliaram primeiramente os procedimentos laboratoriais necessários para definição do Módulo Resiliente (Mr) e do Módulo de Ruptura (Mrup), estabeleceram os conceitos e desenvolveram software específico para dimensionamento mecanístico de pavimentos compostos com bases cimentadas que consta do Manual for the CTB Computer Thickness Design Program – Thickness Design Systems for Pavements Containing Soil-Cement Bases – Scullion T. et alli. – PCA R&D SN2863 – 2008.

Tendo em conta as manifestações relatadas pelos pesquisadores sobre as dificuldades de realizar ensaios laboratoriais de fadiga com misturas solo-cimento e solos modificados com cimento – fundamentalmente os ensaios de módulos resilientes e de ruptura –, a PCA julgou extremamente válido adotar o modelo de fadiga da ASSHTO (2004) estabelecido no âmbito do projeto NCHRP 1-37A, o qual estabeleceu a lei de previsão de trincamento por fadiga para camadas estabilizadas com cimento Portland a seguir expressa:

$$logN_f = \frac{0{,}972\beta_{c1} - \sigma_t / M_{rup}}{0{,}0825\beta_{c2}}$$

em que:

N_f = Número de repetições para trincamento por fadiga da camada cimentada;
σ_t = Tensão máxima de tração induzida na fibra inferior da camada cimentada sob carga (psi);
M_{rup} = Módulo de Ruptura (Resistência Estática à Tração na Flexão – $f_{t,f}$ aos 28 dias) (psi);
βc1, βc2 = Fatores de calibração em campo para bases tratadas com cimento.

O processo de calibração desse novo modelo de fadiga para os solos-cimento foi composto de três etapas:

- na primeira etapa, as equações de dimensionamento da Portland Cement Association (PCA) (Packard 1970) foram usadas para calcular o número de repetições de carga para falha (Nf) para uma série de trechos experimentais de pavimento;

- na segunda, empregou-se um programa de cálculo elástico linear para o cálculo da tensão induzida (σt) na camada cimentada e cálculo da razão σt/Mrup para os pavimentos de cada trecho experimental, considerando os tipos de veículos comerciais e distintas configurações de carga e

- na terceira, foram feitas análises de regressão para gerar valores para os fatores de calibração de campo β da expressão anterior; os valores definidos foram:

Solos granulares:

(A-1, A-3, A-2-4 e A-2-5)
βc1=1,0645, βc2=0,9003

Solos finos:

(A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A6 e A-7)
βc1=1,8985, βc2=2,5580

Complementarmente, vale citar que a PCA desenvolveu, há muitos anos, uma relação de fadiga para projetar pavimentos contendo bases estabilizadas quimicamente com cimento Portland. Essa relação é também uma função da relação de tensões, mas de forma exponencial:

$$N_f = \left(\frac{\beta_{c4}}{\sigma_t / M_r}\right)^{\beta_{c3}.20}$$

em que:

- Bases tratadas com cimento:

$$Bc3 = 1{,}0259,\ \beta c4 = 1{,}1368$$

- Solos granulares finos:

$$Bc3 = 0{,}6052,\ \beta c4 = 2{,}1154$$

Dessas duas proposições, verificam-se duas nomenclaturas diferentes para os módulos empregados – Módulo de Ruptura – Mrup e Módulo Resiliente – Mr – decorrentes dos diferentes métodos de ensaio aplicados, para os quais se estabeleceram, seguidamente, correlações extremamente interessantes, principalmente tendo-se em conta as proclamadas dificuldades (relatadas pelos pesquisadores), as indisponibilidades de execução de ensaios mais elaborados e sofisticados e as facilidades decorrentes da realização de ensaios de resistência à compressão simples (RCS).

Para aclarar a distinção entre os métodos de ensaio retrocitados e as correlações estabelecidas, apresenta-se, a seguir, uma explanação sintética:

- *Módulo Resiliente* – Mr

O método de ensaio empregado para determinação do Módulo Resiliente (Mr) foi o AASHTO T 292-91 e os ensaios foram processados com o emprego dos corpos de prova cilíndricos dotados de índice de esbeltez λ = 2 (6 x 12 polegadas) – após 7 dias e 28 dias de cura úmida – submetidos a um nível de carregamento igual a 100psi; as cargas foram aplicadas ciclicamente com tempos de carga igual a 0.1s e de repouso igual a 0,9s com corpos de prova não confinados.

A deformação axial total resistente de cada espécime, após um período de condicionamento de 200 ciclos, foi medida com LVDT, e os resultados dos últimos cinco ciclos foram usados para calcular o módulo resiliente.

- *Módulo de Ruptura* – Mrup

Nos estudos efetuados foram feitos também ensaios para determinação do Módulo de Ruptura (Mrup) empregando o método de tração estática na flexão, com o uso de vigotas pré-moldadas após 28 dias de cura úmida; uma representação esquemática do ensaio é apresentada na Figura 22.

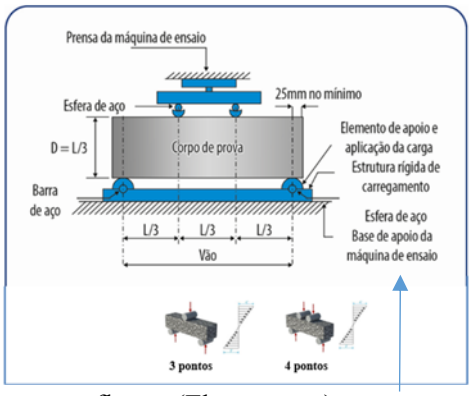


Figura 171 - Ensaio de tração na flexão (Flexotração) com carregamento de quatro pontos

- Resistência à Compressão Simples (RCS)

Dos procedimentos de ensaios feitos, a pesquisa evidenciou, de forma clara e explícita, que a realização dos ensaios de módulo resiliente com solo-cimento é extremamente difícil de executar, pois a preparação do corpo de prova e a montagem dos sensores são muito difíceis, além de demandarem equipamentos sofisticados e onerosos; somam-se a essas dificuldades os problemas de ruído nos sinais detectados pelos sensores, os quais comprometem seriamente os resultados obtidos.

Desta forma, apostando nas facilidades de execução dos ensaios para determinação da Resistência à Compressão Simples sem confinamento (ASTM D1633), empregaram corpos de prova cilíndricos com carga aplicada continuadamente e sem choque, a uma velocidade constante e igual a 0,135in./min (3,4mm/min), sem os corpos de prova serem submetidos à imersão em água por 4 horas. Os CP eram cilíndricos com índice de esbeltez λ = 2, porém externando distinção nas dimensões: para os ensaios de solo-cimento, corpos de prova cilíndricos de 4 x 8 polegadas e para os solos modificados com cimento, 6 x 12 polegadas.

Assim, no âmbito dos estudos efetuados, estabeleceram-se correlações dos resultados RCS com os módulos resiliente e de ruptura, a saber:

- *Módulo de Resiliência* – Mr versus Resistência à Compressão Simples – RCS28 dias:

$$\boldsymbol{M_r = 62,5\sqrt{RCS_{28\,dias}}}$$

em que:

Mr = Módulo Resiliente (ksi);
RCS = Resistência à compressão simples (psi).

- *Módulo de Ruptura* – Mrup versus Resistência à Compressão Simples – RCS28 dias:

$$\boldsymbol{M_{rup} = 5,285\sqrt{RCS_{28\,dias}}}$$

em que:
Mr = Módulo Resiliente (ksi);
RCS = Resistência à compressão simples (psi),
Finalmente, em uma busca de equacionar um grande problema dos projetistas de pavimentos – a longa espera relativa a um período de cura de 28 dias –, os pesquisadores desenvolveram

correlações entre o Módulo de Ruptura após os 28 dias de cura – Mr28 e a Resistência à Compressão Simples com 7 dias de cura – RCS7, tendo-se obtido os seguintes resultados:

- Bases de Solo-Cimento:

$$M_{r28} = 7{,}24\sqrt{RCS_7}$$

- Bases de Solo Modificado com Cimento:

$$M_{r28} = 6{,}04\sqrt{RCS_7}$$

em que:
M_r = Módulo Resiliente (ksi);
RCS = Resistência à compressão simples (psi).
Com base em sua experiência pregressa, a Metodologia Paragon, considera-se que a resistência à compressão simples aos 7 dias – RCS7 de misturas solo-cimento deve atender aos seguintes limites:

- Solo modificado com cimento:

Sub-Base: 1,2 a 2,0MPa
(174,045 a 290,075psi)
Base: 1,6 a 2,1MPa
(232,060 a 304,579psi)

- Solo-cimento:

Sub-Base: superior a 2,0MPa
(> 290,075psi)
Base: superior a 2,1MPa
(> 304,579psi)

Misturas do tipo solo tratado (melhorado ou modificado) com cimento e solo-cimento poderão ser, complementarmente, avaliadas em função do Índice de Suporte Califórnia da mistura, e a energia de compactação a empregar será correspondente à do Proctor Intermediário; opcionalmente, em função das características da mistura – agregados mais graúdos –, pode ser avaliado o emprego de energias de compactação mais elevadas.

4.2.7.3.3.2.8. Leis de Comportamento à Fadiga de Bases de Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)

No caso das bases cimentadas – dotadas de "efeito de placa" –, as leis de fadiga podem ser determinadas por meio de ensaios laboratoriais ou por leis previsionais preconizadas por instituições e centros de pesquisa de renome mundial que promovem pesquisas e ensaios há muitas décadas; a realização de ensaios laboratoriais constitui, naturalmente, um procedimento ideal, em que pese a enorme dificuldade de obter corpos de prova com os padrões de nivelamento exigidos.

As camadas de brita graduada tratadas com elevados teores de cimento Portland (BGTC) - sempre superiores a 5% - se credenciam, naturalmente, à submissão de esforços de tração

horizontal (tensões - σt e/ou extensões - εt), máximos em sua face inferior, que, caso não devidamente contemplados, podem responder por suas rupturas por fadiga. As camadas de brita graduada tratadas com reduzidos percentuais de cimento Portland -da ordem dos 3 a 4% - não externam rigidez compatível para exercerem o “efeito de placa”, não sendo, por conseguinte, acometidas de tensões/extensões de tração.

As leis preditivas de fadiga de bases cimentadas são expressas em termos de tensões ou extensões de tração, podendo-se citar, como exemplo, as desenvolvidas pelos pesquisadores indicados no quadro a seguir:

Quadro 2 – Leis de previsão da fadiga de bases e sub-base cimentadas

LEIS DE PREVISÃO DA FADIGA DE BASES E SUB-BASE CIMENTADAS		
PESQUISADORES	**PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO**	**LEI DE FADIGA**
Gschwendt et al.	Tensões de tração	$\frac{\sigma_{tf}}{\sigma_{tf\,(28\ dias)}} = 0{,}84 - 0{,}074\ logN$
Autret P. et al.	Tensões de tração	$\frac{\sigma_{t}}{\sigma_{tf\,(28\ dias)}} = 1{,}2 - 0{,}132\ logN$
Verstraeten J. et al.	Extensões de tração	$\frac{\varepsilon_{tf}}{\varepsilon_{tf\,(28\ dias)}} = 1{,}0 - 0{,}050\ logN$
Freme et al.	Extensões de tração	$\frac{\varepsilon_{tf}}{\varepsilon_{tf\,(28\ dias)}} = 0{,}83 - 0{,}091\ logN$
$\sigma_{tf(28\ dias)}$ e $\varepsilon_{tf(28\ dias)}$ = tensão ou extensão de ruptura na flexão aos 28 dias em ensaio de carregamento único (estático) σ_t e ε_t (N, P) = tensão e extensão calculadas em função do número N de aplicações de uma carga P		

Dentre as análises efetuadas, julgou-se que a lei de fadiga que melhor se apresentou, por ter-se baseado em resultados obtidos em experimentações de campo empregando o Heavy Vehicle Simulator, foi a proposta no South African Pavement Engineering Manual (SAPEM), desenvolvido na África do Sul:

$$N_f = 10^{7{,}19\,(1-\frac{\sigma_t}{8\sigma_r})}$$

em que:
Nf = Número equivalente de solicitações do eixo-padrão de 8,2t (rodas duplas) requerido para iniciar a primeira trinca por fadiga;
σt = Tensão horizontal de tração máxima solicitante (kgf/cm2);
σr = Tensão de tração na ruptura do material (kgf/cm2).
Complementarmente a essa equação preditiva, o SAPEM preconiza, com relação ao desempenho das camadas de BGTC, um modelo analítico definido pela progressão do trincamento por fadiga e estabelecido em termos de redução de seu módulo de elasticidade efetivo, traduzido pela equação:

$$\frac{E_{efetivo}}{E_0} = 0{,}1 + \frac{1}{0{,}505\,(N/N_f)^2 - 0{,}125\,(N/N_f) - 0{,}731}$$

em que:
Eef = Módulo de elasticidade efetivo vigente da camada (kgf/cm2);
E0 = Módulo de elasticidade da BGTC obtido em laboratório - camada integra com considerada no dimensionamento (kgf/cm2);
N = Número acumulado de solicitações do eixo-padrão e
Nf = Número de solicitações do eixo-padrão demandado para o início do trincamento da camada de BGTC (equação SAPEM).

4.2.7.3.3.3.3ª Condição de Dimensionamento: Verificação da resistência do solo de fundação à deformação permanente

4.2.7.3.3.3.1. Modelos de Deformação Permanente dos Solos de Fundação

A verificação da resistência dos solos de fundação à deformação permanente, considerando similarmente o estado tensional imposto ao sistema estratificado pelas cargas do tráfego demanda, primeiramente, o cálculo das tensões e/ou deformações verticais de compressão máximas que irão atuar nas diversas camadas do pavimento, mas notadamente o solo de fundação.

Para efeito, com base nos critérios clássicos da moderna técnica estruturalista – ditados pela Mecânica dos Pavimentos, alicerçada na Teoria da Elasticidade – devem ser devidamente definidas as leis de variação das tensões e/ou extensões verticais de compressão máximas atuantes no sistema pavimento – solo de fundação considerando diferentes espessuras de reforço estrutural (variação sequencial crescente) sobrepostas ao pavimento.

Na sequência, devem ser selecionadas as leis de resistência das camadas granulares e dos solos de fundação à deformação permanente, estabelecidas pela contemplação conjunta dos valores das tensões e/ou extensões aplicadas e dos respectivos números de aplicação de carga necessários para conduzi-los a um nível de deformação preestabelecido ou à ruptura.

O passo final consiste em cotejar os esforços atuantes com os esforços resistentes, intrínsecos a cada material constitutivo, de modo que se possa garantir a submissão dos esforços atuantes ao limite de resistência máximo admissível, condição que estabelece a garantia de resistência à deformação permanente almejada.

4.2.7.3.3.3.2. Lei de Variação dos Esforços de Compressão Atuantes no Topo do Subleito

O cálculo dos valores dos esforços verticais de compressão no topo (máximos) das camadas granulares e no solo de fundação constitui tarefa já devidamente resolvida – Programa RetroStrata – e a grande dificuldade que se apresenta na definição das leis regedoras da resistência dos materiais granulares às tensões e deformações verticais de compressão, state-of-the-art ainda incipiente e carente de mais pesquisas.

No que tange aos solos de fundação, as leis de resistência à deformação permanente já são de maior domínio técnico, tendo sido objeto de proposições por vários pesquisadores e entidades de notório reconhecimento.

Desse modo, no âmbito da Metodologia Paragon, a avaliação da resistência às deformações permanentes ficou restrita aos solos de fundação, para os quais se pôde propor o cotejamento entre os esforços atuantes no solo de fundação – considerando diferentes e crescentes espessuras de reforço – e o seu esforço resistente máximo admissível.

O fato de garantir a resistência necessária aos solos de fundação – o mais frágil dos componentes do sistema – já traz consigo certo alento, pois, como será evidenciado logo a seguir, limitando-se as deformações verticais reversíveis ao nível do solo de fundação, limitam-se também, por decorrência, as deformações verticais nas camadas restantes.

A lei de variação dos esforços atuantes é, portanto, estabelecida pelo cálculo das tensões e/ou deformações relativas ocorrentes no topo do solo de fundação – face superior, submetida ao

esforço vertical de compressão máximo – considerando camadas de reforço com espessuras sequenciais e crescentes, pares homólogos que são gravados em sistemas cartesianos; a majoração das espessuras da camada de reforço é processada com incrementos de 0,5 em 0,5cm.

Esse procedimento permite, por conseguinte, estabelecer as leis de variação dos esforços atuantes no topo do solo de fundação considerando distintas espessuras de reforço, as quais primam por externarem uma variação única, caracterizada pelo fato de que, quanto maior a espessura da camada de reforço, menores serão as deformações verticais impostas aos solos de fundação, conforme pode ser observado a seguir.

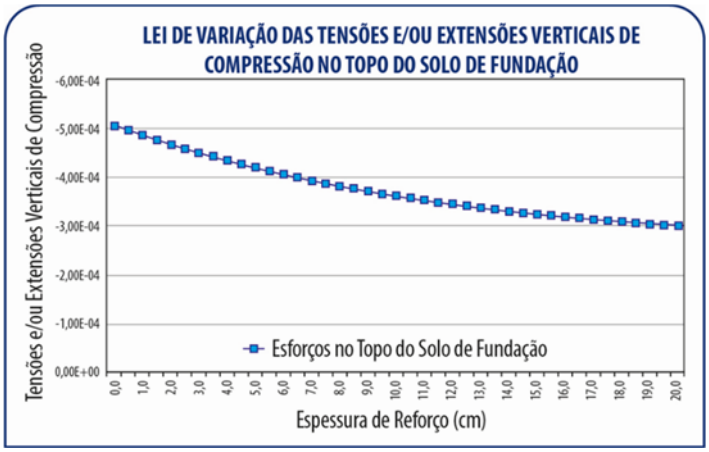


Figura 172 – Representação esquemática da lei de variação das extensões verticais de compressão no topo do solo de fundação e das camadas granulares do pavimento existente

Finalmente, cabe ressaltar que os valores modulares das camadas do pavimento existente e do solo de fundação a serem utilizados são aqueles definidos por retroanálise e o valor modular da camada de reforço deve ser determinado com base nas principais propriedades fenomenológicas e reológicas do ligante asfáltico selecionado, nas propriedades físicas da mistura asfáltica dosada e nas frequências de aplicação das cargas solicitantes.

4.2.7.3.3.3.3. Leis de Comportamento dos Solos de Fundação à Deformação Permanente

Seguidamente, deve ser determinada a resistência dos solos de fundação ao acúmulo de deformações permanentes sob a ação de cargas repetidas, as quais podem ser derivadas de ensaios laboratoriais de carregamento dinâmico ou do emprego de métodos previsionais, desenvolvidos por organismos internacionais de notório reconhecimento; esses procedimentos permitem a determinação dos valores das tensões e/ou extensões verticais de compressão máximas admissíveis externadas pelos solos de fundação em função dos números de aplicações de cargas (leis de fadiga).

Cabe destacar sobre essa vertente de leis previsionais o fato de suas consistências advirem de experimentações processadas em inúmeros programas integrados de cooperação internacional nos quais se estudaram as resistências dos solos de fundação ao acúmulo de deformação permanente em função do número de repetições de carga.

A ideia de limitar a deformação vertical de compressão foi inicialmente proposta pela Shell – *The Shell Method*. Claessen. A. I. M et al. Fourth International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement. Ann Arbor, Michigan, 1977 – partindo de premissas de que as deformações permanentes resultam do acúmulo das deformações experimentadas pelas várias camadas e que são proporcionais às deformações verticais reversíveis.

A partir dessa admissão, a ideia foi estabelecer valores limitativos para as deformações verticais reversíveis ao nível do solo de fundação através de experimentações laboratoriais e análises comportamentais de pavimentos (in loco), as quais ainda se estenderão, seguramente, também para as camadas granulares sobrejacentes.

- Ensaios laboratoriais para a determinação da deformação permanente no solo de fundação:

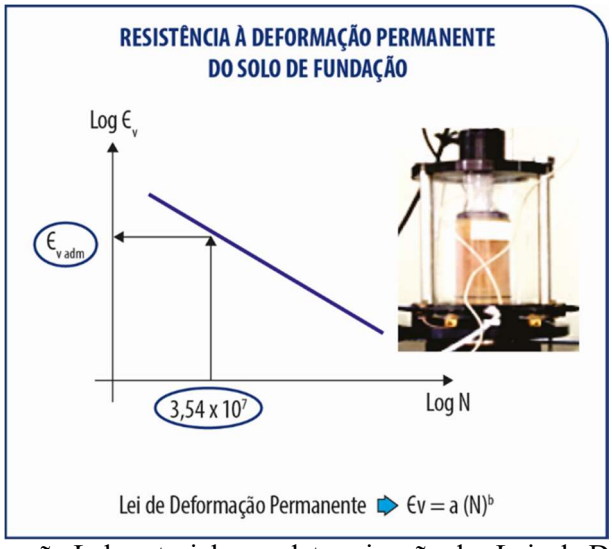


Figura 173 – Caracterização Laboratorial para determinação das Leis de Deformação Permanente

- Leis de deformação permanente obtidas por correlações analíticas:

Lei de Acúmulo de Deformação Permanente - $\varepsilon_z = a \cdot N^b$			
ORGANISMO/ PESQUISADOR	**CRITÉRIO TERMINAL**	**a**	**b**
CENTRE DES RECHERCHES ROUTIÉRES (CRR)	-	$1,10 \times 10^{-2}$	-0,23
SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY	Confiabilidade 50%	$2,80 \times 10^{-2}$	-0,25
	Confiabilidade 85%	$2,10 \times 10^{-2}$	
	Confiabilidade 95%	$1,80 \times 10^{-2}$	
SHELL HOLANDESA - ISLA (Dormon e Metcalf)	-	$1,16 \times 10^{-2}$	-0,21
ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES	-	$2,10 \times 10^{-2}$	-0,24
TRANSPORT AND ROADS RESEARCH LABORATORY (TRRL)	Flecha de 10mm	$1,50 \times 10^{-2}$	-0,253
NAASRA (D. W. Porter / G. S. Donald)	Flecha de 20 a 30mm	$0,85 \times 10^{-2}$	-0,14
THE ASPHALT INSTITUTE (L. E. Santucci)	Flecha de 13mm	$1,05 \times 10^{-2}$	-0,223
NOTTINGHAM UNIVERSITY	Deformações Excessivas	$2,16 \times 10^{-2}$	-0,28
UNIVERSITY OF CALIFORNIA (CARL MONISMITH)	-	$1,05 \times 10^{-2}$	-0,2234
LABORATOIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES (LCPC)		$2,10 \times 10^{-2}$	-0,24
		$2,40 \times 10^{-2}$	
O LCPC recomenda, para reforços de pavimento, o valor 2,40 e para estradas de menor tráfego, o valor 2,10			

Figura 174 - Lei de Acúmulo de Deformação Permanente

LEI DE ACÚMULO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE FUNDAÇÃO

KERKHOVEN E DORMON

$$\sigma_{z\,(admissível)} = \frac{0,007 \times E_{solo\ de\ fundação}}{1 + 0,7 \log N}$$

* E em kgf/cm²

CENTRE DES RECHERCHES ROUTIÈRES - BÉLGICA

$$\sigma_{z\,(admissível)} = \frac{0,09607 \times CBR_{solo\ de\ fundação}}{N^{1/4,35}}$$

CENTRE DES RECHERCHES ROUTIÈRES - BÉLGICA

Flecha nas Trilhas de Roda < 10mm:

$$\varepsilon_z \times 10^{-6} = \frac{250}{(N/f)^{0,27}}$$

Flecha nas Trilhas de Roda ≤ 20mm:

$$\varepsilon_z \times 10^{-6} = \frac{451,3}{(N/f)^{0,28}}$$

* O fator fr varia de 1,0 a 1,56; para misturas faixas C e B DNIT igual a 1,56

Figura 175 – Leis de acúmulo de deformação permanente em função das características do solo de fundação

Na impossibilidade de poder definir em laboratório a lei de resistência dos solos de fundação existente e caso se queira trabalhar com margem plena de segurança – principalmente em estradas submetidas a tráfego extremamente severo e volumoso –, julga-se que a seleção da *lei*

de deformação permanente mais severa pode ser definida pela análise do espectro envoltório das leis comportamentais propostas por diferentes pesquisadores, a qual permite definir os valores limítrofes máximos admissíveis garantidores dos bons e maus comportamentos, os quais cobrem praticamente todos os tipos de solo existentes.

De modo bastante conservador, portanto, e com segurança plena, a lei que garante um acúmulo de deformações permanentes do solo de fundação compatível e seguro é ditado pela expressão relativa a "Bom Comportamento" – limite inferior do gráfico:

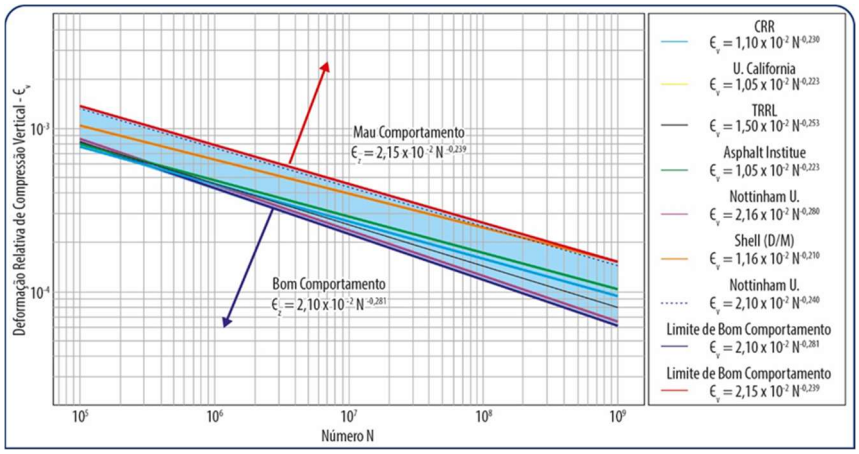


Figura 176 – Espectro de Leis de Deformação Permanente que disciplina os "Bom" e "Mau" comportamentos dos solos de fundação

4.2.7.3.3.3.4. Verificação da Resistência dos Solos de Fundação à Deformação Permanente

Primeiramente, estabelece-se a lei de variação dos esforços verticais de compressão máximos atuantes no topo do solo de fundação considerando distintas espessuras da camada de reforço e define-se sua lei de resistência ao acúmulo de deformação permanente, a qual permite a determinação do esforço resistente máximo admissível para o número de solicitações previsto para incidir sobre o pavimento – ou sobre o solo de fundação – durante sua prestação de serviços futura (Número N).

Seguidamente, no âmbito da presente metodologia, promove-se o cotejamento desse valor máximo admissível com os valores dispostos sobre a curva de variação dos esforços máximos atuantes, devendo se selecionar espessuras que garantam a plena submissão das tensões e/ou extensões verticais de compressão máximas atuantes ao valor resistente máximo admissível do solo de fundação, determinado em função do número de aplicações de carga necessário para conduzi-lo a um determinado acúmulo de deformação específico ou à ruptura.

Para ilustrar a presente proposição, apresenta-se a seguir a representação gráfica (**Figura 28**) da lei de variação dos esforços verticais máximos atuantes no topo do solo de fundação em função de espessuras sequenciais crescentes da camada de reforço, seguida da plotagem gráfica do esforço resistente máximo intrínseco ao solo de fundação; as espessuras de reforço a serem selecionadas devem atender à seguinte exigência:

$$\sigma_{v\,(atuante)} \leq \sigma_{v\,(lim.)} \quad e/ou \quad \varepsilon_{v\,(atuante)} \leq \varepsilon_{v(lim.)}$$

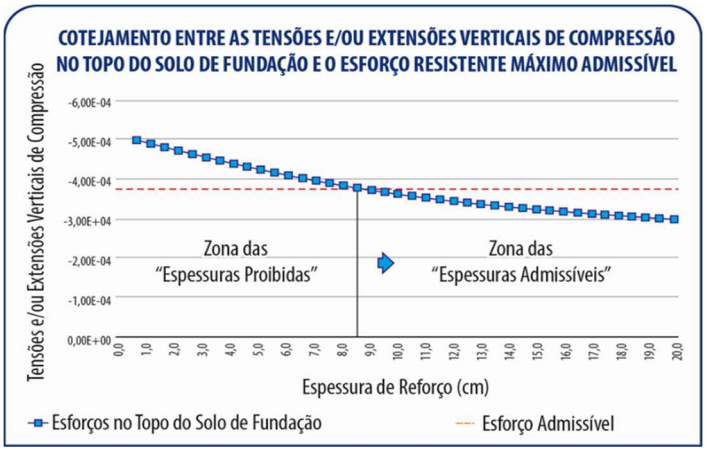


Figura 177 – Cotejamento entre as tensões e extensões verticais de compressão no topo do solo de fundação e o esforço resistente máximo admissível.

4.2.7.3.3.3.5. Espessuras de Reforço para Atendimento ao Critério "Resistência à Deformação Permanente"

A proposição de um reforço estrutural requer, naturalmente, a definição da espessura ideal, a qual, pelos compêndios convencionais, é definida por meio de formulações matemáticas – contemplando uma série de parâmetros de comportamento – que determinam o valor da espessura a ser aplicada.

No caso da Metodologia Paragon, a filosofia para definir a espessura de um reforço estrutural é, entretanto, diferente, pois não se busca a espessura ideal e sim a definição das espessuras que não podem ser adotadas, identificadas por aquelas nas quais os esforços atuantes sobrepujam o esforço resistente máximo admissível, intrínseco ao solo de fundação, definido por leis comportamentais em função do número de cargas aplicadas.

Dessa forma, a espessura do reforço estrutural deve ser selecionada no âmbito daquelas que garantem a supremacia dos esforços resistentes sobre os esforços atuantes no topo do solo de fundação, etapa conclusa a partir da definição da zona de espessuras proibidas, traduzida pela interseção do valor do esforço resistente máximo admissível com a lei de variação dos esforços atuantes, sempre decrescente com aumento das espessuras de reforço.

A interseção da reta correspondente ao valor limite máximo admissível de fadiga só intercepta a curva de variação dos esforços atuantes – em função das espessuras de reforço – uma única vez, estabelecendo, assim, duas zonas de admissibilidade: a zona que se dispõe antes da interseção corresponde à zona de espessuras proibidas, na qual os esforços atuantes sobrepujam o esforço resistente do solo de fundação, e a zona disposta após a interseção traduz a zona das espessuras admissíveis, na qual os esforços atuantes são subordinados ao resistente; a seleção da espessura final fica naturalmente submissa às demandas das demais condições de dimensionamento:

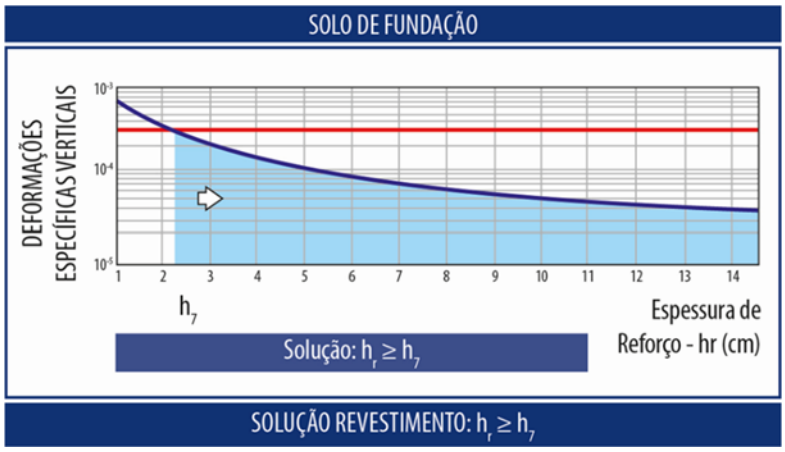


Figura 178 – Cotejamento entre as leis de variação das extensões (deformações específicas) máximas atuantes e o esforço resistente máximo admissível pelo solo de fundação.

Desta forma, a definição da espessura final de reforço, necessária para se garantir a submissão dos esforços de compressão vertical atuantes ao esforço resistente máximo admissível do solo de fundação, é ditada pela exigência:

$$\sigma_{v\ (atuante)} \leq \sigma_{v\ (lim.)} \quad e/ou \quad \varepsilon_{v\ (atuante)} \leq \varepsilon_{v(lim.)}$$

Finalmente, cabe destacar que em alguns casos – função da robustez da estrutura vigente e do número de solicitações previsto – o limite máximo admissível pertinente ao acúmulo de deformação permanente dos solos de fundação pode não ser atingido pela respectiva curva de variação dos esforços atuantes, condição que estabelece uma notável singularidade: o solo de fundação não demanda quaisquer aportes estruturais para garantir seu desempenho durante sua prestação de serviços futura.

4.2.7.3.3.4.4ª Condição de Dimensionamento: Verificação da capacidade de tráfego restante do pavimento existente

4.2.7.4.1.1.1. Conceituação de Capacidade de Tráfego Restante de um Pavimento

A aptidão e o desempenho de um pavimento reforçado dependem não somente da duração da própria camada de reforço, mas também da capacidade de tráfego restante do pavimento existente. Com efeito, como o pavimento antigo não é rejuvenescido pela aplicação de uma camada de reforço – é apenas aliviado em termos das solicitações impostas –, o eventual esgotamento de sua capacidade pelo tráfego futuro responderá, seguramente, por sua capitulação (ruína plena).

Assim, as qualificações de um pavimento existente deverão constituir um condicionamento importante no âmbito do dimensionamento de seus reforços estruturais, exigência que demanda a quantificação de sua *capacidade de tráfego restante*, atributo que, caso disponível, deve ser contemplado nos critérios pertinentes à reabilitação do sistema.

Destarte, como o pavimento velho continuará a ser solicitado mesmo depois de reforçado, constitui reivindicação natural estudar um alívio em suas camadas granulares e no solo de fundação, incumbência complementar que deverá ser incorporada ao rol de atribuições do reforço estrutural; no caso da proteção específica do solo de fundação essa proposição se soma à avaliação anteriormente dimensionada.

No que tange à propostas de aumento da *capacidade de tráfego restante do pavimento existente*, duas vertentes de avaliação bastante pertinentes se apresentam, ancoradas em proposições de *redução dos esforços solicitantes: as reduções das deflexões reversíveis e/ou das tensões verticais de compressão que atuam à superfície do pavimento antigo, após reforço*. Tais proposições se fundamentam na crença da impossibilidade de se rejuvenescer um pavimento velho e na certeza de que sua colaboração laboral pode ser prolongada se lhe forem ofertadas condições de trabalho mais suaves, mais amenas.

Nesse axioma, premissa-se que o alívio laboral de um pavimento existente depende, fundamentalmente, das qualificações intrínsecas do reforço estrutural: de sua *potência* – quanto mais rígido, maior sua contribuição para redução dos esforços atuantes no pavimento velho – e de sua respectiva *espessura*.

Assim, como qualquer espessura de reforço contribui para a diminuição dos esforços atuantes no pavimento velho, as vias de análise devem estar focadas nos benefícios advindos do alívio da estrutura, vinculado diretamente ao aumento da sua capacidade de trabalho; a formulação lógica de prolongamento da vida de um pavimento velho passa, por conseguinte, pela redução de seus níveis de solicitação.

Para o efeito, e considerando que cada material é dotado de qualificações estruturais específicas, torna-se mister definir primeiramente a nobreza das misturas asfálticas destinadas a compor o reforço estrutural, traduzida, em síntese, pela sua "***potência de reforço***", ou seja, pela sua capacidade de aliviar o pavimento existente; obviamente que a capacidade de absorver as cargas atuantes é tão mais eficiente quanto maiores suas rigidez e espessura.

No caso da *Metodologia Paragon*, essa exigência já se apresentou, entretanto, resolvida, haja vista que, quando das condições de dimensionamento anteriores (resistências da camada de reforço e do pavimento existente à fadiga e do solo de fundação à deformação permanente), necessário se fez a definição do módulo de elasticidade da mistura asfáltica a ser empregada, o qual deverá ser agora mantido, até mesmo por questões de coerência e de compatibilidade.

Seguidamente, faz-se necessário definir a *capacidade de tráfego restante do pavimento existente*, ou seja, *a quantidade de solicitações que ainda consegue suportar antes de sua capitulação estrutural*, variável necessária para se quantificar o aporte requerido pelo sistema pavimento – solo de fundação para suportar as solicitações ulteriores, previstas para sua vida de projeto.

Assim considerando, a quantificação da melhoria a ser implementada – quantas vezes é necessário multiplicar a capacidade de tráfego restante do pavimento existente para torná-lo apto a suportar as solicitações futuras – é naturalmente traduzida pela razão entre o *número de solicitações previstas para vida de projeto (N_p) e o número de solicitações que o pavimento ainda é capaz de suportar – vida remanescente (N_r):*

$$\boldsymbol{coeficiente\ \Delta = \frac{N_p}{N_r}}$$

Da análise dessa relação fica claro que um pavimento externando vida remanescente nula exibe a exaustão de sua capacidade laboral, ou seja, a sua incapacidade intrínseca de contribuir, por si próprio, para a melhoria de sua capacidade de trabalho. Trata-se na realidade de uma "massa falida" que não apresenta atributos colaborativos, demandando intervenções em profundidade

– que alteram sua estruturação original – e aportes estruturais, os quais são concebidos, sob tais condições, se abstraindo da capacidade de tráfego restante do pavimento existente; um pavimento exaurido, submetido a intervenções em profundidade – remoção de camadas ou processos de reciclagem, etc. – assume nova identidade.

O importante no entendimento do conceito de *vida remanescente* – que sobeja, que resta – é compreender que ele se estabelece em função da evolução de um ou mais defeitos os quais, atingindo maiores ou menores graus de severidade, estabelecem a "capitulação" estrutural do pavimento; níveis mais evoluídos, previamente estabelecidos, traduzem a exaustão plena do pavimento, ou seja, o fim de suas vidas úteis residuais, demandando soluções corretivas em profundidade (remoção e substituição de camadas, reciclagens, etc.)

Ressalte-se finalmente o fato de que avaliações de vida remanescente de pavimentos rodoviários constituem ferramentas usuais, contempladas em inúmeros compêndios técnicos e inclusive em nossos procedimentos normativos (PRO-11 e PRO-269); o importante é que os processos a serem adotados para sua dedução incorporem, com a maior fidedignidade, as condições vigentes e de carregamento.

4.2.7.4.1.1.2. Critérios de Avaliação da Vida Remanescente de um Pavimento

No âmbito da *Metodologia Paragon*, ajuizou-se que o cálculo da vida remanescente dos pavimentos poderia ser avaliado através de dois procedimentos distintos, os quais, quando cotejados, poderiam permitir a definição, com maior rigor, da presumível capacidade de tráfego restante de um pavimento rodoviário:

- pelo emprego das equações preditivas das deflexões reversíveis máximas admissíveis em função dos números de solicitações, fundamentadas em definições propostas pela AASHTO e/ou por nossos procedimentos normativos (DNIT), e

- pelo cotejamento entre as tensões – extensões de tração vigentes na face inferior do revestimento asfáltico existente e/ou tensões verticais de compressão vigentes no topo dos solos de fundação com os respectivos valores máximos admissíveis, estabelecidos por leis preditivas – propostas por organismos e pesquisadores – definidas em função do número de aplicações de carga, e

Assim considerando, apresenta-se a seguir a descrição de cada um dos procedimentos desenvolvidos para estimativa da capacidade de tráfego restante do pavimento existente:

- ✓ 1º Critério: Definição da capacidade de tráfego restante do pavimento com base nas correlações entre os números de solicitações e as deflexões reversíveis máximas admissíveis

Desde os tempos do ensaio rodoviário AASHTO os relacionamentos entre os logarítmicos dos números de aplicação de carga e das deflexões reversíveis têm sido proclamados e particularizados por inúmeros pesquisadores, constando até mesmo dos métodos oficiais do DNIT para dimensionamento de reforços de pavimentos (PRO-11 e PRO-269).

No Ensaio Rodoviário AASHTO, a determinação da *deflexão crítica* foi estabelecida com base em diversos tipos de medição considerando um estágio de sanidade terminal, definido pelo

indicador Present Serviceability Index - PSI = 2,5; a deflexão admissível, sob carga de um eixo carregado, foi definida pela seguinte expressão:

$$\log W_{2,5} = 9{,}40 + 1{,}32 \log L_1 - 3{,}25 \log dsn \quad \text{(AASHTO)}$$

em que:

$W_{2,5}$ – número ponderado de aplicações de carga até um nível de serventia PSI = 2,5;

L1 – carga por eixo em milhares de libras, e

dsn – deflexão reversível máxima medida na primavera (final do degelo) por procedimento normal.

que, considerando as condições do carregamento-padrão normatizado no Brasil, correspondente a 18 kips (18.000 libras = 8,16 toneladas), se escreve:

$$log\, W_{2,5} = 15{,}017 - 3{,}25\, log\, dsn \quad \text{ou}$$
$$log\, dsn = 4{,}621 - 0{,}307\, log\, W_{2,5} \quad \text{(AASHO)}$$

enquanto as equações normativas propostas pelos métodos oficiais do DNIT são:

$$log D_{adm} = 3{,}010 - 0{,}176\, log N \quad \text{(PRO 11)}$$
$$log D_{adm} = 3{,}148 - 0{,}188 \log N \quad \text{(PRO 269)}$$

As equações do DNIT, praticamente idênticas, *não contemplam o nível de serventia que determina a capitulação da vida útil do pavimento*, e apenas o PRO-11/79 tem em conta a influência da umidade nos valores da deflexão reversível máxima. Por esse método, as equações devem ser ajustadas por um fator de correção sazonal de forma a contemplar os valores correspondentes ao término da estação chuvosa (à semelhança da AASHTO), conforme apresentado a seguir:

Quadro 3 – Fatores de correção sazonal das deflexões reversíveis

FATORES DE CORREÇÃO SAZONAL DAS DEFLEXÕES REVERSÍVEIS		
Natureza do Subleito	**Estação Seca**	**Estação Chuvosa**
Arenoso e Permeável	1,10 – 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 – 1,40	1,00

Para facilitar a escolha da equação dos procedimentos normativos – praticamente idênticos –, ajuizou-se, no âmbito da presente proposição, adotar a correlação mediana:

$$log D_{adm} = 3{,}08 - 0{,}182\, log\, N$$

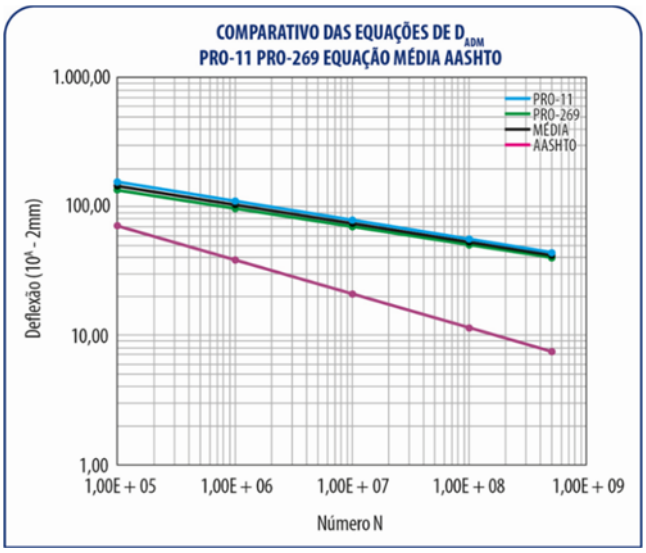


Figura 179 - Deflexões reversíveis máximas admissíveis versus número de aplicações de um eixo-padrão

Desta forma, a lei de variação das deflexões reversíveis máximas admissíveis conforme o número de aplicações de carga estabelece que um pavimento, quando solicitado por uma deflexão reversível de determinada magnitude, tem sua expectativa de vida regida por um correspondente número de solicitações de carga (eixo-padrão de 8,2t).

Dentro da lógica de raciocínio sequencial, deduz-se que se a deflexão vigente no pavimento for menor que uma determinada deflexão admissível – calculada, por exemplo, para o número de solicitações previsto para a "vida de projeto" – ($\mathbf{D_{vigente} < D_{adm}}$), o pavimento ainda externa uma qualificação contributiva, traduzida pela sua capacidade de ainda suportar – independentemente de qualquer aporte estrutural – um determinado número de solicitações futuras; essa reserva técnica se define pela quantidade de solicitações necessárias para que a deflexão vigente, crescente com as repetições, atinja o valor da deflexão admissível.

Esse número de aplicações ainda suportável define a expectativa de vida que resta – **vida remanescente** – ao pavimento em termos de aplicações de carga, vida que pode ter sua duração expressa também em termos de anos; se $\mathbf{D_{vigente} > D_{adm}}$ já não resta ao pavimento qualquer expectativa de vida remanescente, condição que evidencia sua capitulação estrutural.

Para aclarar os raciocínios processados, ajuizou-se válida a exposição gráfica de um exemplo, na qual estão considerados valores para as deflexões já citadas, vinculadas aos respectivos números de solicitações correspondentes:

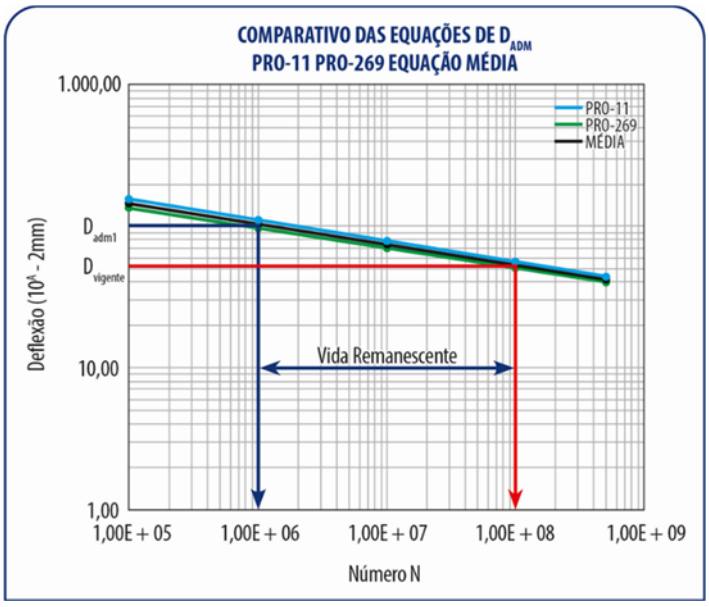


Figura 180 - Definição da Vida Remanescente de um pavimento

Neste exemplo se ilustra que a capacidade de tráfego restante de um pavimento regido por uma determinada deflexão (**$D_{vigente}$**) é definida pelo número de aplicações de carga necessário para elevá-la, por acréscimo a cada solicitação, até que atinja o valor da deflexão admissível (**D_{adm}**) requerida pelo dimensionamento estrutural:

$$Nremanescente = Nvigente - Nadm$$

ou seja:

$$Nremanescente = 1{,}0 \times 10^8 - 1{,}0 \times 10^6 = 9{,}9 \times 10^7$$

valor que pode ser naturalmente convertido em termos de duração em anos, levando-se em conta a projeção de tráfego estabelecida para a vida de projeto considerada.

Em síntese, duas hipóteses se apresentam no caso dos projetos de restauração:

- *Ns < Np: se a deflexão vigente em um pavimento – correspondente ao número de solicitações já suportado (Ns) – for menor que a deflexão admissível – correspondente ao número de solicitações previsto para a prestação de serviços futura (Np) – significa que o pavimento existente ainda dispõe de uma reserva técnica em termos de solicitação, a qual pode ser naturalmente ofertada à contribuição futura e devidamente quantificável – em termos de anos – a partir de seu cotejamento com a progressão do tráfego futuro (vida de projeto); esse cotejamento estabelece o número de aplicações de carga – ou o tempo (em anos) – que o tráfego futuro gastará para consumir a reserva ainda disponível, o qual traduz sua expectativa de vida futura, sem adição de aportes estruturais;*
- *Ns ≥ Np: se a deflexão vigente – correspondente ao número de solicitações já suportado (Ns) – for maior que a deflexão admissível – correspondente ao número de solicitações previsto para a prestação de serviços futura (Np) –, significa que o pavimento nada tem a ofertar em termos de contribuição laboral, ou seja, já chegou à exaustão plena e demanda intervenções corretivas em profundidade.*

Sob essas condições, constatado que a capacidade de tráfego restante do pavimento existente é inferior à vida de projeto proposta, torna-se necessário aumentá-la de forma que impeça seu

esgotamento durante a prestação de serviços futura, proposição que, no âmbito da presente metodologia, se alicerça no alívio das solicitações atuantes.

No âmbito das avaliações propostas, a grande dificuldade reside seguramente na definição do número de solicitações já suportado pelo pavimento durante sua prestação de serviços pregressa, tarefa difícil até mesmo porque não se sabe, na maior parte das vezes, sequer em que ano o pavimento foi construído e/ou restaurado. Na indisponibilidade de informações, o ideal é que se estabeleçam conjecturas realistas para definição do tráfego de serviço – Ns já suportado pelo pavimento, mesmo que de forma avaliativa, podendo-se adotar, inclusivamente, taxas deflatórias do tráfego atual ou estimar o tráfego solicitante ao cabo da última dezena de anos.

Com o objetivo de aclarar a proposição presente, julgou-se pertinente a apresentação do processo de cálculo aplicado ao "Anel Rodoviário de Bom Despacho-MG", no qual se contempla o tráfego acumulado pertinente ao período pregresso ($\mathbf{N_{serviço} = 4{,}75 \times 10^6}$) conjuntamente com o tráfego projetado para um período futuro de 10 anos ($\mathbf{N_{projeto} = 1{,}19 \times 10^7}$), contado a partir de 2022 (ano de abertura), conforme apresentado a seguir:

Quadro 4 – NÚMEROS N - USACE

NÚMEROS N (Anel Viário de Bom Despacho - MG) - USACE				
ANO	N	"N" ANUAL	"Ns" ACUMULADO	"N" ACUMULADO TOTAL
2017	Nserviço	$8{,}94 \times 10^5$	$8{,}94 \times 10^5$	$8{,}94 \times 10^5$
2018		$9{,}21 \times 10^5$	$1{,}82 \times 10^6$	$1{,}82 \times 10^6$
2019		$9{,}49 \times 10^5$	$2{,}76 \times 10^6$	$2{,}76 \times 10^6$
2020		$9{,}77 \times 10^5$	$3{,}74 \times 10^6$	$3{,}74 \times 10^6$
2021		$1{,}01 \times 10^6$	$4{,}75 \times 10^6$	$4{,}75 \times 10^6$
ANO	N	"N" ANUAL	"Np" ACUMULADO	-
2022	Nprojeto	$1{,}04 \times 10^6$	$1{,}04 \times 10^6$	$5{,}79 \times 10^6$
2023		$1{,}07 \times 10^6$	$2{,}11 \times 10^6$	$6{,}86 \times 10^6$
2024		$1{,}10 \times 10^6$	$3{,}21 \times 10^6$	$7{,}96 \times 10^6$
2025		$1{,}13 \times 10^6$	$4{,}34 \times 10^6$	$9{,}09 \times 10^6$
2026		$1{,}17 \times 10^6$	$5{,}51 \times 10^6$	$1{,}03 \times 10^7$
2027		$1{,}20 \times 10^6$	$6{,}71 \times 10^6$	$1{,}15 \times 10^7$
2028		$1{,}24 \times 10^6$	$7{,}95 \times 10^6$	$1{,}27 \times 10^7$
2029		$1{,}27 \times 10^6$	$9{,}22 \times 10^6$	$1{,}40 \times 10^7$
2030		$1{,}31 \times 10^6$	$1{,}05 \times 10^7$	$1{,}53 \times 10^7$
2031		$1{,}35 \times 10^6$	$1{,}19 \times 10^7$	$1{,}66 \times 10^7$

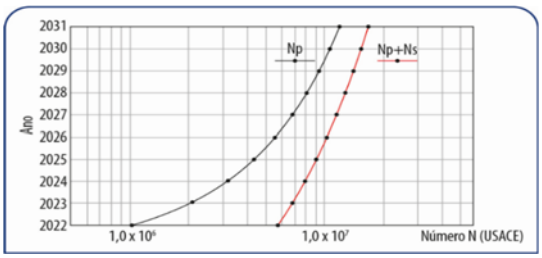


Figura 181 - Projeção dos tráfegos de projeto – Np e acumulado - Ns + Np

Dessa forma, tendo-se em conta conjuntamente o tráfego já suportado pelo pavimento existente (N_s), o tráfego futuro previsto ($\mathbf{N_p}$), a deflexão vigente no pavimento e a lei preditiva de correlação proposta pelo DNIT (Lei Mediana), pode-se determinar a vida remanescente do pavimento rodoviário, conforme apresentado a seguir:

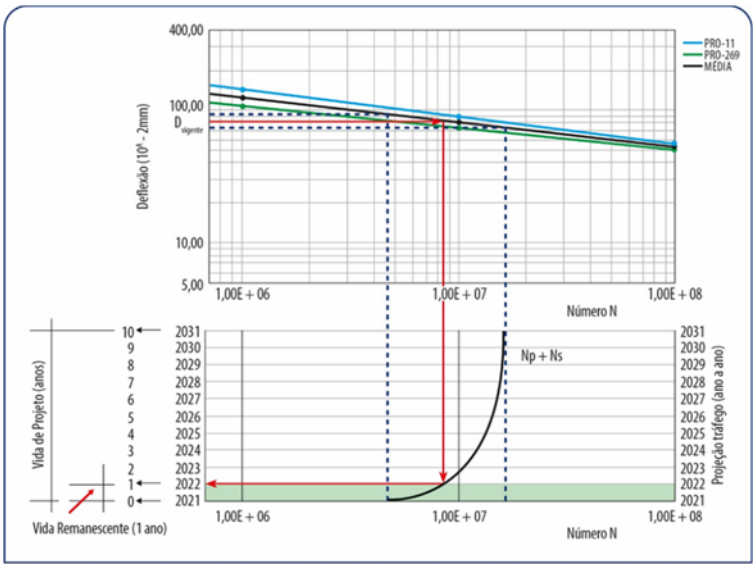


Figura 182 - Determinação da Vida Remanescente de um Pavimento rodoviário

Da presente exposição, deduz-se finalmente que o fator de multiplicação da vida restante do pavimento existente capaz de qualificá-lo para sua prestação de serviço futura é definido pela razão:

$$\Delta = N_{projeto} / N_{remanescente}$$

- ✓ 2º Critério: Definição da capacidade de tráfego restante do pavimento com base no cotejamento entre as tensões/extensões de tração na camada de revestimento existente e de compressão vertical no solo de fundação e seus respectivos esforços máximos admissíveis, estabelecidos em função do número de aplicações de carga

A presente proposição se fundamenta em reduzir os esforços de tração na fibra inferior da *camada de revestimento* existente e de compressão vertical no topo do *solo de fundação* em níveis que garantam a qualificação necessária ao sistema pavimento existente – solo de fundação para sua prestação de serviços futura; esses níveis são definidos pelas carências constatadas, a serem supridas com base na premissa de que o alívio dos esforços atuantes no sistema responde por uma longevidade maior de suas condições laborais.

Ressalte-se, sobre essa proposição, o fato de que sua aplicação remete à restauração de pavimentos, exigência reclamada por estruturas que já externam manifestações de ruína com certa gravidade e que podem exibir inclusive composições de camadas asfálticas derivadas de outras intervenções estruturais, particularidades que demandam bastante cautela e critérios específicos, vinculados fundamentalmente às condições de trincamento (percentuais de ocorrência) e de deformações permanentes por consolidação, vigentes.

Em que pese as inquietações já citadas, julga-se, entretanto, que a adoção dessa sistemática para a avaliação da capacidade de tráfego restante de um pavimento complementa outros procedimentos de ajuizamento, podendo inclusive sinalizar para a solução mais apropriada.

O cálculo dos esforços de tração vigentes nas camadas asfálticas existentes – conhecida a estratificação das camadas e seus módulos (retroanálise) – constitui tarefa simples, enquanto a definição da lei de fadiga para definição de seus esforços admissíveis constitui empreitada delicada que exige meticulosidade e prudência. Os esforços de compressão vigentes no topo do solo de fundação, também de fácil resolução, são mais tranquilamente cotejados com os esforços admissíveis futuros, calculados para um determinado número de solicitações.

A presente proposição guarda, por conseguinte, uma grande identidade com o procedimento anterior, diferindo apenas na seleção dos parâmetros vigentes a serem cotejados com suas evoluções futuras, as quais serão definidas também com base em equações preditivas: em vez das deflexões reversíveis máximas serão contempladas as tensões/extensões de tração na face inferior da camada de revestimento e de compressão vertical no topo do solo de fundação.

Como ponto de partida para a avaliação da vida remanescente das camadas asfálticas já submetidas a condições de serviço e externando debilidades intrínsecas, considerou-se mais apropriado o modelo de fadiga proposto pela FHWA - Federal Highway Administration (1985), o qual tem em conta parâmetros de formulação da mistura existente e dos ligantes constituintes – a serem definidos após a "recuperação" – que permitem uma avaliação mais compassiva e ajuizada de seu comportamento residual:

$$N_f = f_i\,[2{,}67 \times 10^{-10} \times \beta^5 \times \varepsilon_t^{-5} \times /E^*/^{-1{,}4}]$$

onde:

Nf = Vida de fadiga da camada asfáltica;

β = 0,300 x PI - 0,015 x PI x Vb - 0,198;

em que:

PI = (20 - 500 x IST) / (1 + 50 x IST);

IST = (log 800 - log Pen) / (Tab - Tpen)

E* = Módulo dinâmico (ksi);

εt = Deformação máxima de atração atuante na camada asfáltica;

IST = Índice de susceptibilidade térmica do asfalto;

PI = Índice de penetração do asfalto;

Tab = Temperatura de amolecimento "Anel & Bola";

Tpen = Temperatura do ensaio de penetração (Fº);

Vb = Volume de asfalto (%);

f_i = Fator de calibração laboratório – campo do modelo:

a) 12,32 para 10% ou menos de área com trincas FC-2;
b) 16,20 para 20% de área com trincas FC-2.

Considerando, portanto, N_f o número equivalente de solicitações do eixo-padrão máximo admissível pelo revestimento existente no que diz respeito à fadiga, o seu valor pode ser estimado pela equação citada:

$$N_f = \frac{f_i\,[2{,}67 \times 10^{-10} \times \beta^5]}{(\varepsilon_t^5)_0 \;\times\; E^{1,4}}$$

em que:

$(\varepsilon t)_0$ = Deformação específica de tração máxima vigente na face inferior da camada do revestimento existente sob a ação do eixo-padrão;

E = Módulo de elasticidade da camada de revestimento existente (ksi).

A título de exemplo e com o objetivo de aclarar a proposição presente, julgou-se pertinente a apresentação de um exemplo de cálculo "processado" para o Anel Viário de Bom Despacho-MG, para o qual se dispõe de duas estruturações de pavimento distintas (número e espessura das camadas e valores modulares específicos) e dos tráfegos que atuaram sobre o pavimento existente ($N_s = 4{,}75 \times 10^6$) e o previsto, para um período futuro de 10 anos ($N_p = 1{,}19 \times 10^7$).

A Lei de Fadiga considerada foi a proposta pela FHWA, que permitiu determinar, para as extensões relativas de tração vigentes na face inferior da camada asfáltica de revestimento, sempre dotada da mesma espessura, os respectivos números de solicitações máximos admissíveis em termos de fadiga – (Nf)0; as estruturas contempladas são apresentadas a seguir – Estruturas Existentes A e B:

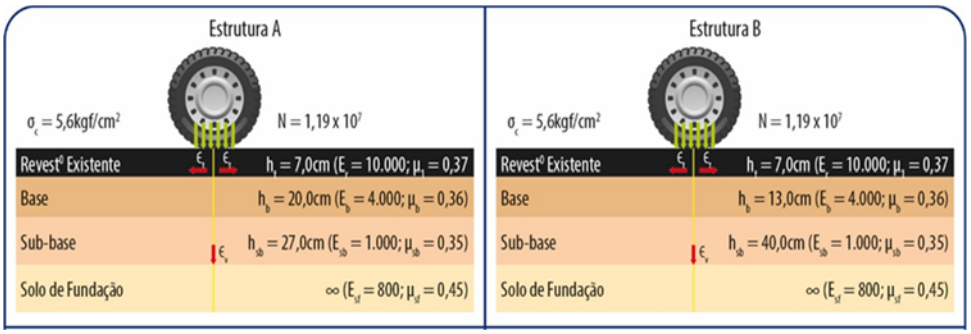


Figura 183 - Estruturas dos Pavimentos Existentes no Anel Rodoviário de Bom Despacho/MG

e os procedimentos de cálculo processados para as Estruturas A e B são apresentados a seguir:

DIMENSIONAMENTO MÉTODO MECANÍSTICO ESTRUTURA A E ESTRUTURA B						
ANÁLISE MECANÍSTICA DOS SEGMENTOS					ANEL VIÁRIO DE BOM DESPACHO	
PARÂMETROS		REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA	DESCRIÇÃO		ESTRUTURA AVALIADA	
					A	B
DADOS DE ENTRADA	ESPESSURA DO PAVIMENTO A SER AVALIADA (cm)		Revestimento		10000kgf/cm² 7cm	10000gf/cm² 7cm
			Base		4000kgf/cm² 20cm	4000kgf/cm² 13cm
			Sub-base		1000kgf/cm² 27cm	1000kgf/cm² 40cm
			Subleito		800kgf/cm² -	800kgf/cm² -
	Número N	Ns (Número de carregamentos já solicitados pela via)			4,75E+06	
		Np (Previsto para um período futuro de 10 anos)			1,19E+07	
DADOS DE ESFORÇOS SOLICITANTES X ESFORÇOS RESISTENTES	AVALIAÇÃO DOS ESFORÇOS DE TRAÇÃO ATUANTES NA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO EXISTENTE (FHWA)		Def. Máxima Exx/Eyy		2,23E-04	2,43E-04
			N de Fadiga do Revestimento (FHWA)		7,66+06	4,98E+06
			Ns (Número de carregamentos que já solicitou o pavto)		4,75E+06	4,75E+06
			Np (Previsto para um período futuro de 10 anos)		1,19E+07	1,19E+07
			Vida Remanescente (Condição Mecanística)		EXISTE	EXISTE
	AVALIAÇÃO DOS ESFORÇOS ATUANTES NO TOPO DO SOLO DE FUNDAÇÃO (DORMON METCALF)		Def. Máxima Ezz		3,20E-04	3,45E-04
			N de Compressão no Topo do Solo de Fundação (Dormon e Metcalf)		2,66E+07	1,87E+07
			Ns (Número de carregamentos que já solicitou o pavio)		4,75E+06	4,75E+06
			Np (Previsto para um período futuro de 10 anos)		1,19E+07	1,19E+07
			Vida Remanescente (Condição Mecanística)		EXISTE	EXISTE
ANÁLISE DOS DADOS	Dano Sofrido (Lei de Miner)	Ds (Fadiga)	$D_s = N_s / (N_f)_0$		62,05%	95,33%
	Vida Remanescente (Fadiga)	Percentual	$V_s(\%) = \left\{1 - \frac{N_s}{(N_f)_0}\right\} \times 100$		37,95%	4,67%
		Número de Aplicações de Carga	$V_r = (N_f)_0 - N_s$		2,91E+06	2,32E+05
	Dano Sofrido (Lei de Miner)	Ds (Deformação Permanente)	$D_s = N_s / (N_f)_0$		17,83%	25,42%
	Vida Remanescente (Deformação Permanente)	Percentual	$V_s(\%) = \left\{1 - \frac{N_s}{(N_f)_0}\right\} \times 100$		82,17%	74,58%
		Número de Aplicações de Carga	$V_r = (N_f)_0 - N_s$		2,19E+07	1,39E+07

Figura 184 - Dimensionamento Mecanístico – Estrutura A e Estrutura B

Dos resultados obtidos verifica-se que as *Estruturas A e B* ainda externam capacidade de tráfego restante em relação à *fadiga da camada asfáltica* e à *deformação permanente do solo de fundação*, traduzida em termos de percentuais dos danos acumulados e/ou dos números de aplicação de carga ainda admissíveis, aceitos sem que haja necessidade de aportes estruturais. Os números de aplicações de cargas correspondentes a cada vida remanescente, quando cotejados com a projeção anual do tráfego projetado, permitem a definição dos períodos de tempo que o tráfego projetado gastaria para atingi-los, grandeza que traduz a *vida remanescente* dos pavimentos em anos.

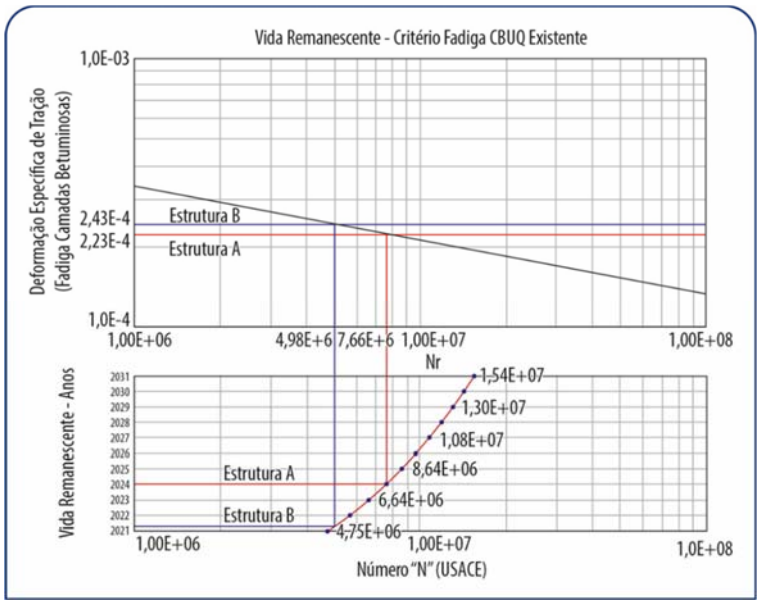


Figura 185 - Vida Remanescente do pavimento cotejada com a projeção do tráfego futuro

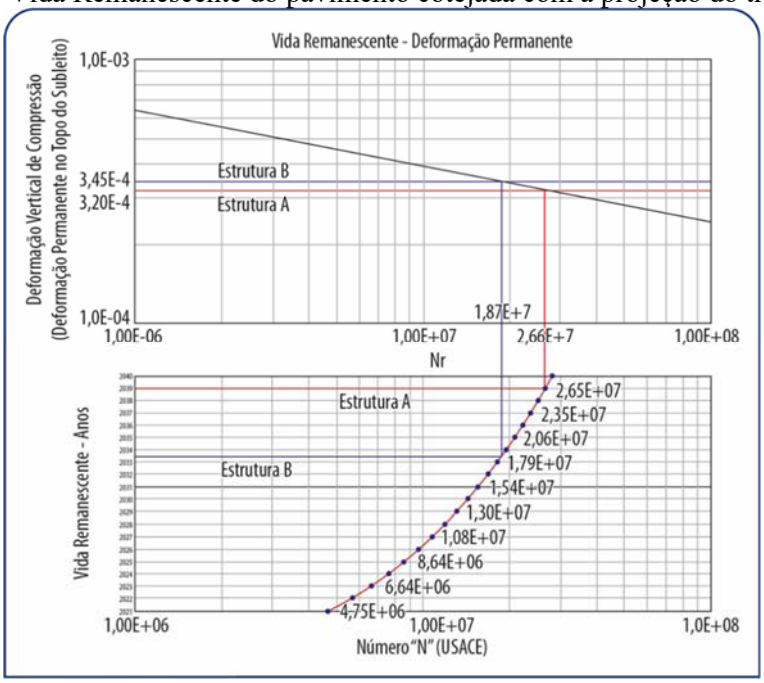


Figura 186 - Vida Remanescente do pavimento cotejada com a projeção do tráfego futuro

Da presente exposição, deduz-se, portanto, que o fator de multiplicação da capacidade de tráfego restante do pavimento existente capaz de qualificá-lo para sua prestação de serviço futura – vida de projeto – é definido pela razão:

$$\Delta = Nprojeto / Nremanescente$$

em que a vida remanescente a ser considerada deve corresponder à menor das verificadas por ambos os processos de avaliação (tração horizontal e compressão vertical).

4.2.7.4.1.1.3. Critérios para Definições do Aumento da Capacidade de Tráfego Restante de um Pavimento Existente e das Espessuras de Reforço Requeridas

Em suma, *definida a vida remanescente* – que sobeja, que resta – de um pavimento existente, consideraram-se duas vertentes técnicas para fazer a sua majoração, ou seja, o *aumento da capacidade de tráfego restante*, sempre pelo alívio de suas solicitações pela atuação do reforço estrutural; os procedimentos – vertentes técnicas – definidos são a seguir expostos:

4.2.7.4.1.1.4. Redução do Nível Deflectométrico Imposto ao Pavimento Existente

Para solucionar essa proposição, admitiu-se a existência de relacionamento entre efeito destrutivo e alívio propiciado, os quais podem ser contemplados pela *redução das deflexões reversíveis que atuam à superfície do pavimento existente*, propriedade a ser ofertada pela camada de reforço estrutural.

Desta forma, o desafio consiste em definir a magnitude da deflexão a atuar no pavimento velho, a qual deve ser deliberada em consonância com o alívio estrutural requerido – $\mathbf{D_{(alívio)}}$. A definição da nobreza da mistura asfáltica destinada a compor o reforço estrutural, variável magnânima, já foi devidamente equacionada no âmbito das condições anteriores de dimensionamento propostas pela *Metodologia Paragon*, as quais demandaram a definição do módulo de rigidez de mistura asfáltica a ser empregada. Dessa maneira, o questionamento que se apresenta é ilustrado na figura apresentada a seguir:

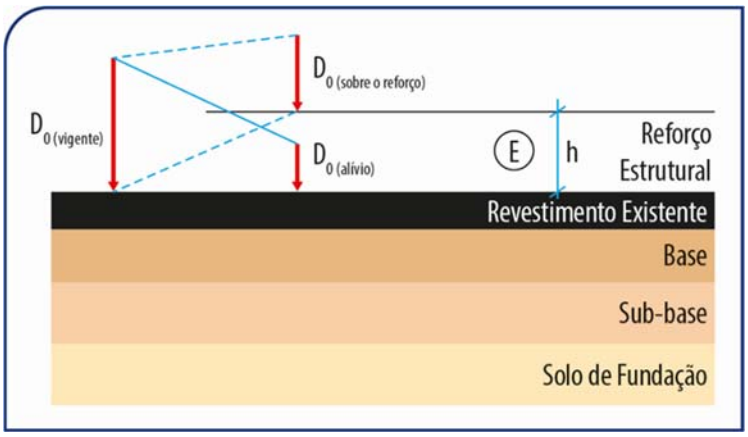


Figura 187 - Representação esquemática da definição da Deflexão-Alívio (Dalívio) sobre o revestimento existente após o reforço estrutural

Entretanto, é de conhecimento notório que as qualificações dos materiais constituintes do reforço dependem fundamentalmente de suas "rigidezes", as quais traduzem suas respectivas "potências de reforço", ou seja, suas capacidades de *promover a redução das deflexões reversíveis sobre o pavimento existente*; soma-se ainda a essa particularidade o fato de as deflexões reversíveis em sistemas estratificados carregados exteriormente dependerem, de forma circunstancial, das qualificações das camadas do pavimento existente e do solo de fundação, os quais trabalham em regime solidário.

Dessa forma, a definição da "potência de reforço" de uma camada asfáltica requer o conhecimento de suas características estruturais intrínsecas e também dos materiais constituintes do sistema *pavimento – solo de fundação*, exigência que demanda cálculos complexos, fundamentados na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados à superfície. Assim considerando, desenvolveu-se, ao nível da metodologia Paragon, um programa de cálculo automático específico - Programa **StrataSys** -, capaz de

permitir o cálculo das deflexões reversíveis no topo de qualquer camada do sistema estratificado; o programa permite ainda o cálculo das deflexões reversíveis à distintas distâncias do centro de aplicação de cargas.

Do exposto, verifica-se que essa vertente da 4ª Condição de Dimensionamento proposta pela Metodologia Paragon consiste, fundamentalmente, na definição de uma espessura de reforço – com características estruturais bem definidas – que garanta que as deflexões reversíveis a atuar a superfície do pavimento antigo – após o reforço – sejam disciplinadas pela "deflexão-alívio" previamente definida, necessária para garantir o desejado aumento da sua capacidade de tráfego remanescente.

Na evolução desse procedimento conceptivo deparou-se, por conseguinte, com a necessidade de se estabelecer o valor da *deflexão máxima admissível à superfície do pavimento antigo*, após o reforço, capaz de assegurar o alívio reclamado pelo sistema para redução do efeito destrutivo requerido, necessário para se aumentar de sua capacidade de tráfego restante.

Para o efeito, ajuizou-se que uma fundamentação adequada poderia se respaldar no abraço à consagrada proporcionalidade Hookeana que disciplina as relações entre as deformações reversíveis e cargas solicitantes – que admite a aplicação dos critérios clássicos da Mecânica dos Pavimentos a sistemas estratificados *elásticos* –, peculiaridade que permite inferir que a diminuição da deflexão reversível que atua no pavimento velho implica, naturalmente, na diminuição proporcional da carga atuante.

Assim concebendo, o fundamento principal nesse procedimento conceptivo se ancorou nos alicerces que regem o conceito de *efeito destrutivo das cargas por eixo e na sua quantificação*, tarefa que, por sua vez, se alicerçou nos princípios básicos que nortearam o desenvolvimento dos denominados *fatores de equivalência de carga por eixo*, tão usualmente aplicados em nossos dimensionamentos.

Com efeito, como a concepção primária desses fatores de equivalência se fundamenta no estabelecimento das *capacidades destrutivas das diferentes cargas* – as quais são reportadas ao final a um eixo-padrão de 8,2t (18kips) – e a clave da presente proposição consiste em reduzir os efeitos destrutivos impostos ao pavimento antigo, entendeu-se que a magnitude dessa exigência se atrelava naturalmente à redução da carga solicitante.

Desse modo, sopesando que o alívio requerido pode ser lavrado pela redução do efeito destrutivo pertinente à carga atual, a dificuldade reside apenas na quantificação a ser processada, exigência que pode ser devidamente provida se atrelada à necessidade de majoração da capacidade de tráfego restante demandada pelo pavimento existente para seu perfeito atendimento às solicitações futuras.

Conhecendo, portanto, o aumento da capacidade de tráfego requerido (Δ) – definido pela razão entre as vidas de projeto e remanescente –, tem-se que o alívio demandado pode ser determinado pela diminuição proporcional da carga atuante, quantificável por meio da redução, também proporcional, do respectivo fator de equivalência de carga por eixo:

$$\textbf{Fator de equivalência (após o reforço)} = \frac{\textbf{Fator de equivalência (antes do Reforço)}}{\textbf{Aumento da capacidade de tráfego restante}}$$

Destarte, determinado o coeficiente de equivalência da carga a atuar no pavimento antigo, após o reforço, define-se, numa relação inversa, a sua respectiva magnitude e, decorrentemente, a *deflexão reversível máxima admissível* - $D_{alívio}$.

Considerando a título de exemplo um fator de multiplicação da capacidade de tráfego Δ = 2,55 (10 anos/3,92 anos), o procedimento para determinação da deflexão máxima admissível sobre o pavimento velho, após o reforço, obedece à seguinte sequência de cálculo:

Deflexão reversível vigente D_o	Carga atuante $Q_{atuante}$	Fator de equivalência real FE_{real}
		FE_{real} /2,55
Deflexão reversível admissível $D_{Alívio}$	Carga reduzida $Q_{reduzida}$	Fator de equivalência reduzido $FE_{reduzido}$

Como as deflexões são obtidas pela aplicação de um eixo-padrão simples de rodagem dupla com carga de 8,2t (Norma DNIT) – à qual corresponde um FE = 1,0 – o fator de equivalência da carga a atuar sobre o pavimento velho se define pelo emprego da relação já citada: 1,0/2,55 = 0,392.

Com base nesse fator definido, calcula-se seguidamente a magnitude da carga a ser selecionada para atuar sobre o pavimento velho e, decorrentemente, a deflexão-alívio almejada; para o cálculo dos fatores de equivalência de carga por eixo, selecionou-se a expressão definida por Gontijo quando de seus trabalhos no LNEC, na década de 70, sob a orientação do genial engenheiro *Orlando d'Almeida Pereira, inventor do primeiro deflectógrafo de pavimentos e "pai" da retroanálise:*

$$FE = 10^{0,2665\,(Q\,-\,8,16)}$$

em que:

FE = Fator de equivalência de carga por eixo;

Q = Carga considerada para verificação da equivalência com o eixo-padrão de 8,2t.

podendo-se, entretanto, lançar mão da expressão equivalente usualmente aplicada, baseada na denominada "**quarta potência**"; a título de exemplo, considerando o pavimento velho submetido a uma deflexão de 110/100mm, tem-se:

Deflexão reversível vigente D_o = 110/100mm	Carga atuante $Q_{atuante}$ = 8,2 t	Fator de equivalência real FE_{real} = 1,0
Deflexão-alívio D_{adm} = 89/100mm	Carga reduzida $Q_{reduzida}$ = 6,63 t	Fator de equivalência reduzido $FE_{reduzido}$ = 0,392

4.2.7.4.1.1.5. Lei de Variação das Deflexões Reversíveis Máximas atuantes na superfície do Pavimento Antigo

Definidas as características estruturais do sistema pavimento – solo de fundação e da mistura asfáltica destinada a compor o reforço estrutural, estabelece-se a lei de variação das deflexões reversíveis máximas atuantes sobre o pavimento antigo considerando distintas espessuras da camada de reforço, ao tempo em que se define a "deflexão-alívio", qualificada para garantir o

acréscimo da capacidade de tráfego restante do pavimento – por alívio das solicitações – tornando-o apto a suportar as solicitações ulteriores, durante sua prestação de serviços futura.

A lei de variação das deflexões no pavimento velho em função das espessuras de reforço – incrementadas de 0,5 em 0,5cm – prima por externar uma variação única, caracterizada pelo fato de que, quanto maior a espessura de reforço, menor será a deflexão experimentada pelo pavimento antigo; para uma espessura nula, o valor da deflexão será igual ao da deflexão vigente.

Para ilustrar a presente proposição, apresenta-se a seguir a representação gráfica da lei de variação das deflexões reversíveis máximas atuantes no topo do revestimento antigo em função de espessuras sequenciais crescentes da camada de reforço; as espessuras de reforço a serem selecionadas devem atender à seguinte exigência:

$$D_{o\ (atuante)} \leq D_{o\ (\text{“alívio”})}$$

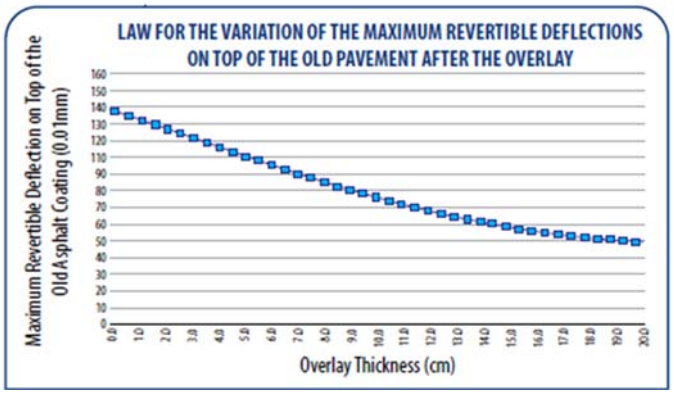


Figura 188 - Lei de variação das deflexões reversíveis máximas ocorrentes na superfície do pavimento existente considerando diferentes espessuras de reforço

4.2.7.4.1.1.6. Verificação da Resistência à Capacidade de Tráfego Restante (Deflexão Reversível Máxima Admissível no topo do Revestimento Existente, após Reforço)

Seguidamente, no âmbito da presente metodologia, promove-se o cotejamento da lei de variação das deflexões reversíveis máximas que irão atuar sobre a superfície do pavimento existente estabelecida em função de distintas espessuras da camada de reforço, a qual deve ser devidamente cotejada com o valor da deflexão-alívio, definida para definir o lenitivo necessário ao pavimento existente e multiplicar sua capacidade de tráfego restante. A intersecção da curva das deflexões reversíveis máximas atuantes sobre o pavimento antigo com o valor alvo – "deflexão de alívio" – define o limite entre as zonas do "espessuras proibidas" (deflexões atuantes maiores que a “deflexão-alívio” e a zona das "espessuras admissíveis" (deflexões atuantes menores ou iguais à “deflexão-alívio”.

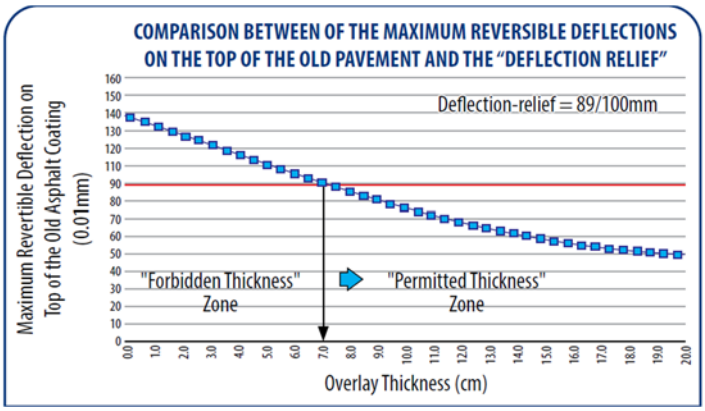


Figura 189 - Cotejamento entre as deflexões reversíveis máximas atuantes no pavimento existente e a deflexão máxima admissível, após reforço

4.2.7.4.1.1.7. Espessuras de Reforço para Atendimento à "Capacidade de Tráfego Restante do Pavimento Existente" (Critério Deflexão Reversível Máxima Admissível)

A proposição de *um reforço estrutural* requer, naturalmente, a definição da espessura ideal, a qual, pelos compêndios convencionais, é definida por meio de formulações matemáticas – contemplando uma série de parâmetros de comportamento – que determinam o valor da espessura a ser aplicada.

No caso da *Metodologia Paragon*, a filosofia para definir a espessura de um reforço estrutural é, entretanto, diferente, pois não se busca a espessura ideal e sim a definição das espessuras que não podem ser adotadas, identificadas por aquelas nas quais as deflexões reversíveis *atuantes à superfície da camada de revestimento antigo sobrepujam a deflexão-alívio máxima admissível*, definida para garantir o acréscimo de capacidade de tráfego necessário.

Dessa forma, a espessura do reforço estrutural deve ser selecionada no âmbito daquelas que garantem a supremacia da "deflexão-alívio" sobre as deflexões reversíveis atuantes sobre o revestimento antigo – após reforço -, etapa conclusa a partir da definição da *zona de espessuras proibidas*, traduzida pela interseção do valor da "deflexão-alívio" com a lei de variação das deflexões atuantes, sempre decrescentes com aumento das espessuras de reforço.

A interseção da reta correspondente ao valor da "deflexão-alívio" – só intercepta a curva de variação dos esforços atuantes uma única vez – estabelece duas zonas de admissibilidade: a zona que se dispõe antes da interseção corresponde à zona de *espessuras proibidas*, na qual as deflexões atuantes sobrepujam a "deflexão-alívio", e a zona disposta após a interseção, que traduz a *zona das espessuras admissíveis*, na qual as deflexões atuantes são subordinadas à "deflexão-alívio"; a seleção da espessura final fica naturalmente submissa às demandas das demais condições de dimensionamento:



Figura 190 – Cotejamento entre a lei de variação das deflexões reversíveis máximas atuantes na superfície do pavimento antigo e a deflexão reversível máxima admissível (“deflexão-alívio”)

4.2.7.4.1.1.8. Redução das Tensões Verticais de Compressão Impostas ao Pavimento Existente

Para resolver essa segunda proposição, admitiu-se válida, mais uma vez, que a relação entre o efeito destrutivo e o alívio almejado poderia se alicerçar na redução do nível de solicitação imposto ao pavimento existente após o reforço, proeza que responderia pelo conforto necessário para lhe garantir um desempenho perfeito durante sua prestação de serviços futura.

Em síntese, a proposta consiste em *reduzir as tensões verticais de compressão que atuam à superfície do pavimento existente*, após reforçado, a níveis subordinados à tensão-alívio almejada; obviamente que tal exigência decorrerá da *potência e da espessura de reforço*.

Nesse caso, o grande desafio consiste, portanto, em estabelecer o nível de solicitação – o alívio – requerido pelo pavimento existente para qualificá-lo para a prestação de serviços futura, grandeza que, conhecidas as características de rigidez da mistura asfáltica a ser empregada, requer o conhecimento da profundidade estratigráfica em que ocorre a superfície de distribuição de carga almejada; a definição dessa profundidade define a espessura da camada de reforço demandada.

Para atendimento a essa exigência, faz-se fundamentalmente importante definir as qualificações do material destinado a compor a camada de reforço – notadamente a rigidez –, as quais estabelecem, de forma vigorosa, suas capacidades de receber, absorver e distribuir as cargas impingidas pelo tráfego; no caso presente, a definição da nobreza da mistura asfáltica destinada a compor o reforço estrutural já foi devidamente equacionada, estabelecida quando da verificação das outras condições de dimensionamento da *Metodologia Paragon*, para as quais se estabeleceu o valor de seu *módulo de rigidez*.

No que tange à definição da alíquota de redução a admitir, a tarefa se torna fácil se se considerar qualquer um dos critérios definidos anteriormente para o estabelecimento da presumível duração de vida restante do pavimento existente, expresso em termos percentuais.

Tomando-se o exemplo virtual anterior, de um pavimento com 14 anos de idade ou de prestação de serviços, que externa uma percentagem de fissuração na trilha de roda da ordem de 70% e que exibe uma vida restante da ordem de 3,92 anos, verifica-se ser necessário, para alcançar uma “vida de projeto” de 10 anos, multiplicar a capacidade de tráfego restante do pavimento existente pelo fator $\Delta = 2{,}55$ (10 anos/3,92 anos).

Como a proposta é aumentar a capacidade de tráfego restante do pavimento velho pela redução da magnitude das solicitações, o axioma fundamental consiste em reduzir a pressão vertical de compressão igual $\sigma_c = 5{,}6 kgf/cm^2$ proporcionalmente à sua carência, ou seja:

$$\sigma_{c(sobre\ o\ pavimento\ velho)} = \frac{5{,}6\ kgf/cm^2}{\Delta}$$

$$\sigma_{c(sobre\ o\ pavimento\ velho)} = \frac{5{,}6\ kgf/cm^2}{1{,}88} = 2{,}98\ kgf/cm^2$$

Entretanto, é de notório conhecimento que as qualificações dos materiais constituintes do reforço, do pavimento e do solo de fundação dependem fundamentalmente de suas "rigidezes", as quais propiciam distintas distribuições de carga consoante suas magnitudes, externadas por meio de "saias de distribuição" bastante variáveis: mais acentuadas (ou concentradas) para materiais mais frágeis e mais suaves (ou espraiadas) para materiais mais vigorosos; soma-se ainda a essa dificuldade o fato de as distribuições de carga em sistemas estratificados dependerem, de forma substancial, das qualificações e estratificação das camadas, as quais trabalham em regime solidário.

A contemplação dessa diferenciação de estados de rigidez conjuntamente com a distinção das características estruturais dos materiais constituintes do sistema *reforço – pavimento existente – solo de fundação*, associadas às condições de trabalho em sistemas estratificados solidários, demanda, entretanto, cálculos complexos, fundamentados na Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados carregados à superfície. Assim considerando, desenvolveu-se, ao nível da metodologia Paragon, um programa de cálculo automático específico - Programa **StrataSys** -, capaz de permitir a computação das tensões verticais de compressão no topo de qualquer camada do sistema estratificado, sob a carga e à distintas distâncias do centro de aplicação de cargas; programa permite o cálculo também à diferentes profundidades.

Do exposto, verifica-se que essa vertente da 4ª Condição de Dimensionamento proposta pela Metodologia Paragon consiste, fundamentalmente, na definição de uma espessura de reforço – com características estruturais bem definidas – que garanta que o nível da tensão vertical a atuar a superfície do pavimento existente – após o reforço – seja disciplinado pela "tensão-alívio" previamente definida, necessária para garantir o desejado aumento da sua capacidade de tráfego remanescente.

No âmbito da presente metodologia, a condição de dimensionamento contempla apenas o valor da tensão vertical máxima de compressão que atuará o topo da camada de revestimento existente, ou seja, a tensão verificada sob a carga, a qual deve ser cotejada com a tensão de alívio definida. Entretanto, vale destacar que o programa desenvolvido permite o cálculo das tensões verticais de compressão exercidas no topo e à quaisquer profundidades de todas as camadas e solo de fundação e distancias do centro de aplicação de carga considerando diferentes espessuras de reforço, conforme ilustrado para um sistema virtual (carregamento circular R = 15,24cm com 4.100 kgf e σc = 5,6 kgf/ cm2) contemplado nas figuras apresentadas a seguir:

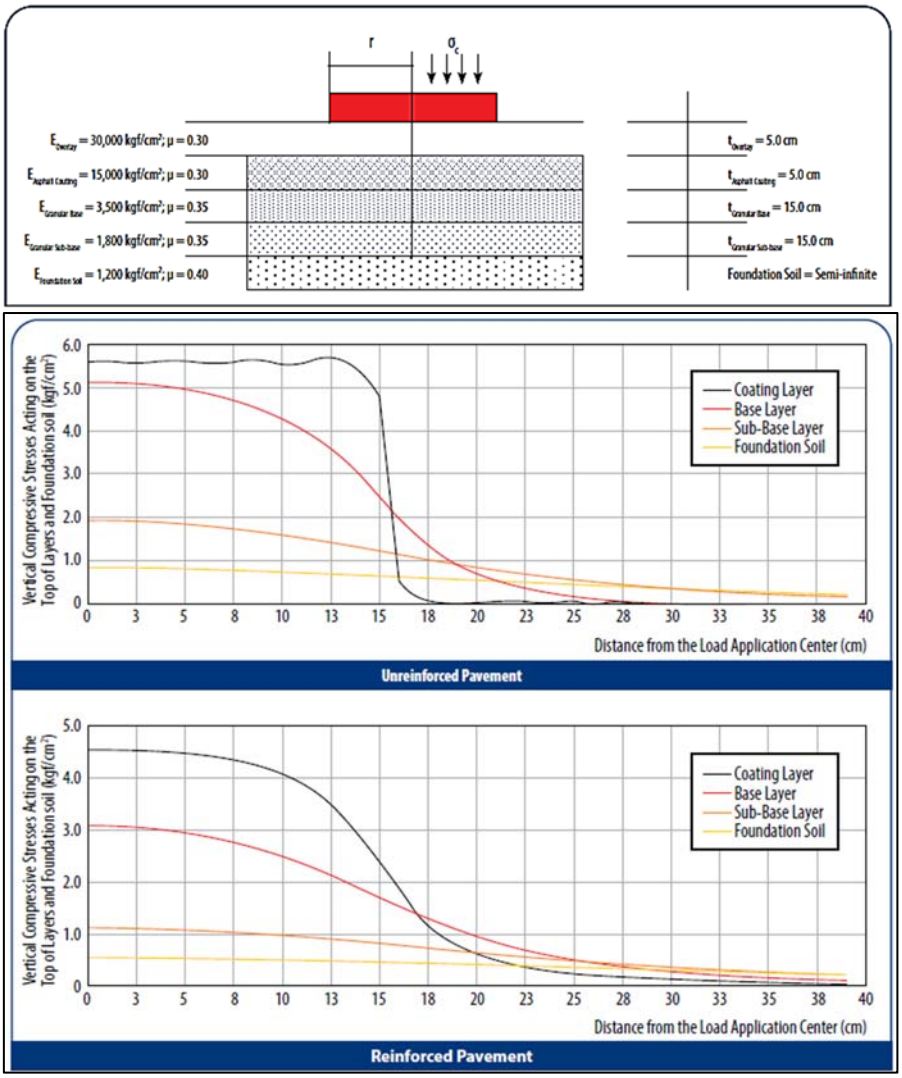


Figura 191 – Leis de Variação das Tensões Verticais de Compressão atuantes no topo das camadas constitutivas e do solo de fundação, antes e após o reforço, a distintas distâncias do centro de aplicação de cargas.

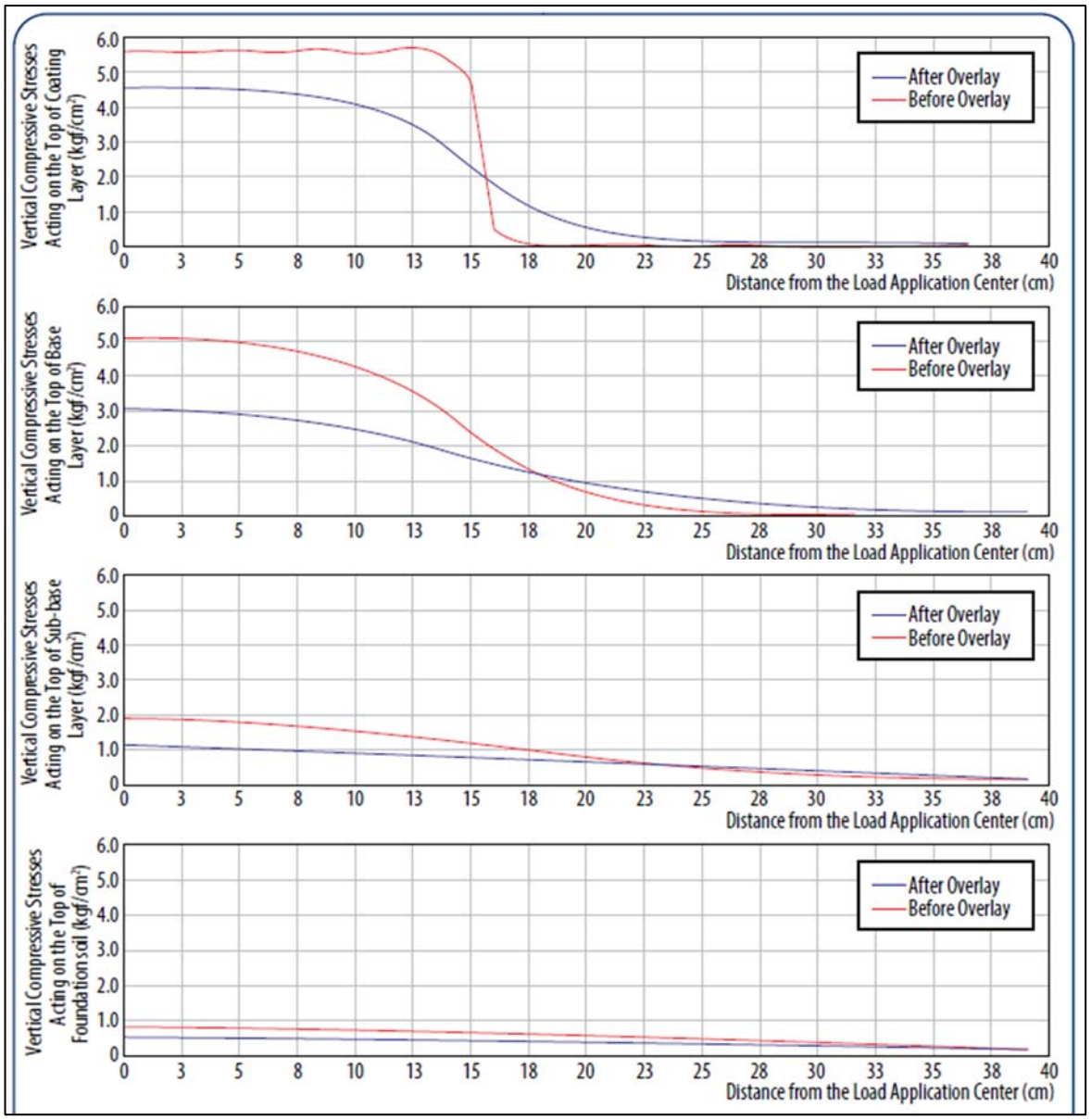


Figura 192 – Comparação entre as Tensões Verticais de Compressão atuantes na superfície do pavimento existente, antes e após o reforço estrutural (5,0cm).

4.2.7.4.1.1.9. Lei de Variação das Tensões Verticais de Compressão Máximas atuantes na Superfície do Pavimento Antigo

O programa StrataSys faculta, por conseguinte, o cálculo das tensões verticais de compressão máximas exercidas sobre o pavimento velho considerando diferentes espessuras de reforço. A lei de variação das deflexões no pavimento velho em função das espessuras de reforço – incrementadas de 0,5 em 0,5cm – prima por externar uma variação única, caracterizada pelo fato de que, quanto maior a espessura de reforço, menor será a deflexão experimentada pelo pavimento antigo.

A integração gráfica dos pares homólogos faculta a determinação da lei de variação das tensões atuantes considerando distintas espessuras de reforço, a qual se deve ser, em seguida, cotejada com o valor da "tensão-alívio". Vale destacar ainda que a lei de variação dos esforços atuantes se prima por externar uma variação decrescente consoante o acréscimo das espessuras de

reforço, externando valor máximo, como seria de se esperar, quando a espessura de reforço é nula; o valor da carga distribuída máxima é igual a σ_c = 5,6kgf/cm2.

A lei de variação das tensões verticais de compressão que irão atuar na superfície do pavimento existente, estabelecida pela consideração de distintas espessuras da camada de reforço, deve ser seguidamente cotejada com o valor da tensão vertical de compressão almejada, definida para propiciar o alívio necessário do pavimento existente e multiplicar sua capacidade de tráfego restante.

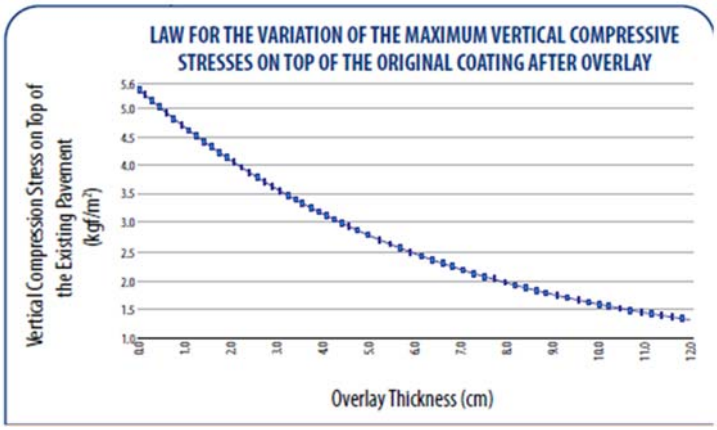


Figura 193 - Lei de variação das tensões verticais de compressão na superfície do pavimento existente considerando diferentes espessuras de reforço

4.2.7.4.1.1.10. Verificação da Resistência à Capacidade de Tráfego Restante (Tensão Vertical de Compressão Máxima Admissível no topo do Revestimento Antigo)

Primeiramente, estabelece-se a lei de variação das tensões verticais máximas de compressão atuantes sobre o pavimento antigo considerando distintas espessuras da camada de reforço, ao tempo em que se tem em conta a "tensão-alívio", tradutora da tensão máxima admissível necessária para garantir o acréscimo da capacidade de tráfego restante do pavimento de forma a torná-lo apto a suportar as solicitações durante sua prestação de serviços futura (*Número N*).

Seguidamente, no âmbito da presente metodologia, promove-se o cotejamento dessa "tensão-alívio" com os valores dispostos sobre a curva de variação das tensões verticais máximas atuantes sobre o pavimento existente. A intersecção da curva das tensões verticais máximas atuando sobre o pavimento antigo com o valor alvo – "tensão-alívio" – define o limite entre as zonas do "espessuras proibidas" (tensões atuantes maiores que a "tensão de alívio" e a zona das "espessuras admissíveis" (tensões atuantes menores ou iguais à "tensão de alívio".

Para ilustrar a presente proposição, apresenta-se a seguir a representação gráfica da lei de variação das tensões verticais de compressão atuantes no topo do revestimento antigo em função de espessuras sequenciais crescentes da camada de reforço, seguida da plotagem gráfica do valor da tensão-alívio definida; as espessuras de reforço a serem selecionadas devem atender à seguinte exigência:

$$\sigma_{v\ (atuante)} \leq \sigma_{v\ (\text{"alívio"})} \quad \mathbf{e/ou} \quad \varepsilon_{v\ (atuante)} \leq \varepsilon_{v(\text{"alívio"})}$$

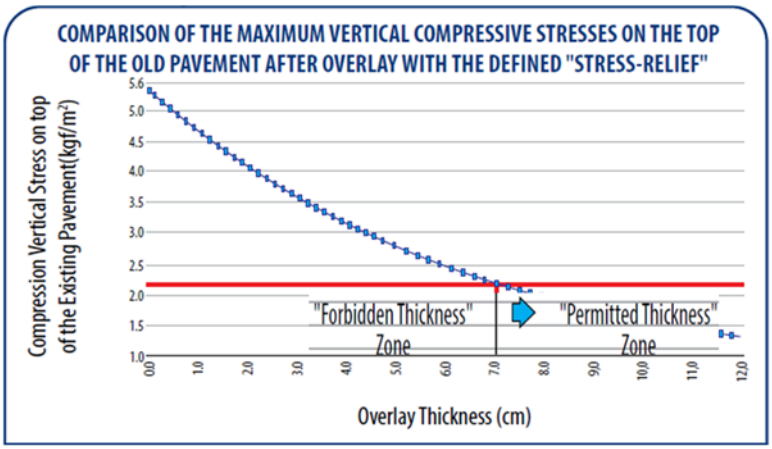


Figura 194 - Lei de variação das tensões verticais de compressão na superfície do pavimento existente considerando diferentes espessuras de reforço

4.2.7.4.1.1.11. Espessuras de Reforço para Atendimento à "Capacidade de Tráfego Restante do Pavimento Existente" (Critério Tensão Vertical de Compressão Máxima Admissível)

A proposição de um *reforço estrutural* requer, naturalmente, a definição da espessura ideal, a qual, pelos compêndios convencionais, é definida por meio de formulações matemáticas – contemplando uma série de parâmetros de comportamento – que determinam o valor da espessura a ser aplicada.

No caso da *Metodologia Paragon*, a filosofia para definir a espessura de um reforço estrutural é, entretanto, diferente, pois não se busca a espessura ideal e sim a definição das espessuras que não podem ser adotadas, identificadas por aquelas nas quais os *esforços verticais de compressão atuantes à superfície da camada de revestimento antigo sobrepujam a tensão-alívio máxima admissível*, definida para garantir o acréscimo de capacidade de tráfego necessário.

Dessa forma, a espessura do reforço estrutural deve ser selecionada no âmbito daquelas que garantem a supremacia da "tensão-alívio" sobre as tensões verticais de compressão atuantes sobre o revestimento antigo – após reforço -, etapa conclusa a partir da definição da *zona de espessuras proibidas*, traduzida pela interseção do valor da "tensão-alívio" com a lei de variação das tensões atuantes, sempre decrescentes com aumento das espessuras de reforço.

A interseção da reta correspondente ao valor da tensão limite máxima admissível – "tensão-alívio" - só intercepta a curva de variação dos esforços atuantes – em função das espessuras de reforço – uma única vez, estabelecendo, assim, duas zonas de admissibilidade: a zona que se dispõe antes da interseção corresponde à *zona de espessuras proibidas*, na qual as tensões atuantes sobrepujam a "tensão-alívio", e a zona disposta após a interseção, que traduz a *zona das espessuras admissíveis*, na qual as tensões atuantes são subordinadas à "tensão-alívio"; a seleção da espessura final fica naturalmente submissa às demandas das demais condições de dimensionamento:

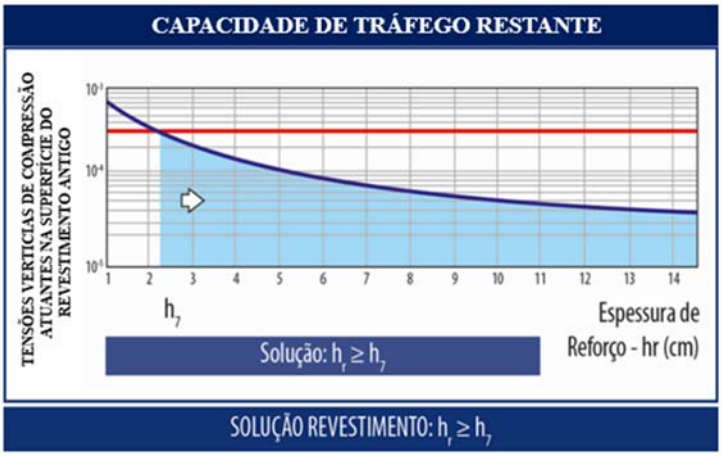


Figura 195 – Cotejamento entre a lei de variação das tensões verticais de compressão máximas atuantes na superfície do pavimento antigo e a tensão limite máxima admissível ("tensão-alívio")

4.2.7.4.1.1.12. Redução do nível deflectométrico imposto ao pavimento existente

Para solucionar essa proposição, admitiu-se a existência de relacionamento entre efeito destrutivo e alívio propiciado, os quais podem ser contemplados pela *redução das deflexões reversíveis que atuam à superfície do pavimento existente* e da *suavização da concavidade dos deflectogramas* – após o reforço –, propriedades a serem ofertadas pela camada de reforço estrutural.

Desta forma, o desafio consiste em definir a magnitude da deflexão a atuar no pavimento velho, a qual deve ser deliberada em consonância com o alívio estrutural requerido – $\boldsymbol{D}_{(alívio)}$. A definição da nobreza da mistura asfáltica destinada a compor o reforço estrutural, variável de enorme influência, já foi devidamente equacionada no âmbito das condições anteriores de dimensionamento propostas pela *Metodologia Paragon*, as quais demandaram a definição do módulo de rigidez de mistura asfáltica a ser empregada.

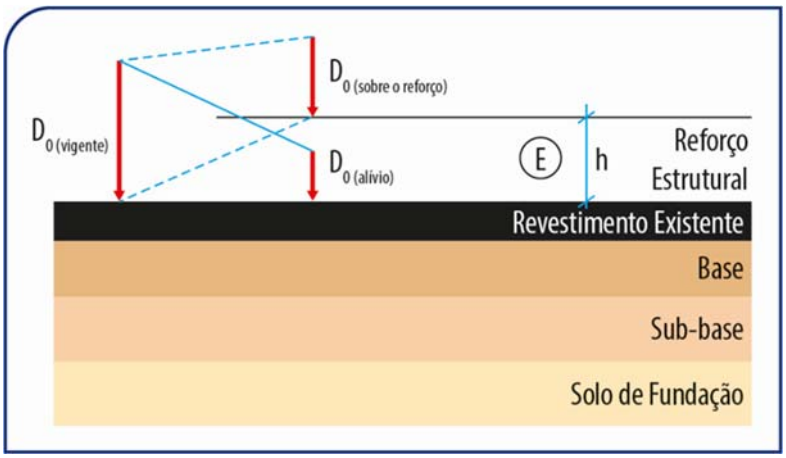


Figura 196- Representação esquemática da definição da Deflexão-Alívio ($D_{Alívio}$) sobre o revestimento existente após o reforço estrutural

Na evolução desse procedimento conceptivo considerou-se, primeiramente, que o estabelecimento da *deflexão máxima admissível à superfície do pavimento antigo* após o reforço poderia ser vinculado à redução do efeito destrutivo necessária para proporcionar a sobrevida demandada pelo pavimento velho (aumento de sua capacidade de tráfego restante).

Ajuizou-se, dessa forma, que uma fundamentação adequada poderia se respaldar no abraço à consagrada proporcionalidade Hookeana que disciplina as relações entre as deformações

reversíveis e cargas solicitantes – admissão do regime elástico ou resiliente com uma mesma carga em uma mesma estrutura –, peculiaridade que permite inferir que a diminuição da deflexão reversível que atua no pavimento velho implica, naturalmente, a diminuição proporcional da carga atuante.

Assim concebendo, o fundamento principal nesse procedimento conceptivo se ancorou nos alicerces que regem o conceito de *efeito destrutivo das cargas por eixo e na sua quantificação, tarefa que, por sua vez, se alicerçou nos princípios básicos que nortearam o desenvolvimento dos denominados fatores de equivalência de carga por eixo*, tão usualmente aplicados em nossos dimensionamentos.

Com efeito, como a concepção primária desses fatores de equivalência se fundamenta no estabelecimento das *capacidades destrutivas das diferentes cargas* – as quais são reportadas ao final a um eixo-padrão de 8,2t (18kips) – e a clave da presente proposição consiste em reduzir os efeitos destrutivos impostos ao pavimento antigo, entendeu-se que a magnitude dessa exigência se atrelava naturalmente à redução da carga solicitante.

Desse modo, sopesando que o alívio requerido pode ser lavrado pela redução do efeito destrutivo pertinente à carga atual, a dificuldade reside apenas na quantificação a ser processada, a qual pode ser, entretanto, suprida, se atrelada à necessidade de majoração da capacidade de tráfego restante demandada pelo pavimento existente para seu perfeito atendimento às solicitações futuras.

Conhecendo, portanto, o aumento da capacidade de tráfego requerido (Δ) – definido pela razão entre as vidas de projeto e remanescente –, tem-se que o alívio demandado pode ser determinado pela diminuição proporcional da carga atuante, quantificável por meio da redução também proporcional dos fatores de equivalência de carga por eixo:

Determinado o coeficiente de equivalência da carga a atuar no pavimento antigo, após o reforço, define-se, numa relação inversa, a sua respectiva magnitude e, decorrentemente, a *deflexão reversível máxima admissível - $D_{alívio}$*.

Considerando a título de exemplo um fator de multiplicação da capacidade de tráfego $\Delta = 2,55$ (10 anos/3,92 anos), o procedimento para determinação da deflexão máxima admissível sobre o pavimento velho, após o reforço, obedece à seguinte sequência de cálculo:

Deflexão reversível vigente D_o	→	Carga atuante $Q_{atuante}$	→	Fator de equivalência real FE_{real}
				$FE_{real}/2,55$
Deflexão reversível admissível $D_{Alívio}$	←	Carga reduzida $Q_{reduzida}$	←	Fator de equivalência reduzido $FE_{reduzido}$

Como as deflexões são obtidas pela aplicação de um eixo-padrão simples de rodagem dupla (EP) com carga de 8,2t (Norma DNIT) – à qual corresponde um FE = 1,0 – o fator de equivalência da carga a atuar sobre o pavimento velho se define pelo emprego da relação já citada: 1,0/2,55 = 0,392.

Com base nesse fator definido, calcula-se seguidamente a magnitude da carga a ser selecionada para atuar sobre o pavimento velho e, decorrentemente, a *deflexão-alívio almejada*; para o cálculo dos fatores de equivalência de carga por eixo, selecionou-se a expressão definida por

Gontijo quando de seus trabalhos no LNEC, na década de 70, sob a orientação do genial engenheiro *Orlando d'Almeida Pereira*, *inventor do primeiro deflectógrafo de pavimentos e "pai" da retroanálise*:

$$FE = 10^{0,2665\,(Q-8,16)}$$

em que:

FE = Fator de equivalência de carga por eixo;

Q = Carga considerada para verificação da equivalência com o eixo-padrão de 8,2t.

podendo-se, entretanto, lançar mão da expressão equivalente usualmente aplicada, baseada na denominada "*quarta potência*"; a título de exemplo, considerando o pavimento velho submetido a uma deflexão de 110/100mm, tem-se:

Deflexão reversível vigente $D_o = 110/100mm$	⇨	Carga atuante $Q_{atuante} = 8,2\,t$	⇨	Fator de equivalência real $FE_{real} = 1,0$
Deflexão-alívio $D_{adm} = 89/100mm$	⇦	Carga reduzida $Q_{reduzida} = 6,63\,t$	⇦	Fator de equivalência reduzido $FE_{reduzido} = 0,392$

Na sequência evolutiva do procedimento concebido, estabelece-se a lei de variação das deflexões reversíveis ocorrentes na superfície do pavimento existente após o reforço estrutural feito considerando as espessuras sequenciais e crescentes, procedimento que se materializa pelo programa de cálculo automático especialmente desenvolvido, o qual permite inclusive a computação das deflexões reversíveis no topo de qualquer camada do sistema estratificado.

A lei de variação das deflexões no pavimento velho em função das espessuras de reforço – incrementadas de 0,5 em 0,5cm – prima por externar uma variação única, caracterizada pelo fato de que, quanto maior a espessura de reforço, menor será a deflexão experimentada pelo pavimento antigo; para uma espessura nula, o valor da deflexão será igual ao da deflexão vigente, no exemplo, admitida como igual a 110/100mm.

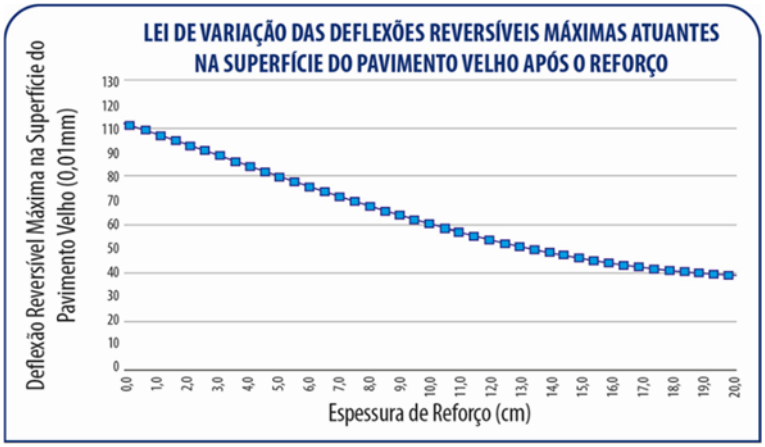


Figura 197 - Lei de variação das deflexões reversíveis máximas ocorrentes na superfície do pavimento existente considerando diferentes espessuras de reforço

A lei de variação das deflexões reversíveis máximas que irão atuar sobre a superfície do pavimento existente estabelecida por meio da consideração das distintas espessuras da camada de reforço deve ser devidamente cotejada com o valor da *deflexão-alívio* definida para definir o lenitivo necessário ao pavimento existente e multiplicar sua capacidade de tráfego restante; a

intersecção da lei de variação das deflexões – espessuras de reforço com a deflexão-alívio determinada – define as zonas das espessuras "proibidas" e passíveis de admissão.

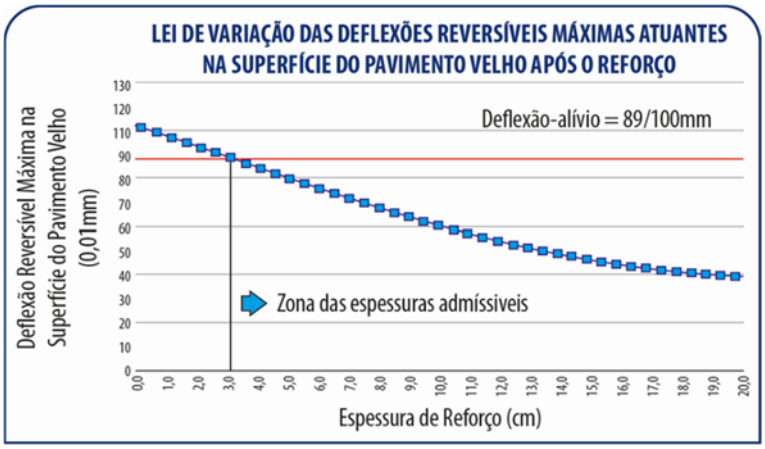


Figura 198 - Cotejamento entre as deflexões reversíveis máximas atuantes no pavimento existente e a deflexão máxima admissível, após reforço

4.2.7.4.1.1.13. Redução das tensões verticais de compressão impostas ao pavimento existente

Para resolver essa segunda proposição, admitiu-se válida, mais uma vez, que a relação entre o efeito destrutivo e o alívio almejado poderia se alicerçar na redução do nível de solicitação imposto ao pavimento existente após o reforço, proeza que responderia pelo conforto necessário para lhe garantir um desempenho perfeito durante sua prestação de serviços futura.

Em síntese, a proposta consiste em *reduzir as tensões verticais de compressão que atuam à superfície do pavimento existente* após reforçado, a ser ofertada pelas qualificações da camada de reforço, nomeadamente sua *potência de reforço* e *espessura*.

Nesse caso, o grande desafio consiste, portanto, em estabelecer o nível de solicitação – o alívio – requerido pelo pavimento existente para qualificá-lo para a prestação de serviços futura, grandeza que requer o conhecimento da profundidade estratigráfica em que ocorre a superfície de distribuição de carga almejada; a definição dessa profundidade define a espessura da camada de reforço demandada.

Para atendimento dessa exigência já mencionada, faz-se fundamental definir primeiramente as qualificações do material destinado a compor a camada de reforço – notadamente a rigidez –, as quais se vinculam, de forma vigorosa, à respectiva capacidade de receber, absorver e distribuir a fração restante das cargas impingidas pelo tráfego; no caso presente, a definição da nobreza da mistura asfáltica destinada a compor o reforço estrutural já foi devidamente equacionada, estabelecida quando da verificação das outras condições de dimensionamento da *Metodologia Paragon*, para as quais se estabeleceu o valor de seu *módulo de rigidez*.

No que tange à definição da alíquota de redução a admitir, a tarefa se torna fácil se se considerar qualquer um dos três critérios definidos anteriormente – ou os três – para o estabelecimento da presumível duração de vida restante do pavimento existente, expresso em termos percentuais. Adotando como exemplo o critério da proporção de trilha de roda fissurada, pode-se determinar o *tempo de serviços já prestado pelo pavimento* – contado desde a sua liberação para o tráfego até a ocasião dos levantamentos de campo – e prever a sua duração de vida restante.

Tomando-se o exemplo anterior – um pavimento com 14 anos de idade ou de prestação de serviços, que externa uma percentagem de fissuração na trilha de roda da ordem de 70%, exibe uma vida restante da ordem de 3,92 anos – verifica-se ser necessário, para alcançar uma "vida de projeto" de 10 anos, multiplicar a capacidade de tráfego restante do pavimento existente pelo fator $\Delta = 2{,}55$ (10 anos/3,92 anos).

Sabe-se, por sua vez, que as características de carregamento vigentes – eixo simples carregado com 8,2t distribuídas em dois pares de rodas gêmeas, cada uma suportando uma carga de 2.050kgf distribuída numa área circular com raio r = 10,8cm – respondem pela imposição, à superfície do pavimento existente, por uma pressão vertical de compressão igual $\sigma_c = 5{,}6 kgf/cm^2$.

Como a proposta é aumentar a capacidade de tráfego restante do pavimento velho pela redução da magnitude das solicitações, o axioma fundamental consiste em reduzir a pressão de contato proporcionalmente à sua carência, ou seja:

$$\sigma_{c(sobre\ o\ pavimento\ velho)} = \frac{5{,}6\ kgf/cm^2}{\Delta}$$

$$\sigma_{c(sobre\ o\ pavimento\ velho)} = \frac{5{,}6\ kgf/cm^2}{1{,}88} = 2{,}98\ kgf/cm^2$$

É de conhecimento, entretanto, que as qualificações dos materiais constituintes do reforço, do pavimento e do solo de fundação dependem fundamentalmente de sua "rigidez", a qual propicia distintas distribuições de carga consoante sua magnitude, externada por meio de "saias de distribuição" bastante variáveis: mais acentuadas (ou concentradas) para materiais mais frágeis e mais suaves (ou espraiadas) para materiais mais vigorosos; soma-se ainda a essa dificuldade o fato de as distribuições de carga em sistemas estratificados dependerem, de forma substancial, das qualificações das camadas subjacentes e sobrejacentes, as quais trabalham em regime solidário.

Essa diferenciação de estados de rigidez pode ser vislumbrada em termos de cálculo teórico que contemple conjuntamente as características estruturais (estratificação, módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson) dos materiais constituintes do sistema composto do *reforço – pavimento existente – solo de fundação*, que remete naturalmente a um processo de cálculo teórico mais complexo, nesse caso facilitado pela aplicação de um programa de cálculo automático especialmente desenvolvido que permite inclusive a computação das tensões verticais de compressão no topo de qualquer camada do sistema estratificado.

Destarte, a dificuldade que se apresenta consiste na definição da profundidade a que essa superfície de distribuição de carga almejada se situa – a qual define a espessura do reforço –, tarefa que pode ser avaliada pelo cálculo sequencial das superfícies de distribuição de carga ocorrentes no pavimento existente considerando espessuras de reforço que variam de forma crescente, em incrementos de 0,5 em 0,5cm.

A lei de variação das distribuições de carga em profundidade prima por adotar uma variação única, caracterizada por externar diâmetros crescentes com a profundidade, ou seja, tensões verticais de compressão decrescentes; para uma espessura nula, conforme se pode observar na figura a seguir; o valor da área de distribuição de cargas será igual à área de contato pneu–pavimento ($\sigma_c = 5{,}6 kgf/cm^2$ e r = 10,8cm):

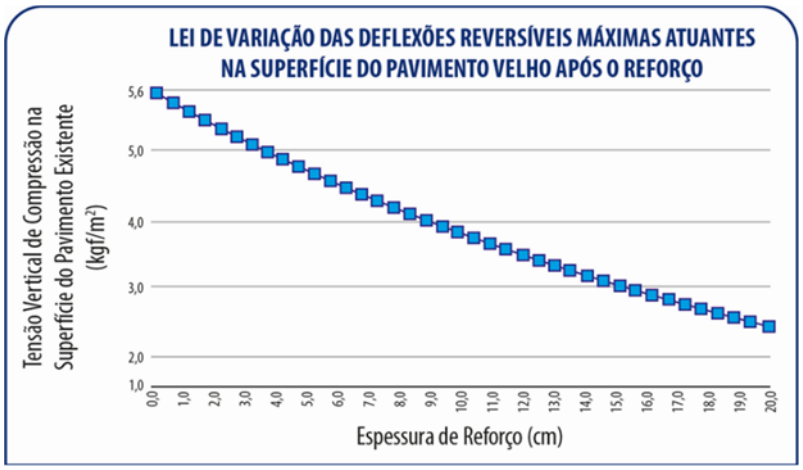


Figura 199 - Lei de variação das tensões verticais de compressão na superfície do pavimento existente considerando diferentes espessuras de reforço

A lei de variação das tensões verticais de compressão que irão atuar na superfície do pavimento existente é estabelecida pela consideração das distintas espessuras da camada de reforço e deve ser devidamente cotejada com o valor da tensão vertical de compressão almejada, definida para propiciar o alívio necessário do pavimento existente e multiplicar sua capacidade de tráfego restante.

A intersecção da lei de variação das tensões verticais – espessuras de reforço com a tensão almejada – estabelece a fronteira entre as espessuras que não atendem à demanda e as espessuras que atendem ao critério reclamado para alívio do pavimento, conforme pode ser observado na ilustração abaixo.

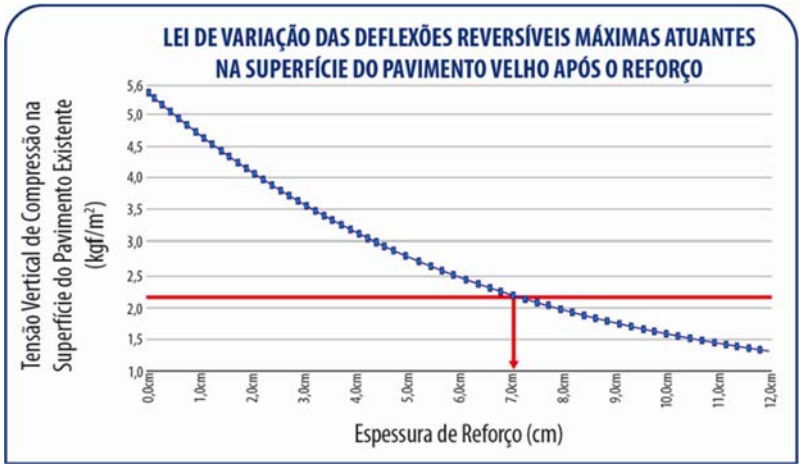


Figura 200 - Cotejamento entre as tensões verticais de compressão no pavimento existente, após o reforço, com a tensão-alívio almejada

Caso não se disponha, entretanto, de procedimento de cálculo automático, um caminho alternativo ainda se apresenta, o qual parte do pressuposto de que a pressão de contato a ser exercida sobre o pavimento velho após o reforço – no exemplo igual a $\sigma_c = 2{,}196 kgf/cm^2$ – requer uma área de distribuição circular traduzida pela expressão:

$$\sigma_c = \frac{Q\ (kgf)}{Área\ (cm^2)}$$

que permite a definição da área de contato circular almejada e de seu respectivo raio:

$$Área_{\ (distribuição\ da\ carga)} = \frac{2050}{2{,}98\ kgf/cm^2} = 687{,}92\ cm^2 \quad \therefore \quad r_{Pav.Existente} = 14{,}8\ cm$$

Desse modo, conhecida a área de distribuição da carga na superfície do pavimento velho – no caso exemplificado com r = 20,88cm –, a continuidade do processo demanda a definição da profundidade a que deverá se dispor essa superfície, exigência que determina a espessura de reforço requerida.

Essa demanda é, entretanto, dificultada pela grande variabilidade dos materiais que compõem o sistema composto pelo pavimento, solo de fundação e o próprio reforço, os quais externam, naturalmente, diferentes qualificações estruturais – diferentes estados de rigidez – que respondem por distribuições de carga completamente distintas.

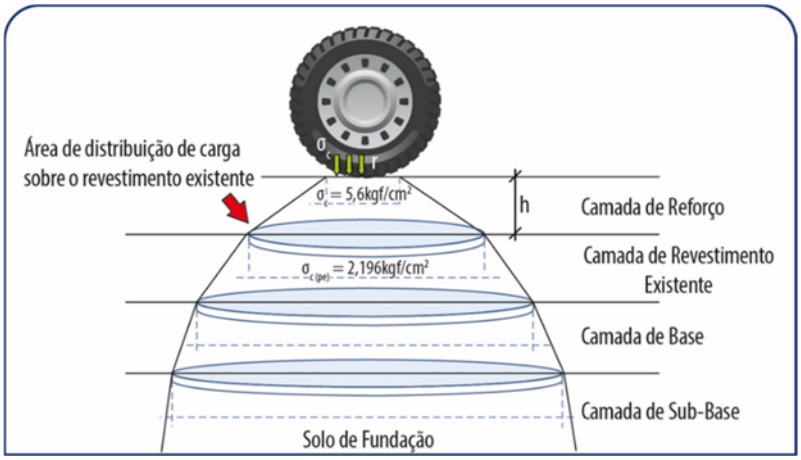


Figura 201 - Definição da pressão de compressão vertical a atuar o pavimento velho após o reforço

Para resolução do problema posto, um artifício analítico interessante se apresenta, fundamentado no conceito de ***espessura equivalente*** estabelecido pelo *Dr. Sven Nils Odemark* (1899-1989) (Investigations as to the elastic properties of soils and design of pavements according to the theory of elasticity Suécia, 1949) –, procedimento que se apresenta detalhado mais adiante nos tópicos referentes ao cálculo dos módulos de rigidez da mistura asfáltica (3.2.6.2.2 - Conceituações de "tempo e carga" e de "frequência de solicitação" e 3.2.6.2.3 - Conceituação de diâmetros específicos).

O artifício proposto por Odemark em sua teoria para dimensionamento de estruturas rodoviárias consiste na transformação das espessuras de todas as camadas de um pavimento (compostas de materiais diferentes) em espessuras convertidas em termos do solo de fundação, ou seja, em espessuras "equivalentes" dotadas de módulos de elasticidade iguais ao do solo de fundação ($\boldsymbol{E}_{sf}$).

Essa equivalência permite transformar um sistema estratificado composto de camadas que externam espessuras e módulos de elasticidade distintos em um sistema constituído por uma camada única, dotada de rigidez igual à do solo de fundação. Essa solução conduz ao denominado *Sólido de Boussinesq*, o qual permite considerar, de forma bastante abalizada, distribuições de carga disciplinadas por *troncos de cone* com as geratrizes dispostas em ângulos aproximadamente iguais a 45º; sob essas condições, torna-se possível determinar a circunferência de distribuição de carga em qualquer profundidade e, decorrentemente, o nível tensiométrico atuante.

Assim, conforme será demonstrado mais adiante, na estrutura do pavimento transformada em um sólido de Boussinesq – dotado de módulo de elasticidade igual a $\boldsymbol{E}_{sf}$ –, as tensões se distribuem segundo um tronco de cone com as geratrizes externas disciplinadas por ângulos de 45º. No caso de um eixo comercial simples, onde não ocorre nenhuma sobreposição de carga,

o diâmetro específico da área de distribuição de cargas a qualquer profundidade é definido pela expressão apresentada e ilustrada na figura a seguir**:**

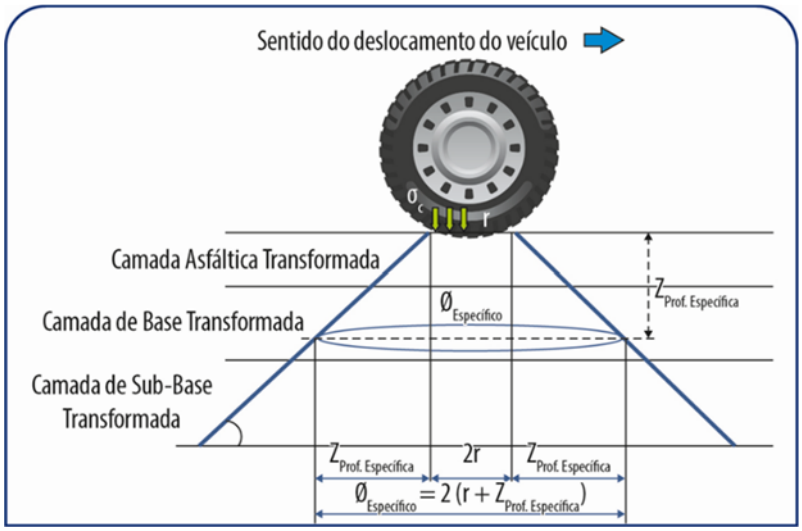


Figura 202 - Definição do Diâmetro específico sob a solicitação de um eixo simples.

$$\Phi_{específico} = 2\ (r + Z_{prof})$$

No caso dos eixos "tandem" duplos, verificam-se três condições de carregamento, traduzidas na parte superior pela não existência de sobreposições de carga, na parte intermediária pela existência sobreposições parciais e na parte inferior, pelas sobreposições totais.

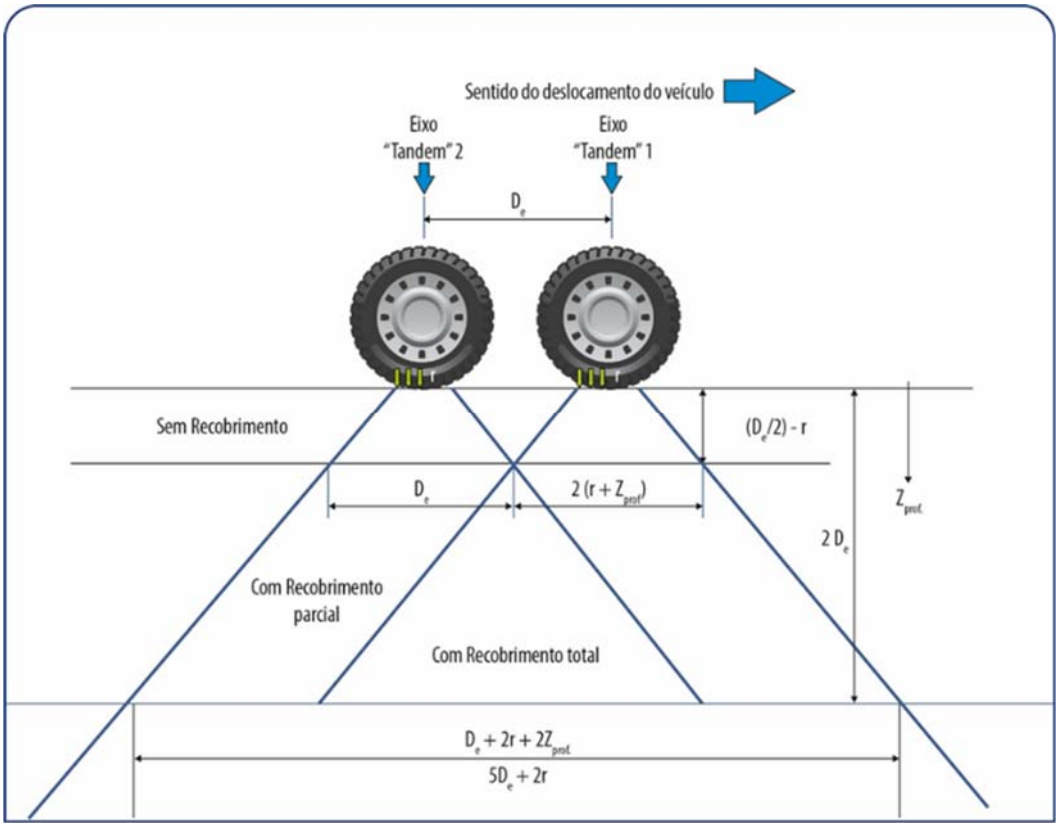


Figura 203 - Distribuição das cargas impostas por um eixo "tandem" duplo.

Embora o procedimento Odemark permita transformar as espessuras das camadas do sistema existente em um maciço único, mantém-se a inda a dificuldade de definir a que profundidade se dispõe a superfície circular correspondente à tensão reduzida, desejada.

Consideradas, entretanto, as condições de carregamento externo (σ_c = 5,6kgf/cm²), conhecida a tensão-alívio requerida pelo pavimento existente (σ= 2,196kgf/cm²) e os módulos de elasticidade do material selecionado para o reforço do pavimento ***(E_{ref})*** e do solo de fundação ***(E_s)*** – obtido por retroanálise –, o cálculo da profundidade a que corresponde a tensão-alívio (superfície circular de raio r = 20,88cm) se torna facilmente resolvível.

No caso da consideração de um *eixo simples*, o cálculo da profundidade da superfície correspondente à pressão a ser exercida – espessura equivalente do reforço – se processa de forma simples, com base na expressão anterior que define o diâmetro específico:

$$\emptyset_{específico} = 2(r + Z_{Prof})$$

$$Z_{Prof.} = \frac{\emptyset_{específico} - 2r}{2} = \frac{(14{,}8\ x\ 2) - 2\ x\ 10{,}8}{2} = 10{,}08\ cm$$

No caso da consideração de um *eixo tandem duplo*, três possibilidades de ocorrência se apresentam – descritas detalhadamente mais adiante –, verificando-se, entretanto, que *as espessuras de reforço mais usuais se enquadram na fração superior do sólido de Boussinesq*. Assim considerando, faz-se, entretanto, necessário averiguar em qual dos três posicionamentos se encontra a profundidade investigada, a qual deve ser pesquisada em profundidades em que não se constatam sobreposições de cargas:

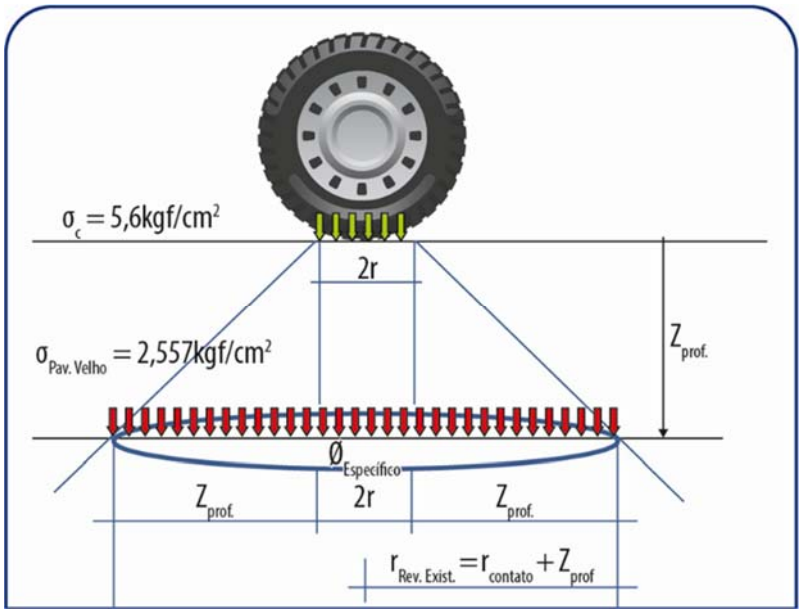


Figura 204 - Definição da profundidade de ocorrência da pressão-alívio requerida.

Essa condição enseja confirmar a profundidade de 10,08cm, também para os eixos "tandem", por meio da resolução das seguintes expressões:

$$\sigma_{Pav.Existente} = 2{,}196\ kgf/cm^2 = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{3{,}14\ x\ (r_{Rev.Existente})^2}$$

$$2{,}196\ kgf/cm^2 = \frac{2050}{3{,}14\ x\ (r + Z_{Prof.})^2}$$

$$Z_{Prof.} = 10{,}08\ cm$$

A finalização do processo se concretiza logo após a transformação inversa: *espessura equivalente* em *espessura real*.

Finalmente, considerando o módulo de elasticidade definido para o reforço estrutural a ser empregado ($E_{ref.}$ = 40.000kgf/cm^2) e o módulo de elasticidade do solo de fundação (E_{sf} = 1815kgf/cm^2) determinado por retroanálise, processa-se a transformação da *espessura equivalente* em *espessura real* que traduz a espessura de reforço requerida para possibilitar o alívio de carregamento necessário; no presente exemplo, tem-se:

$$h_{equiv.} = h_{ref.}\, x \sqrt[3]{\frac{E_{ref.}}{E_{sf}}} \quad \rightarrow \quad h_{ref.} = \frac{h_{equiv.}}{\sqrt[3]{\frac{E_{ref.}}{E_{sf}}}} = \frac{10{,}08}{\sqrt[3]{\frac{40.000}{1815}}} = 3{,}60\ cm$$

$$h_{ref.} = 3{,}60\ cm$$

4.2.7.4.1.2. Definição dos Parâmetros de Dimensionamento Estrutural

4.2.7.4.1.2.1. Considerações Gerais

O procedimento metodológico fundamenta-se na verificação das resistências à fadiga das camadas asfálticas e à deformação permanente dos solos de fundação, condições que demandam necessariamente o cálculo dos esforços atuantes – na face inferior das camadas asfálticas e no topo do solo de fundação – e dos esforços resistentes intrínsecos a cada um desses componentes.

Para a concretização dessas exigências, torna-se primeiramente imperioso o conhecimento – ou a determinação – do *módulo dinâmico* da camada asfáltica de reforço, a ser definido pelas condições de solicitação representativas impostas ao pavimento por uma carga móvel, rolante.

Essa requisição pode ser definida por meio de dois procedimentos básicos:

a. Ensaios laboratoriais dinâmicos realizados com a mistura asfáltica selecionada, os quais devem ser processados contemplando pelo menos 5 temperaturas de ensaio e uma série de frequências de solicitações, de forma que o domínio das experimentações – intervalo de frequências de solicitação de 0,1 - 1,0 e 25Hz (no mínimo) – permita a determinação das *isotérmicas mestras*; com formatos sigmoidais e estabelecidas com base na lei de equivalência frequência – temperatura.

As isotérmicas mestras são obtidas com o emprego de coeficientes de translação definidos pela Lei de Arrehnnius aplicados a resultados de ensaios normalmente conduzidos sob carregamentos dinâmicos (flexão na tração, consolas trapezoidais e mesmo ensaios de compressão uniaxial em corpos de prova de 100mm de diâmetro por 150mm de altura).

Por essa ótica de análise, é bom deixar claro que ensaios para determinação de módulos, realizados a uma frequência única – tipo *tração indireta por compressão diametral*, solicitados com frequência de aplicação de carga de 10 Hz – e a uma única temperatura (25ºC) não se apresentam qualificados para o emprego em dimensionamentos mecanísticos ou

b. O emprego de equações preditivas dos módulos dinâmicos, podendo-se citar notadamente a desenvolvida em conjunto pelo jubilado *professor Mathews Witczak* e pelo *coronel engenheiro Osvaldo Albuquerque Fonseca* – brasileiro ilustre, do Comando da Aeronáutica Brasileira e doutor pela University of Maryland, a qual foi recentemente aperfeiçoada pelo NCHRP com a análise complementar com outros milhares de resultados, obtidos da experimentação de misturas asfálticas de todas as naturezas – granulometrias, ligantes puros ou aditivados, teores volumétricos de

constituição, etc. –, procedimento depois traduzido por equações matemáticas (aproximações sucessivas e mínimos quadrados) em sistema log-log.

Os resultados das experimentações realizadas no âmbito do Programa SHRP, contemplando a análise de enorme quantidade de composições asfálticas, adicionados àqueles anteriormente existentes, permitiram a composição de um banco de dados de magnitude excepcional e um tratamento matemático-estatístico de altíssima consistência que propiciou a obtenção de uma equação preditiva de confiabilidade inconteste.

Considerando as abissais dificuldades para a realização de ensaios experimentais destinados à determinação dos módulos das misturas asfálticas para composição de reforços estruturais, a serem processados sob *diferentes condições de temperatura e a distintas frequências de solicitação* – para os quais são usados equipamentos caríssimos que demandam condicionamentos apropriados e manuseio especializado –, somadas às incertezas da semelhança entre as misturas compostas em laboratório e as misturas a serem produzidas no futuro, nos canteiros de obra, julga-se que a solução que melhor se apresenta consiste na aplicação da equação preditiva já citada, a seguir detalhada.

Para a materialização dessas proposições, no entanto, torna-se fundamentalmente necessário o conhecimento não só das características físicas e volumétricas de constituição da mistura asfáltica selecionada, mas também, de forma potencial, das características de viscosidade do ligante asfáltico eleito e da frequência de solicitação representativa das condições impostas por uma carga móvel que circula a uma determinada velocidade sobre o pavimento.

É importante deixar claro que esta grandeza última, além de ter de representar as solicitações impostas por uma roda em movimento, carece de conhecimento específico, pois depende da velocidade de translação do veículo e varia, de forma decrescente, com a profundidade, particularidade que naturalmente afeta os valores modulares das misturas asfálticas, os quais externam, decorrentemente, um gradiente de rigidez decrescente com a profundidade.

Também no que tange ao cálculo dos esforços atuantes na face inferior das camadas asfálticas e no topo do solo de fundação, é preciso definir previamente as condições de carregamento e os posicionamentos de solicitação máxima atentando para as influências relativas do par de rodas gêmeas que caracteriza um semieixo-padrão e também para as condições de solicitação impostas por cada roda individualmente e em conjunto; nessas avaliações, necessário se torna considerar o diâmetro e os distanciamentos das impressões de contato, as cargas por roda e as tensões de contato exercidas à superfície.

Quanto à definição dos esforços resistentes intrínsecos à mistura asfáltica selecionada e ao solo de fundação, sabe-se que o procedimento mais apropriado consiste também na execução de ensaios laboratoriais com o objetivo de definir as respectivas vidas de fadiga, estabelecidas em função da aplicação de cargas de diferentes magnitudes e do número de repetições para conduzir os materiais ao dano final.

Diante, entretanto, da falta de procedimentos de ensaios mais usuais e das incertezas de qualquer similitude entre as misturas ensaiadas em laboratório e as misturas a serem produzidas no canteiro de obra, julga-se que uma solução alternativa consiste na aplicação de equações preditivas consistentes e confiáveis, principalmente aquelas preconizadas por instituições de renome internacional, largamente aplicadas em todos os cantos do mundo.

Em suma, para esclarecer e elucidar todas essas questões, cruciais para processar dimensionamentos mecanísticos, apresentam-se a seguir as definições de carregamento impostas durante os ensaios de carga dinâmicos e suas analogias com as condições de carregamento impostas pelas cargas móveis que se deslocam à superfície de um pavimento a uma determinada velocidade, bem como as definições dos módulos dinâmicos de misturas asfálticas destinadas a compor o reforço estrutural e suas leis de comportamento à fadiga e à deformação permanente.

4.2.7.4.1.2.2. Determinação dos Módulos de Rigidez das Misturas Asfálticas

O conhecimento preciso do módulo de rigidez das misturas asfálticas constitui essência fundamental para a avaliação, diagnóstico e dimensionamento de pavimentos e também para a estimativa de seus desempenhos.

O processo ideal de determinação dos valores modulares consiste na realização de ensaios laboratoriais que empregam distintos métodos de ensaio, os quais recebem diferentes denominações consoante o tipo de carga aplicada: *Módulo Dinâmico* e *Módulo Resiliente,* que são determinados por carregamentos dinâmicos mas diferem pelas frequências de aplicação das cargas: no primeiro, as cargas são aplicadas de forma continuada em frequências distintas, variando de 0,1 a 25Hz, enquanto no segundo, consideram-se períodos de repouso (usualmente tempos de carga igual a 0.1s e de repouso igual a 0,9s).

Os métodos de ensaio mais tradicionais são os de rigidez flexural (tração na flexão considerando um ou mais pontos de carga e flexão de consolas trapezoidais) que possibilitam a determinação do Módulo Complexo (Dinâmico) e o de Tração Indireta por Compressão Diametral, que permite a determinação do Módulo Resiliente; cabe destacar sobre este último método o fato de ter sido ele concebido e desenvolvido pelo emérito *professor Lobo Carneiro*, conhecido na Europa como *Ensaio Brasileiro*.

Em face, entretanto, das dificuldades naturais de realização desses ensaios, que demandam equipamentos sofisticados e condições especiais de execução (calibrações, LVDT, extensômetros e temperatura), particularidades que se somam aos seus custos bastante elevados, vários organismos e entidades rodoviárias e universidades, mundialmente reconhecidos, se propuseram a estudar famílias de misturas asfálticas e, com base nos resultados obtidos, estabelecer correlações estatísticas para definição de tendências comportamentais; as pesquisas desenvolvidas resultaram do desenvolvimento de equações preditivas e em nomógrafos, dentre os quais podem ser destacados os de Saunier, Heukelom e Klomp, van der Poel, McLeod, Shell, Asphalt Institute, etc.

Dentre os principais centros de pesquisa/pesquisadores de soluções preditivas de valores modulares de misturas asfálticas, podem ser referenciados como de altíssimas qualificações científicas os seguintes:

- Procedimentos analíticos:
    - The Asphalt Institute
        - Mathews Witczak
    - Shell Technology Centre Amsterdam (KLSA)
        - C. van Der Poel
    - Centre de Recherches Routières
        - L. Francken
        - J. Verstraeten
    - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
        - J. Saunier
- Procedimentos fundamentados no Cálculo das Isotérmicas Mestras:

- Laboratório Nacional de Engenharia Civil
  - P. Gontijo

os quais foram utilizados pela *Metodologia Paragon* durante a última vintena d'anos; no âmbito da seleção do valor representativo adotou-se, nos primórdios, o valor modular médio.

A partir de 1995, entretanto, passou-se a adotar, de forma sistemática, a equação preditiva desenvolvida em conjunto por professor *Mathews Witczak* e *coronel engenheiro Fonseca*, cujo modelo se apresentava superior aos demais, pois permitia a avaliação de módulo dinâmico para uma grande variedade de misturas/propriedades asfálticas, tendo em conta ainda os distintos graus de envelhecimento do ligante asfáltico em curto e longo prazo; os ensaios foram efetuados a f = 1 - 6 e 16Hz.

Devido à sua estrutura matemática (curva sigmoidal), o modelo permite ainda estimar o módulo da mistura sob condições extremas de temperatura (muito baixas ou bastante elevadas) por meio do emprego da equação apresentada a seguir:

$$logE = -0{,}261 + 0{,}008225.pen_{200} - 0{,}00000101.(pen_{200})^2 + 0{,}00196.pen_4 - 0{,}03157\,.V_v -$$

$$- 0{,}415.\frac{V_b}{(V_b + V_v)} + \frac{1{,}87 + 0{,}002808.p_4 + 0{,}0000404.p_{3/8} - 0{,}0001786.(p_{3/8})^2 + 0{,}0164.p_{3/4}}{1 + e^{(-0{,}716.log(f) - 0{,}7425.log(\eta))}}$$

em que:

E = Módulo dinâmico da mistura asfáltica (x10⁶psi);
η = Viscosidade do ligante asfáltico (x10^6 Poises) (qualquer temperatura ou grau de envelhecimento);
f = Frequência de aplicação da carga (Hz);
V_v = Volume total de vazios (%);
V_b = Teor volumétrico em betume (%);
$p_{3/4}$ = % acumulada retida na # 3/4 (19mm) em relação ao peso total de agregados;
$p_{3/8}$ = % acumulada retida na # 3/8 (9,5mm) em relação ao peso total de agregados;
p_4 = % acumulada retida na # 4 (4,76mm) em relação ao peso total de agregados;
p_{200} = % *passando* na peneira # 200 em relação ao peso total de agregados (acumulada).

Mais recentemente (2002), todavia, com as experimentações processadas no âmbito do Programa SHRP (Long Term Pavement Performance) e a proposta dos americanos de desenvolverem um Guia de Dimensionamento de Pavimentos e de seus Reforços Estruturais, os pesquisadores incorporaram à base de dados originais de Fonseca e Witczak uma enorme massa de dados, os quais foram devidamente tratados.

Os resultados obtidos permitiram o estabelecimento de uma nova equação preditiva dos módulos das misturas asfálticas; esses resultados constam do *NCHRP - Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavement Structures – Development of a Revised Predictive Model for the Dynamic (Complex) Modulus of Asphalt Mixtures*.

A proposição de recalibrar a equação preditiva de Fonseca e Witczak se fundamentou no fato de que os princípios estatísticos clássicos não recomendam a extrapolação de qualquer modelo para além das variáveis contidas na população tratada; consideraram, assim, que a equação, embora embasada em um notável banco de dados composto de 1.430 amostras apreciando 149

misturas, só contemplava misturas que empregam cimentos asfálticos convencionais, particularidade que não a qualificava para o caso dos cimentos asfálticos modificados.

Complementarmente, consideraram ainda que o banco de dados original cobriu apenas uma faixa estreita de tipos de aglutinante e questionaram a geometria e o processo de compactação, por amassamento, empregado na confecção dos espécimes cilíndricos (4" de diâmetro por 8" de altura).

Assim, desenvolveram uma série de pesquisas complementares, também conduzidas pelo *professor Witczak*, que permitiram incorporar ao antigo banco de dados os resultados obtidos de ensaios realizados com frequências de 0,1 – 1,0 – 25Hz em cerca de 1.320 amostras contemplando 56 misturas asfálticas diferenciadas: 34 misturas constituídas com cimentos asfálticos modificados e 22 com asfaltos convencionais; para cada mistura, foram ensaiadas de 20 a 30 amostras, todas obtidas por compactação com prensa de cisalhamento giratório (espécimes com diâmetro de 7,0cm por 15,0cm de altura).

O novo banco de dados cobriu ainda uma gama muito maior de valores de viscosidades, determinadas para cada temperatura de ensaio (20 tipos de aglutinantes asfálticos e 5 temperaturas de ensaio) e foram consideradas 39 composições granulométricas distintas.

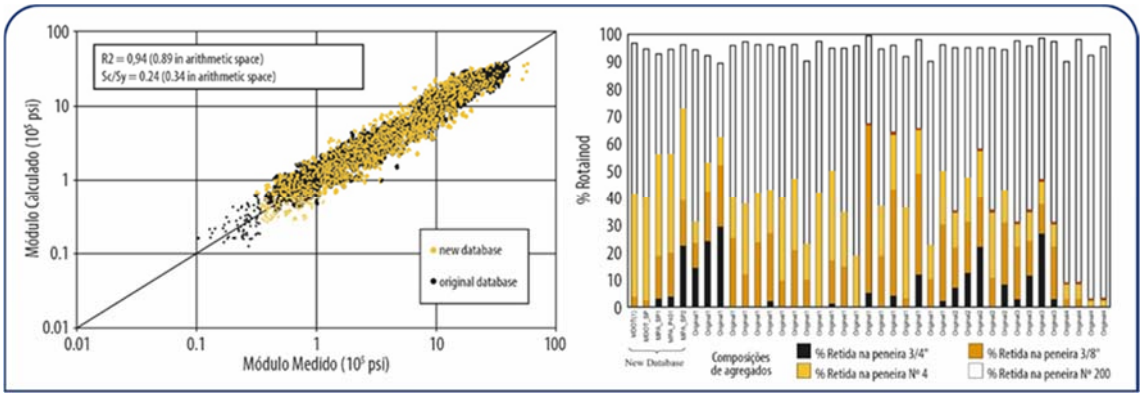


Figura 205 - Correlações entre os valores modulares de misturas asfálticas medidos e calculados pela equação preditiva e graduações granulométricas consideradas (Fonte NCHRP 1-37).

Dessa forma, tendo em conta que o modelo de fadiga resultante externou elevadíssima precisão (coeficiente de regressão R2 = 0,941, Se/Sy = 0,244) entre os valores medidos e calculados, julgou-se consistente passar a adotar a equação preditiva para determinação do módulo dinâmico de mistura asfáltica desenvolvida no âmbito do NCHRP, adoção alicerçada pela contemplação intrínseca de diferentes graus de envelhecimento, de distintas composições granulométricas – *desde misturas de areia-asfalto até misturas densas* – e de uma notável gama de *cimentos asfálticos modificados e convencionais*.

Afiançou ainda essa opção o fato de o modelo final não perder a precisão nem mesmo nas condições extremas de temperatura/frequência. Assim considerando, no âmbito da *Metodologia Paragon*, passou-se a adotar a equação preditiva apresentada a seguir para cálculo do módulo de rigidez de misturas asfálticas:

$$logE = -1{,}249937 + 0{,}029232.p_{200} - 0{,}001767.(p_{200})^2 - 0{,}002841.p_4 - 0{,}058097.V_v -$$

$$- 0{,}802208\frac{V_b}{(V_b + V_v)} + \frac{3{,}871977 - 0{,}0021.p_4 + 0{,}003958.p_{3/8} - 0{,}000017.(p_{3/8})^2 + 0{,}005470.p_{3/4}}{1 + e^{(-0{,}603313 - 0{,}313351.\log(f) - 0{,}393532.\log(\eta))}}$$

em que:

E = Módulo dinâmico da mistura asfáltica ($x10^5$.psi);
η = Viscosidade do ligante asfáltico ($x10^6$ Poises) (qualquer temperatura ou grau de envelhecimento);
f = Frequência de aplicação da carga (Hz);
V_v = Volume total de vazios na mistura (%);
Vb = Teor volumétrico de asfalto (%);
$p_{3/4}$ = % acumulada retida na # 3/4 (19mm) em relação ao peso total de agregados;
$p_{3/8}$ = % acumulada retida na # 3/8 (9,5mm) em relação ao peso total de agregados;
p_4 = % acumulada retida na # 4 (4,76mm) em relação ao peso total de agregados;
p_{200} = % *passando* na peneira # 200 (0,076mm) em relação ao peso total de agregados.

Em que pese as equações preditivas terem sido desenvolvidas por meio de resultados obtidos em ensaios de carga em laboratório e estendidas para uma ampla gama de frequências com base no cálculo das *Isotérmicas Mestras* – forma sigmoidal definida com base na lei de equivalência frequência *versus* temperatura –, a dificuldade maior para seu emprego consiste, seguramente, na *definição da frequência de solicitação das cargas aplicadas*.

No âmbito dos ensaios dinâmicos – que permitem a determinação dos módulos complexos –, processados por meio de carregamentos contínuos impostos por solicitações de variação senoidal, a frequência de aplicação das cargas (no domínio experimental) varia no intervalo disposto entre ***1 e 25Hz***.

Em contraposição, já nos ensaios para determinação dos módulos resilientes (tração indireta), a aplicação de cargas é processada por meio de "60 aplicações de carga/minuto", dividida em *tempos de carga iguais a 0,1s* – singularidade que traduz a uma frequência constante, definida pelo inverso do tempo de carga (f = 1/t), da ordem de *10Hz* – e um *tempo de repouso de 0,9s*.

A complementar, vale destacar que versões mais recentes que classificam esse carregamento repetitivo como aproximadamente "semissenoidal" constituem uma busca inócua dispensável para expressar, de forma matemática, a "memória viscosa" da qual é provida uma mistura asfáltica.

Além dos cuidados necessários na seleção das frequências de carregamento a serem empregadas nas equações preditivas, uma particularidade respeitável ainda se apresenta quando se tem em conta o cotejamento entre os tempos de aplicação de carga impostos em laboratório e aqueles realmente impostos a um pavimento por uma carga móvel, rolante, disposta sobre uma impressão de contato circular, com diâmetro da ordem dos 21,6cm:

- Nos laboratórios, os tempos de carga aplicados nos ensaios dos módulos dinâmicos são rápidos e senoidais – sem tempo de repouso –, e as frequências usualmente aplicadas são iguais a *0,1Hz (t_c = 10s) – 1Hz (t_c = 1s) e 25Hz (t_c = 0,04s)*, enquanto nos ensaios de tração indireta por compressão diametral (os mais usuais) o tempo de carga é constante t_c = *0.1s* –, ao qual corresponde a uma frequência *f = 10Hz* – seguido de um tempo de repouso igual a 0,9s.
- No pavimento, a frequência de solicitação imposta por uma carga móvel, rolante, é estabelecida em função da velocidade angular – ou da relação entre a velocidade escalar retilínea (V) e o raio do pneumático (R) – desenvolvida pela roda de um veículo carregado (no qual cada revolução mede $2\pi R$) que se desloca a uma velocidade (V):

$$\boldsymbol{\omega\ (frequência\ angular) = \frac{V}{R}} \quad \textbf{e} \quad \boldsymbol{f\ (frequência\ normal) = \frac{\omega}{2\pi}}$$

$$\boldsymbol{f(frequência\ normal) = \frac{V}{2\pi r}}$$

Considerando, portanto, uma velocidade de translação de um caminhão carregado igual a ***80km/hora*** (22,22m/s) e o diâmetro médio dos pneus na ordem de 45 polegadas (114,3cm) – raio igual a 22,5 polegadas, ou seja, r = 0,5715m –, a frequência de repetição das cargas é igual a:

$$f = \frac{22{,}22\ m/s}{2\ x\ 3{,}14\ x\ 0{,}5715m} \quad \therefore \quad f = 6{,}19\ Hz$$

Como a frequência é o inverso do período (f = 1/t), o tempo de cada revolução – ou de repetição de carga de uma mesma geratriz – será igual a:

$$t_c = \frac{1}{f} = \frac{1}{6{,}19} \quad \therefore \quad f = 0{,}162\ s$$

ou de forma mais simples:

$$\omega = \frac{2.\pi}{t}\ em\ rad/s \quad ou \quad t = \frac{2.\pi}{\omega}\ em\ s$$

Sabendo-se que:

$$\mathrm{v} = \omega.r \rightarrow \mathrm{v} = 2.\pi.\mathrm{f}.\mathrm{r} \rightarrow \mathrm{v} = 2.\pi.(1/\mathrm{t}).\mathrm{r}$$

tem-se:

$$t_c = \frac{2\pi \mathrm{r}}{\mathrm{V}} = \frac{2\ x\ 3.1416\ x\ 0{,}5715\ m}{22{,}22\ m/s} \quad \therefore \quad t_c = 0{,}162\ s$$

Esse processo de *cálculo teórico* aplicado à velocidade angular refere-se todavia a uma geratriz específica da circunferência externa da roda em movimento que atua no pavimento (contato): o resultado expressa, portanto, o tempo que essa geratriz – "do pneu, sob carga" – processa uma revolução completa e solicita novamente o pavimento.

Em que pese, entretanto, as considerações sobre os tempos de carga, existe uma incoerência no caminho que merece atenção especial e reflexão plena: o tempo *real* de solicitação de um *elemento unitário disposto sobre a superfície* de um pavimento quando da passagem de uma carga móvel, rolante, corresponde ao tempo necessário para a impressão de contato do pneumático – circular, com diâmetro da ordem de 21,6cm – transladá-lo, ou seja, corresponde ao tempo que o elemento superficial, ao entrar na zona de influência da impressão de contato (em movimento), fica sobreposto até que seja ultrapassado.

Sob essas condições de carregamento, considerando a velocidade de um veículo pesado da ordem de 80km/h (22,22m/s), a integração numérica conduz a um tempo de submissão de um elemento superficial à carga aplicada $t_c = 0{,}01s$, calculado pela expressão elementar.

$$t_c = \frac{distância}{velocidade} = \frac{Ø_{impressão\ de\ contato}}{V} = 0{,}01s$$

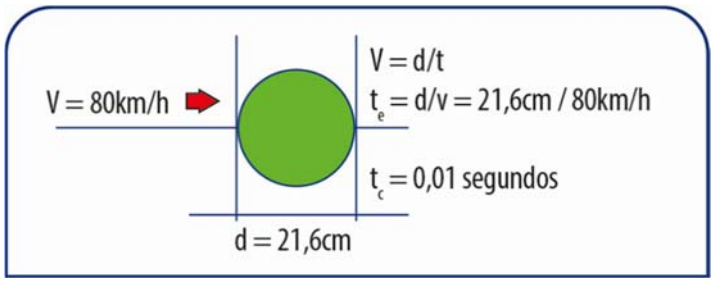


Figura 206 - Tempo de aplicação de carga real de um eixo-padrão sobre um pavimento

Outra forma de poder avaliar o real tempo de carga sofrido por um *elemento superficial* do pavimento *durante a translação de um veículo pesado* pode ser apreciada considerando o comprimento do diâmetro da impressão de contato (*Ø = 21,6cm*) distribuído sequencialmente ao longo da circunferência externa do pneu (*2p = 2πR*) e calcular o tempo de solicitação exercido por cada impressão de contato durante o seu percurso:



Figura 207 - Distribuição das impressões de contato impostas no pavimento por um veículo carregado

$$perímetro\ 2p = \ 2\pi R = 2\ x\ 3{,}1416\ x\ (22{,}50\ x\ 2{,}54) = 359{,}08\ cm$$

Número de impressões de contatos cabíveis no perímetro ilustrado na figura acima:

$$\frac{2p}{Ø_{impressão\ de\ contato}} = \frac{359{,}08}{21{,}6} = 16{,}62\ impressões$$

Como o tempo total de revolução do pneu é igual a:

$$t_c\ = \ 0{,}162\ s$$

o tempo de carregamento exercido durante cada impressão de contato será igual a:

$$t_{c\ (impressão\ de\ contato)} = \frac{0{,}162}{16{,}62} \qquad \therefore \qquad t_c = 0{,}01s$$

Mutatis mutandis, constata-se que o tempo de carga *real* exercido sobre um *elemento superficial* do pavimento *quando da passagem de um pneumático* carregado se deslocando a

80km/h, considerando ambos os procedimentos já descritos, é o mesmo e igual a $t_c = 0{,}01s$; tal valor permite inferir, em termos de *conceituação física, que a frequência de solicitação proporcionada por uma carga móvel, rolante, em um ponto superficial do pavimento, é da ordem de 100Hz*.

A título de informação complementar e comparativa, vale destacar, considerando os procedimentos já descritos, que a um tempo de aplicação de carga da ordem de *0,1s* corresponde a um caminhão carregado se deslocando à superfície com velocidade acerca de *7km/h*, valor que realmente não se coaduna com a realidade das operações rodoviárias.

À guisa de ajuizar as presentes determinações, vale destacar que as avaliações do sistema estratificado existente – pavimento - solo de fundação – quando processadas por meio do emprego do FWD, são determinadas por ensaios realizados à superfície com tempos de carga bastante similares, com o pico da carga ocorrendo a cerca de 12ms, ou seja, $t_c = 0{,}012$ *segundos* – tempo de aplicação da carga de 8ms a 12ms (4ms) e tempo de descarga de 12ms a 29ms (17ms); essas constatações constam das saídas típicas dos equipamentos FWD.

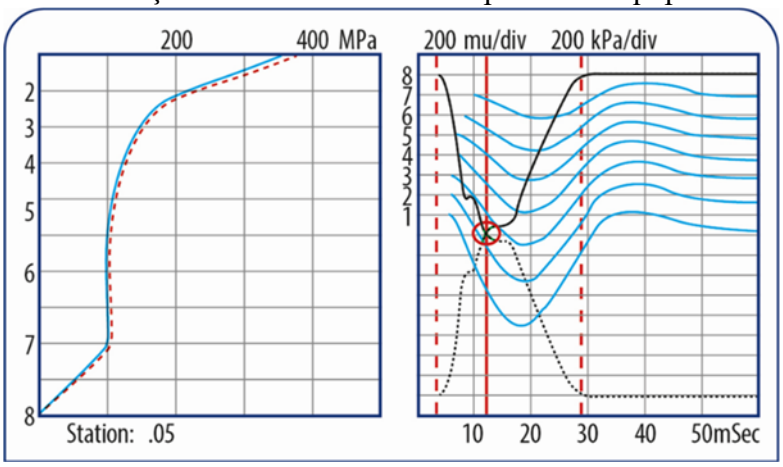


Figura 208 - Registro da magnitude e dos tempos de aplicação da carga e de propagação das ondas captadas pelos diferentes geofones

Em que pese o FWD gerar ondas localizadas e fixas numa determinada seção – o último geofone acusa a carga somente por volta dos 23ms, diciplinadas por uma frequência de solicitação imposta à superfície $f = 83Hz$, bastante aproximada daquela impingida por uma carga móvel, rolante ($f = 100Hz$).

Destaque-se complementarmente a notável manifestação do comportamento reológico da mistura asfáltica – material viscoelástico – traduzida pela diferença externada entre o tempo de aplicação da carga máxima (12ms) e o tempo de acusação da deformação máxima(18ms).

3.7.4.1.2.2.1. *Determinação dos tempos de carga e das frequências de solicitação*

Primeiramente, necessário se torna deixar claro que, em termos reológicos, o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas depende mesmo, de forma fundamental, é do *tempo de aplicação de carga* – a frequência constitui apenas um artifício conceitual –, o qual verdadeiramente rege suas tendências comportamentais: maiores tempos de carga realçam a componente viscosa e menores tempos de carga realçam a componente elástica.

A título de exemplificar essa assertiva e a importância do tempo de aplicação de carga, basta lembrar que a aplicação de uma única carga sobre uma mistura asfáltica por um período longo

– carga estática (tempo de aplicação infinito e frequência nula) – provoca deformações permanentes importantes, simplesmente pelo realce de sua componente viscosa: a mistura asfáltica flui sob a carga.

À potencialização desse comportamento reológico das misturas asfálticas – material termossensível – soma-se a temperatura, grandeza física que também detém a propriedade de realçar a componente viscosa dos materiais asfálticos, tanto mais, quanto mais elevada; essa somestesia confere à *temperatura* uma influência tão fundamentalmente importante quanto o *tempo de carga* na avaliação de misturas asfálticas.

Desse modo, torna-se essencial, nos cálculos dos valores modulares das misturas asfálticas, ter-se sistematicamente em conta o par homólogo – indissociável – dos parâmetros que ditam seus comportamentos reológicos: o *tempo de carga e a temperatura*, os quais condicionam, de forma notável, a magnitude da rigidez.

Sobre esse particular, vale lembrar que embora os tempos de aplicação de carga para execução dos *ensaios laboratoriais* (determinação dos módulos) sejam bem precificados, não se constata, nos compêndios técnicos, a vinculação dos resultados obtidos com aqueles pertinentes aos tempos de carga realmente sofridos pelos elementos de um pavimento solicitado por cargas móveis e rolantes (processos de adequação e/ou correção).

Também não se constatam recomendações similares para o caso do emprego de equações previsionais para processar o cálculo do módulo de rigidez de misturas asfálticas, lembrando que esse parâmetro é imprescindível no dimensionamento de pavimentos, pois condiciona a magnitude dos esforços solicitantes nas camadas asfálticas.

3.7.4.1.2.2.2. Conceituações de “tempo de carga” e de “frequência de solicitação”

Para determinar o módulo dinâmico das camadas asfálticas no âmbito do sistema composto pelo pavimento - solo de fundação, torna-se fundamentalmente importante definir, com a devida acurácia, o tempo de aplicação que as cargas pesadas impõem ao pavimento, o qual inclusivamente varia, de forma crescente, com a profundidade; dado o fato de os esforços impostos por uma carga móvel rolante serem de natureza ondulatória – ondas senoidais – tem se empregado, com maior assiduidade, o conceito de frequência da solicitação, definido pelo inverso do tempo de carga (f=1/t).

Sobre o emprego da frequência de solicitação de uma carga, cabe primeiramente estabelecer uma distinção conceitual entre duas citações muito usuais na Engenharia de Pavimentos, as quais, bastante distintas, têm suas diferenciações pouco apuradas, dando margens a entendimentos por vezes confusos: *frequência de solicitação de uma carga* e *frequência de aplicação das cargas*.

A *frequência de solicitação de uma carga* corresponde à frequência de solicitação imposta ao pavimento, de forma cíclica, por *uma única carga móvel*, rolante, se deslocando em movimento retilíneo uniforme e que é estabelecida em função da velocidade angular – ou da relação entre a velocidade retilínea (V) e o raio do pneumático (r).

A *frequência de aplicação das cargas*, substancialmente distinta, é empregada para definir a frequência com a qual os veículos que compõem a frota usuária acontece, dependente do volume de tráfego e ocorrente de forma fortuita e contingente, não governada por qualquer tipo de regência matemática (sequências indisciplinadas de ocorrência); ocorre de forma aleatória ao longo do tempo, variando durante o ano, durante o dia e mesmo durante as horas e de estrada para estrada.

Dessa diferenciação depreende-se que a agressão imposta a uma camada asfáltica e ao restante do pavimento, para além da magnitude da carga, é função da velocidade de deslocamento de um veículo comercial, grandeza que responde pelo aumento da frequência de solicitação imposta ao pavimento pelas rodas, *independentemente do número de eixos e de suas composições com rodas simples ou duplas*; quanto maior a velocidade de translação, menor o tempo de aplicação da carga e maior a frequência de solicitação, variável que responde de forma incisiva no comportamento dos materiais viscoelásticos: tempos de carga elevados/frequências baixas respondem pelo realce da componente viscosa, que replicam na redução de sua rigidez (menores valores modulares).

As cargas aplicadas à superfície de um pavimento são transmitidas a partir de áreas de contato pneu–pavimento aproximadamente circulares e se distribuem, em profundidade, sob a forma de um *tronco de cone*, cujas geratrizes externam inclinações ditadas pelos estados de rigidez de cada camada constitutiva.

Assim, no âmbito de um pavimento típico, composto de camadas sobrepostas ao solo de fundação, as tensões produzidas à superfície se distribuem em profundidades com intensidades ditadas pelas características dos materiais, os quais ditam as inclinações das geratrizes do tronco de cone: mais espraiadas ou suaves quando da presença de materiais mais rígidos (concreto asfáltico) e mais severas ou acentuadas quando da presença de materiais menos rígidos (camadas granulares), conforme ilustrado de forma esquemática apresentada na sequência.

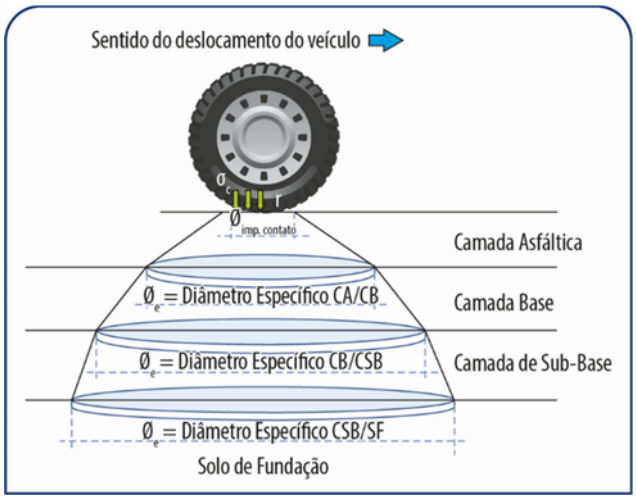


Figura 209 - Diâmetros específicos das áreas de carga na superfície e nas interfaces entre camadas

Sob tal conceituação, o tempo de submissão de um elemento interno do pavimento a uma carga rolante, distribuída à superfície sobre uma área circular, se estabelece por meio de sua interação com a carga – processo que se institui durante a aproximação, sobreposição e afastamento da carga móvel – distinção que depende da velocidade de deslocamento do veículo e da profundidade do ponto considerado; conforme já evidenciado, as áreas de distribuição das cargas com a profundidade são circulares, com diâmetros específicos variáveis e crescentes.

Assim, embora se considere a velocidade de translação constante, as tensões verticais induzidas à superfície se distribuem com a profundidade por meio de "troncos de cone" – atrelados ao aumento projecional definido por suas "saias" de distribuição –, particularidade que propicia a solicitação dos elementos dispostos a maiores profundidades ainda quando do processo de aproximação, acionados pela *geratriz de avanço* da "saia" de influência da carga que a acompanha durante o translado.

O tronco de cone das tensões se locomove conjuntamente com a carga e sua *geratriz de avanço* atinge o ponto em profundidade antes da sobreposição da carga e sob carga permanece, até que sua *geratriz de retaguarda* o ultrapasse. As áreas circulares em profundidade, externando diâmetros específicos, *sequencialmente maiores com a profundidade*, são definidas pelas isotensões.

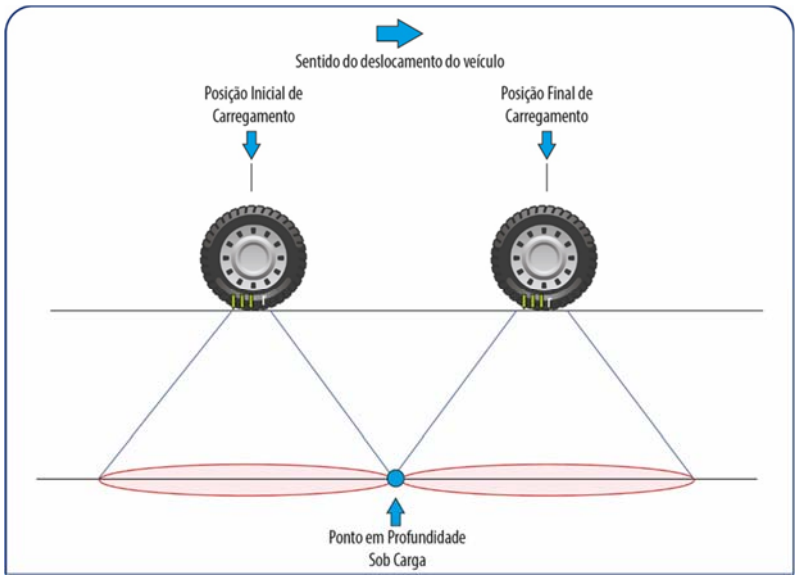


Figura 210 - Atuação da zona de influência das cargas e processo de solicitação de um ponto no interior do pavimento

Desta forma, considerando a velocidade de deslocamento de uma carga móvel à superfície, o tempo de solicitação de um elemento no interior do pavimento corresponde ao tempo necessário para que o *diâmetro específico* em profundidade o translade; o tempo de submissão à carga será, portanto, determinado por meio da relação elementar: t = d/V e, por conceituação física, seu inverso definirá a frequência de solicitação.

3.7.4.1.2.2.3. *Conceituação de diâmetros específicos*

A definição exata das distribuições de carga – dependente das rigidezes dos diferentes materiais – necessária à perfeita definição dos "diâmetros específicos" a diferentes profundidades do sistema, embora demande cálculo teórico complexo, calcado nos princípios básicos ditados pela Teoria da Elasticidade aplicada a sistemas estratificados, foi recentemente objeto de um programa de cálculo automático desenvolvido pela Strata Engenharia. Todavia, não se trata de uma ferramenta de fácil acesso e tampouco corriqueira, pois demandam equações matemáticas complexas para se arrolar as rigidezes às inclinações das distribuições de carga.

Assim considerando, julgou-se presentemente válido e interessante descrever o procedimento originalmente aplicado pela Strata Engenharia – antes do processo de automatização – que consiste na consideração de um artifício físico, empregado pela primeira vez pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano - *USACE* no cálculo dos coeficientes de equivalência de carga por eixo – que empregou o conceito de *espessura equivalente* estabelecido por *Sven Nils Odemark* (*Suécia*, 1899 - 1989); sua teoria para o dimensionamento de estruturas rodoviárias se fundamenta na transformação das espessuras das camadas de um pavimento em *espessuras equivalentes*, todas dotadas de módulo de rigidez igual ao solo de fundação (E_{sf}).

Nessa metodologia, a espessura fictícia é calculada por uma compensação: para que uma camada superior mais rígida, com módulo superior, possa ser representada pelo solo de fundação, de menor rigidez, deve-se promover o aumento de sua espessura de forma a compensar a diferença modular. Os cálculos foram processados com o emprego das equações de *Joseph Valentin Boussinesq* (França – 1842-1929) e contemplaram, fundamentalmente, a linha de influência dos assentamentos reversíveis produzidos no pavimento quando da atuação das cargas do tráfego (deformações reversíveis e o raio de curvatura).

Assim procedendo, *Odemark* sentenciou que a equivalência entre camadas se estabelece – sem influenciar as tensões e deformações – desde que se verifique a seguinte identidade:

$$\frac{h_1^3 \,.\, E_1}{1 - \mu_1^2} = \frac{h_e^3 \,.\, E_2}{1 - \mu_2^2}$$

ou seja

$$h_{equivalente} = h_1 \, x \left\{ \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2} x \frac{1 - \mu_2^2}{1 - \mu_1^2}} \right\}$$

Em termos de aplicação desse critério de equivalência tem-se verificado a admissão usual de coeficientes de Poisson iguais para todas as camadas, prática que se alicerça no fato de as deformações relativas verticais e horizontais necessárias ao seu cálculo externarem graus de precisão reduzidos; sob tais condições tem-se o *coeficiente de equivalência estrutural*:

$$h_e = h_1 \, x \left\{ \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} \right\}$$

Essa equivalência permite transformar um sistema estratificado composto de camadas – exemplo: camadas de revestimento, de base e de sub-base – dotadas de módulos de elasticidade distintos, em um sistema constituído por uma camada única caso sejam elas convertidas em termos do solo de fundação, solução que recai no denominado *Sólido de Boussinesq* – maciço elástico, homogêneo, isótropo e semi-infinito –, para o qual passam a valer, em termos bastante aproximados, as simplificações das fenomenais hipóteses admitidas e calculadas por esse engenheiro formidável.

Desta forma, para poder fazer o cálculo das tensões atuantes a diversas profundidades, basta apenas transformar o sistema de três ou mais camadas em um *Sólido de Boussinesq*, ou seja, num maciço único, "composto" exclusivamente de solo de fundação, externando espessura equivalente total correspondente à soma das espessuras das camadas originais convertidas.

O maciço equivalente é composto de módulo de elasticidade correspondente ao do solo de fundação - $\boldsymbol{E_{SF}}$, sua espessura equivalente total é definida pela expressão a seguir, e as espessuras equivalentes para cada camada são ilustradas, de forma esquemática, a seguir:

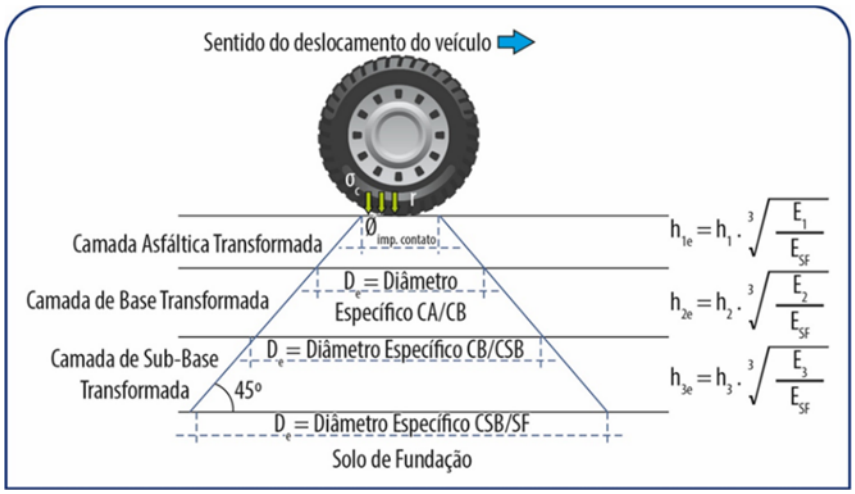


Figura 211 - Representação esquemática da espessura equivalente de um pavimento transformado em um "solido de Boussinesq" com módulo de elasticidade igual ao do solo de fundação

A vantagem dessa transformação consiste fundamentalmente na facilidade de poder estimar os valores das tensões impostas à superfície a quaisquer profundidades, haja vista que em um maciço de Boussinesq a distribuição de cargas ocorre por meio de *troncos de cone* com as geratrizes dispostas em ângulos aproximadamente iguais a 45º.

Assim, a cada profundidade corresponderá uma circunferência de distribuição de carga para a qual se pode estabelecer o nível tensiométrico a que estará submetida; paralelamente, conhecidos o seu diâmetro específico e a velocidade de percurso de um veículo pesado à superfície, pode-se calcular concomitantemente o tempo em que essa superfície circular considerada estará submetida à ação da carga móvel e, por conseguinte, à frequência de sua solicitação.

3.7.4.1.2.2.4. *Cálculo da profundidade específica na seção transformada*

Considerando, pois, a distribuição de carga disciplinada por inclinações de 45º, a profundidade na seção transformada pode ser calculada pela seguinte relação:

$$Z_{prof.} = \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_{SG}}} \right\} + h_n \cdot \sqrt[3]{\frac{E_n}{E_{SG}}} = \sum_{i=1}^{i=n-1} h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_{SG}}}$$

Como exemplos, para o cálculo da espessura na face inferior da camada asfáltica, basta tomar n = 1 e para o cálculo na metade da camada asfáltica n = 1/2; assim, tem-se respectivamente:

$$Z_{(prof=h_1)} = h_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{SG}}}$$

e

$$Z_{(prof=h_1/2)} = \frac{h_1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{SG}}}$$

Ou para o cálculo da profundidade da seção correspondente a 2/3 da camada de sub-base do pavimento, tem-se a equação:

$$Z_{(prof=2h_3/3).} = \sum_{i=1}^{2} \left\{ h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_{SG}}} \right\} + \frac{2h_3}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_{SG}}}$$

3.7.4.1.2.2.5. *Cálculo dos diâmetros específicos na seção transformada*

O diâmetro específico para uma determinada profundidade na seção transformada depende do diâmetro da impressão de contato e do número de eixos representativo da frota de veículos pesados atuante, e sua definição requer, naturalmente, um procedimento de cálculo adequado.

Na busca desse procedimento, julgou-se que a pedra angular poderia se respaldar no processo adotado pelo Corpo de Engenheiros dos EUA (USACE) para o cálculo da carga equivalente de um eixo simples (ESAL), caminho que, trilhado, demandou a admissão de algumas premissas básicas: que a *sobreposição completa* das cargas de eixos individuais ocorre a partir de profundidade igual ou maior que duas vezes a distância livre entre eixos de carga e que nas *profundidades intermediárias*, em que se verificam sobreposições de carga, estas são regidas por variações lineares em escala de log-log.

3.7.4.1.2.2.5.1. Cálculo dos diâmetros específicos sob a solicitação de um eixo simples

Conforme evidenciado anteriormente, na estrutura do pavimento transformada em um *Sólido de Boussinesq* – dotado de módulo de elasticidade igual a E_{SF} –, as tensões se distribuem segundo um tronco de cone com as geratrizes externas disciplinadas por ângulos de 45º. No caso de um eixo simples, em que não há nenhuma sobreposição, o diâmetro específico a qualquer profundidade é definido pela expressão apresentada a seguir.

$$\emptyset_{específico} = 2\left(\mathrm{r} + Z_{Prof}\right)$$

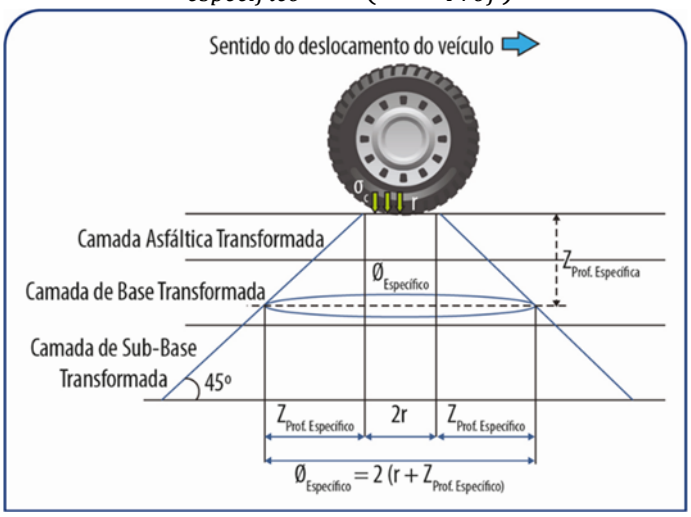


Figura 212 - Definição do Diâmetro específico sob a solicitação de um eixo simples

3.7.4.1.2.2.5.2. Cálculo dos diâmetros específicos sob a solicitação de um eixo “tandem” duplos

Embora bem definidas as grandezas para o caso das solicitações de um eixo simples, torna-se fundamentalmente importante estabelecer um processo para o cálculo dos diâmetros específicos considerando a configuração de um eixo “tandem” duplo.

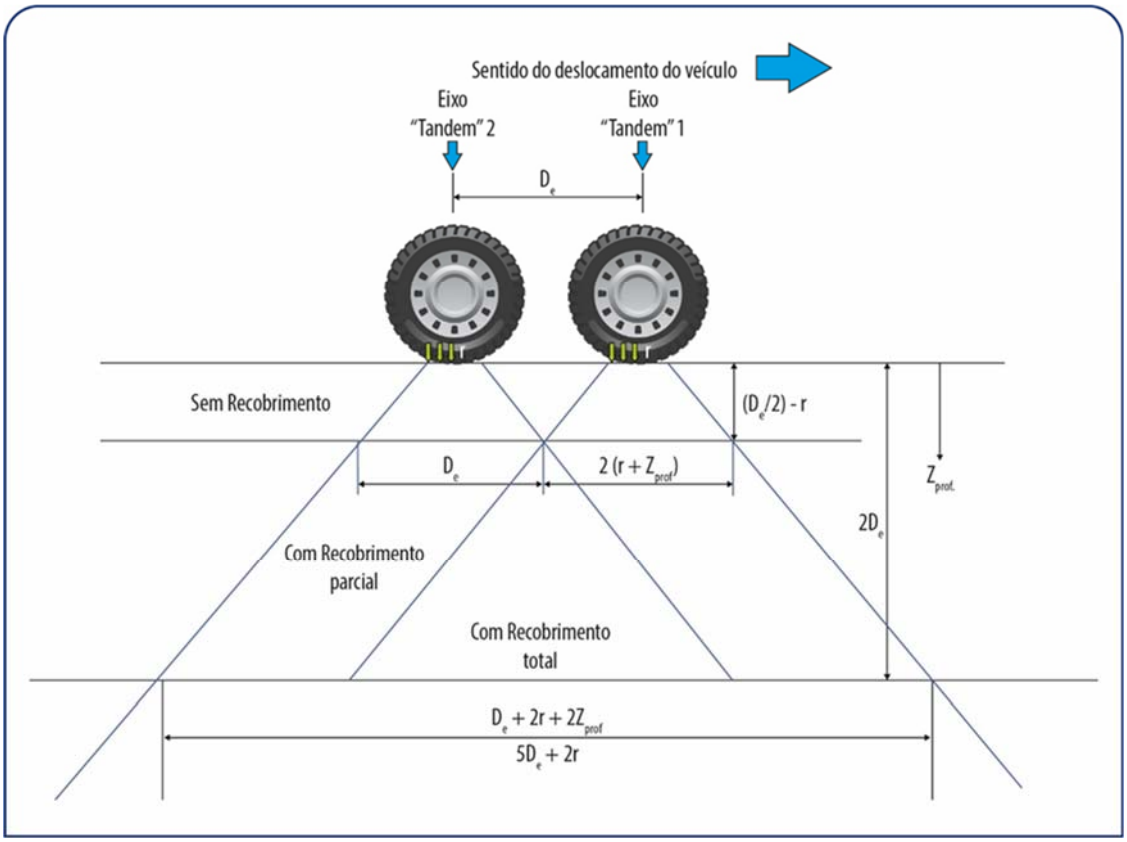


Figura 213 - Distribuição das cargas impostas por um eixo “tandem” duplo

Da análise da representação esquemática nota-se que dois “feixes” de distribuições de cargas se superpõem quando considerados os eixos de um “tandem” duplo e, até uma profundidade disposta abaixo da superfície igual a (D/2) – r, não se verificam sobreposições de cargas, particularidade que permite a definição, de forma simples e clara, de dois diâmetros específicos.

À medida, entretanto, que se consideram profundidades maiores, verificam-se sobreposições das zonas de influência das cargas – sobreposições parciais – e que, a partir de profundidades iguais ou maiores que duas vezes a distância livre entre os dois eixos “tandem” (***2D***), admite-se que se verificam sobreposições completas.

Dessa maneira, três composições distintas de carregamento se apresentam sob o carregamento de um eixo “tandem” duplo, quais sejam: profundidades em que não ocorrem sobreposições de carga, profundidades intermediárias nas quais se verificam sobreposições parciais e profundidades extremas, em que se verificam sobreposições completas:

- 1ª Composição: Sem sobreposição das distribuições de carga: $\boldsymbol{Z_{prof.} \leq \{(D_e/2) - r\}}$

Nesta condição não há sobreposição dos "troncos de cone" das distribuições de cargas dos eixos de um "tandem" duplo, condição que permite calcular os diâmetros específicos a cada profundidade de acordo com a seguinte expressão:

$$\emptyset_{específico} = 2(r + Z_{prof})$$

a qual evidencia uma particularidade interessante: à profundidade que define o início das sobreposições de carga corresponde um diâmetro específico igual à distância livre entre os eixos de um "tandem" duplo (D_e); no intervalo de profundidade compreendido entre a superfície - $Z_{prof.} = 0$ e a fronteira que demarca o início da sobreposição das distribuições de carga - $Z_{prof.} = \{(D_e/2) - r\}$ verificam-se sempre, para quaisquer profundidades consideradas, duas áreas distintas de carregamento.

- 2ª Composição: Sobreposição parcial das distribuições de carga: $\{(D_e/2) - r\} < Z_{prof.} < 2D_e$

Entre esses limites de profundidade: $\{(D_e/2) - r\}$ em que o diâmetro específico de cada impressão de contato é matematicamente igual a D_e, e $\underline{2D_e}$, em que o diâmetro específico é igual a $5D_e + 2r$, a distribuição das cargas de um eixo "tandem" duplo se sobrepõe, conforme ilustrado, na figura que se segue e os valores dos diâmetros específicos podem ser calculados por meio da equação linear apresentada a seguir, depurada graficamente em escala log-log:

$$log\ \emptyset_{específico} = a.log\ Z_{Prof.} + b$$

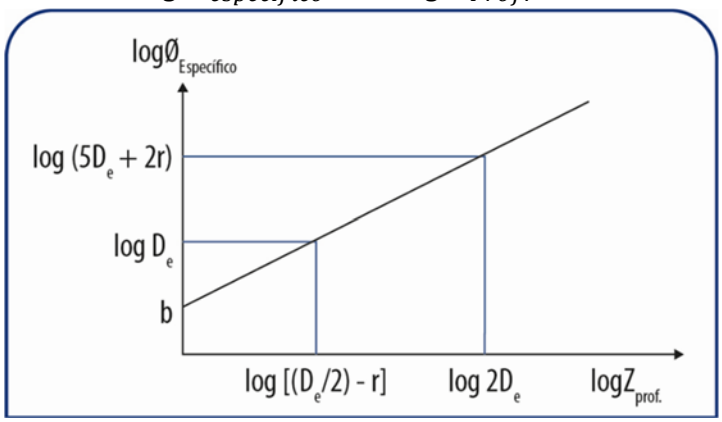


Figura 214 - Relação entre os diâmetros específicos e as profundidades no intervalo de profundidade $\{(D_e/2) - r\} < Z_{prof.} < 2D_e$

Esses parâmetros, considerando a relação linear em escala log-log são definidos como:

$$a = \frac{\log\ (5D_e + 2r) - \log D_e}{\log 2D_e - \log\{(D_e/2) - r\}}$$

$$b = \log D_e - a.\log\{(D_e/2) - r\}$$

em que a inclinação (a) e a interceptação (b) são funções do espaçamento tandem e do raio de contato para a configuração do eixo "tandem" duplo.

- 3ª Composição: Sobreposição total das distribuições de cargas: $Z_{prof.} \geq 2D_e$

Como anteriormente exposto, a sobreposição completa das distribuições de cargas individuais de um eixo "tandem" duplo ocorre a profundidades iguais ou maiores que $2D_e$, e o diâmetro específico a esta profundidade-limite é dado por:

$$\emptyset_{específico} = D_e + 2r + 2Z_{Prof.}$$

3.7.4.1.2.2.5.3. Cálculo dos diâmetros específicos para todas as composições de eixos "tandem" (duplos, triplos, quádruplos ou mais) – Equações generalizadas

As equações já citadas são relativas a uma configuração de eixo tandem duplo. Com base na mesma abordagem, uma *solução generalizada* pode ser estabelecida para se ter em conta os eixos "duplos", "triplos" ou quádruplos, ou mesmo outras composições de eixos "tandem"; uma representação esquemática e as equações generalizadas para as condições de carregamento genérico são apresentadas na ilustração a seguir.

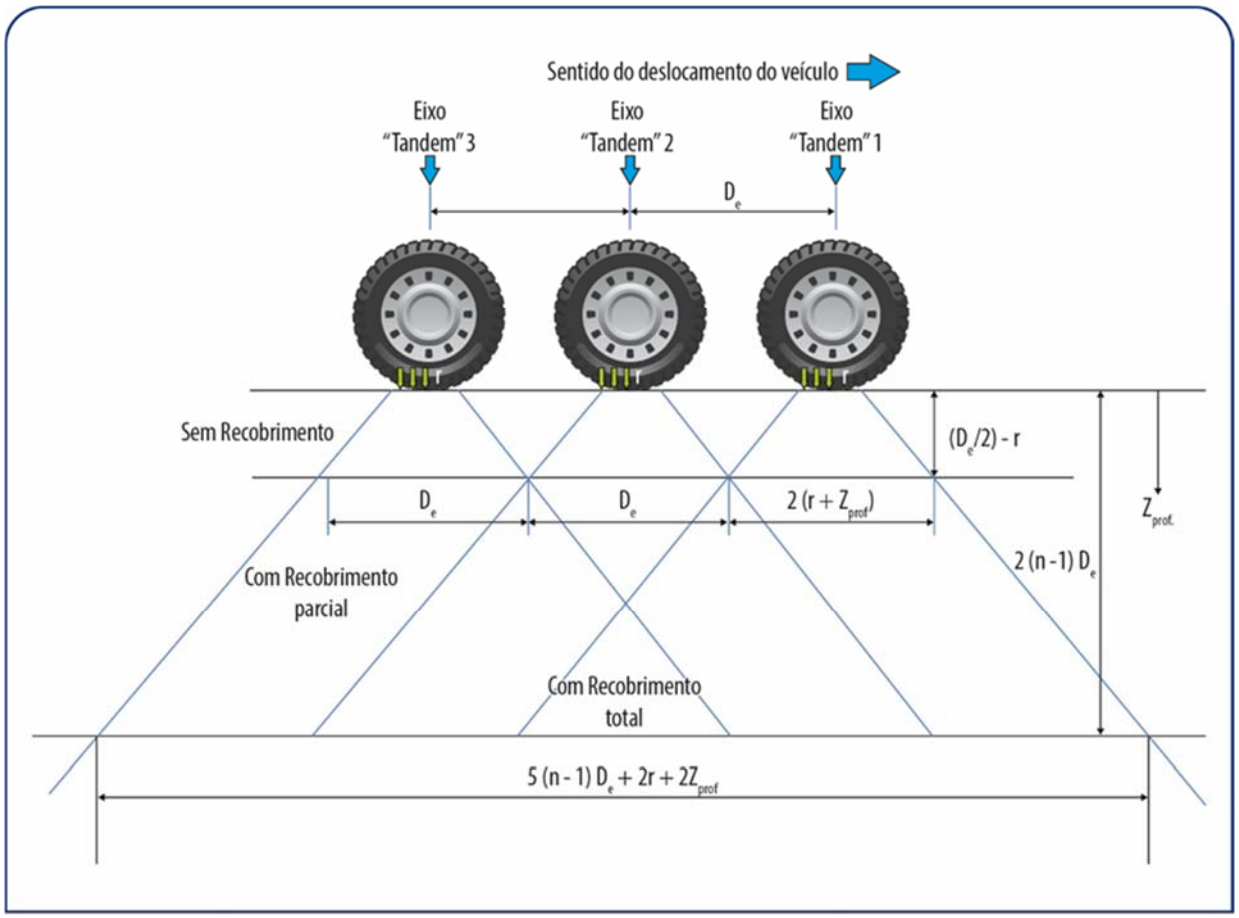


Figura 215 - Solução de solicitação generalizada para eixos "tandem" duplos, triplos, etc.

- 1ª Composição: Sem sobreposição das distribuições de carga:

$$\boldsymbol{Zprof.} \leq \boldsymbol{(De/2) - r}$$

$$\emptyset_{específico} = 2(r + Z_{prof.})$$

Como no caso do eixo tandem duplo o número de diâmetros específicos é igual ao número de eixos (*n*), a mesma regra é aplicável para a condição dos eixos "tandem" triplos e quádruplos, ou seja, para o eixo "tridem" o número de diâmetros específicos deve ser multiplicado por três e, no caso de eixo quádruplo, multiplicado por quatro.

- 2ª Composição: Sobreposição parcial das distribuições de carga:

$$(\boldsymbol{De/2}) - \boldsymbol{r} < \boldsymbol{Zprof.} < \boldsymbol{2(n-1)\,De}$$

$$log\ \emptyset_{específico} = a.log\ Z_{Prof.} + b$$

em que:

a = Coeficiente angular da reta (inclinação);
b = Intersecção da reta com o eixo das ordenadas e
n = Número de eixos.

Esses parâmetros, considerando a generalidade traduzida pelo número de eixos e a linearidade na distribuição log-log, são definidos por:

$$a = \frac{log\ [5D_e(n-1) + 2r] - log\ D_e}{log\ 2D_e(n-1) - log\ \{(D_e/2) - r\}}$$

$$b = log\ D_e - a.log\ \{(D_e/2) - r\}$$

- 3ª Composição: Sobreposição total das distribuições de cargas: $Z_{prof.} \geq 2(n\text{-}1)D_e$

Como anteriormente exposto, a sobreposição completa das distribuições de cargas individuais ocorre a uma profundidade igual ou maior que $2D_e$, e o diâmetro específico a esta profundidade-limite é único e dado por:

$$\emptyset_{específico} = (n-1)D_e + 2r + 2Z_{Prof.}$$

3.7.4.1.2.2.5.4. Diâmetros Específicos e Frequências de Solicitação Representativos dos Veículos Pesados Brasileiros

A análise se concentrou na busca de um procedimento que permitisse o cálculo dos *tempos de aplicação de carga* – e, por conseguinte, das *frequências de solicitação* – a que ficarão submetidas as camadas de um pavimento quando da passagem de uma carga móvel, rolante, circulando com determinada velocidade, objetivo norteado principalmente pela necessidade de definição dos *módulos de rigidez de misturas asfálticas*; alternativamente, poderão ser ainda determinados os *fatores multiplicadores de tráfego - f_c* a se ter em conta nos dimensionamentos dos pavimentos.

Essa definição carrega consigo um questionamento da maior importância quando da aplicação dos métodos mecanísticos: qual é realmente a frequência de solicitação imposta por uma carga a ser considerada no cálculo do módulo dinâmico de uma camada de desgaste de um pavimento?

No âmbito dos dimensionamentos brasileiros tem constituído uma sistemática usual a adoção de uma frequência de carga igual a $f = 10\ Hz$, prática advinda, muito provavelmente, da identificação com as condições de carregamento impostas no ensaio de tração indireta para determinação experimental de valores modulares, sempre processados com tempos de carga de $t_c = 0{,}1s$, ao qual corresponde uma frequência $f = 10\ Hz$; este valor adotado, tradutor de uma velocidade de deslocamento de um caminhão carregado da ordem de *7,8km/h* – não se coaduna com a realidade das operações rodoviárias, apresentando-se seguramente pouco representativo ou adequado.

Desta forma, tendo em conta a necessidade de uma definição mais específica e coerente, ajuizou-se, no âmbito da *Metodologia Paragon*, que o tempo de carga a ser adotado no cálculo dos módulos das misturas asfálticas deve ser ditado pelas reais condições de solicitação exercidas num pavimento, dependente do tráfego atuante (velocidade de circulação, distâncias

entre eixos e impressão de contato pneu–pavimento), da natureza dos materiais constituintes de cada camada constitutiva e do posicionamento do ponto considerado em termos de profundidade.

A adoção dessa sistemática de avaliação faculta o emprego correto de equações preditivas de valores modulares e proporciona, inclusivamente, o desenvolvimento de procedimentos para ajustes dos valores modulares obtidos nos ensaios laboratoriais realizados a frequências de solicitação única, a fim de torná-los adequados ao dimensionamento dos pavimentos; permite também a definição da frequência de solicitação a ser empregada em gráficos de curvas-mestras, de formato sigmoide, passíveis de estabelecimento quando do emprego de ensaios dinâmicos realizados sob diferentes temperaturas e frequências de solicitação.

Assim considerando, desenvolveu-se um procedimento específico, a ser demonstrado, para determinar o tempo de carga a que se submetem os elementos internos de qualquer camada constitutiva do pavimento – situados a distintas profundidades –, tendo-se dedicado um carinho especial às camadas constituídas com misturas asfálticas, haja vista externarem comportamentos reológicos complexos – materiais viscoelásticos e termossensíveis – extremamente suscetíveis aos tempos de aplicação de carga e à temperatura.

Nesse procedimento, evidenciou-se que quanto maior a profundidade de um elemento interno do pavimento, tanto maior o tempo a que será submetido a uma carga transeunte – e tanto menor a frequência de solicitação –, particularidade a ser tida em conta na determinação do módulo dinâmico da camada asfáltica.

As equações de definição foram, portanto, aplicadas, tendo-se considerado valores médios representativos dos veículos que compõem a frota comercial de veículos pesados: adotou-se como distância livre entre eixos representativa $D_e = 120cm$ – valor mais agressivo – e raio da impressão de contato igual a $r = 10,8cm$, valores que permitiram a determinação das variações para as diferentes configurações de eixos “tandem”: duplos, triplos e quádruplos.

Complementarmente, considerando a velocidade de deslocamento dos veículos comerciais V = 80km/h e os valores dos diâmetros específicos calculados sob diferentes profundidades, foram calculados os respectivos tempos a que ficarão submetidos à carga móvel e, pela aplicação de conceituação física, calcularam-se as respectivas frequências de aplicação das cargas.

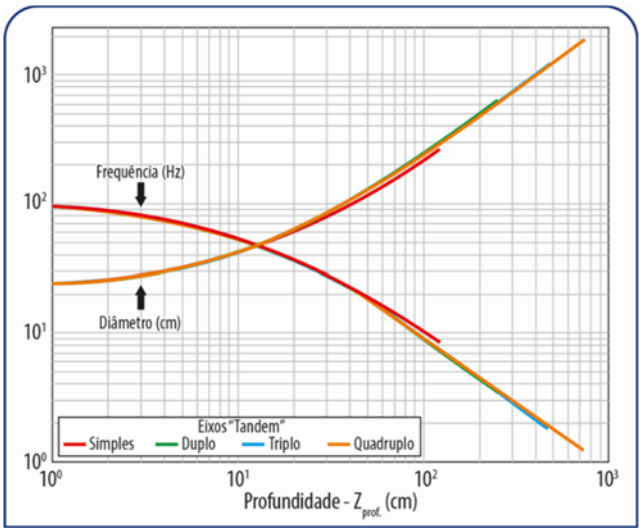


Figura 216 - Relação entre os diâmetros específicos, as frequências de solicitação e a profundidade ($Z_{prof.}$) para todas as configurações de eixo

Conforme se pode depreender da representação gráfica apresentada, as dimensões do diâmetro específico e sua vinculação com a profundidade são praticamente independentes das composições de eixo existentes quando adotada a escala log-log.

Na verdade, o crescimento é linear apenas nas duas regiões extremas, onde não existe superposição de carregamentos e a superposição é plena; entre essas duas regiões, em que há superposição parcial de cargas, o diâmetro específico segue uma lei de potência que, quando transferida para escala logarítmica, se retifica (torna-se uma reta), ao passo que o comportamento nas duas regiões extremas, que antes era linear, se torna exponencial. Essa particularidade constitui uma constatação importante, uma vez que a *relação pode ser generalizada para todas as composições de eixos*.

Ainda da análise gráfica depreende-se que a *frequência de solicitação independe da configuração do eixo e diminui com a profundidade*, pois, à medida que a profundidade aumenta, o diâmetro específico aumenta, o tempo de aplicação de carga aumenta e a *frequência diminui*.

3.7.4.1.2.2.5.5. Definição das Características de Carregamento e dos Pontos de Solicitação

Para processar o cálculo dos esforços sobre o sistema, considerando uma sequência crescente de espessuras de reforço, faz-se necessário definir inicialmente as *condições de carregamento*, as quais devem ser o mais similar possível daquelas exercidas pelos veículos comerciais que atuam sobre o sistema composto do conjunto pavimento - solo de fundação.

Em uma etapa anterior – item 2.3.1 Ensaios com carga dinâmica – verificou-se que um caminhão dotado de um eixo simples (2 pares de rodas gêmeas) carregado com 8,2 toneladas (18 kips) seria representativo das condições de solicitação impostas pela frota de veículos pesados brasileira; sob tais condições, definiu-se também que cada uma das rodas gêmeas distribuía os seus 2.050kgf sobre impressões circulares com raios da ordem de 10,8cm, distanciadas entre si (bordo a bordo) por extensões da ordem de 10,4cm, exercendo pressões de contato iguais a 5,6kgf/cm².

Nessa consideração específica, verifica-se primeiramente que as condições de solicitação de campo são substancialmente distintas daquelas impostas pelo FWD – aplicação de carga única

–, a partir da qual foram medidas as linhas de influência experimentais e determinados os módulos de elasticidade das camadas e do solo de fundação existentes.

Sob essas circunstâncias, tendo-se em conta os procedimentos até então adotados, o mais "coerente" seria dar continuidade ao processo de cálculo dos esforços atuantes nas camadas (tensões horizontais de tração) e no solo de fundação (verticais de compressão) considerando um carregamento externo como processado por uma carga circular única, capaz de exercer uma pressão de contato σ_c = 5,6kgf/cm² no pavimento; essa proposição seria coerente com o raciocínio conceptivo original.

A título de ilustrar esse condicionamento teórico, exibe-se a seguir, na figura que se segue, a representação esquemática da solicitação de uma carga única – na qual a "bacia de deformação" se desenha de forma plena, sem interferências – que será a responsável pela indução dos já citados esforços no sistema estratificado a ser avaliado; os esforços atuantes máximos ocorrerão sistematicamente sob o eixo de aplicação da carga (Posição I):

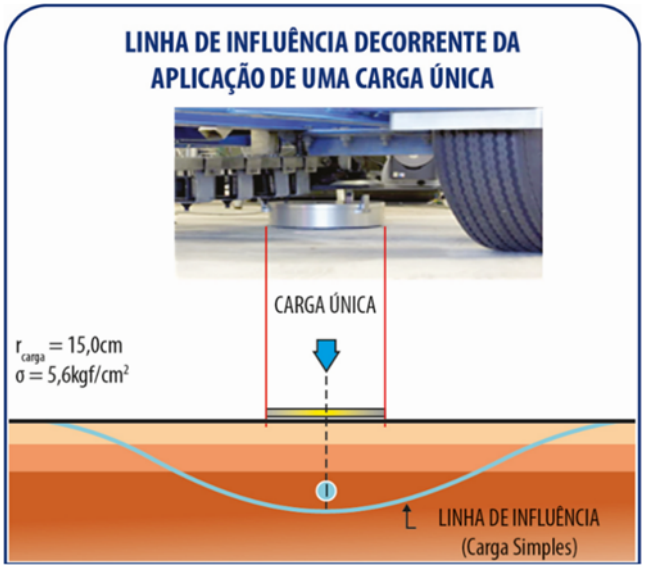


Figura 217 - Linha de Influência de uma carga única

Entretanto, embora julgando respeitável a presente proposição, seria extremamente interessante considerar, no dimensionamento de um reforço estrutural, as condições de solicitação mais próximas da realidade, tradutoras mais fidedignas da severidade e/ou agressividade das cargas impostas ao pavimento: a solicitação por cargas duplas, cuja integração processa-se por *sobreposição de efeitos*, responde por condições de carregamento diferenciadas, mais específicas e seguramente mais severas; a título ilustrativo, apresenta-se a seguir, na imagem abaixo, uma representação esquemática do efeito produzido por um par de rodas gêmeas, na qual se exibem as interferências das cargas:

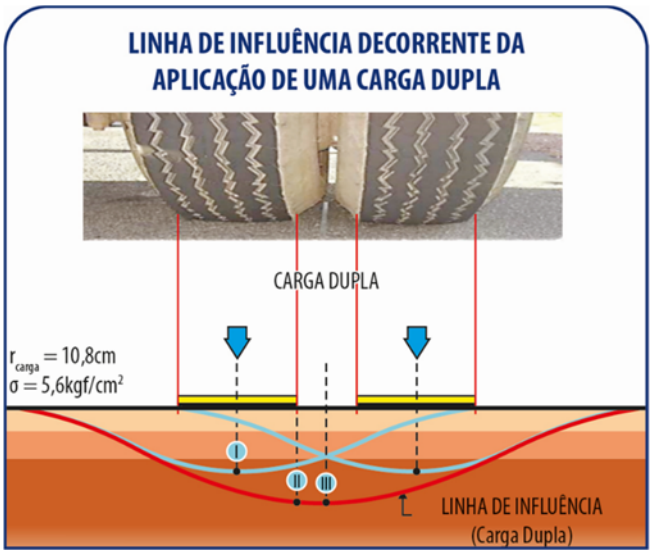


Figura 218 - Linha de influência obtida por uma carga dupla (sobreposição de efeitos)

Da observação dessa representação esquemática de carregamento com rodas gêmeas pode-se observar que se verificam três posições nas quais os esforços impingidos ao sistema pavimento - solo de fundação são distintos:

- na Posição I, a linha de influência decorrente de cada carga individualmente externa a forma de abóbada côncava mais acentuada – menos distribuída –, a qual responderá, seguramente, pelo desenvolvimento de esforços de tração horizontal (fadiga) mais acentuados sob os centros de aplicação de carga; agrava um pouco mais essa situação o fato de ainda incorporar alguma "contribuição somativa" de parcela correspondente à outra carga.
- na Posição III, disposta a meia distância entre os centros de aplicação das cargas, a linha de influência decorrente é a resultante da sobreposição integral dos efeitos da aplicação de cargas duplas, condição que propiciará o desenvolvimento dos esforços de compressão vertical (deformação permanente) mais acentuados em toda a zona de influência das cargas duplas, seguramente superiores àqueles verificados nas Posições I e II.
- na Posição II, as magnitudes de ambos os esforços serão medianas – relativamente aos esforços verificados nas Posições I e III –, podendo ser agravadas no caso de aplicações de carga com pneumáticos com baixas pressões de enchimento: seus flancos laterais, que externam graus de rigidez consideráveis, podem puncionar o pavimento e potencializar os esforços impingidos, nomeadamente à superfície.

As representações esquemáticas das linhas de influência dos assentamentos reversíveis proporcionadas por ambas as condições de carregamento são ilustradas a seguir, de forma conjugada:

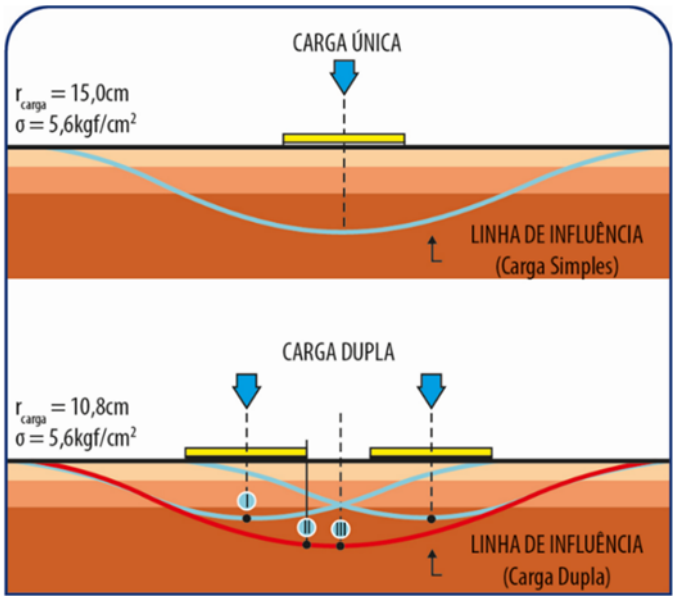


Figura 219 - Cotejamento entre as linhas de influência obtidas pela aplicação de cargas simples e duplas.

Assim, considera-se, no âmbito da *Metodologia Paragon*, que o estado tensional imposto deve ser avaliado pelo cálculo dos esforços máximos que atuam em um sistema estratificado formado pelo pavimento - solo de fundação, tendo em conta o carregamento imposto por um conjunto de cargas duplas (rodas gêmeas).

Esses esforços deverão ser também avaliados nas verticais correspondentes ao *centro de aplicação das cargas* e a *meia distância entre suas aplicações*, proposições que facultam uma apreciação mais realística das respectivas magnitudes e severidades.

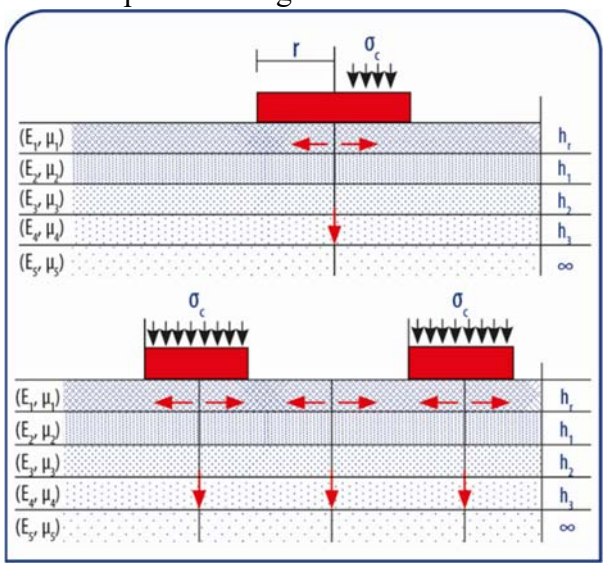


Figura 220 - Identificação dos posicionamentos para cálculo dos esforços atuantes.

No âmbito dessa proposição, procurou-se ter em conta as avaliações processadas anteriormente sobre as principais características de carregamento de um veículo representativo da frota comercial brasileira que permitiram as definições das cargas, por eixo e por roda, das áreas de

contato, da distância entre os flancos dos pneus, da pressão de contato e da distância entre os centros de aplicação das cargas, parâmetros indicados nas figuras abaixo, apresentadas a seguir.

CONDIÇÕES DE SOLICITAÇÃO (Carga Simples - FWD)					
Carga Representativa (Semieixo Padrão) W		Raio das Áreas de Contato r		Pressão de Contato $\sigma_c = \frac{P}{\pi r^2}$	
kgf	lb	cm	In	kgf/cm²	lb/in²
4082,3	9.000	30,48	12"	5,595	79,58

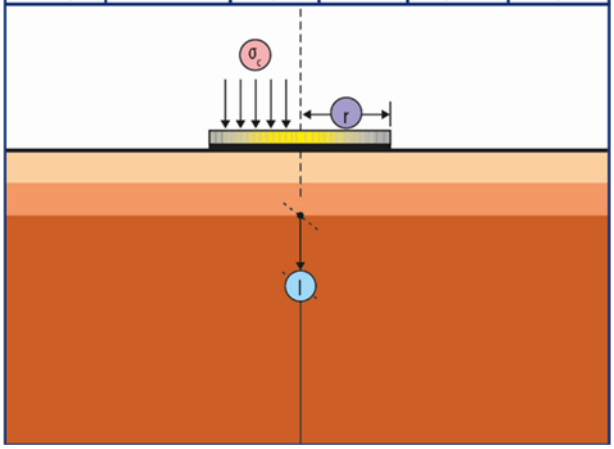


Figura 221 - Posicionamento geométrico de uma carga única (FWD) e vertical dos pontos de análise.

CARGA POR EIXO		CARGA POR RODA		RAIO DAS ÁREAS DE CONTATO		DISTÂNCIA ENTRE FLANCOS DOS PNEUS		PRESSÃO DE CONTATO		DISTÂNCIA ENTRE CENTROS DE APLICAÇÃO DE CARGAS	
W		$P = \frac{W}{4}$		r		D_f		$\sigma_c = \frac{P}{\pi . r^2}$		d_c	
kgf	lb	kgf	lb	cm	in	cm	in	kgf/cm²	lb/in²	cm	in
8.200	18.000	2.100	4.630	10,8	4,25	10,4	4,10	5,6	79,65	32,0	12,6

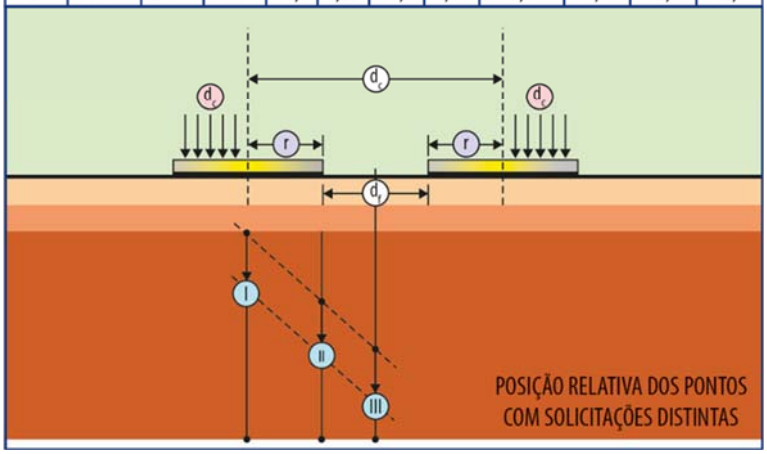
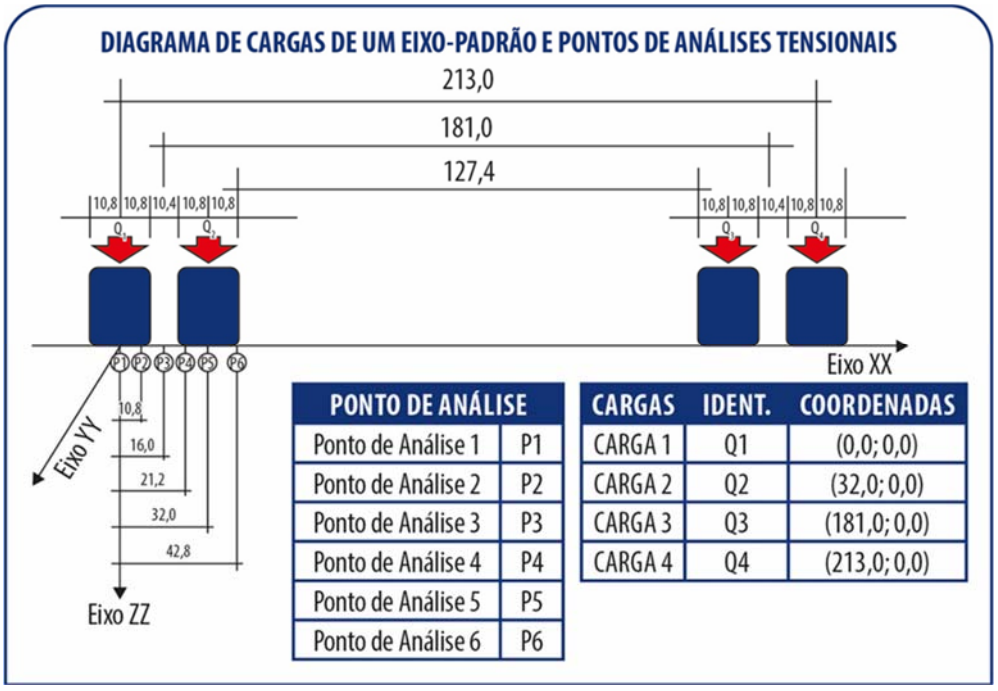


Figura 222 - Posicionamento geométrico de cargas gêmeas de um veículo pesado e das verticais de análise considerados pela METODOLOGIA PARAGON.

Complementarmente, ainda na busca de uma aproximação maior com as condições de carregamento impostas pelos veículos pesados ao pavimento, a presente proposição metodológica julgou importante considerar as disposições relativas das cargas de um eixo rodoviário padrão, exigência que demandou a definição dos posicionamentos geométricos das 4 rodas componentes de um eixo simples de rodas gêmeas, estabelecidos por meio de estudos

anteriormente realizados com base nas características fornecidas por fabricantes de veículos pesados.



PONTO DE ANÁLISE	
Ponto de Análise 1	P1
Ponto de Análise 2	P2
Ponto de Análise 3	P3
Ponto de Análise 4	P4
Ponto de Análise 5	P5
Ponto de Análise 6	P6

CARGAS	IDENT.	COORDENADAS
CARGA 1	Q1	(0,0; 0,0)
CARGA 2	Q2	(32,0; 0,0)
CARGA 3	Q3	(181,0; 0,0)
CARGA 4	Q4	(213,0; 0,0)

Figura 223 - Diagrama das cargas do eixo traseiro de um veículo comercial e pontos que externam condições de solicitação diferenciadas e específicas.

Enfim, julgando importante que os esforços a serem impingidos à estrutura sejam calculados à imagem e semelhança das condições de carga impostas por um veículo comercial padrão, desenvolveu-se um programa para calcular os esforços desenvolvidos em qualquer ponto do sistema composto do sistema pavimento - solo de fundação com base na aplicação simultânea de até 10 cargas.

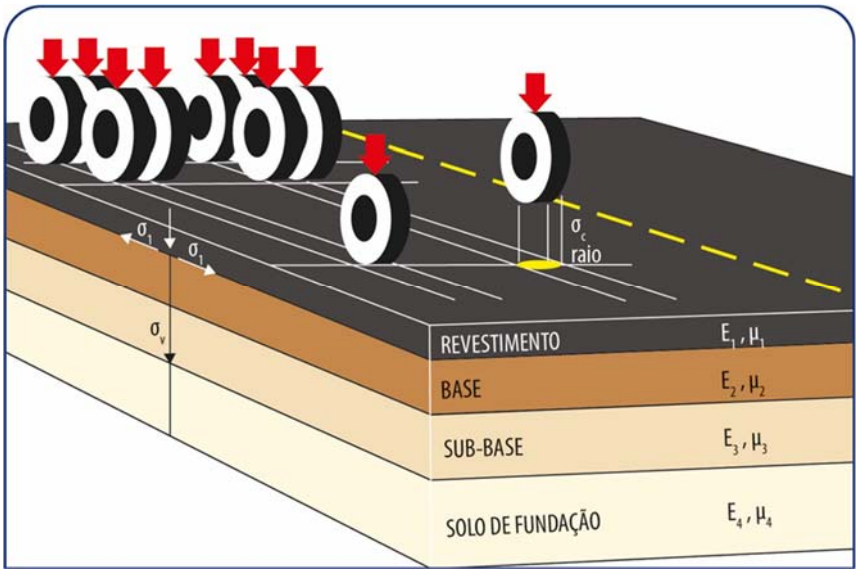


Figura 224 - Representação esquemática das cargas comportadas pelo programa

Finalmente, no âmbito do protocolo metodológico, necessário se faz cotejar as duas soluções corretivas propostas, de forma individualizada, para recuperação de pavimentos rodoviários:

a. a primeira, uma *solução conceptiva* que se fundamenta na avaliação dos estados de sanidade externados pelo pavimento e na definição de seus diagnósticos, define *a*

natureza, os níveis de incisão e o tipo ou conjunto de tipos das intervenções corretivas requeridas, sem se adentrar nas magnitudes e

b. a segunda, uma *solução estrutural* que se apoia na determinação das grandezas fundamentais do pavimento - solo de fundação, estabelece a *magnitude das camadas de aporte estrutural* demandadas para garantir o desempenho do sistema em face das cargas que lhe serão impingidas durante sua prestação de serviços futura.

Neste caso último, trata-se, entretanto, de uma definição puramente analítica que não contempla os estados de sanidade externados pelo pavimento, pois parte do pressuposto de que as grandezas ofertadas aos métodos de cálculo são, em suas essências, tradutoras das qualificações da estrutura vigente; as carências são avaliadas em termos de aporte estrutural – por sobreposição de camadas – quando o sistema pavimento - solo de fundação evidencia alguma fragilidade para suportar as cargas futuras.

Destarte, tendo em conta que as duas proposições de solução se referem a um pavimento normalmente antigo e degradado, julga-se que a *proposição de intervenção prevalente* deve ser naturalmente a conceptiva – mais abrangente e alicerçada por um espectro envoltório mais completo do pavimento – em detrimento da "cegueira analítica" peculiar ao cálculo estrutural.

As intervenções corretivas concebidas com base nos estados de sanidade externados pelo pavimento devem ditar a diretriz dos cálculos a efetuar, podendo-se citar, como exemplo, a concepção de soluções corretivas que demandam *intervenções em profundidade* – remoção do revestimento existente e/ou da camada de base e suas reconfecções –, exigência que estabelece uma vertente de dimensionamento diferente: por darem origem a uma estruturação nova, devem ser dimensionadas sob a ótica de uma *Reconstrução*.

Desse modo, considera-se que um adequado diagnóstico funcional induz o projetista, de forma magnânima, à sua qualificação maior: *a arte de conceber, de criar, de engendrar* a solução corretiva requerida pelo pavimento existente, antes de simplesmente processar o dimensionamento de seu reforço estrutural.

4.2.8. DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO ESTRUTURAL – RESULTADOS OBTIDOS

4.2.8.1. Método DNER-PRO 11/79

A aplicação do Método DNER-PRO 11/79 iniciou-se a partir da identificação dos segmentos em que o pavimento evidencia comportamentos homogêneos, ou seja, distintos daqueles externados pelos segmentos dispostos anterior e posteriormente. Nesse trabalho de identificação levou-se em consideração a análise simultânea dos principais parâmetros que caracterizam o comportamento funcional dos pavimentos, traduzidos pelas configurações das poligonais representativas das variações das deflexões reversíveis máximas, dos raios de curvatura, dos índices de irregularidades longitudinal (IRI) e transversal (flechas nas trilhas de roda - $F_{máx.}$), associadas às identificações correlatas das patologias levantadas através do inventário da superfície, das estruturas vigentes no pavimento existente, além das variações do tráfego usuário, representado pelo número N. Os "diagramas de amplitude" das poligonais retrocitadas foram considerados inicialmente de forma individualizada e em seguida analisados conjuntamente - consideração simultânea dos distintos diagramas de amplitude - a fim de se poder definir segmentações individualizadas, capazes de traduzir segmentos homogêneos que apresentassem características distintas daquelas externadas pelos segmentos anterior e posterior.

A etapa seguinte consistiu em se processar o cálculo do ***Índice de Gravidade Global – IGG*** característico de cada segmento homogêneo definido, o qual foi processado através das quantificações absoluta e relativa dos defeitos externados à sua superfície, sendo que esta última determinação, quando afetada dos "fatores de severidade" permitiu definir o Índice de Gravidade Individual - IGI relativo a cada manifestação de ruína considerada (em número de 8); a soma de todos os IGI detectados e calculados, permitiu a definição do Índice de Gravidade Global – IGG de acordo com a Norma DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

Seguidamente, processou-se a análise dos intervalos de aceitação dos valores individuais das deflexões definidos em função do desvio-padrão externado pela população de cada segmento homogêneo, denominados limites, superior (LS) e inferior (LI). A deflexão característica obtida para cada segmento homogêneo, afetada por um fator de correção sazonal, deu origem à denominada ***deflexão de projeto - D_p*** e, com base no número de aplicações de cargas equivalentes ao eixo-padrão, calculou-se a ***deflexão admissível - log D_{adm} = 3,01 – 0,176 log N***; o raio de curvatura da bacia de deformação foi determinado a partir da expressão $R = 10x^2 / 2(D_o – D_x)$.

Ressalta-se que foi adotado um Fator de Correção Sazonal de **1,3** para a aplicação da DNER-PRO-011/79 no presente caso, em razão da natureza argilosa do solo e da época em que foi feito o levantamento (estação seca, em maio de 2024).

Dispondo-se dos valores das deflexões de projeto e admissível, dos raios de curvatura e dos IGG por segmento homogêneo foram definidas as condições de dimensionamento preconizadas pelo ***PRO 11/79***:

CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL					
Hipótese	Dados Deflectométricos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Calculo do Reforço	Medidas corretiva
I	Dp ≤ Dadm R ≥ 100	BOA	NÃO	-	Apenas correção de Superficie
II	Dp > Dadm R ≥ 100	Se Dp ≤ 3 Dadm REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se Dp > 3 Dadm MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	Dp ≤ Dadm R < 100	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	Dp > Dadm R < 100	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	-	MÁ (IGG > 180)	SIM	Resistência	Reconstrução

Figura 225 – Critérios para avaliação estrutural

Finalmente, com base nos parâmetros de comportamento calculados, definiu-se o critério de dimensionamento a ser empregado, se pelo deflectométrico ou resistência, ou por ambos. Caso o critério de dimensionamento seja fundamentado na deformabilidade, a espessura de reforço foi determinada através da expressão:

$$h_{CB} = k \log \frac{D_P}{D_{adm}}$$

onde:

h_{CB} = espessura do reforço em termos de CBUQ (cm);

k = "potência do reforço", própria do material empregado no reforço (para o DNIT, CE k = 40).

Conforme previamente abordado no Produto 02A e descrito no Termo de Referência pertinente ao presente contrato, a consultora não encontrou correlação válida entre os valores de deflexão obtidos pelos levantamentos FWD e Viga Benkelman. Por isso, prosseguiu-se com a utilização dos valores deflectométricos medidos por FWD.

As espessuras de reforço determinadas através da aplicação do PRO-11/79 e adotadas no presente projeto são apresentadas a seguir.

SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO PRECONIZADA PELO MÉTODO DNER-PRO 11/79

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES

TRECHO: Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador) **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83 km

SEGMENTO HOMOGÊNEO						PARÂMETROS							CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PARA A AVALIAÇÃO ESTRUTURAL						DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO			
Nº	ESTACA		km		EXTENSÃO (m)	REVEST. EXISTENTE	IGG	Dp (0,01 mm)	R	Np	Dadm (0,01 mm)	FASE	HIPÓTESE	DADOS DEFLECTOMÉTRICOS OBTIDOS	QUALIDADE ESTRUTURAL	ESTUDOS COMPLE-MENTARES	CRITÉRIOS PARA CÁLCULO DE REFORÇO	MEDIDAS CORRETIVAS	hCB (cm)	hCBUQ (cm)	hCBUQ (cm) - Critério Deflectométrico	REVESTIMENTO DO REFORÇO
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL																		
1	0	100	0,000	2,000	2.000	CBUQ	96	98,81	96,61	3,06E+07	49,25	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	12,10	-
2	100	200	2,000	4,000	2.000	TSD	38	105,61	103,98	3,06E+07	49,25	Fadiga	II	Dp>Dadm - R>=100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	13,25	13,50	13,25	CBUQ
3	200	300	4,000	6,000	2.000	TSD	95	87,19	92,96	3,06E+07	49,25	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	9,92	-
4	300	400	6,000	8,000	2.000	TSD	103	118,50	75,13	3,06E+07	49,25	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	15,25	-
5	400	572	8,000	11,440	3.440	PERÍMETRO URBANO																
6	572	672	11,440	13,440	2.000	CBUQ	34	72,95	114,78	3,06E+07	49,25	Fadiga	II	Dp>Dadm - R>=100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6,83	7,00	6,83	CBUQ
7	672	772	13,440	15,440	2.000	CBUQ	55	84,36	97,20	3,06E+07	49,25	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	9,35	-
8	772	872	15,440	17,440	2.000	CBUQ	154	105,86	82,43	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	10,72	-
9	872	972	17,440	19,440	2.000	CBUQ	99	118,79	72,30	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	12,73	-
10	972	1.072	19,440	21,440	2.000	CBUQ	67	99,18	97,68	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	9,59	-
11	1.072	1.172	21,440	23,440	2.000	CBUQ	46	87,52	96,65	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	7,42	-
12	1.172	1.272	23,440	25,440	2.000	CBUQ	70	85,44	97,20	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	7,00	-
13	1.272	1.372	25,440	27,440	2.000	CBUQ	56	82,58	101,60	1,32E+07	57,10	Fadiga	II	Dp>Dadm - R>=100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6,41	6,50	6,41	CBUQ
14	1.372	1.472	27,440	29,440	2.000	CBUQ	39	94,92	104,57	1,32E+07	57,10	Fadiga	II	Dp>Dadm - R>=100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8,83	9,00	8,83	CBUQ
15	1.472	1.572	29,440	31,440	2.000	CBUQ	25	100,75	94,96	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	9,87	-
16	1.572	1.672	31,440	33,440	2.000	CBUQ	40	79,05	113,33	1,32E+07	57,10	Fadiga	II	Dp>Dadm - R>=100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5,65	6,00	5,65	CBUQ
17	1.672	1.772	33,440	35,440	2.000	CBUQ	53	111,64	75,59	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	11,65	-
18	1.772	1.872	35,440	37,440	2.000	CBUQ	140	112,70	86,71	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	11,81	-
19	1.872	1.972	37,440	39,440	2.000	CBUQ	133	99,10	85,33	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	9,58	-
20	1.972	2.142	39,440	42,830	3.390	CBUQ	78	109,15	95,69	1,32E+07	57,10	Fadiga	IV	Dp>Dadm - R<100	Má	Sim	Resistência	Reconstrução	-	-	11,26	-

Figura 226 - Solução de restauração preconizada pelo método DNER-PRO 11/79 – **Pista Simples – (km 0,000 ao km 42,830).**

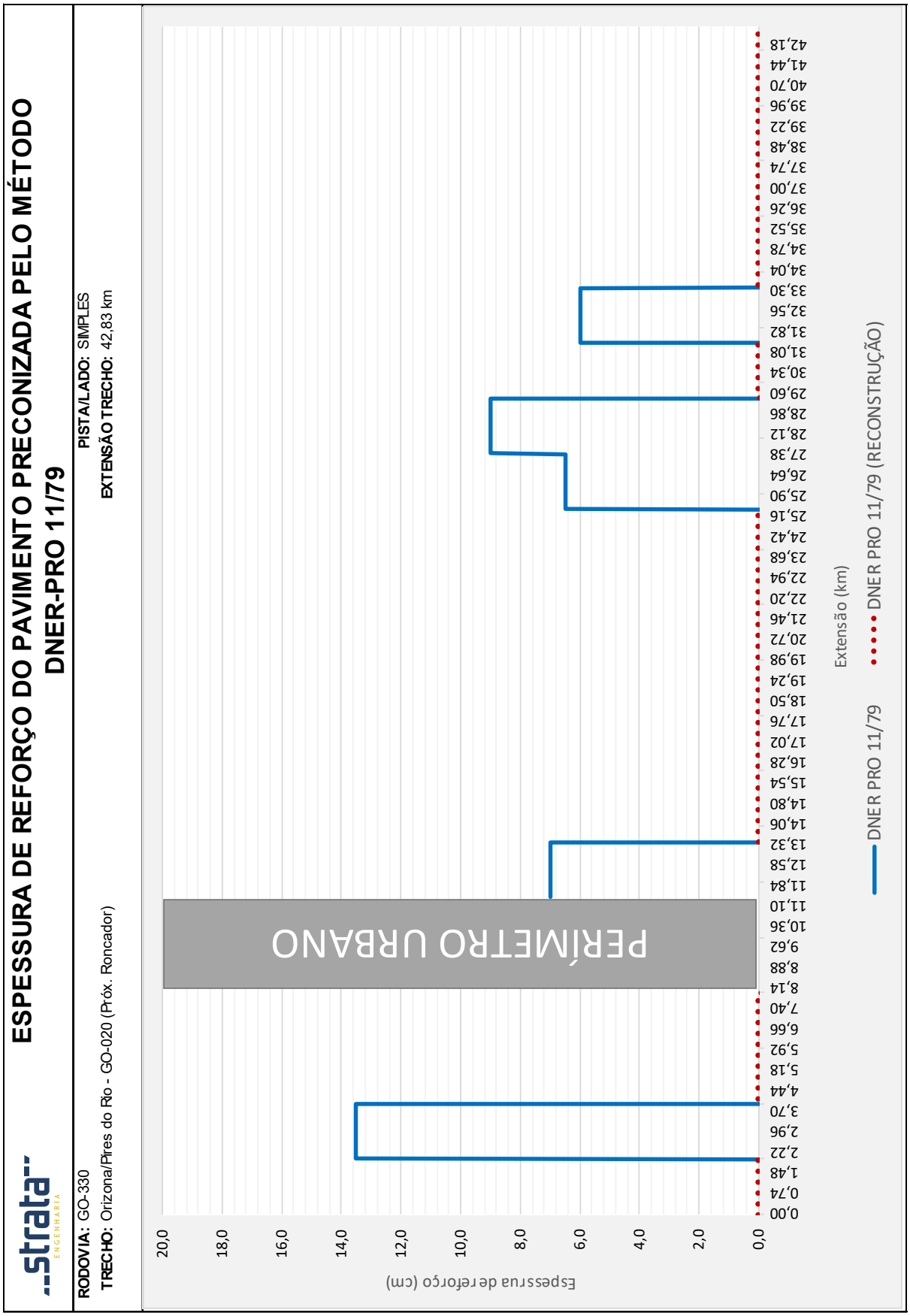


Figura 227 – Gráfico linear da Solução de restauração preconizada pelo método DNER-PRO 11/79 – **Pista Simples - (km 0,000 ao km 42,830).**

4.2.8.2.Método DNER-PRO 269/94

A aplicação do Método DNER-PRO 269/94 iniciou-se a partir da identificação dos segmentos em que o pavimento evidencia comportamentos homogêneos, ou seja, comportamentos distintos daqueles externados pelos segmentos dispostos anterior e posteriormente. Nesse trabalho de identificação, levou-se em consideração a análise simultânea dos principais parâmetros que caracterizam o comportamento funcional dos pavimentos, traduzidos pelas configurações das poligonais representativas das variações das deflexões reversíveis máximas, dos raios de curvatura, dos índices de irregularidades longitudinal (IRI) e transversal (flechas nas trilhas de roda- $F_{máx.}$), associadas às identificações correlatas das patologias levantadas através do inventário da superfície, das estruturas vigentes no pavimento existente, além das variações do tráfego usuário, representado pelo número N.

Os "diagramas de amplitude" das poligonais retrocitadas foram considerados incialmente de forma individualizada e em seguida analisados conjuntamente - consideração simultânea dos distintos diagramas de amplitude - a fim de se poder definir segmentações individualizadas, capazes de traduzir segmentos homogêneos que apresentassem características distintas daquelas externadas pelos segmentos anterior e posterior; as segmentações homogêneas foram devidamente processadas.

A etapa seguinte constituiu na análise dos intervalos de aceitação dos valores individuais das deflexões definidos em função do desvio-padrão externado pela população de cada segmento homogêneo e são denominados limites, superior (LS) e inferior (LI). As deflexões características foram medidas por meio do equipamento FWD.

Em seguida realizou-se a definição dos parâmetros do projeto de restauração: as porcentagens de trincamento (FC-2 e FC-3), deflexões característica e admissível dos segmentos homogêneos, as espessuras das camadas granulares (base, sub-base e reforço do solo de fundação), o número de aplicações de carga equivalente ao eixo-padrão de 8,2 t - Número "N" previsto para o período de análise (no caso ***10 anos***), etc. No que tange especificamente à aplicação do método PRO-269/94, vale lembrar que sua aplicação demanda também o conhecimento prévio do tipo do solo de fundação do pavimento (material disposto imediatamente abaixo do pavimento), o qual fora devidamente classificado a partir de ensaios de granulometria por sedimentação para determinação da fração silte (S%) existente em sua composição mineralógica e pelo valor da sua resistência, traduzida pelo Índice Suporte Califórnia (ISC/CBR).
Dispõe-se, abaixo, tabela que conta com os dados geotécnicos do solo de fundação, bem como o tipo de solo determinado a partir dos mesmos:

Tabela 8 – Dados geotécnicos do solo de fundação – DNER PRO 269/94.

Avaliação			
SH	%S	I.S.C. (%)	Tipo de Solo
1	15,8	6,6	Tipo II
2	15,8	11,05	Tipo I
3	14	15,52	Tipo I
4	14	8,27	Tipo II
5	PERÍMETRO URBANO		
6	10,6	18,41	Tipo I
7	15,1	6,75	Tipo II
8	15,1	7,36	Tipo II
9	15,1	14,33	Tipo I
10	8,2	19,1	Tipo I
11	15,7	20,58	Tipo I
12	15,7	17,23	Tipo I
13	19,5	7,74	Tipo II
14	19,5	13,34	Tipo I
15	19,5	22,89	Tipo I
16	7,2	28,53	Tipo I
17	14,4	17,53	Tipo I
18	14,4	27,6	Tipo I
19	23,5	19,26	Tipo I
20	23,5	11,24	Tipo I

Isto posto, são realizados os cálculos para a obtenção das espessuras de reforço para cada segmento homogêneo em estudo. São apresentados a seguir os resultados obtidos pelo método DNIT 269/94-PRO:

SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO PRECONIZADA PELO MÉTODO DNER-PRO 269/94

RODOVIA: GO-330 — **PISTA/LADO:** SIMPLES

TRECHO: Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador) — **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83 km

SEGMENTO HOMOGÊNEO						PARÂMETROS DO PROJETO DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE											DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO DO PAVIMENTO EXISTENTE											
Nº	ESTACA		KM		EXTENSÃO (m)	Dc (0,01 mm)	ESTRUTURA DE REFERÊNCIA				PERÍODO DE ANÁLISE	Np	FC-2 (%)	FC-3 (%)	FC-2 + FC-3 (%)	TIPO DE SOLO DO SUBLEITO	hef (cm)			D (0,01 mm)	cálculo HR (cm)			SOLUÇÃO DE RECAPEAMENTO	REFORÇO ADOTADO		
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL			he	REVEST.	Hcg	Hcg							SOLO TIPO I	SOLO TIPO II	SOLO TIPO III		SOLO TIPO I	SOLO TIPO II	SOLO TIPO III		REVEST.	Tipo de Solo	HR (cm)
1	0	100	0,000	2,000	2.000	98,81	4	CBUQ	<45	37,0	10 anos	3,06E+07	24,0%	35,0%	59,0%	I	0,00	0,00	0,00	55,03	13,09	14,10	16,98	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo II	14,00
2	100	200	2,000	4,000	2.000	105,61	0	TSD	<45	24,0	10 anos	3,06E+07	13,0%	6,0%	19,0%	I	0,00	0,00	0,00	55,03	13,09	14,10	16,98	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo I	13,00
3	200	300	4,000	6,000	2.000	87,19	0	TSD	>45	53,0	10 anos	3,06E+07	32,0%	34,0%	66,0%	I	0,00	0,00	0,00	55,03	16,98	16,98	16,98	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo I	17,00
4	300	400	6,000	8,000	2.000	118,50	0	TSD	<45	37,0	10 anos	3,06E+07	27,0%	24,0%	51,0%	I	0,00	0,00	0,00	55,03	13,09	14,10	16,98	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo II	14,00
5	400	572	8,000	11,440	3.440	PERÍMETRO URBANO																					
6	572	672	11,440	13,440	2.000	72,95	4	CBUQ	>45	51,0	10 anos	3,06E+07	22,0%	8,0%	30,0%	I	4,00	4,00	4,00	55,03	11,55	11,55	11,55	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	12,00
7	672	772	13,440	15,440	2.000	84,36	4	CBUQ	<45	30,0	10 anos	3,06E+07	13,0%	13,0%	26,0%	I	3,84	4,00	4,00	55,03	7,88	8,68	11,55	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo II	9,00
8	772	872	15,440	17,440	2.000	105,86	4	CBUQ	<45	31,0	10 anos	1,32E+07	14,9%	83,2%	98,0%	I	0,00	0,00	0,00	64,44	10,65	11,67	14,54	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo II	12,00
9	872	972	17,440	19,440	2.000	118,79	7	CBUQ	<45	29,0	10 anos	1,32E+07	22,0%	56,0%	78,0%	I	0,00	0,00	0,00	64,44	10,65	11,67	14,54	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo I	11,00
10	972	1.072	19,440	21,440	2.000	99,18	4	CBUQ	<45	24,0	10 anos	1,32E+07	26,3%	26,3%	52,5%	I	0,00	0,00	0,00	64,44	10,65	11,67	14,54	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo I	11,00
11	1.072	1.172	21,440	23,440	2.000	87,52	5	CBUQ	<45	31,0	10 anos	1,32E+07	31,0%	6,0%	37,0%	I	3,49	4,47	5,00	64,44	5,91	5,61	7,76	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	6,00
12	1.172	1.272	23,440	25,440	2.000	85,44	5	CBUQ	<45	35,0	10 anos	1,32E+07	27,0%	18,0%	45,0%	I	3,72	4,69	5,00	64,44	5,60	5,30	7,76	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	6,00
13	1.272	1.372	25,440	27,440	2.000	82,58	5	CBUQ	<45	30,0	10 anos	1,32E+07	22,0%	14,0%	36,0%	I	4,05	5,00	5,00	64,44	5,16	4,88	7,76	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo II	5,00
14	1.372	1.472	27,440	29,440	2.000	94,92	6	CBUQ	<45	33,0	10 anos	1,32E+07	15,0%	6,0%	21,0%	I	2,77	3,75	6,00	64,44	6,89	6,58	6,40	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	7,00
15	1.472	1.572	29,440	31,440	2.000	100,75	5	CBUQ	<45	38,0	10 anos	1,32E+07	13,0%	8,0%	21,0%	I	2,28	3,25	5,00	64,44	7,55	7,25	7,76	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	8,00
16	1.572	1.672	31,440	33,440	2.000	79,05	5	CBUQ	<45	41,0	10 anos	1,32E+07	9,0%	15,0%	24,0%	I	4,48	5,00	5,00	64,44	4,57	4,88	7,76	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	5,00
17	1.672	1.772	33,440	35,440	2.000	111,64	4	CBUQ	<45	39,0	10 anos	1,32E+07	21,0%	15,0%	36,0%	I	1,50	2,47	4,00	64,44	8,61	8,31	9,12	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	9,00
18	1.772	1.872	35,440	37,440	2.000	112,70	5	CBUQ	<45	40,0	10 anos	1,32E+07	35,0%	47,0%	82,0%	I	0,00	0,00	0,00	64,44	10,65	11,67	14,54	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo I	11,00
19	1.872	1.972	37,440	39,440	2.000	99,10	5	CBUQ	<45	36,0	10 anos	1,32E+07	28,0%	43,0%	71,0%	I	0,00	0,00	0,00	64,44	10,65	11,67	14,54	CBUQ + PM	CBUQ	Tipo I	11,00
20	1.972	2.142	39,440	42,830	3.390	109,15	6	CBUQ	<45	30,0	10 anos	1,32E+07	17,6%	21,2%	38,8%	I	1,67	2,64	5,77	64,44	8,39	8,09	6,72	CBUQ (Binder + Capa)	CBUQ	Tipo I	8,00

Figura 228 – Dimensionamento PRO 269/94 Considerando-se os estados generalizados de trincamento – **Pista Simples – (km 0,000 ao km 42,830).**

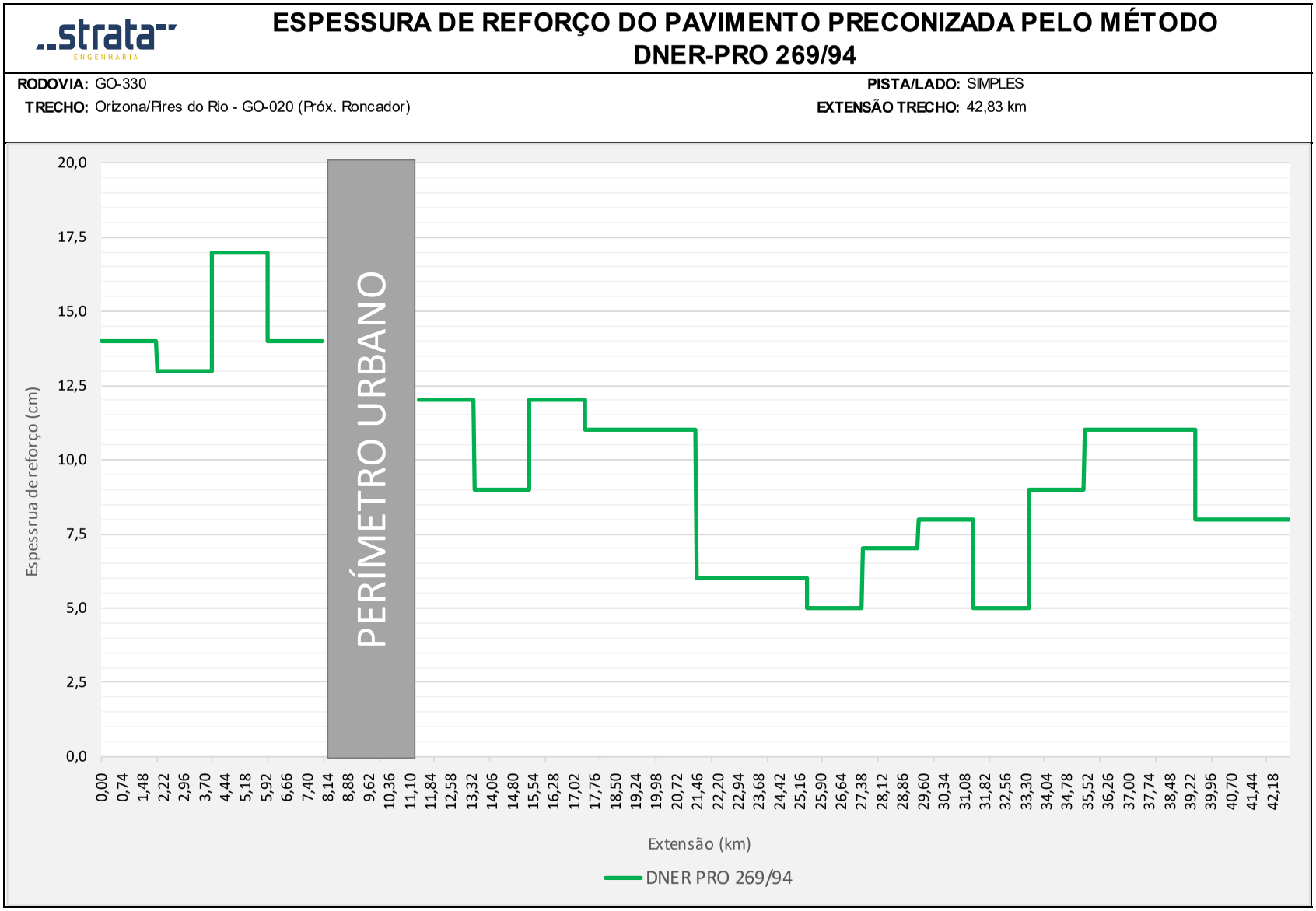


Figura 229 – Gráfico linear da Solução de restauração preconizada pelo método PRO 269/94 Considerando-se os estados generalizados de trincamento – **Pista Simples – (km 0,000 ao km 42,830).**

4.2.8.3. Método PARAGON

4.2.8.3.1. Considerações Preliminares

A metodologia PARAGON tem seu início disciplinado pela ***avaliação funcional*** dos pavimentos com a determinação de seus índices caracterizadores (ICDS, ICDP e ICDE), os quais, analisados em conjunto, permitem a definição dos estados de sanidade externados pelo pavimento. Esse procedimento, realizado por estaca e por faixa de tráfego permite, por conseguinte, a definição dos respectivos códigos genéticos externados pelo pavimento, os quais traduzem o ***diagnóstico funcional*** estabelecido faculta a concepção das intervenções de reabilitação requeridas pelo pavimento existente (por estaca e por faixa de tráfego).

Paralelamente, na busca de uma perfeita ***avaliação estrutural*** – para além da medição das linhas de influência e da definição do sistema estratificado (número e espessuras das camadas e respectivos valores modulares) – determinam-se ainda os percentuais de contribuição de cada camada no valor da deflexão reversível máxima, parâmetros que ajudam, de forma extremamente consistente, na busca e na identificação das causas mais prováveis dos problemas e/ou anomalias detectados.

Esse procedimento, realizado por estaca e por faixa de tráfego permite, por conseguinte, a definição das grandezas fundamentais da estrutura: número e espessuras das camadas e seus respectivos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson; o conjunto e a interpretação de tais grandezas fundamentais permitem a definição do ***diagnóstico estrutural*** do pavimento, ou seja, a definição do comportamento da estrutura quando acionada por cargas exteriores.

Finalizando, promove-se o ***dimensionamento mecanístico***, processado considerando o sistema estratificado composto pelo conjunto pavimento-solo de fundação - adicionado da camada de reforço estrutural -, submetido a condições de carregamentos similares àquelas exercidas pelas cargas do tráfego. Nesse dimensionamento, são calculados os *esforços horizontais atuantes na fibra inferior das camadas de reforço e do revestimento existente e os esforços verticais de compressão atuantes no topo do solo de fundação* considerando diferentes espessuras de reforço, os quais são cotejados e compatibilizados com os esforços resistentes intrínsecos a cada material constituinte; tal compatibilização é procedida de forma a se garantir que os esforços atuantes não sobrepujem os esforços resistentes.

Adicionalmente, aplica-se a metodologia de vida remanescente de tráfego visando avaliar a capacidade de tráfego restante do pavimento existente, atributo que, se existente, não deve ser desprezado em termos das soluções de restauração a serem empreendidas. As espessuras de reforço obtidas por meio de tal abordagem devem ser, naturalmente, contempladas e cotejadas.

Destarte, no âmbito da metodologia Paragon, dois procedimentos distintos se apresentam para a definição das intervenções corretivas a serem propostas para a recuperação de um pavimento antigo e degradado: as ***soluções conceptivas*** e a ***soluções estruturais***, as quais têm de se inter-relacionar, se fazendo, entretanto, mais respeitável e condicionante a solução conceptiva.

4.2.8.3.2. Soluções Conceptivas preconizadas pela Metodologia Paragon

Dispondo-se de um quadro sintomático definido e composto o algoritmo genético das combinações dos estados de sanidade, estabeleceu-se, no âmbito da metodologia Paragon, uma

matriz de decisão (“expert systems”) definida pelas soluções conceptivas reclamadas por cada estado de sanidade externado pelo pavimento.

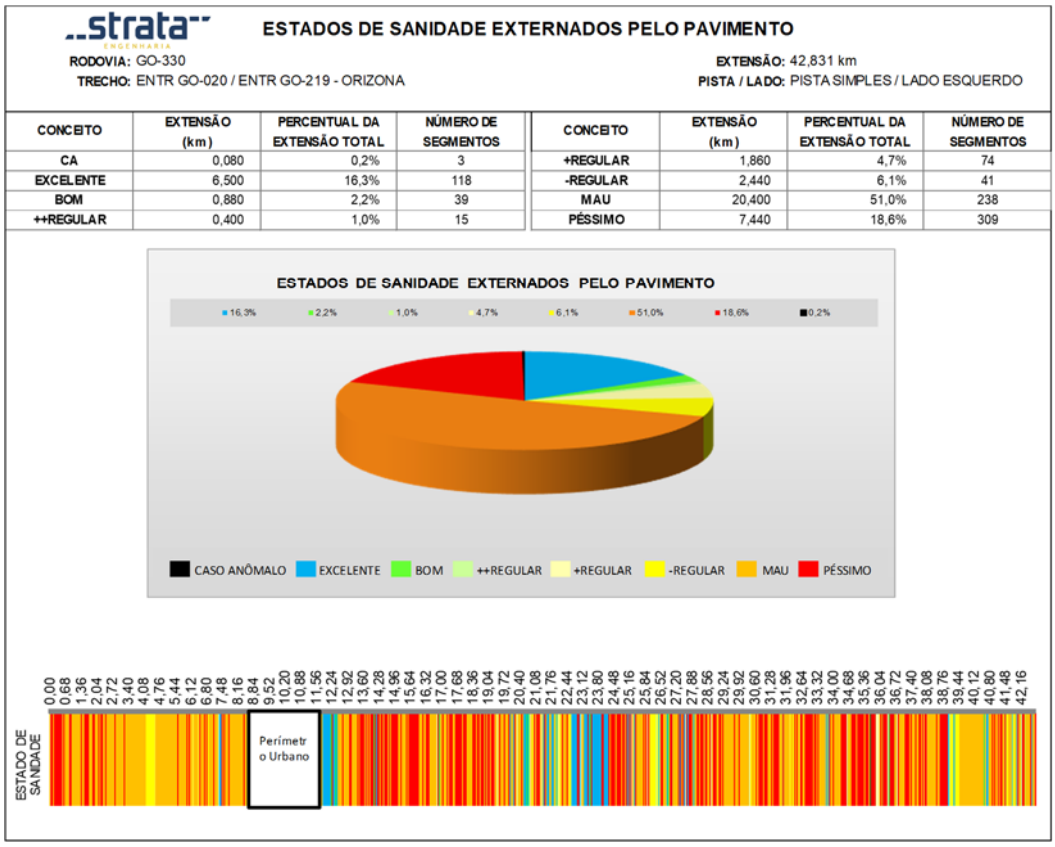
A essência das ***soluções conceptivas*** se vincula, portanto, ao quadro sintomático externado pelo pavimento, o qual, ao exteriorizar suas deficiências, revela a origem de suas malformações, se de naturezas superficiais ou ocorrentes em profundidades. De uma forma geral, as soluções conceptivas permitem a definição da incisão – local e profundidade – condicionamento que se soma aos procedimentos empregados para o dimensionamento de reforço estrutural, nos quais as espessuras são determinadas sempre por acréscimo (por sobreposição), sem ter em conta eventuais necessidades de correções a níveis internos.

Destarte, quando as degradações a serem corrigidas são de natureza superficial, as espessuras de reforços calculadas são válidas e quando decorrem de deformações permanentes em uma ou mais camadas – principalmente se de naturezas plásticas ou associadas à inadequabilidade comportamentais e/ou mecânicas dos materiais – as espessuras de reforço calculadas tornam-se desprovidas de fundamentação; na realidade, constitui veto natural capear pavimentos que externam deformações plásticas externas ou internas comprometedoras, as quais demandam, naturalmente, remoções parciais ou totais ou reconfecção das camadas danificadas.

Por conseguinte, pode-se afirmar, com certeza plena, que as ***soluções conceptivas devem condicionar as soluções de caráter estrutural***, as quais carecem de se render às premissas conceptivas que determinam o nível e a estratificação das malformações existentes.

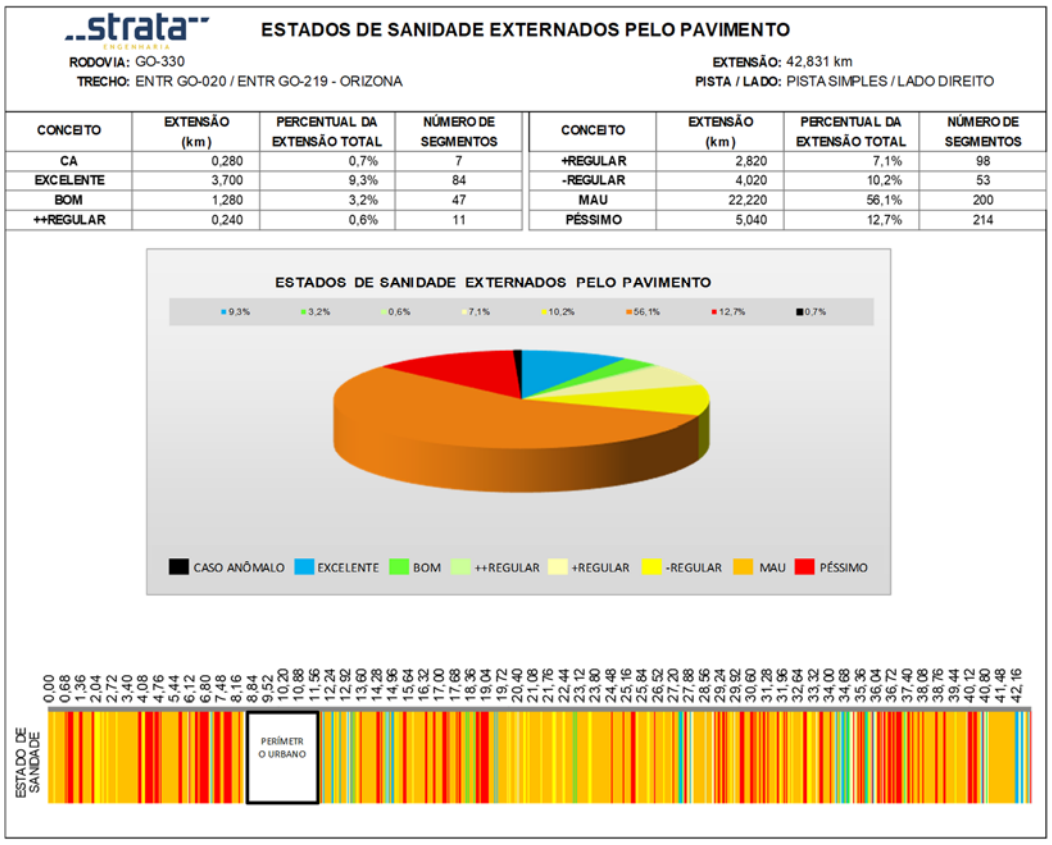
4.2.8.3.2.1. Intervenções Corretivas Concebidas para o Pavimento da GO-330 – Orizona – Pires do Rio/Entr. GO-020 (Próx. Roncador)

Tendo em vista, portanto o conhecimento prévio dos estados de sanidade do pavimento existente, definidos estaca por estaca, pôde-se promover suas respectivas identificações com as intervenções corretivas propostas pela “arvore de decisão”; os resultados obtidos, definidos, por faixa de tráfego, foram sintetizados e são apresentados a seguir:



CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS	CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS
CA	0,080	0,2%	3	+REGULAR	1,860	4,7%	74
EXCELENTE	6,500	16,3%	118	-REGULAR	2,440	6,1%	41
BOM	0,880	2,2%	39	MAU	20,400	51,0%	238
++REGULAR	0,400	1,0%	15	PÉSSIMO	7,440	18,6%	309

Figura 230 – Intervenções Conceptivas requeridas pelos pavimentos (Pista Simples – Lado Esquerdo).



CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS	CONCEITO	EXTENSÃO (km)	PERCENTUAL DA EXTENSÃO TOTAL	NÚMERO DE SEGMENTOS
CA	0,280	0,7%	7	+REGULAR	2,820	7,1%	98
EXCELENTE	3,700	9,3%	84	-REGULAR	4,020	10,2%	53
BOM	1,280	3,2%	47	MAU	22,220	56,1%	200
++REGULAR	0,240	0,6%	11	PÉSSIMO	5,040	12,7%	214

Figura 231 – Intervenções Conceptivas requeridas pelos pavimentos (Pista Simples – Lado Direito).

Em termos conceptivos, o pavimento externou, predominantemente, **Recomposição Superficial + Reforço**, que totalizam 20,400 Km (51,0%) no lado esquerdo e 22,220 Km no lado direito (56,1%). Ademais, há uma parcela expressiva de pontos cuja solução conceptiva é Reconstrução – 18,6% do pavimento no lado esquerdo e 12,7% no lado direito. Ademais, existem segmentos que demandam soluções conceptivas mais amenas, do tipo reparo localizado com ou sem reforço ou recarga superficial. Essas soluções brandas, juntamente com a fração que não demanda qualquer tipo de solução, representam cerca de 31,4% da extensão da via para o pavimento do lado esquerdo e do lado direito. Estes pontos são distribuídos ao longo do trecho.

Em suma, o pavimento em análise demanda, em cerca de 75% do trecho, de ***intervenções em profundidade***, do tipo Reconstrução do Pavimento (REC) e Recomposição Superficial (RPS), diretamente associadas a estados de sanidade "Péssimo", "Mau" e "- Regular". Por outro lado, observou-se alguns trechos em que há demanda de soluções superficiais, onde notou-se consistência suficiente para comporem segmentos homogêneos específicos, sendo esses segmentos decorrentes de recentes intervenções e dotados de uma boa estrutura nas camadas granulares.

Tais evidências corroboram os *diagnósticos funcional e estrutural* do pavimento em questão, nos quais constatou-se que a maior parte dos defeitos superficiais externados pelo pavimento resultam do estado de fadiga já bastante avançado da estrutura que propicia o desgaste da massa asfáltica, além de apresentar deformações permanentes que caracterizam a reconstrução como solução conceptiva.

4.2.8.3.2.2. Soluções Estruturais preconizadas pela Metodologia Paragon

Esta fase da metodologia Paragon se apoia nas avaliações estruturais do sistema pavimento existente – solo de fundação anteriormente processadas, fundamentalmente necessárias para se poder determinar as carências de aporte estrutural demandadas para se atender as solicitações futuras, previstas para a "vida de projeto". Assim, após a interpretação das linhas de influência considerando a estratigrafia do pavimento, promove-se o dimensionamento do reforço tendo em conta a compatibilização dos *esforços horizontais atuantes na fibra inferior da camada de reforço e do revestimento existente e verticais de compressão atuantes no topo do solo de fundação com seus respectivos esforços resistentes*; a premissa básica é de que os esforços atuantes não sobrepujem os esforços resistentes.
Ademais, é importante ressaltar a aplicação de uma quarta condição de dimensionamento na busca de uma avaliação mais completa das condições resistivas do pavimento em estudo: a definição e a contemplação da sua *capacidade de tráfego restante*. Nessa abordagem determina-se primeiramente a vida remanescente do pavimento existente, a qual permite – caso existente – definir o grau de alívio demandado pelo pavimento antigo para que ele possa suportar as solicitações futuras, durante sua vida de projeto; caso se verifique a existência de vida remanescente, deve ser ela devidamente contemplada e multiplicada de forma a atender a demanda de sua futura prestação de serviços.

Para consecução dessa etapa, torna-se fundamentalmente necessário definir os novos materiais, destinados a compor as camadas de reforço estrutural, com a definição de seus valores modulares e respectivos coeficientes de Poisson e também os pontos de solicitação máximos e

cruciais a serem considerados no âmbito da análise tensional do sistema reforço estrutural – pavimento – solo de fundação; os valores modulares característicos das camadas constituintes do pavimento e do solo de fundação existente são aqueles obtidos por retroanálises.
Em suma, para elucidar todas essas exigências, cruciais aos dimensionamentos mecanísticos, torna-se necessário definir:

a) as características das misturas asfálticas selecionadas – e passíveis – para constituição do reforço do pavimento (caracterização dos agregados pétreos e do ligante asfáltico – CAP, definição das granulometrias e dosagem do ligante asfáltico e temperaturas de trabalho;

b) as características das Temperaturas Médias de Trabalho das Misturas Asfálticas durante suas solicitações;

c) as características das solicitações impostas à superfície de um pavimento por uma carga móvel, rolante (tempo de aplicação de carga de frequência de solicitação) e suas influências nos valores dos módulos de rigidez dos concretos asfálticos;

d) As características das solicitações máximas impostas ao pavimento durante seu carregamento por cargas móveis e definição das solicitações críticas, estabelecendo suas correlações e analogias com os ensaios de carga dinâmicos.

4.2.8.3.3. Características das Misturas Asfálticas a serem Empregadas na Restauração do Pavimento Existente

Em decorrência das características funcionais e estruturais exteriorizadas pelo pavimento em questão, as medidas corretivas que se fazem necessárias deverão se enquadrar no espectro delimitado entre as recomposições superficiais, reforços estruturais e intervenções em profundidade.

Assim, no caso dos reforços estruturais com o emprego de concreto asfálticoo usinado a quente, torna-se fundamentalmente importante a seleção e a caracterização preliminar - e orientativa - das misturas asfálticas a serem empregadas, exigência requerida no dimensionamento estrutural quando processado através de análises de compatibilidade estrutural (solo de fundação x estrutura existente x camadas de reforço) cotejando os esforços impostos pelas cargas do tráfego e os esforços resistentes, intrínsecos a cada material.

Destarte, com base nas *soluções de reforço estrutural mais prováveis*, julgou-se válido considerar, pelo menos em primeira instância, misturas betuminosas do tipo *CBUQ Faixas C e B* (Norma DNIT 031/2006 – ES Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico) compostas com *Cimento Asfáltico de Petróleo apresentando viscosidade absoluta a 60ºC da ordem de 2000 Poises (CAP 60/85) modificado com polímero (5,5%)* e *filler de cimento Portland*; respalda ainda a seleção dessas faixas suas similaridades com as Faixas IVb e IIIb do "*The Asphalt Institute"*, organismo de respeitabilidade mundial.

Dessa forma, para se elaborar um adequado projeto de restauração deve-se promover preliminarmente a composição e as caracterizações física e mecânica das ***misturas-referências***, exigência esta que demanda o conhecimento dos componentes e a definição de suas quantidades. Assim considerando, faz-se mister evidenciar que os estudos de projeto – de fundamental importância – ***são sempre orientativos***, haja vista que são procedidos com amostras colhidas em locais específicos (por exemplo: uma pedreira comercial), sendo que existe mais algumas outras na própria redondeza;

Portanto, é importante se ter em conta que as caracterizações de projeto são processadas com "amostras" tornando-se fundamentalmente necessário, *quando da execução da obra, que a composição granulométrica final seja devidamente ajustada e definida* em função de eventuais diferenças mineralógicas, distintos sistemas de britagem, desigualdades dos índices de forma, lamelaridade, etc. Cuidados extras permear o emprego dos ligantes asfálticos, haja vista que embora produzidos pela Petrobras, as refinarias recebem o cru de diferentes origens, com mais ou menos bases asfaltênicas.

4.2.8.3.3.1. Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O tipo de ligante betuminoso selecionado para compor as futuras misturas asfálticas em CBUQ deve ser definido com base fundamentalmente nas características de flexibilidade da estrutura existente, na necessidade de se promover a compatibilização estrutural e também na existência / disponibilidade do produto em Refinarias e/ou distribuidoras autorizadas de Petróleo, situadas a distâncias economicamente viáveis. Na seleção da origem do ligante asfáltico procurou-se ter em conta as seguintes particularidades:

- o preço do ligante asfáltico é tabelado pela Petrobrás e, por conseguinte, como a distância de transporte é fixa, o custo final a ser praticado será ditado pela própria refinaria; e finalmente,

- o fato da Norma DNIT 031/2006 – ES Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço, no item 8 – Critérios de Medição, alínea c) estar claramente definido que "*o transporte do cimento asfáltico efetivamente aplicado será medido com base na distância entre a refinaria e o canteiro de serviço"*.

Assim, para a caracterização presentemente proposta, selecionou-se um cimento asfáltico de petróleo do tipo CAP-60/85 – a ser aprimorado por polímero – o qual apresentou as características fenomenológicas indicadas a seguir:

Tabela 9 – Características fundamentais do cimento asfáltico de petróleo

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO SELECIONADO	
CAP (Classificação por Viscosidade)	**20**
Penetração Normal (100g, 5s, 25°C, 0,1mm) - PEN	**56**
Ponto de Amolecimento (Anel e Bola - C) – Tab	**49,7**
Densidade (g.cm^{-3})	**1,02**
Ponto de Fulgor (ºC)	**2,87**
Ponto de Inflamação em vaso aberto Cleveland (ºC)	**350**
Viscosidade Saybolt-FUROL a 135°C	**186**
Viscosidade Absoluta a 70°F - 70°F x 10^{-6} (Poise)	**5,78**
Teor em betume (% em peso)	**99,8**
Ductilidade (25ºC, cm)	**85**
Perda por aquecimento a 163ºC, 5h (%)	**0,09**
Susceptibilidade térmica	**0,05**
Susceptibilidade ao tempo de carga	**0,42**
Carboides (%)	**0,1**
Carbenos (%)	**0,0**
Asfaltenos (%)	**14,2**
Maltenos (%)	**85,7**
Índice de Penetração – IP	**- 1,01**

Sendo o índice de penetração (IP) de Pfeiffer e Van Doormaal definido pela expressão:

$$IP = \frac{500.\log PEN + 20.Tab - 1951}{120 - 50.\log PEN + Tab}$$

4.2.8.3.3.2. Caracterização dos Agregados Pétreos

Os materiais selecionados – agregados pétreos, areia e "filler" – devem ter suas composições granulométricas devidamente estudadas e definidas de forma a propiciar a dosagem de suas respectivas quantidades em termos da composição final das misturas selecionadas. No caso específico, encontrou-se uma disponibilidade de material pétreo (basalto) na região, com a existência de pedreira em atividade comercial.

4.2.8.3.3.2.1. Estudos de Dosagem Referencial para os Concretos Betuminosos Usinados a Quente

✓ **Limites Granulométricos**

Conforme exposto anteriormente, selecionou-se, para compor as camadas de estruturação interna e de vedação, concretos betuminosos usinados a quente a serem compostos com misturas de agregados pétreos disciplinadas pelas Faixas "B" e "C", preconizadas pela Especificação DNIT 031/2006 – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico; os limites destas faixas granulométricas, definidos em termos das percentagens em peso passadas em cada peneira, são indicados a seguir:

Tabela 10 – Limites granulométricas (normativa DNIT 031/2006 ES).

LIMITES GRANULOMÉTRICOS (DNIT-031/2006 ES)			
PENEIRAS		PERCENTAGEM PASSANDO EM PESO	
ASTM	mm	FAIXA "B"	FAIXA "C"
1 ½ "	38,1	100	-
1"	25,4	95 – 100	-
3/4"	19,0	80 – 100	100
1/2"	12,7	–	85 – 100
3/8"	9,5	45 – 80	75 – 100
N° 4	4,8	28 – 60	50 – 85
N° 10	2,0	20 – 45	30 – 75
N° 40	0,42	10 – 32	15 – 40
N° 80	0,18	8 – 20	8 – 30
N° 200	0,074	3 – 8	5 – 10

Complementarmente à caracterização granulométrica, cabe ressaltar que outros ensaios de caracterização dos agregados pétreos foram realizados / fornecidos, tendo-se verificado os seguintes resultados:

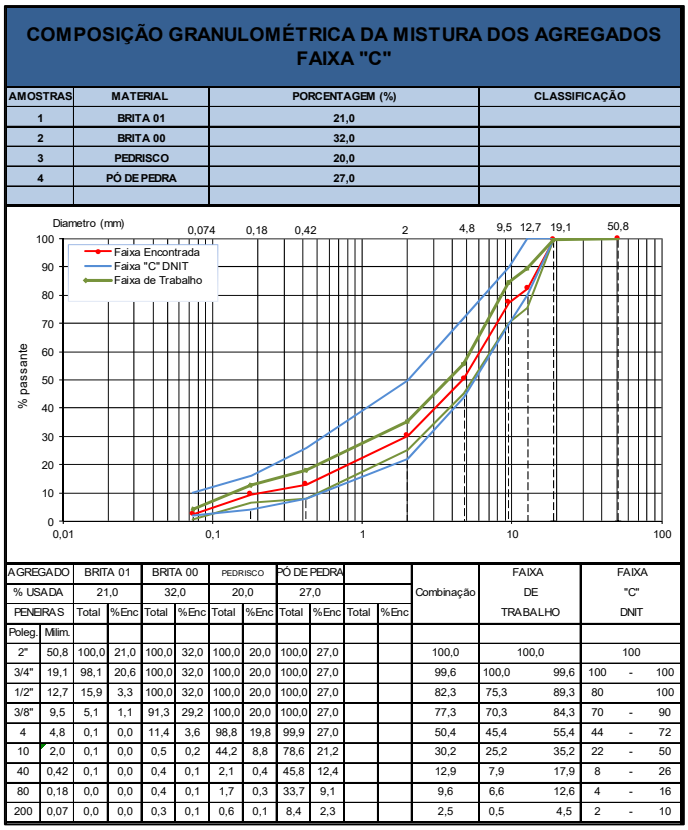
- ✓ Abrasão "Los Angeles" (DNER – ME 035/98) da ordem de 14%;
- ✓ Perda ao ensaio de durabilidade com sulfato (DNER – ME089/94) de sódio igual a 0,93%bb;
- ✓ Adesividade (DNER ME 078/079) satisfatória, e
- ✓ Índice de forma dos agregados graúdos (NBR 7809) igual 4,5.

✓ **Estudos Preliminares para Composição das Faixas Granulométricas "B" e "C"**

Tendo em conta os materiais disponíveis e suas respectivas granulometrias, promoveram-se estudos para definição de composições que, para além de se enquadrarem nas Faixas "B" e "C" / DNER, atendessem também aos aspectos econômicos em termos de formulação da mistura a ser empregada. Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

Tabela 11 – Composição das faixas granulométricas “B” e “C”

COMPOSIÇÃO DAS FAIXAS GRANULOMÉTRICAS “B” E “C”							
PENEIRAS		CAMADA DE ESTRUTURAÇÃO			CAMADA DE VEDAÇÃO		
		CBUQ FAIXA B			CBUQ FAIXA C		
		PÓ DE PEDRA		27%	PÓ DE PEDRA		27%
		PEDRISCO		20%	PEDRISCO		20%
		BRITA 0		32%	BRITA 0		32%
		BRITA 1		11%	BRITA 1		21%
		BRITA 2		10%	-		-
Nº	mm	DNIT FAIXA “B”	AI FAIXA III.b	MISTURA	DNIT FAIXA C	AI FAIXA IV.b	MISTURA
1 ½ ”	38,1	100	-	100	-	-	-
1”	25,4	95-100	-	97,6	-	-	-
3/4"	19,0	80-100	100	90,3	100	100	99,6
1/2"	12,7	-	75-100	-	80-100	85-100	82,3
3/8”	9,51	45-80	60-85	76,8	70-90	70-90	77,3
4	4,76	28-60	35-55	50,4	44-72	50-70	50,4
8	2,38	-	20-35	-	-	35-50	-
10	2,00	20-45	-	29,8	22-50	-	30,2
30	0,595	-	10-22	-	-	18-29	-
40	0,420	10-32	-	12,9	8-26	-	12,9
50	0,297	-	6-16	-	-	13-23	-
80	0,180	8-20	-	9,6	4-16	-	9,6
100	0,149	-	4-12	-	-	8-16	-
200	0,0074	3-8	2-8	2,5	2-10	4-10	2,5



COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DOS AGREGADOS
FAIXA "C"

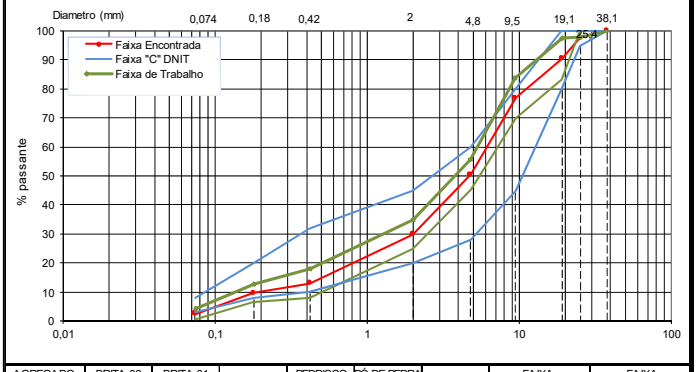
AMOSTRAS	MATERIAL	PORCENTAGEM (%)	CLASSIFICAÇÃO
1	BRITA 01	21,0	
2	BRITA 00	32,0	
3	PEDRISCO	20,0	
4	PÓ DE PEDRA	27,0	

AGREGADO		BRITA 01		BRITA 00		PEDRISCO		PÓ DE PEDRA				Combinação	FAIXA DE TRABALHO		FAIXA "C" DNIT		
% USADA		21,0		32,0		20,0		27,0									
PENEIRAS		Total	%Enc	Total	%Enc	Total	%Enc	Total	%Enc	Total	%Enc						
Poleg.	Milim.																
2"	50,8	100,0	21,0	100,0	32,0	100,0	20,0	100,0	27,0			100,0	100,0		100		
3/4"	19,1	98,1	20,6	100,0	32,0	100,0	20,0	100,0	27,0			99,6	100,0	99,6	100	-	100
1/2"	12,7	15,9	3,3	100,0	32,0	100,0	20,0	100,0	27,0			82,3	75,3	89,3	80		100
3/8"	9,5	5,1	1,1	91,3	29,2	100,0	20,0	100,0	27,0			77,3	70,3	84,3	70	-	90
4	4,8	0,1	0,0	11,4	3,6	98,8	19,8	99,9	27,0			50,4	45,4	55,4	44	-	72
10	2,0	0,1	0,0	0,5	0,2	44,2	8,8	78,6	21,2			30,2	25,2	35,2	22	-	50
40	0,42	0,1	0,0	0,4	0,1	2,1	0,4	45,8	12,4			12,9	7,9	17,9	8	-	26
80	0,18	0,0	0,0	0,4	0,1	1,7	0,3	33,7	9,1			9,6	6,6	12,6	4	-	16
200	0,07	0,0	0,0	0,3	0,1	0,6	0,1	8,4	2,3			2,5	0,5	4,5	2	-	10

Figura 232 – Composição Granulométrica da Mistura dos agregados – Faixa “C” (referencial).

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DOS AGREGADOS FAIXA "B"

AMOSTRAS	MATERIAL	PORCENTAGEM (%)	CLASSIFICAÇÃO
1	BRITA 02	10,0	
2	BRITA 01	11,0	
3	BRITA 00	32,0	
4	PEDRISCO	20,0	
5	PÓ DE PEDRA	27,0	



AGREGADO		BRITA 02		BRITA 01		BRITA 00		PEDRISCO		PÓ DE PEDRA		Combinação	FAIXA DE TRABALHO		FAIXA "B" DNIT		
% USADA		10,0		11,0		32,0		20,0		27,0							
PENEIRAS		Total	%Enc	Total	%Enc	Total	%Enc	Total	%Enc	Total	%Enc						
Poleg.	Milim.																
1 1/2"	38,1	100,0	10,0	100,0	11,0	100,0	32,0	100,0	20,0	100,0	27,0	100,0	100,0		100		
1"	25,4	75,7	7,6	100,0	11,0	100,0	32,0	100,0	20,0	100,0	27,0	97,6	100,0	97,6	95	-	100
3/4"	19,1	4,8	0,5	98,1	10,8	100,0	32,0	100,0	20,0	100,0	27,0	90,3	83,3	97,3	80		100
3/8"	9,5	0,1	0,0	5,1	0,6	91,3	29,2	100,0	20,0	100,0	27,0	76,8	69,8	83,8	45	-	80
4	4,8	0,1	0,0	0,1	0,0	11,4	3,6	98,8	19,8	99,9	27,0	50,4	45,4	55,4	28	-	60
10	2,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,5	0,2	42,2	8,4	78,6	21,2	29,8	24,8	34,8	20	-	45
40	0,42	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	2,1	0,4	45,8	12,4	12,9	7,9	17,9	10	-	32
80	0,18	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	1,7	0,3	33,7	9,1	9,6	6,6	12,6	8	-	20
200	0,074	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	0,6	0,1	8,4	2,3	2,5	0,5	4,5	3	-	8

Figura 233 – Composição Granulométrica da Mistura dos agregados – Faixa “B” (referencial).

✓ Determinação da Superfície Específica dos Agregados

Para as composições granulométricas estabelecidas pôde-se, em seguida, determinar a superfície específica dos agregados. Para o efeito, aplicou-se a fórmula de ***Marius Duriez***, indicada a seguir:

$$\Sigma = \frac{1}{100}\left[0{,}17a + 0{,}33b + 0{,}71c + 5d + 135e\right]$$

onde:

Σ = superfície específica dos agregados (m²/ kgf);
a = percentagem de agregado retido na peneira de 9,51 mm (3/8”);
b = percentagem de agregado passando na peneira de 9,51 mm (3/8”) e retido na peneira de 4,76 mm (n° 4);
c = percentagem de agregado passando na peneira de 4,76 mm (n° 4) e retido na peneira de 2,00 mm (n° 10);
d = percentagem de agregado passando na peneira de 2,00 mm (n° 10) e retido na peneira de 0,074 mm (n° 200);
e = percentagem de agregado passando na peneira de 0,074 mm (n° 200).

à qual se agrega a recomendação de se promover uma correção final no caso de se verificar valores de peso específico (ρ) médio dos agregados diferentes de 2,65 g.cm^{-3}. O fator de correção é definido portanto pela relação entre os pesos específicos padrão e particular e o resultado final se escreve:

$$\Sigma \times \frac{2{,}65}{\rho}$$

Desta forma, efetuados os cálculos, e tendo em conta que os pesos específicos médios ponderados dos agregados componentes das faixas "B" e "C" são respectivamente 2,812 e 2,814 g.cm^{-3}, verificou-se serem as superfícies específicas dos agregados da ordem de 5,295 e 5,297 m^2/kgf.

- ✓ **Dosagem dos Teores Ótimos em Asfalto pelo Método da Superfície Específica**

Com o objetivo de orientar a dosagem inicial de ligante na mistura, e, consequentemente, otimizar o número de corpos de prova no ensaio Marshall, realizou-se o cálculo de dosagem a partir do método experimental conhecido como "**método da superfície específica**", desenvolvido pelo engenheiro francês ***Marius Duriez***. Neste método, o teor em asfalto é definido pela expressão:

$$p = m\sqrt[5]{\Sigma}$$

onde:

p = Percentagem ponderal de asfalto, avaliado em termos da percentagem total de agregado;
Σ = Superfície específica dos agregados (m²/kgf); e,
M = "módulo de riqueza" em ligante.

O fator ***m***, que permite distinguir a noção de mistura rica ou pobre em ligante, da noção de composição granulométrica, assume diferentes valores conforme ou o tipo de betume utilizado ou os fins a que se destinam as misturas betuminosas. Para as condições presentes (CAP 50/70), Arrambide e Duriez recomendam um valor da ordem de 3,85. A substituição deste valor na expressão anterior, considerando as respectivas superfícies específicas dos agregados relativamente às faixas consideradas, definiu os teores ótimos em asfalto, indicados a seguir:

Tabela 12 – Teores ótimos de asfalto (Duriez)

TEORES ÓTIMOS DE ASFALTO (DURIEZ)		
MISTURA	**SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (m^2.kgf^{-1})**	**TEOR ÓTIMO EM ASFALTO (%)**
FAIXA "B"	**5,295**	**5,1**
FAIXA "C"	**5,297**	**5,5**

✓ **Dosagem dos Teores Ótimos em Asfalto pelo Método Marshall**

Tomando por base os teores ótimos Duriez e as composições granulométricas básicas, realizaram-se em seguida os ensaios Marshall para determinar o teor ótimo de ligante das misturas e suas respectivas densidades aparentes; para o efeito foram moldados 5 corpos de prova e os resultados obtidos são os que se apresentam listados a seguir.

Tabela 13 – Dosagem das misturas asfálticas

DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS			
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS		MISTURAS ASFÁLTICAS	
		CAMADA DE BINDER	CAMADA DE DESGASTE
FAIXA GRANULO-MÉTRICA	DNIT	B	C
	THE ASPHALT INSTITUTE	IIIb	IVb
DOSAGEM FINAL (% em peso)	FILLER - CIMENTO PORTLAND	2%	2,9%
	AREIA	8,6%	9,5%
	PÓ-DE-PEDRA	20%	23,7%
	BRITA "0"	45,6%	44,6%
	BRITA "1"	19%	14,2%
	TEOR EM CAP- 50/70	5,0%	5,5%
MELHORADOR DE ADESIVIDADE (% SOBRE O CAP)		0,5%	0,5%
DADOS DAS MISTURAS	D_t - DENSIDADE TEÓRICA	2,44	2,42
	d - DENSIDADE APARENTE	2,34	2,33
	Vv - % VOLUME DE VAZIOS	4,1%	3,7%
	Vb - % VOLUME DE ASFALTO	12,9%	12,8%
	VAM - % VAZIOS DOAGREGADO MINERAL	17,0%	16,5%
	RBV - % RELAÇÃO BETUME/VAZIOS	75,9%	77,6%
	Va - % DE VOLUME DE AGREGADOS (%)	83,0%	83,5%

A ressaltar apenas o fato de que tais resultados deverão ser devidamente *aferidos durante a execução das próprias obras de restauração*; os parâmetros padrões de comportamento relativos às características de resistência são os que se apresentam a seguir:

Tabela 14 – Parâmetros de resistência da mistura asfáltica

PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DA MISTURA ASFÁLTICA		
MISTURA ASFÁLTICA	**ESPECIFICAÇÃO**	**PROJETO**
DNER FAIXA C (DNIT 031/2006)		
Estabilidade (kgf) (75 golpes)	**> 500**	**900**
Fluência DNER-ES-P 313/97	**2,0 – 4,5**	**3,0**
Relação betume/vazios	**75 - 82**	**79**
Resistência compressão Diametral	**> 0,65**	**0,80**
DNER FAIXA B (DNIT 031/2006)		
Estabilidade (kgf)	**> 500 (75 golpes)**	**800**
Fluência DNER-ES-P 313/97	**2,0 – 4,5**	**3,0**
Relação betume/vazios	**65 – 72**	**69**
Resistência compressão Diametral	> 0,65	0,80

Ademais, salienta-se o fato de a dosagem teórica referencial apresentada referir-se ao concreto betuminoso usinado a quente convencional. Entretanto, ressalta-se a indicação de concreto betuminoso usinado a quente com polímero que deve ser adquirido quando da execução.

4.2.8.3.3.3. Determinação das Temperaturas Médias de Trabalho das Misturas Asfálticas

Para a avaliação das **temperaturas de trabalho** das misturas asfálticas destinadas a compor o reforço do pavimento - fator que afeta sobremaneira seus comportamentos reológicos – procurou ter-se em conta concomitantemente os resultados decorrentes das avaliações de campo e dos dados climáticos disponíveis conforme a seguir descrito:

foram realizadas medições de temperaturas do ar ambiente e da superfície do revestimento, durante a campanha deflectométrica, utilizando o deflectógrafo FWD; os resultados obtidos são apresentados a seguir:

Para a avaliação das **temperaturas de trabalho** das misturas asfálticas destinadas a compor o reforço do pavimento - fator que afeta sobremaneira seus comportamentos reológicos – procurou ter-se em conta concomitantemente os resultados decorrentes das avaliações de campo e dos dados climáticos disponíveis conforme a seguir descrito:

- ✓ foram realizadas medições de temperaturas do ar ambiente e da superfície do revestimento, durante a campanha deflectométrica, utilizando o deflectógrafo FWD; os resultados obtidos são apresentados a seguir:

Tabela 15 – Temperatura do ar e superfície (deflectógrafo FWD)

TEMPERATURA DO AR E SUPERFÍCIE (DEFLECTÓGRAFO FWD)				
PISTA SIMPLES				
TEMPERATURA	AR AMBIENTE (ºC)		SUPERFÍCIE (ºC)	
	LADO DIREITO	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO	LADO ESQUERDO
MÉDIA	21	21	31	33
MÁXIMA	26	26	41	41

Tabela 16 – Temperaturas médias do ar ambiente e do pavimento (deflectógrafo FWD)

TEMPERATURAS MÉDIAS DO AR AMBIENTE E DO PAVIMENTO DA GO-330		
PISTA SIMPLES (DEFLECTÓGRAFO FWD)		
RODOVIA	TEMPERATURA DO AR AMBIENTE (ºC)	TEMPERATURA DO PAVIMENTO (ºC)
GO-330	21	32

- ✓ Foram procedidas pesquisas para a avaliação das temperaturas do ar ambiente (médias) através dos dados disponibilizados pelo INMET, os quais evidenciaram

- ✓ ***Temperaturas médias*** foram estudados os dados constantes no INMET, entre os anos de 1991 e 2020, pertinentes à estação de Catalão/GO, a estação automática mais próxima do trecho. O valor médio de temperatura do ar encontrado foi de $T_{ar} = 23,2ºC$

Tabela 17 – Temperatura média – dados INMET

TEMPERATURA MÉDIA (INMET)	
TEMPERATURA (PERÍODO)	AR AMBIENTE (ºC)
Média (1991-2020)	**23,2**

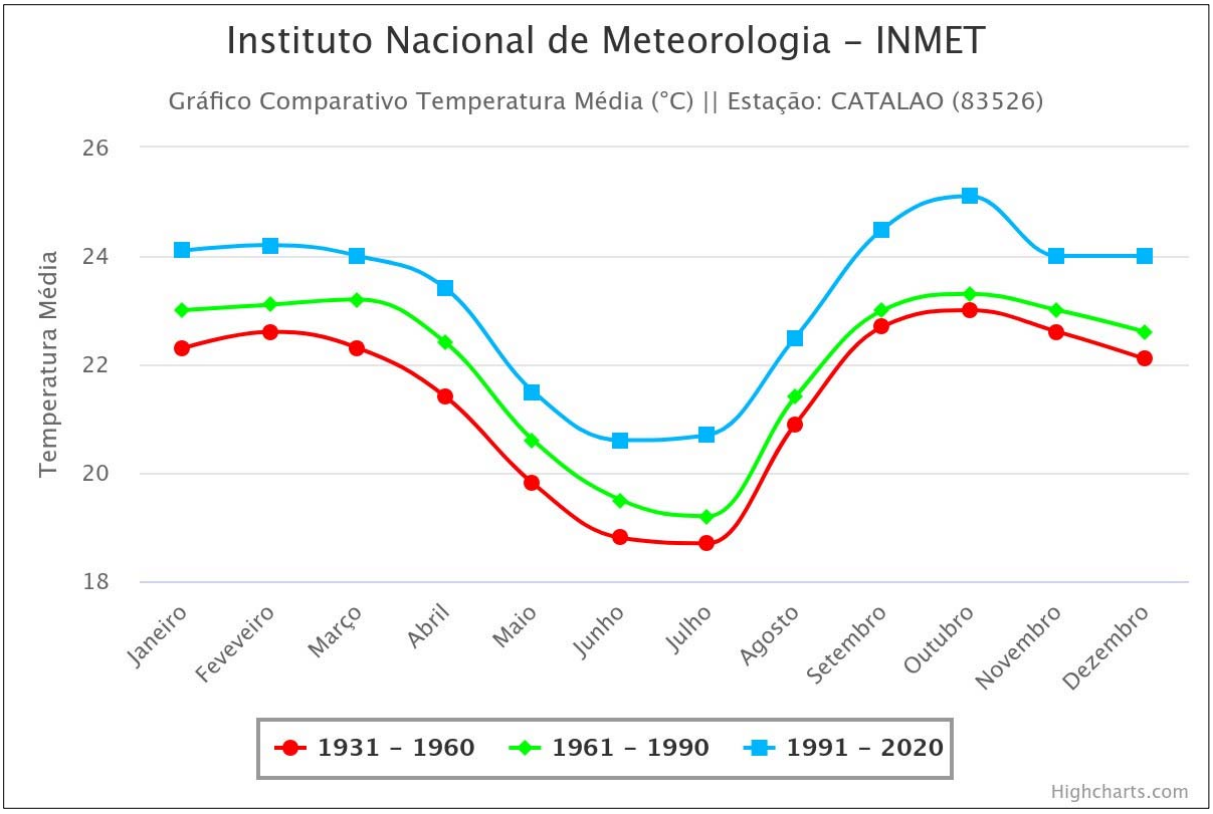


Figura 234 – Temperaturas Médias no período de 1931-2020 em estação situada em Catalão, próxima à GO-330.
(Fonte: INMET).

Na seleção da temperatura representativa das misturas betuminosas, procurou ter-se em conta, complementarmente, os estudos efetuados por M. Witczak (The Asphalt Institute), os quais culminaram com a proposição de uma expressão que traduz o gradiente decrescente da temperatura em camadas betuminosas a partir dos valores médios anuais da temperatura do ar ambiente (T_{ar}); a retromencionada expressão é a que se apresenta a seguir:

$$T_p = \frac{(0{,}39z + 4{,}95)T_a + 1{,}29z + 12{,}1}{0{,}39z + 4}$$

onde:

T_p = temperatura do pavimento à profundidade z (ºC)
T_a = temperatura média do ar ambiente (ºC)
Z = profundidade considerada tomada em relação à superfície da camada asfáltica (cm).

Dos dados disponíveis, observou-se uma relativa correspondência entre as temperaturas do ar ambiente detectadas pelo FWD em relação às temperaturas médias obtidas através do INMET para o período de referência. Pelo fato do organismo INMET oferecer uma sequência controlada de resultados anuais, julgou-se mais confiável adotar como *temperatura média anual do ar ambiente* **T_{ar} = 23,2ºC**.
Seguidamente, considerando a temperatura do ar ambiente, procurou-se avaliar o resultado traduzido pela aplicação da forma de M. Witczak, o qual, tendo em conta uma estrutura aprioristicamente considerada como representativa de um eventual reforço estrutural do pavimento existente, é o que se apresenta a seguir, de forma gráfica:

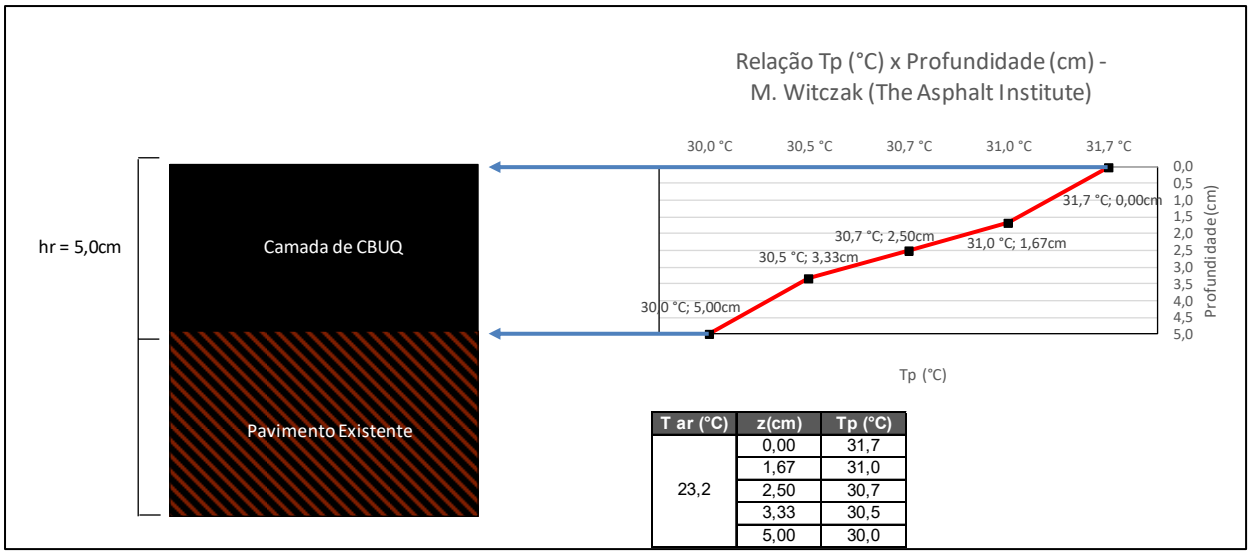


Figura 235 – Gradiente de temperatura em camadas betuminosas (Witczak).

Do resultado ilustrado, constata-se que para se definir a temperatura de trabalho representativa da mistura asfáltica – *média representativa dos períodos diurno e noturno ao longo de todo o ano* - considerou-se válida a proposição de **M. Witczak** de que a temperatura representativa das condições de trabalho de uma mistura é aproximadamente igual àquela que ocorre a uma profundidade, contada a partir da superfície, igual 2/3 de sua espessura. Desta forma, considerando-se uma espessura reforço representativa da ordem de **12,5 cm**, obtiveram-se os seguintes resultados:

- ✓ **Temperatura da camada asfáltica à superfície:**
  $T_{p\ (superfície)} = 31,7°\ C$
- ✓ **Temperatura da camada de desgaste à 1/3 de profundidade:**
  $T_{p\ (z = 1,667\ cm)} = 31,0\ °C$
- ✓ **Temperatura da camada de "binder" à 2/3 de profundidade:**
  $T_{p\ (z = 3,334\ cm)} = 30,5°\ C$

A ressaltar finalmente, apenas o fato de se ter considerado para a temperatura à superfície do pavimento o valor proposto pela fórmula de Witczak – ao invés do valor médio da temperatura medida presentemente à superfície do pavimento (FWD) – opção que se fundamentou no fato de as temperaturas medidas através do FWD não serem representativas de uma média anual; considerou-se ainda que a expressão de Witczak contempla, como parâmetro preponderante, a temperatura do ar ambiente, a qual foi calculada tendo em conta resultados obtidos durante um longo período de tempo (INMET).

4.2.8.3.3.4. Características das solicitações impostas à superfície de um pavimento por uma carga móvel, rolante (tempo de aplicação de carga de frequência de solicitação) e suas influências nos valores dos módulos de rigidez dos concretos asfálticos

Primeiramente, torna-se importante destacar que, em termos reológicos, o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas depende mesmo, de forma fundamental, é do *tempo de aplicação de carga*, o qual verdadeiramente rege as tendências comportamentais: maiores tempos de carga realçam a componente viscosa e menores tempos de carga realçam a componente elástica; a frequência constitui, na realidade, um artifício conceitual.

A título de exemplificar essa assertiva e a importância do tempo de aplicação de carga, basta lembrar que a aplicação de uma única carga sobre uma mistura asfáltica por um período longo – carga estática (tempo de aplicação infinito e frequência nula) – provoca deformações permanentes importantes, simplesmente pelo realce de sua componente viscosa: a mistura asfáltica flui sob a carga.

À potencialização desse comportamento reológico das misturas asfálticas soma-se ainda a temperatura, grandeza física que também detém a propriedade de realçar a componente viscosa dos materiais asfálticos, tanto mais, quanto mais elevada; as misturas asfálticas constituem, por conseguinte, materiais termossensíveis, e essa influência no fluxo e na deformação da matéria confere à *temperatura* uma autoridade tão fundamentalmente importante no comportamento de misturas asfálticas, quanto o *tempo de carga*.

Desse modo, torna-se essencial, nos cálculos dos valores modulares das misturas asfálticas, ter-se sistematicamente em conta o par homólogo – indissociável – dos parâmetros que ditam seus comportamentos reológicos: o *"tempo de carga" e a "temperatura"*, os quais condicionam, de forma notável, a magnitude da rigidez.

4.2.8.3.3.5. Tempos de Aplicação de Carga e Frequências de Solicitações

Destarte, para determinar o módulo dinâmico das camadas asfálticas torna-se fundamentalmente importante definir, com a devida acurácia, o tempo de aplicação que as cargas pesadas impõem ao pavimento, *o qual inclusivamente varia, de forma crescente, com a profundidade*, propriedade que será seguidamente explanada. De forma complementar, como os esforços impostos por uma carga móvel rolante são de natureza ondulatória – ondas senoidais – tem se empregado, de forma sinônima, o conceito de "*frequência da solicitação"*, definido pelo inverso do tempo de carga (f=1/t).

Sobre o termo "frequência de solicitação" de uma carga, cabe primeiramente esclarecer uma distinção conceitual entre duas citações muito usuais na Engenharia de Pavimentos, as quais, bastante distintas, podem induzir falhas de interpretação, dando margens a entendimentos por vezes confusos: *frequência de solicitação de uma carga* e *frequência de aplicação das cargas*.

A *frequência de solicitação de uma carga* corresponde à frequência de solicitação imposta ao pavimento, de forma cíclica, por *uma única carga móvel*, rolante, se deslocando em movimento retilíneo uniforme e que é estabelecida em função da velocidade angular – ou da relação entre a velocidade retilínea (V) e o raio do pneumático (r). A *frequência de aplicação das cargas*, substancialmente distinta, é empregada para definir a assiduidade com que a carga dos veículos

usuários acontece, dependente do volume de tráfego e ocorrente de forma fortuita, aleatória e contingente, não governada por qualquer tipo de regência matemática (sequências indisciplinadas de ocorrência).

Dessa diferenciação depreende-se que a agressão imposta a uma camada asfáltica - e ao restante do pavimento -, para além da magnitude da carga, é função da velocidade de deslocamento de um veículo comercial, grandeza que responde pelo aumento da frequência de solicitação imposta ao pavimento pelas rodas, *independentemente do número de eixos e de suas composições com rodas simples ou duplas*; quanto maior a velocidade de translação, menor o tempo de aplicação da carga e maior a frequência de solicitação, variável que responde de forma incisiva no comportamento dos materiais viscoelásticos: tempos de carga elevados/frequências baixas respondem pelo realce da componente viscosa, que replicam na redução de sua rigidez (menores valores modulares).

Por outro lado, torna-se necessário ter em conta que as cargas aplicadas à superfície de um pavimento são transmitidas a partir de áreas de contato pneu–pavimento aproximadamente circulares e se distribuem, em profundidade, sob a forma de um *tronco de cone*, cujas geratrizes externam inclinações ditadas pela rigidez de cada camada constitutiva.

Assim, no âmbito de um pavimento típico, composto de camadas sobrepostas ao solo de fundação, as pressões induzidas à superfície se distribuem em profundidades com intensidades ditadas pelas características dos materiais, os quais ditam as inclinações das geratrizes do tronco de cone: mais espraiadas ou suaves quando da presença de materiais mais rígidos (concreto asfáltico) e mais severas ou acentuadas, quando da presença de materiais menos rígidos (camadas granulares), conforme ilustrado de forma esquemática apresentada na sequência:

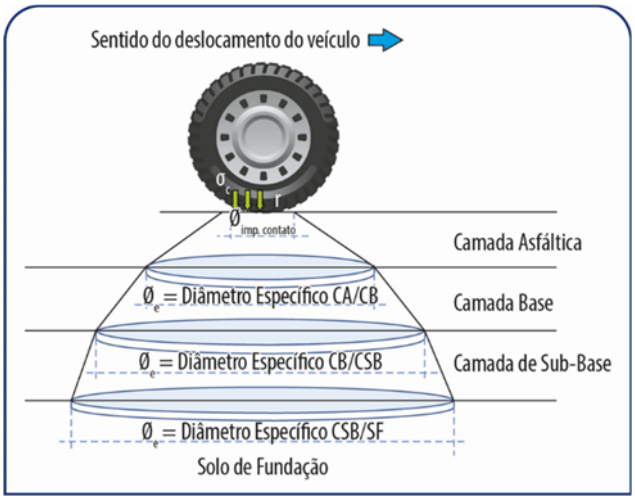


Figura 236 - Diâmetros específicos das áreas de carga na superfície e nas interfaces entre camadas

Sob tal conceituação, o tempo de submissão de um elemento interno do pavimento a uma carga rolante, distribuída à superfície sobre uma área circular, se estabelece por meio de sua interação com a carga – processo que se institui durante a aproximação, sobreposição e afastamento da carga móvel – distinção que depende da *velocidade de deslocamento do veículo* e da *profundidade do ponto considerado*; conforme já evidenciado, *as áreas de distribuição das cargas com a profundidade são circulares, com diâmetros específicos variáveis e crescentes*.

Considerando uma velocidade de translação constante, as tensões verticais de compressão induzidas à superfície se distribuem com a profundidade através de "troncos de cone" – atrelados ao aumento projecional definido por suas "saias" de distribuição –, particularidade

que propicia distintas solicitações aos elementos dispostos em planos mais profundos, de fácil imaginação se se tiver em conta o "*deslocar da saia de solicitação*" solidário ao deslocamento da carga móvel, rolante.

O tronco de cone das tensões se locomove solidariamente com a carga e sua *geratriz de avanço* atinge pontos dispostos à maiores profundidades antes da sua sobreposição pela carga, sob carga se mantendo até que a geratriz de retaguarda o ultrapasse. As áreas circulares em profundidade, externam diâmetros específicos cada vez maiores com a profundidade, recebem tensões verticais de compressão cada vez menores, entretanto cada vez mais duradouras (quanto mais profundas, maiores os tempos de aplicação da carga).

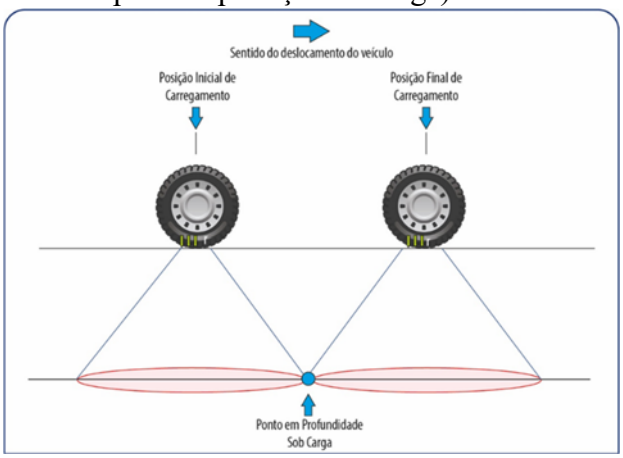


Figura 237 - Atuação da zona de influência das cargas e processo de solicitação de um ponto no interior do pavimento.

Desta forma, considerando constante a velocidade de deslocamento de uma carga móvel à superfície, o tempo de solicitação de um elemento no interior do pavimento corresponde ao tempo necessário para que o *diâmetro específico* em profundidade o translade; o tempo de submissão à carga será, portanto, determinado por meio da relação elementar: t = d/v e, por conceituação física, seu inverso definirá a frequência de solicitação.

Em que pesem algumas considerações teóricas sobre os tempos de carga, existe uma dedução insofismável sobre o *tempo real* de solicitação de um *elemento unitário disposto sobre a superfície* de um pavimento quando da passagem de uma carga móvel, rolante, com uma impressão de contato dos pneus circular, externando determinado diâmetro: o tempo de carga é igual ao tempo para a impressão de contato transladá-lo, ou seja, o tempo que o elemento superficial, ao entrar na zona de influência da impressão de contato (em movimento), fica sobreposto até que seja ultrapassado.

Sob essas condições de carregamento, considerando a velocidade de um veículo pesado da ordem de 80km/h (22,22m/s) e uma impressão de contato com diâmetro igual 21,6cm (0,216m), o tempo de submissão de um elemento superficial à carga aplicada $t_c = 0{,}01s$, calculado pela expressão elementar.

$$t_c = \frac{distância}{velocidade} = \frac{Ø_{impressão\ de\ contato}}{V} = 0{,}01s$$

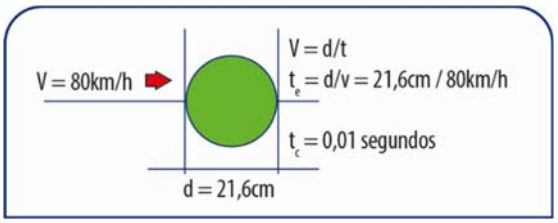


Figura 238 - Tempo de aplicação de carga real de um eixo-padrão sobre um pavimento

Outra forma de se avaliar o real tempo de carga sofrido por um *elemento superficial* do pavimento *durante a translação de um veículo pesado* pode ser apreciada considerando o diâmetro da impressão de contato (*Ø = 21,6cm*) distribuído sequencialmente ao longo da circunferência externa de um pneu-padrão *(2p = 2πR)* que externa um diâmetro médio igual a 45 polegadas – raio igual a 22,5 polegadas - e calcular o tempo de solicitação exercido por cada impressão de contato durante o seu percurso:



Figura 239 - Distribuição das impressões de contato impostas no pavimento por um veículo carregado.

$$perímetro\ 2p = \ 2\pi R = 2\ x\ 3{,}1416\ x\ (22{,}50\ x\ 2{,}54) = 359{,}08\ cm$$

Número de impressões de contatos cabíveis no perímetro ilustrado na figura acima:

$$\frac{2p}{Ø_{impressão\ de\ contato}} = \frac{359{,}08}{21{,}6} = 16{,}62\ impressões$$

Como o tempo total de revolução do pneu se deslocando a 80 km/h é igual a:

$$t_c\ = \ 0{,}162\ s$$

o tempo de carregamento exercido durante cada impressão de contato será igual a:

$$t_{c\ (impressão\ de\ contato)} = \frac{0{,}162}{16{,}62} \qquad \therefore \qquad t_c = 0{,}01s$$

valor que permite inferir, em termos de *conceituação física, que a frequência de solicitação proporcionada por uma carga móvel, rolante, em um ponto superficial do pavimento, é da ordem de 100Hz*.

À guisa de ajuizar as presentes determinações, vale destacar que as avaliações do sistema pavimento - solo de fundação quando processadas por meio do emprego do FWD, são determinadas por ensaios realizados à superfície com tempos de carga bastante similares, com o pico da carga ocorrendo a cerca de 12ms, ou seja, $t_c = 0{,}012$ *segundos* – tempo de aplicação da carga de 8ms a 12ms (4ms) e tempo de descarga de 12ms a 29ms (17ms); essas constatações constam das saídas típicas dos equipamentos FWD.

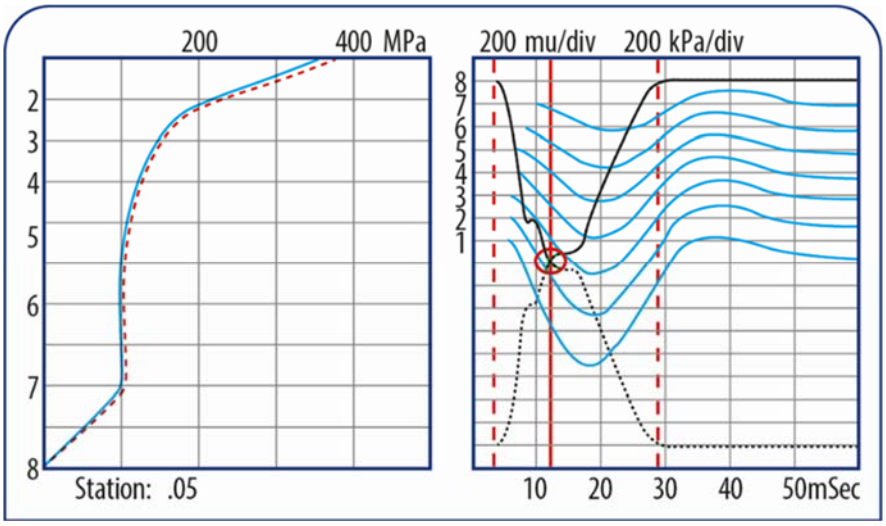


Figura 240 - Registro da magnitude e dos tempos de aplicação da carga e de propagação das ondas captadas pelos diferentes geofones.

Em que pese o FWD gerar ondas localizadas e fixas numa determinada seção – o último geofone acusa a carga somente por volta dos 23ms, disciplinadas por uma frequência de solicitação imposta à superfície $f = 83Hz$, bastante aproximada daquela impingida por uma carga móvel, rolante ($f = 100Hz$). Destaque-se complementarmente a notável manifestação do comportamento reológico da mistura asfáltica – material viscoelástico – traduzida pela diferença externada entre o tempo de aplicação da carga máxima (12ms) e o tempo de acusação da deformação máxima (18ms).

4.2.8.3.4. Determinação dos Módulos de Rigidez das Misturas Asfálticas

O conhecimento preciso do módulo de rigidez das misturas asfálticas constitui essência fundamental para a avaliação, diagnóstico e dimensionamento de pavimentos e também para a estimativa de seus desempenhos.

O processo ideal de determinação dos valores modulares consiste na realização de ensaios laboratoriais que empregam distintos métodos de ensaio, os quais recebem diferentes denominações consoante o tipo de carga aplicada: *Módulo Dinâmico* e *Módulo Resiliente,* que são determinados por carregamentos dinâmicos mas diferem pelas frequências de aplicação das cargas: no primeiro, as cargas são aplicadas de forma continuada pelo menos em três frequências distintas, dispostas no intervalo de 0,1 a 25Hz à 5 temperaturas diferentes, enquanto no segundo, consideram-se períodos de repouso (usualmente tempos de carga igual a 0.1s e de repouso igual a 0,9s, aplicados a uma temperatura fixa).

Os métodos de ensaio mais tradicionais são os de rigidez flexural (tração na flexão considerando um ou mais pontos de carga e flexão de consolas trapezoidais) que possibilitam a determinação do Módulo Complexo (Dinâmico) e o de Tração Indireta por Compressão Diametral, que

permite a determinação do Módulo Resiliente; cabe destacar sobre este último método o fato de ter sido ele concebido e desenvolvido pelo emérito *professor Lobo Carneiro*, conhecido na Europa como *Ensaio Brasileiro*.

Em face, entretanto, das dificuldades naturais de realização desses ensaios, que demandam equipamentos sofisticados e condições especiais de execução (calibrações, LVDT, extensômetros e temperatura), particularidades que se somam aos seus custos bastante elevados, vários organismos e entidades rodoviárias e universidades, mundialmente reconhecidos, se propuseram a estudar famílias de misturas asfálticas e, com base nos resultados obtidos, estabelecer correlações estatísticas para predição de valores modulares; as pesquisas desenvolvidas resultaram do desenvolvimento de equações preditivas e em nomógrafos, dentre os quais podem ser destacados os de Saunier, Heukelom e Klomp, van der Poel, McLeod, Shell, Asphalt Institute, etc.

Dentre os principais centros de pesquisa/pesquisadores de soluções preditivas de valores modulares de misturas asfálticas, podem ser referenciados como de altíssimas qualificações científicas os seguintes:

- Procedimentos analíticos:
    - The Asphalt Institute (Mathews Witczak);
    - Shell Technology Centre Amsterdam - KLSA (C. van Der Poel);
    - Centre de Recherches Routières (L. Francken e J. Verstraeten);
    - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (J. Saunier)
- Procedimentos fundamentados no Cálculo das Isotérmicas Mestras:
    - Laboratório Nacional de Engenharia Civil (P. Gontijo);

os quais foram utilizados pela *Metodologia Paragon* durante uma vintena d'anos; no âmbito da seleção do valor representativo adotou-se, nos primórdios, o valor modular médio.

A partir de 1995, entretanto, a metodologia passou-se a empregar, de forma sistemática, a equação preditiva desenvolvida em conjunto por professor *Mathews Witczak* e *Coronel Engenheiro Osvaldo Albuquerque Fonseca* – brasileiro ilustre, do Comando da Aeronáutica Brasileira e doutor pela University of Maryland –, cujo modelo se apresentava superior aos demais, pois permitia a avaliação de módulo dinâmico para uma grande variedade de misturas/propriedades asfálticas, tendo em conta ainda os distintos graus de envelhecimento do ligante asfáltico em curto e longo prazo; os ensaios realizados foram efetuados a f = 1 - 6 e 16Hz.

Mais recentemente (2002), todavia, com as experimentações processadas no âmbito do Programa SHRP (Long Term Pavement Performance) e a proposta dos americanos de desenvolverem um Guia de Dimensionamento de Pavimentos e de seus Reforços Estruturais, os pesquisadores incorporaram à base de dados originais de Fonseca e Witczak uma enorme massa de dados, os quais foram devidamente tratados.

A proposição de recalibrar a equação preditiva de Fonseca e Witczak se fundamentou no fato de que os princípios estatísticos clássicos não recomendam a extrapolação de qualquer modelo para além das variáveis contidas na população tratada; consideraram, assim, que a equação, embora embasada em um notável banco de dados composto de 1.430 amostras apreciando 149 misturas, só contemplava misturas que empregam cimentos asfálticos convencionais, particularidade que não a qualificava para o caso dos cimentos asfálticos modificados.

Complementarmente, consideraram ainda que o banco de dados original cobriu apenas uma faixa estreita de tipos de aglutinante e questionaram a geometria e o processo de compactação, por amassamento, empregado na confecção dos espécimes cilíndricos (4" de diâmetro por 8" de altura).

Os resultados obtidos permitiram o estabelecimento de uma nova equação preditiva dos módulos das misturas asfálticas; esses resultados constam do *NCHRP - Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavement Structures – Development of a Revised Predictive Model for the Dynamic (Complex) Modulus of Asphalt Mixtures*.

O programa de pesquisas complementares, também conduzido pelo *professor Witczak*, que permitiu incorporar ao antigo banco de dados os resultados obtidos de ensaios realizados com frequências de 0,1 – 1,0 – 25Hz em cerca de 1.320 amostras contemplando 56 misturas asfálticas diferenciadas: 34 misturas constituídas com cimentos asfálticos modificados e 22 com asfaltos convencionais; para cada mistura, foram ensaiadas de 20 a 30 amostras, todas obtidas por compactação com prensa de cisalhamento giratório (espécimes com diâmetro de 7,0cm por 15,0cm de altura).

O novo banco de dados cobriu ainda uma gama muito maior de valores de viscosidades, determinadas para cada temperatura de ensaio (20 tipos de aglutinantes asfálticos e 5 temperaturas de ensaio) e foram consideradas 39 composições granulométricas distintas.

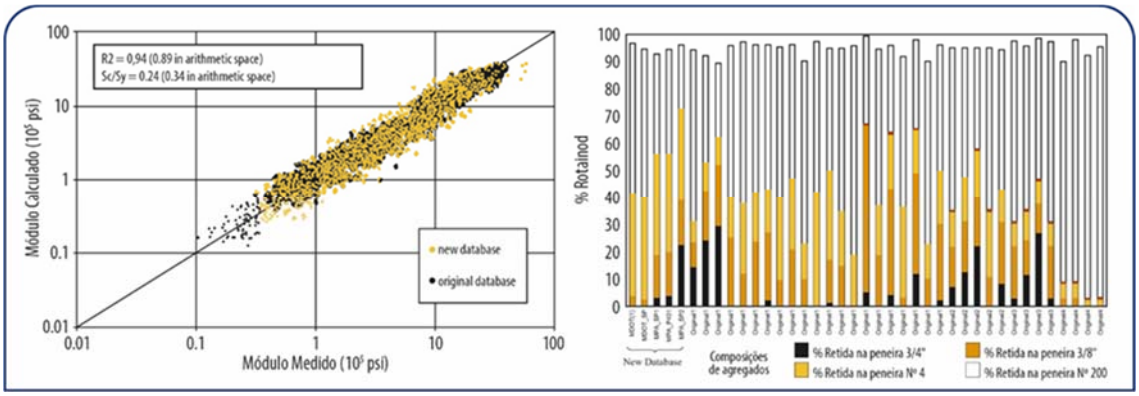


Figura 241 - Correlações entre os valores modulares de misturas asfálticas medidos e calculados pela equação preditiva e graduações granulométricas consideradas (Fonte NCHRP 1-37).

Dessa forma, tendo em conta que o modelo de fadiga resultante externou elevadíssima precisão (coeficiente de regressão R2 = 0,941, Se/Sy = 0,244) entre os valores medidos e calculados, julgou-se sólido passar a adotar a equação preditiva para determinação do módulo dinâmico de mistura asfáltica desenvolvida no âmbito do NCHRP, adoção alicerçada pela contemplação intrínseca de diferentes graus de envelhecimento, de distintas composições granulométricas – *desde misturas de areia-asfalto até misturas densas* – e de uma notável gama de *cimentos asfálticos modificados e convencionais*.

Afiançou ainda essa opção o fato de o modelo final não perder a precisão nem mesmo nas condições extremas de temperatura/frequência. Assim considerando, no âmbito da *Metodologia Paragon*, passou-se a adotar a equação preditiva apresentada a seguir para cálculo do módulo de rigidez de misturas asfálticas:

$$logE = -1{,}249937 + 0{,}029232.p_{200} - 0{,}001767.(p_{200})^2 - 0{,}002841.p_4 - 0{,}058097.V_v - \\ - 0{,}802208\frac{V_b}{(V_b + V_v)} + \frac{3{,}871977 - 0{,}0021.p_4 + 0{,}003958.p_{3/8} - 0{,}000017.(p_{3/8})^2 + 0{,}005470.p_{3/4}}{1 + e^{(-0{,}603313 - 0{,}313351.\log(f) - 0{,}393532.\log(\eta))}}$$

em que:

E = Módulo dinâmico da mistura asfáltica (x10^5.psi);
η = Viscosidade do ligante asfáltico (x10^6 Poises) (qualquer temperatura ou grau de envelhecimento);
f = Frequência de aplicação da carga (Hz);
V_v = Volume total de vazios na mistura (%);
Vb = Teor volumétrico de asfalto (%);
$p_{3/4}$ = % acumulada retida na # 3/4 (19mm) em relação ao peso total de agregados;
$p_{3/8}$ = % acumulada retida na # 3/8 (9,5mm) em relação ao peso total de agregados;
p_4 = % acumulada retida na # 4 (4,76mm) em relação ao peso total de agregados;
p_{200} = % *passando* na peneira # 200 (0,076mm) em relação ao peso total de agregados.

Em que pese as equações preditivas terem sido desenvolvidas por meio de resultados obtidos em ensaios de carga em laboratório e estendidas para uma ampla gama de frequências com base no cálculo das *Isotérmicas Mestras* – forma sigmoidal definida com base na lei de equivalência frequência *versus* temperatura –, a dificuldade maior para seu emprego consiste, seguramente, na *definição da frequência de solicitação das cargas aplicadas*.

Portanto, tendo-se em conta todas as variáveis intervenientes nas características reológicas – tal como a temperatura do ar e da superfície do referido pavimento, respectivamente determinadas pela expressão de Witczak – da mistura asfáltica considerada, pôde-se determinar o seu respectivo **"módulo de rigidez"**, agora não como um exemplo explicativo, mas sim como uma situação específica aplicada. Para o efeito, foi selecionada a metodologia proposta pelo ***Professor Mathews Witczak*** e pelo ***Coronel Engenheiro Osvaldo Albuquerque Fonseca*** e aperfeiçoada pelo ***NCHRP 1-37***, já descrita no presente arrazoado. Para fins de contextualização, expõe-se a seguir os valores calculados para as diferentes variáveis contempladas e, finalmente, para o módulo de rigidez do Concreto Asfáltico Usinado a Quente Faixa "C" proposto.

De igual forma, a título complementar e também de aferição, julgou-se válido a apresentação dos resultados obtidos por Gontijo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Portugal, estabelecido com base na determinação das Isotérmicas Mestras desenvolvidas para uma mistura asfáltica composta com a Faixa C do DNIT. O resultado é apresentado a seguir e confirma, com grande precisão, o valor modular obtido por *Witczak* e *Fonseca*.

Tabela 18 – Características de constituição, de solicitação e estruturais de camada asfáltica – considerações específicas.

CARACTERÍSTICAS DE CONSTITUIÇÃO, DE SOLICITAÇÃO E ESTRUTURAIS DE CAMADA ASFÁLTICA – CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS		
CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA - CBUQ FAIXA "C"		
PARÂMETROS	**CARACTERÍSTICAS**	**FAIXA "C"**
CAMADA DE REFORÇO	Espessura da camada de reforço - e (cm)	12,5
	Profundidade para cálculo da temperatura - z (cm)	4,17
CARGA	Raio de impressão de contato - r (cm)	10,8
	Velocidade do veículo - V (m/s)	80
	Tempo de aplicação da carga - tc (s)	0,054
	Frequência {Ø = 2(r + $Z_{prof.}$) e $Z_{prof.}$ = (D_e/2) – r} - f (Hz)	18,51
TEMPERATURA	Temperatura média do ar ambiente - Ta (ºC)	25,0
	Temperatura da mistura asfáltica à superfície - Tps (ºC)	34,0
	Temperatura da mistura asfáltica à profundidade z = 4,17 - Tpz (°C)	32,3
	Temperatura da mistura asfáltica à profundidade z = 4,17 - Tpz (ºF)	90,14
	Temperatura da mistura asfáltica à profundidade z = 8,33 - Tpz (°C)	31,4
	Temperatura da mistura asfáltica à profundidade z = 8,33 - Tpz (ºF)	88,52
LIGANTE ASFÁLTICO	Penetração a 25° C - pen (mm²)	56,00
	Temperatura de amolecimento Anel & Bola - Tab (ºC)	49,70
	η - Viscosidade absoluta a 77 ºF x 10^6 (Poises)	2,10
	Índice de penetração - IP	-1,01
	Módulo de rigidez (Van Der Poel) - (N/m²)	8,33x10^6
MISTURA ASFÁLTICA	Percentagem passando na peneira 200 - P200 (%)	2,5
	Percentagem acumulada retida na peneira #3/4 (19,0 mm) - P3/4 (%)	0,4
	Percentagem acumulada retida na peneira #3/8 (9,5 mm) - P3/8 (%)	22,7
	Percentagem acumulada retida na peneira #4 (4,76 mm) - P4 (%)	49,6
	Teor volumétrico em agregados - Va (%)	82,57
	Teor volumétrico em asfalto - Vb (%)	12,81
	Volume de vazios - Vv (%)	3,72
	Concentração volumétrica - Cv (%)	85,76
	Teor de asfalto em peso - $t_{b(p)}$ (%)	5,5

Módulo de Rigidez da Camada Asfáltica Adotado		
Módulos Dinâmicos da Mistura Asfáltica (Equação Preditiva NCHRP 1-37)	psi	5930
	kgf/cm²	40900

Figura 242 – Valor referencial utilizado como módulo de rigidez da camada asfáltica proposta.

De igual forma, a título complementar e também de aferição, julgou-se válido a apresentação dos resultados obtidos por Gontijo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Portugal, estabelecido com base na determinação das Isotérmicas Mestras desenvolvidas para uma mistura asfáltica composta com a Faixa C do DNIT. O resultado é apresentado a seguir e confirma, com grande precisão, o valor modular obtido por *Witczak* e *Fonseca*.

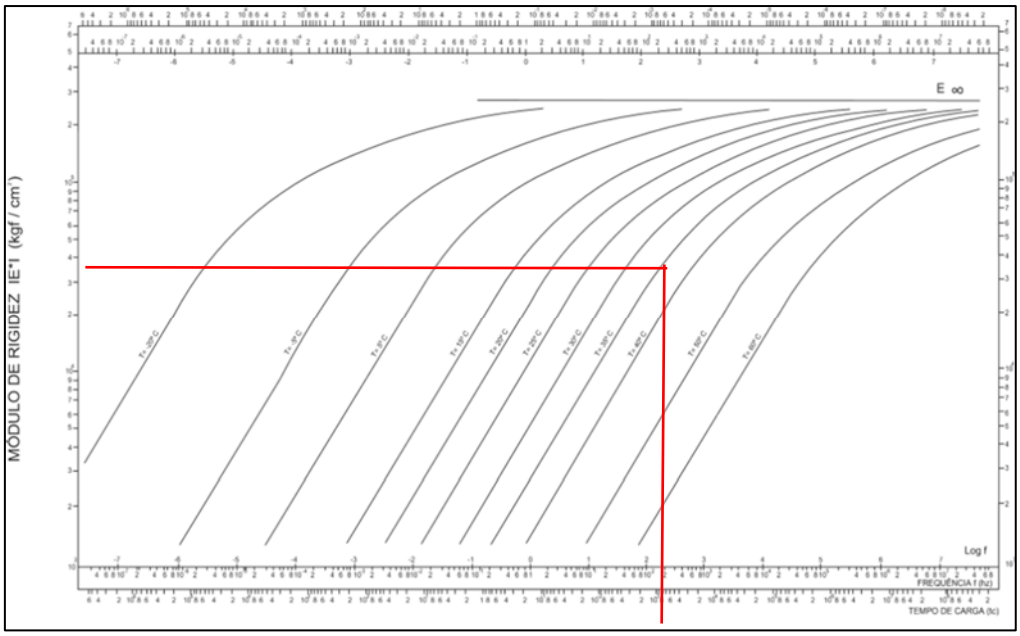


Figura 243 – Isotérmicas-mestras para os módulos de Rigidez da Mistura Asfáltica (CAUQ Faixa "C").

4.2.8.3.5. Lei de Fadiga da Mistura Asfáltica Selecionada para Camada de Reforço

Conforme relatado anteriormente, o ideal para definir a Lei de Fadiga de misturas asfálticas é promover ensaios de laboratório que empregam corpos de prova adequadamente confeccionados e moldados. Entretanto, como os ensaios de fadiga ainda não fazem parte de nossos quotidianos laboratoriais, a solução consiste no emprego de leis preditivas, procedimento que se justifica pelo respaldo de numerosas e constantes – dados coletados há mais de meio século – pesquisas conduzidas por algumas instituições normativas e de pesquisa de notório conhecimento e reconhecimento.

No âmbito do presente Projeto de Restauração foi selecionado o modelo de fadiga o proposto pelo The Asphalt Institute *(Manual Series MS-1)*, estabelecido com base em resultados de numerosas e constantes experimentações; o modelo é definido pela seguinte Lei de Fadiga:

$$N_f = 0{,}004325 \times C \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{3{,}291} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{0{,}854}$$

em que:

N_f = Número terminal de solicitações do eixo-padrão rodoviário;
ε_t = Deformação específica horizontal na fibra inferior da camada betuminosa;
E = Módulo de rigidez da mistura, em *psi*;
C = Fator de ajustagem na formulação de diferentes misturas por meio da equação:

$$C = 10^M$$

Onde:

$$M = 4{,}84 \times \left(\frac{V_b}{V_v + V_b} - 0{,}69\right)$$

em que:

V_v = Volume de vazios;
V_b = Teor efetivo de betume (%).

Ressalte-se, inclusive, o fato de o The Asphalt Institute ter utilizado um fator ajuste dos resultados de laboratório-campo igual a *18,4*, considerando um *nível de fissuração – nas trilhas de roda – igual a 20%.*

4.2.8.3.6. Lei de Resistência à Fadiga Selecionada para a Camada de Revestimento Existente

Conforme explicitado anteriormente, a *Metodologia Paragon* preconiza também avaliar as condições de resistência à fadiga da *camada de revestimento existente* quando ela ainda externa condições de trabalho contributivo, traduzido por percentuais de trincamento máximos da ordem dos 20%, sob condições especiais, a 30%, considerados quando da definição de aproveitamento da camada existente na estrutura a ser reforçada.

Dessa forma, para avaliação do comportamento à fadiga da camada de revestimento existente – que continuará prestando seus serviços mesmo após a restauração do pavimento –, a *Metodologia Paragon* selecionou a lei proposta pela FHWA – Federal Highway Administration (1985), a qual tem em conta parâmetros de formulação da mistura existente e dos ligantes recuperados que permitem a avaliação de seu comportamento residual; nessa proposição de lei previsional são considerados os seguintes parâmetros principais:

- o módulo de rigidez do revestimento existente definido com base nas retroanálises;
- a deformação específica máxima de tração atuante calculada na face inferior da camada de revestimento asfáltico e
- as características fundamentais do ligante asfáltico recuperado, obtidas por meio de ensaios especiais.

Na seleção dessa equação teve-se também em conta a contemplação dos percentuais de trincamento existentes, das características de composição da mistura asfáltica existente (teores volumétricos) e dos parâmetros definidores das caraterísticas fenomenológicas e reológicas dos asfaltos recuperados (penetração, temperatura de amolecimento, índice de suscetibilidade térmica, índice de penetração, etc.).

A título de acautelamento, cumpre lembrar que a definição da lei de desenvolvimento dos esforços de tração atuantes para a mistura asfáltica antiga – naturalmente combalida, muitas vezes externando fissurações consideráveis que, inclusive, respondem pela demanda das obras de restauração do pavimento existente –, embora de fácil cálculo, foi vislumbrada com reservas, tarefa bastante delicada que exigiu muita meticulosidade e prudência.

Em sua consideração teve-se em conta que o "alívio" proporcionado à camada existente pela sobreposição da camada de reforço "fecha o cerco" a eventuais falhas por omissão, as quais podem responder por insucessos casuais, derivados de um colapso prematuro imposto ao reforço estrutural por inadequabilidade comportamental da camada de revestimento.

***HWA – Federal Highway Administration (1985)*:**

$$N_f = F_i \times 2{,}67 \times 10^{-10} \times \beta^5 \times \varepsilon_t^{-5} \times /E^*/^{-1,4}$$

em que:

N_f = *Vida de fadiga da camada asfáltica;*
β = *0,300 x PI - 0,015 x PI x V_b - 0,198;*
PI = (20 - 500 x IST) / (1 + 50 x IST);
IST = (log 800 - log Pen) / (T_{ab} - T_{pen});
E^* = *Módulo dinâmico (KSI);*
ε_t = *Deformação máxima de atração atuante na camada asfáltica;*
IST = Índice de suscetibilidade térmica do asfalto;
PI = Índice de penetração do asfalto;
T_{ab} = *Temperatura de amolecimento Anel & Bola;*
T_{pen} = *Temperatura do ensaio de penetração (Fº);*
V_b = *Volume de asfalto (%);*
F_i = *Fator de calibração do modelo;*
a) 12,32 para 10% ou menos de área com trincas FC-2;
b) 16,20 para 20% de área com trincas FC-2.

4.2.8.3.7. Lei de Resistência à Deformação Permanente para o Solo de Fundação

Para a seleção da lei preditiva da resistência específica do solo de fundação às deformações específicas de compressão, procurou-se adotar procedimentos de avaliação fundamentados em análises mecanísticas, vislumbrando o conjunto pavimento solo de fundação no âmbito de sistemas estratificados disciplinados pela Teoria da Elasticidade, solicitado por cargas similares àquelas aplicadas na realidade e estabelecidas em função do número de repetições de carga.

Após as devidas análises, a solução final recaiu na equação previsional preconi-zada pela Shell Koninklijke Laboratorium Amsterdam – SKLA (Dormon & Metcalf – *Design curves for flexible pavements based on layered system theory. Highway Research Record, Number 71, Flexible Pavement Design, Highway Research Board, Washington, D. C., 1965, p. 69-84*.).

Dessa forma, adotou-se a equação preconizada por Dormon & Metcalf, respaldada ainda pelo fato de ser aplicada por diversas instituições de notório reconhecimento, podendo-se destacar, dentre outras, o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP), reescrita da seguinte forma:

$$N = 6{,}069 \times 10^{-10} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_v}\right)^{4{,}762}$$

em que:

ε_v = Deformação específica vertical máxima admissível no topo do subleito;
N = Número terminal de solicitações do eixo-padrão rodoviário.

4.2.8.3.8. Características das solicitações máximas impostas no pavimento (estrutura estratificada) submetida a carregamento externo por cargas móveis e definição das solicitações críticas

4.2.8.3.8.1. Considerações Gerais

O procedimento metodológico fundamenta-se na verificação das resistências à fadiga das camadas asfálticas – reforço estrutural e revestimento existente – e à deformação permanente dos solos de fundação, condições que demandam necessariamente o cálculo dos esforços atuantes – na face inferior das camadas asfálticas e no topo do solo de fundação – e dos esforços resistentes intrínsecos a cada um dos materiais componentes.

Para a concretização dessas exigências, torna-se primeiramente imperioso definir o *módulo de elasticidade* da camada asfáltica de reforço, o qual deve ser definido a partir das condições de solicitação a serem impostas ao pavimento por uma carga móvel, rolante, tendo em conta concomitantemente as características físicas e volumétricas de constituição da mistura asfáltica selecionada, as características de viscosidade do ligante asfáltico eleito e a frequência de solicitação representativa das cargas móveis circulando a uma determinada velocidade sobre o pavimento.

É importante evidenciar que as solicitações impostas por uma roda em movimento carecem de conhecimento específico, pois dependem da velocidade de translação do veículo e a frequência de solicitação varia, de forma decrescente, com a profundidade, particularidade que evidencia a variação dos valores modulares de uma camada asfáltica com a profundidade, disciplinados por um gradiente de rigidez decrescente.

A etapa seguinte se volve para o cálculo dos esforços atuantes na face inferior das camadas asfálticas e no topo do solo de fundação, procedimento que demanda, primeiramente, a definição das condições de carregamento e os posicionamentos de solicitação máxima, atentando para as influências relativas às solicitações de um par de rodas gêmeas que caracteriza um semieixo-padrão; nessas avaliações, necessário se torna considerar o diâmetro e os distanciamentos das impressões de contato, as cargas por roda e as tensões de contato exercidas à superfície.

Quanto à definição dos esforços resistentes intrínsecos à mistura asfáltica selecionada e ao solo de fundação, sabe-se que o procedimento mais apropriado consiste também na execução de ensaios laboratoriais com o objetivo de definir as respectivas vidas de fadiga, estabelecidas em função da aplicação de cargas de diferentes magnitudes e do número de repetições para conduzir os materiais ao dano final. Entretanto, à falta de procedimentos de ensaios mais usuais e das incertezas de qualquer similitude entre as misturas ensaiadas em laboratório e as misturas a serem produzidas no canteiro de obra, julgou-se que a solução alternativa mais adequada consiste na aplicação de equações preditivas consistentes e confiáveis.

4.2.8.3.8.2. Definição das Características de Carregamento e dos Pontos de Solicitação

Para processar o cálculo dos esforços sobre o sistema, considerando uma sequência crescente de espessuras de reforço, faz-se necessário definir inicialmente as *condições de carregamento*, as quais devem ser o mais similar possível daquelas exercidas pelos veículos comerciais que atuam sobre o sistema composto do conjunto pavimento - solo de fundação.

Em uma etapa anterior verificou-se que um caminhão dotado de um eixo simples (2 pares de rodas gêmeas) carregado com 8,2 toneladas (18 kips) seria representativo das condições de solicitação impostas pela frota de veículos pesados brasileira; sob tais condições, definiu-se também que cada uma das rodas gêmeas distribuía os seus 2.050kgf sobre impressões circulares com raios da ordem de 10,8cm, distanciadas entre si (bordo a bordo) por extensões da ordem de 10,4cm, exercendo pressões de contato iguais a 5,6kgf/cm².

Nessa consideração específica, verifica-se primeiramente que as condições de solicitação de campo são substancialmente distintas daquelas impostas pelo FWD – aplicação de carga única –, a partir da qual foram medidas as linhas de influência experimentais e determinados os módulos de elasticidade das camadas e do solo de fundação existentes.

Sob essas circunstâncias, tendo-se em conta os procedimentos até então adotados, o mais "coerente" seria dar continuidade ao processo de cálculo dos esforços atuantes nas camadas (tensões horizontais de tração) e no solo de fundação (verticais de compressão) considerando um carregamento externo como processado por uma carga circular única, capaz de exercer uma pressão de contato σ_c = 5,6kgf/cm² no pavimento; essa proposição seria coerente com o raciocínio conceptivo original.

A título de ilustrar esse condicionamento teórico, exibe-se a seguir, na figura que se segue, a representação esquemática da solicitação de uma carga única – na qual a "bacia de deformação" se desenha de forma plena, sem interferências – que será a responsável pela indução dos já citados esforços no sistema estratificado a ser avaliado; os esforços atuantes máximos ocorrerão sistematicamente sob o eixo de aplicação da carga (Posição I):

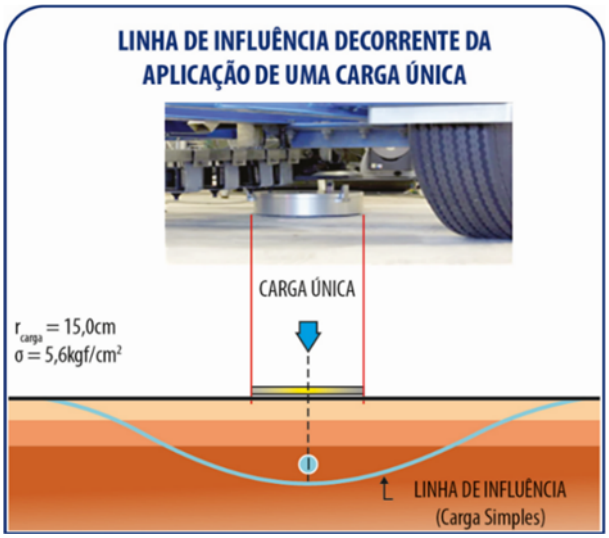


Figura 244 - Linha de Influência de uma carga única.

Entretanto, embora julgando respeitável a presente proposição, seria extremamente interessante considerar, no dimensionamento de um reforço estrutural, as condições de solicitação mais próximas da realidade, tradutoras mais fidedignas da severidade e/ou agressividade das cargas impostas ao pavimento: a solicitação por cargas duplas, cuja integração processa-se por *sobreposição de efeitos*, responde por condições de carregamento diferenciadas, mais específicas e seguramente mais severas; a título ilustrativo, apresenta-se a seguir, na imagem abaixo, uma representação esquemática do efeito produzido por um par de rodas gêmeas, na qual se exibem as interferências das cargas:

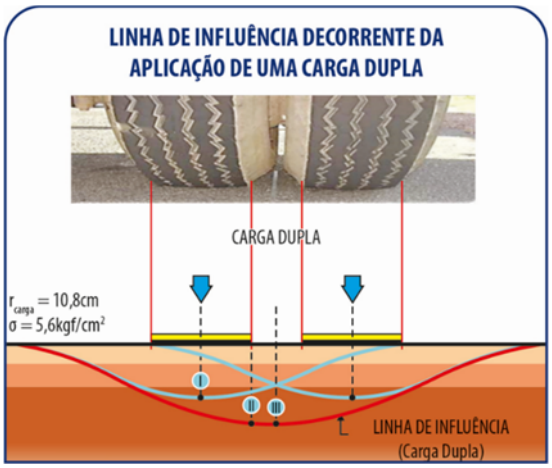


Figura 245 - Linha de influência obtida por uma carga dupla (sobreposição de efeitos).

Da observação dessa representação esquemática de carregamento com rodas gêmeas pode-se observar que se verificam três posições nas quais os esforços impingidos ao sistema pavimento - solo de fundação são distintos:

- na Posição I, a linha de influência decorrente de cada carga individualmente externa a forma de abóbada côncava mais acentuada – menos distribuída –, a qual responderá, seguramente, pelo desenvolvimento de esforços de tração horizontal (fadiga) mais acentuados sob os centros de aplicação de carga; agrava um pouco mais essa situação o fato de ainda incorporar alguma "contribuição somativa" de parcela correspondente à outra carga.
- na Posição III, disposta a meia distância entre os centros de aplicação das cargas, a linha de influência decorrente é a resultante da sobreposição integral dos efeitos da aplicação de cargas duplas, condição que propiciará o desenvolvimento dos esforços de compressão vertical (deformação permanente) mais acentuados em toda a zona de influência das cargas duplas, seguramente superiores àqueles verificados nas Posições I e II.
- na Posição II, as magnitudes de ambos os esforços serão medianas – relativamente aos esforços verificados nas Posições I e III –, podendo ser agravadas no caso de aplicações de carga com pneumáticos com baixas pressões de enchimento: seus flancos laterais, que externam graus de rigidez consideráveis, podem puncionar o pavimento e potencializar os esforços impingidos, nomeadamente à superfície.

As representações esquemáticas das linhas de influência dos assentamentos reversíveis proporcionadas por ambas as condições de carregamento são ilustradas a seguir, de forma conjugada:

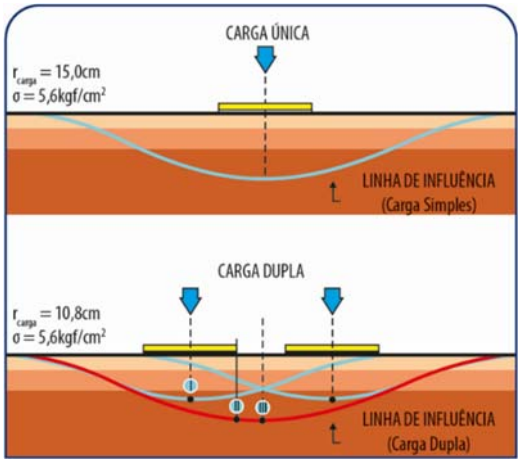


Figura 246 - Cotejamento entre as linhas de influência obtidas pela aplicação de cargas simples e duplas.

Assim, considera-se, no âmbito da *Metodologia Paragon*, que o estado tensional imposto deve ser avaliado pelo cálculo dos esforços máximos que atuam em um sistema estratificado formado pelo pavimento - solo de fundação, tendo em conta o carregamento imposto por um conjunto de cargas duplas (rodas gêmeas).

Esses esforços deverão ser também avaliados nas verticais correspondentes ao *centro de aplicação das cargas* e a *meia distância entre suas aplicações*, proposições que facultam uma apreciação mais realística das respectivas magnitudes e severidades.

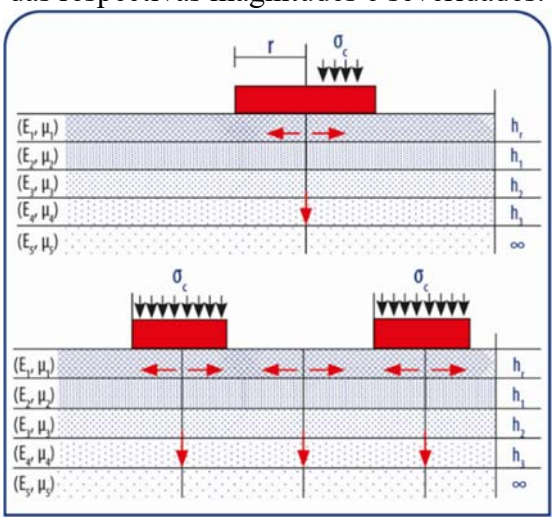


Figura 247 - Identificação dos posicionamentos para cálculo dos esforços atuantes

No âmbito dessa proposição, procurou-se ter em conta as avaliações processadas anteriormente sobre as principais características de carregamento de um veículo representativo da frota comercial brasileira que permitiram as definições das cargas, por eixo e por roda, das áreas de contato, da distância entre os flancos dos pneus, da pressão de contato e da distância entre os centros de aplicação das cargas, parâmetros indicados nas figuras abaixo, apresentadas a seguir.

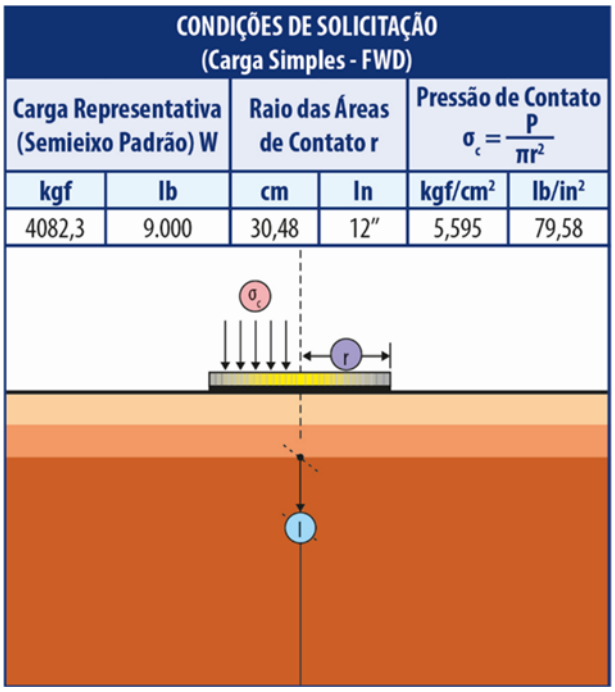


Figura 248 - Posicionamento geométrico de uma carga única (FWD) e vertical dos pontos de análise.

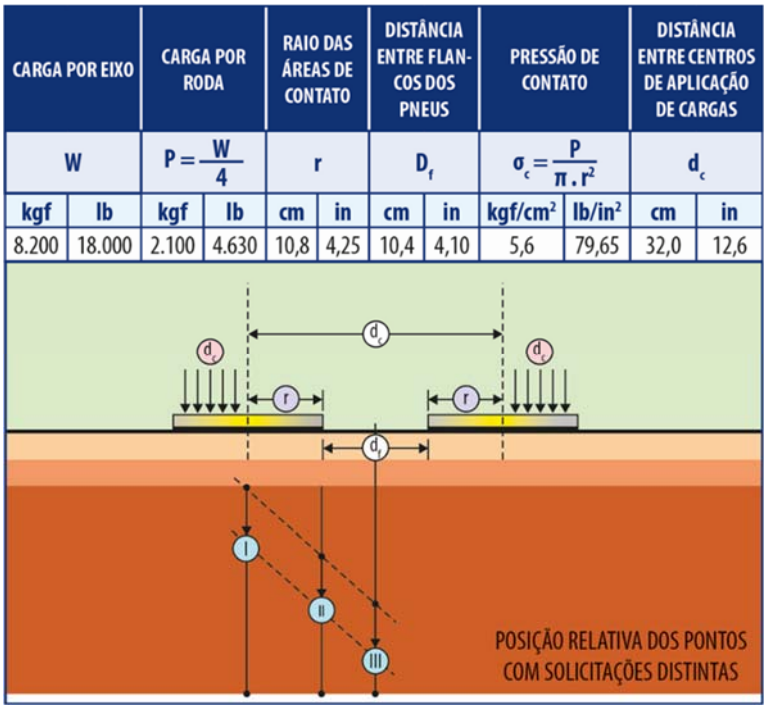
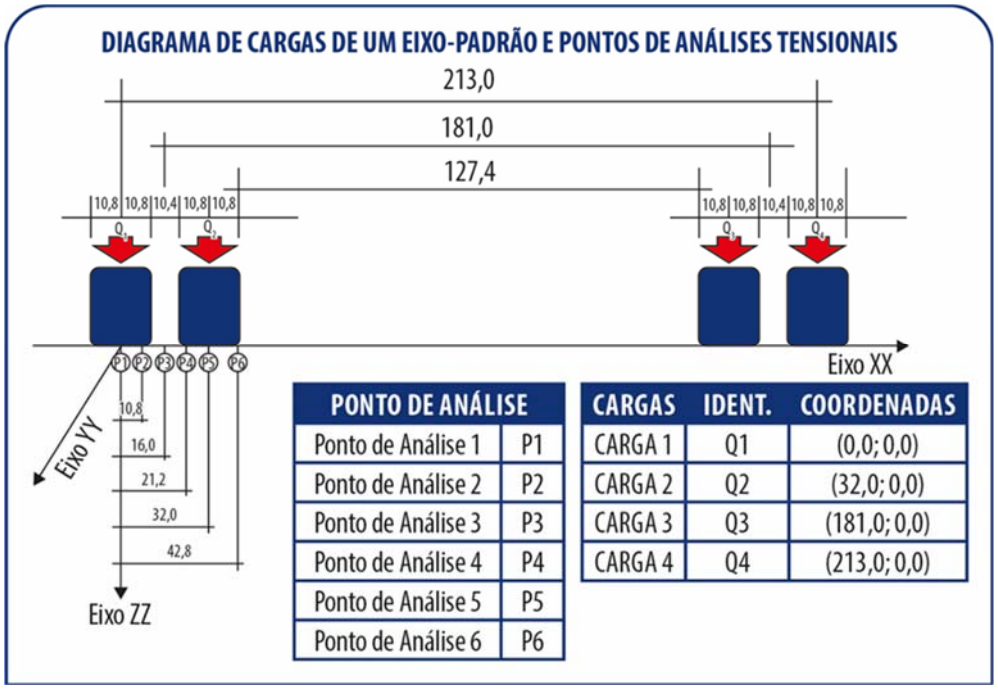


Figura 249 - Posicionamento geométrico de cargas gêmeas de um veículo pesado e das verticais de análise considerados pela METODOLOGIA PARAGON.

Complementarmente, ainda na busca de uma aproximação maior com as condições de carregamento impostas pelos veículos pesados ao pavimento, a presente proposição metodológica julgou importante considerar as disposições relativas das cargas de um eixo rodoviário padrão, exigência que demandou a definição dos posicionamentos geométricos das 4 rodas componentes de um eixo simples de rodas gêmeas, estabelecidos por meio de estudos

anteriormente realizados com base nas características fornecidas por fabricantes de veículos pesados.



PONTO DE ANÁLISE	
Ponto de Análise 1	P1
Ponto de Análise 2	P2
Ponto de Análise 3	P3
Ponto de Análise 4	P4
Ponto de Análise 5	P5
Ponto de Análise 6	P6

CARGAS	IDENT.	COORDENADAS
CARGA 1	Q1	(0,0; 0,0)
CARGA 2	Q2	(32,0; 0,0)
CARGA 3	Q3	(181,0; 0,0)
CARGA 4	Q4	(213,0; 0,0)

Figura 250 - Diagrama das cargas do eixo traseiro de um veículo comercial e pontos que externam condições de solicitação diferenciadas e específicas.

Enfim, julgando importante que os esforços a serem impingidos à estrutura sejam calculados à imagem e semelhança das condições de carga impostas por um veículo comercial padrão, desenvolveu-se um programa para calcular os esforços desenvolvidos em qualquer ponto do sistema composto do sistema pavimento - solo de fundação com base na aplicação simultânea de até 10 cargas.

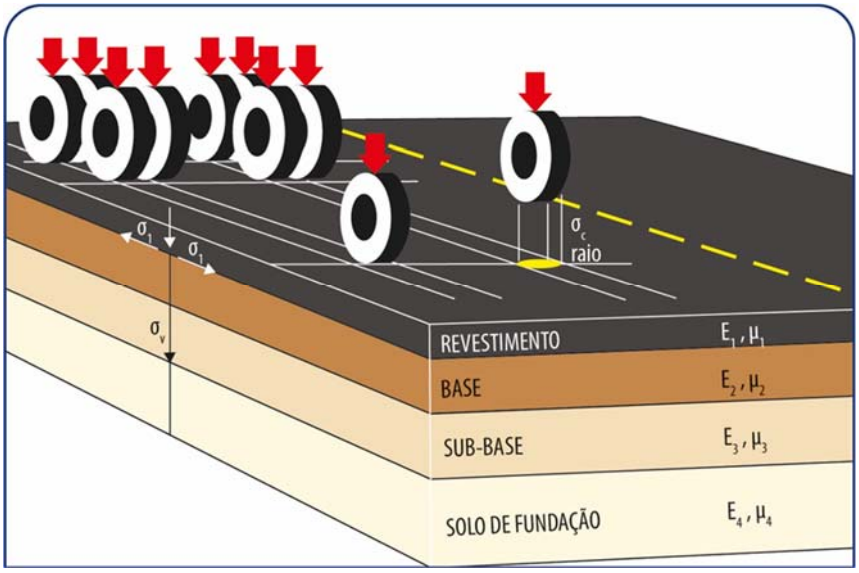


Figura 251 - Representação esquemática das cargas comportadas pelo programa.

4.2.8.3.9. Dimensionamento do Reforço Estrutural pelo Método Paragon

A segunda etapa da metodologia Paragon visou a definição dos *aportes estruturais* demandados pelo sistema pavimento – solo de fundação para se ter em consideração as cargas futuras a serem aplicadas durante a "vida de projeto" – no caso presente, 10 anos – e iniciou-se pela análise dos parâmetros estruturais levantados, notadamente as linhas de influência dos assentamentos reversíveis e o perfil constitutivo do sistema composto pelo pavimento-solo de fundação. Os resultados obtidos dessas duas avaliações, quando analisados em conjunto, permitiram definir os módulos de elasticidade representativos das camadas constitutivas do pavimento e do solo de fundação, bem como suas contribuições na deformabilidade elástica do sistema estratificado; os valores obtidos no caso presente são apresentados a seguir, em lineares sinópticos.

Seguidamente, promoveram-se estudos de forma a se poder caracterizar os *materiais destinados à composição das camadas de reforço*, estabelecendo-se seus "módulos de rigidez" e definindo as leis tradutoras de seus comportamentos à fadiga; para a mistura asfáltica Faixa C / DNIT adotou-se, no caso presente, conforme anteriormente definido, o valor modular igual 40.900 kgf/cm^2.

Finalmente, foram calculadas as espessuras de reforço estrutural demandadas pelo pavimento – estaca por estaca e por faixa de tráfego – através da verificação de duas condições de dimensionamento, estabelecidas consoante o número de aplicações de cargas previsto para incidir no pavimento durante a vida de projeto considerada: a ***resistência à fadiga das misturas betuminosas*** (cotejamento entre os esforços de tração atuantes na face inferior das camadas betuminosas e os seus esforços resistentes máximos intrínsecos) e a **resistência à deformação permanente do solo de fundação** (cotejamento entre os esforços verticais de compressão exercidos no solo de fundação e a capacidade de resistência máxima intrínseca).

Apenas a título rememorativo, cabe lembrar que no caso específico de aplicação do método Paragon, o dimensionamento relativo a ***resistência à fadiga*** contempla duas alternativas admissíveis, estabelecidas a partir do cotejamento entre os esforços resistentes (máximos admissíveis) intrínsecos ao material de reforço selecionado e a curva representante dos esforços atuantes – esforços horizontais de tração/compressão na fibra inferior da camada de reforço – calculada considerando uma sequência crescente de espessuras (1 a 20 cm ou mais):

- ✓ caso a curva dos esforços horizontais atuantes definida em função das espessuras de reforço (tensões - σ e/ou extensões – ε versus espessuras de reforço) se desenvolva abaixo do esforço resistente máximo admissível (σ_{lim} e/ou ε_{lim}), significa que a estrutura existente não demanda qualquer aporte estrutural em termos de dimensionamento à fadiga; nesse caso, a estrutura vigente evidencia a sua qualificação para suportar as cargas adicionais durante a vida de projeto considerada e que, caso se constate a necessidade de aporte estrutural por outra condição de dimensionamento, *qualquer espessura de reforço demandada se mostrará suficiente*, haja vista que o critério fadiga não impõe nenhum condicionamento estrutural;

- ✓ nos demais casos, quando se verifica a interseção da curva dos esforços atuantes (tensões - σ e/ou extensões – Ɛ versus espessuras de reforço) com o esforço resistente máximo admissível (σ_{lim} e/ou ε_{lim}), estabelecem-se dois limites de admissão de espessuras compatíveis, estabelecidos pela garantia de que os esforços resistentes sejam inferiores aos esforços atuantes: o ***limite inferior*** – definido pela primeira interseção –

define o valor máximo das espessuras passíveis de aplicação para o atendimento aos critérios de fadiga e o ***limite superior*** – definido pela segunda interseção – define o valor mínimo das espessuras passíveis de aplicação para o atendimento aos critérios de fadiga, haja vista que nas espessuras que se dispõem ao longo da faixa intermediária – estremada entre os dois limites interseccionários – os valores dos esforços atuantes sobrepujam os esforços resistentes; esta faixa intermediária define portanto o que se poderia denominar de "***zona das espessuras proibidas***".

Complementarmente, o método de cálculo Paragon preconiza ainda a verificação da condição de ***resistência à fadiga da camada de revestimento do pavimento antigo***, procedimento que se desenvolve com o mesmo embasamento teórico retrocitado: calculam-se as tensões horizontais de tração desenvolvidas em sua face inferior para as diferentes espessuras da camada de reforço contempladas. Nesse procedimento complementar, já integrante do método de cálculo da metodologia Paragon, duas questões eminentemente técnicas se apresentam: o valor do módulo de rigidez e a lei de resistência à fadiga pertinente à mistura asfáltica antiga, já de alguma forma comprometida e muitas vezes externando fissurações consideráveis.

Tal consideração, que só tem a somar, objetiva evitar falhas por omissão, as quais podem, de alguma maneira, responder por eventuais insucessos, derivados do inadequado comportamento dessa camada à fadiga. Para o cálculo do módulo de rigidez da mistura antiga adota-se o valor definido pela retroanálise das linhas de influência experimentais e para a lei de fadiga, julgou-se, em primeira aproximação, considerar válida a lei proposta pela ***FHWA – Federal Highway Administration (1985)***, a qual tem em conta parâmetros de formulação extremamente vinculados com as condições comportamentais, deduzidos de ensaios processados com o ligante asfáltico recuperado.

No que tange ao dimensionamento relativo a ***resistência às deformações permanentes***, também duas situações podem se apresentar no que tange ao cotejamento entre os esforços resistentes (máximos admissíveis) intrínsecos ao solo de fundação e os esforços verticais de compressão atuantes no topo da camada do solo de fundação considerando distintas espessuras da camada de reforço:

- ✓ caso a curva dos esforços verticais de compressão atuantes (tensões - σ e/ou extensões – ε) versus espessuras de reforço se desenvolve abaixo do limite máximo admissível (σ_{lim} e/ou ε_{lim}), significa que a estrutura existente não demanda aporte estrutural para garantir ao solo de fundação a necessária resistência às deformações permanentes; nesse caso, a estrutura vigente evidencia a sua qualificação e suficiência para garantir o adequado comportamento do solo de fundação face às cargas adicionais que serão impingidas durante a vida de projeto considerada.
- ✓ nos demais casos, como se verifica uma única interseção da curva dos esforços atuantes com o esforço limite máximo admissível, define-se apenas a espessura mínima de reforço necessária para se proteger o solo de fundação contra riscos de ruptura por deformações excessivas.

Entretanto, para se processar o cálculo dos esforços atuantes no sistema, considerando uma sequência crescente de espessuras de reforço, faz-se necessário definir inicialmente as ***condições de carregamento***, as quais devem ser o mais similarmente possível daquelas exercidas pelos veículos comerciais sobre o sistema composto pelo conjunto pavimento – solo de fundação. Numa etapa anterior, estudada e apresentada, definiu-se que um caminhão dotado de um eixo "tandem" simples (2 pares de rodas gêmeas) carregado com 8,2 toneladas (18 kips) seria representativo das condições de solicitação impostas pela frota de veículos pesados brasileira; sob tais condições, definiu-se também que cada uma das rodas gêmeas distribuía os

seus 2050 kgf sobre impressões circulares com raios da ordem de 10,8 cm distanciadas entre si (bordo a bordo) por distâncias da ordem de 10,4 cm, exercendo pressões de contato iguais a 5,6 kgf/cm^2. Tais considerações são apresentadas de forma detalhada no item "4.4.5.2.4.2.5 – Definição dos Parâmetros de Dimensionamento Estrutural "e subitem "III – Definição das Características de Carregamento e dos Pontos de Solicitação".

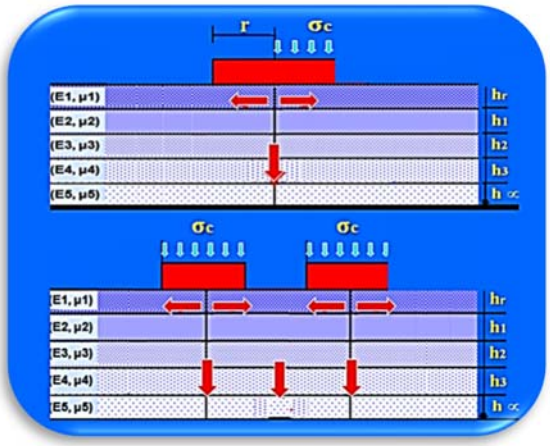


Figura 252 – Identificação dos posicionamentos de cálculo dos esforços atuantes

Com base em todos esses dados e com a aplicação de computação automática, processaram-se os cálculos considerando concomitantemente os esforços atuantes *sob o centro de aplicação da carga* e à *meia distância entre os centros de aplicação de carga*, e os resultados obtidos, estaca por estaca, por faixa de tráfego, encontram-se representados em gráficos individualizados apresentados a seguir; nesses diagramas, de forma a facilitar a interpretação, adotou a seguinte correspondência cromática:

- ✓ ***azul claro*** (zona inferior): representa a gama de variação das espessuras que atendem a 1ª condição de dimensionamento à fadiga, traduzida pelo conjunto de espessuras que se dispõem aquém da primeira interseção entre a curva dos esforços atuantes versus espessuras de reforço e o esforço limite máximo admissível (1ª interseção); todas as espessuras dispostas nesse universo, onde se verifica que os esforços atuantes são inferiores ao esforço máximo admissível, satisfazem o critério de fadiga;

- ✓ ***vermelho*** (zona intermediária): representa a faixa de espessuras nas quais os esforços atuantes de tração horizontal sobrepujam os esforços resistentes intrínsecos ao material betuminoso proposto para constituir a camada de reforço estrutural; esta faixa de espessuras (calculadas estaca por estaca) constitui a ***zona das "espessuras proibidas"***, pois caso adotadas carregariam consigo uma declarada deficiência em termos de resistência à fadiga, que responderia, consequentemente, pelo comprometimento da duração de vida expectada;

- ✓ ***azul escuro*** (zona superior): representa a gama de variação das espessuras que atendem a 2ª condição de dimensionamento à fadiga, traduzida pela composição de espessuras que se dispõem além da segunda interseção entre a curva dos esforços atuantes versus as espessuras de reforço com o esforço limite máximo admissível (2ª interseção); a partir das espessuras correspondentes à essa 2ª interseção, todos os valores de espessura satisfazem à resistência à fadiga, pois os esforços atuantes são inferiores ao esforço máximo admissível;

- ✓ ***Amarelo***: define os valores mínimos das espessuras de reforço necessárias para se proteger o solo de fundação contra riscos de deformação permanentes acentuadas; são representadas independentemente das espessuras ditadas pelo critério da fadiga;

Embora o cotejamento das espessuras em termos de um software seja simples, julga-se importante promover uma adequada avaliação visual, tendo-se desenvolvido gráficos contendo as três espessuras determinadas pela metodologia Paragon; assim, considerando a escala cromática acima descrita, enumeram-se a seguir os tipos de representação passíveis de ocorrer:

a) Quando o pavimento existente não requer nenhum tipo de aporte estrutural, por nenhuma das condições de dimensionamento, não se processa, naturalmente, nenhuma representação cromática:



b) Quando a condição de resistência à fadiga se apresenta com suas duas espessuras - define-se naturalmente a "***zona das espessuras proibidas***" - e a condição de proteção ao solo de fundação não demanda espessura, tem-se uma representação *cromática tricolor*:

- ✓ As espessuras passíveis de aplicação relativas à 1ª interseção são definidas pelos valores contidos na faixa em tom *azul claro*;
- ✓ As espessuras passíveis de aplicação relativas à 2ª interseção são definidas pelos valores contidos na faixa em tom *azul escuro*, e
- ✓ As "espessuras proibidas" são estabelecidas pelos valores dispostos na faixa em tom *vermelho*;



c) Quando a condição de resistência à fadiga da *camada de revestimento* existente se apresenta, as espessuras requeridas definem naturalmente a *zona das espessuras proibidas* – representada pela cor vermelha, que define os valores que se dispõem abaixo da interseção entre a curva dos esforços atuantes e o esforço resistente; os valores de espessuras superiores representam a zona de espessuras admissíveis, em escala azul:



d) Quando somente a condição de proteção do solo de fundação se apresenta, adota-se, para o conjunto de espessuras demandadas, uma representação *monocromática*, com as espessuras demandadas representadas em tom amarelo:



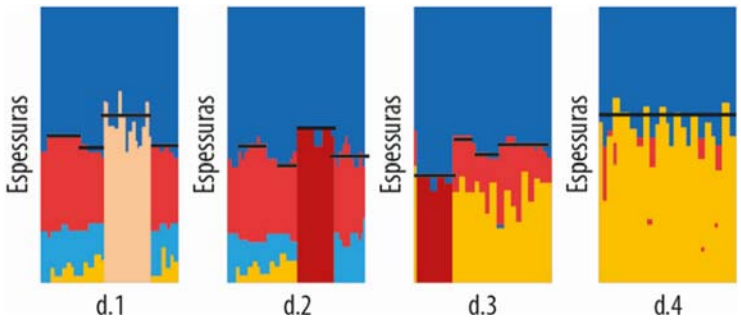
e) Quando a condição fundamentada no aumento da capacidade de tráfego restante se apresenta, adota-se para o conjunto de espessuras demandadas uma representação cromática de cor rosada definidora dos valores extremos não aceitáveis:



f) Quando as espessuras demandadas:

- ✓ pela resistência à fadiga da camada de reforço é gravada em tons azul-claro e azul-escuro e a "zona das espessuras proibidas", em vermelho;
- ✓ pela resistência à fadiga da camada de revestimento existente é gravada em cor vermelho;
- ✓ pela resistência à deformação permanente do solo de fundação, gravada em amarelo e
- ✓ para atendimento à capacidade restante do pavimento existente,

as espessuras finais são definidas pela coloração preponderante e de maior magnitude, que se sobrepõem às cores primárias. As conjunções das espessuras demandadas por cada condição de dimensionamento são plotadas em gráficos – identificadas por suas colorações –, nos quais prevalecem as espessuras demandadas de maior porte:



Com base nessa escala de representação cromática, apresentam-se a seguir os resultados obtidos, por faixa de tráfego, para a rodovia em questão, BR-242.

- ✓ ***Verificação da Resistência à Fadiga da camada de reforço***

No caso presente, promoveu-se o dimensionamento das espessuras ***da camada de reforço*** necessárias para se garantir seus comportamentos relativamente ao critério de ***resistência à fadiga***, contemplados considerando uma prestação de serviços futura igual a 10 anos. Para o efeito, calcularam-se os esforços atuantes de tração / compressão horizontal nas faces inferiores das *camadas de reforço*; para a camada de reforço, foram consideradas espessuras crescentes a intervalos de 0,5 cm, variando de 0,5 cm a 20,0 cm. Os esforços atuantes foram calculados estaca por estaca, por faixa de tráfego individualizada (faixas esquerda e direita) sempre considerando os dois posicionamentos de carga mais críticos: nas verticais "***sob o centro de aplicação de uma carga***" e à "***meia distância entre os centros de aplicação de duas cargas***" que permitiram a obtenção das curvas de desenvolvimento tensões atuantes x espessuras de reforço e espessuras das quais foram cotejadas com o esforço resistente máximo admissível.
Os resultados obtidos em cada uma das faixas de tráfego foram calculados considerando estaca por estaca e expressam a síntese das verificações de resistência à fadiga das camadas de reforço.

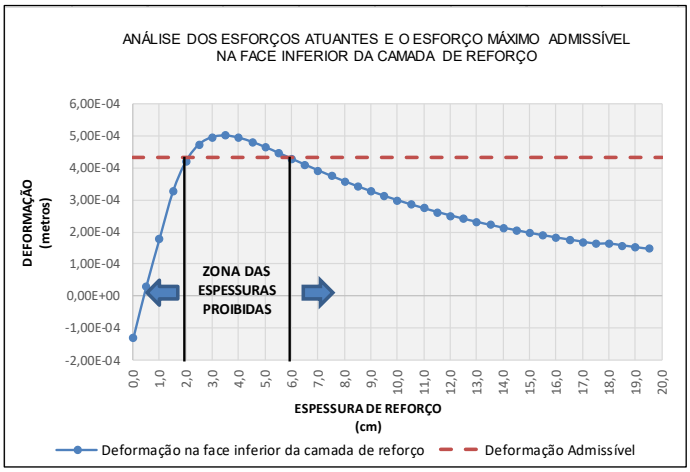


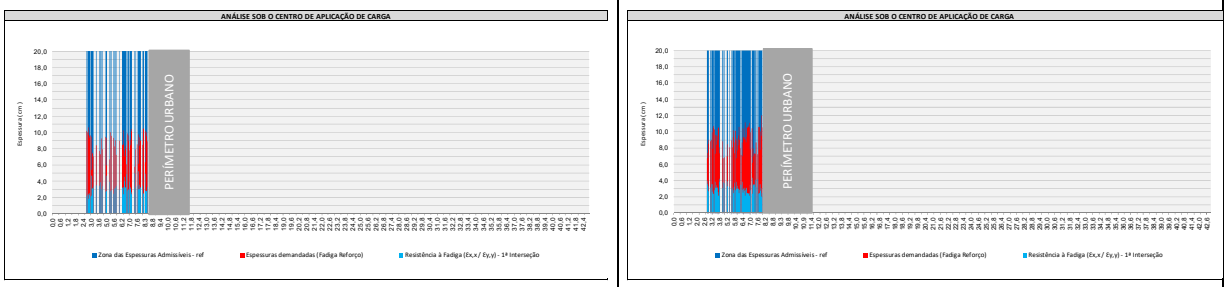
Figura 253 – Cotejamento entre os esforços atuantes na face inferior da camada de reforço estrutural e o esforço máximo admissível para cada material.

DIMENSIONAMENTO DE RESISTÊNCIA À FADIGA
DA CAMADA DE REFORÇO
GO-330 – PISTA SIMPLES

km 0,000 ao km 43,830

LADO ESQUERDO	LADO DIREITO

ANÁLISE SOB O CENTRO DE APLICAÇÃO DE CARGA



ANÁLISE À MEIA DISTÂNCIA ENTRE OS CENTROS DE APLICAÇÃO DE CARGA

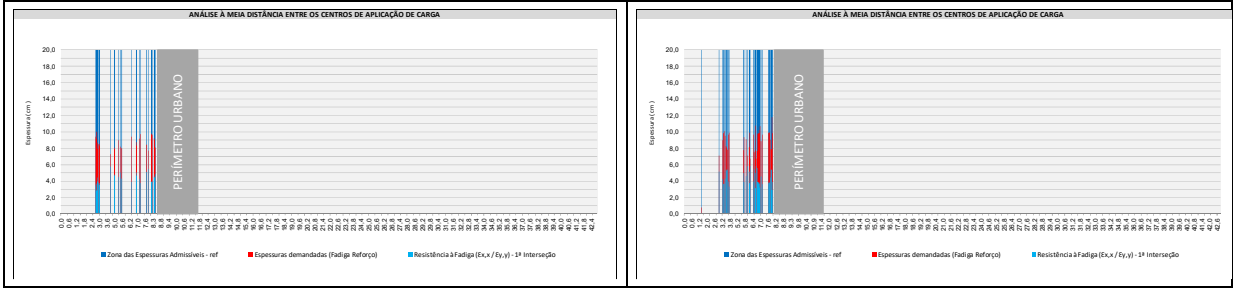


Figura 254 – Verificação da Resistência à Fadiga da Camada de Reforço Estrutural – Pista Simples

Da análise dos resultados obtidos referentes a verificação da resistência a fadiga na camada de reforço pôde-se constatar que houveram demandas de espessuras apenas no trecho que possui Tratamento Superficial Duplo (TSD) como revestimento, tanto na análise sob o centro de aplicação de carga e quanto na meia distância entre os centros de aplicação de carga, o que demonstra que para os trechos com CBUQ, os esforços atuantes na fibra inferior na camada de reforço estrutural são inferiores aos esforços máximos admissíveis.

Nos segmentos revestidos com Tratamento Superficial Duplo (TSD), era esperado que se exigisse uma maior espessura para mitigar o fenômeno de fadiga do reforço, considerando que a referida camada de tratamento que essa camada não apresenta resistência estrutural equivalente à de um Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). As espessuras requeridas para essa condição situam-se, em média, entre 8,0 cm e 10,0 cm.

Nos trechos pavimentados com Concreto Asfáltico, a análise gráfica evidencia uma significativa resistência à fadiga do reforço, atribuída, em grande parte, à sobreposição de uma nova camada de CBUQ sobre outra preexistente. Ainda que essa camada original seja delgada, conforme indicado nos boletins de sondagem, ela contribui para a formação de um revestimento mais espesso. Com a adição do reforço sobre essa estrutura, a fibra inferior da camada de reforço posiciona-se acima da linha neutra, afastando-se, assim, das tensões de tração responsáveis pelo processo de fadiga.

Seguidamente, promoveu-se o dimensionamento das espessuras ***da camada de revestimento*** necessárias para se garantir seus comportamentos relativamente ao critério de ***resistência à***

fadiga, no qual seguiu-se o procedimento de obter as curvas de desenvolvimento das tensões atuantes na fibra inferior na camada de revestimento x espessuras de reforço, para cotejar com o esforço resistente máximo admissível.



Figura 255 – Cotejamento entre os esforços atuantes na face inferior da camada de revestimento existente e o esforço máximo admissível para cada material.

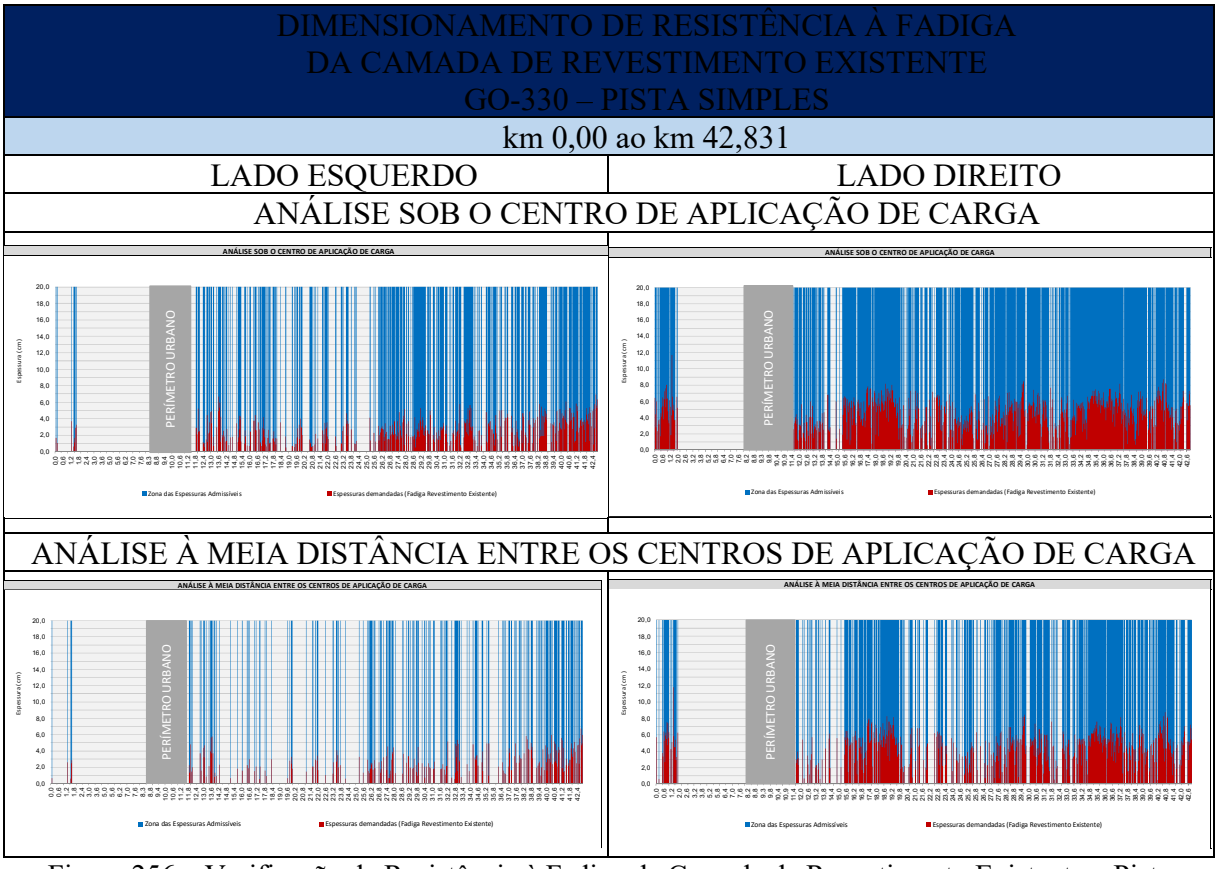


Figura 256 – Verificação da Resistência à Fadiga da Camada de Revestimento Existente – Pista Simples.

A resistência à fadiga da camada de revestimento constitui, com toda certeza, uma exigência para a restauração do pavimento existente, assertiva essa que se manifesta pela ocorrência de

demandas de espessuras de reforço em ambos os lados (esquerdo e direito) ao longo de todo trecho com CBUQ. Ademais, na análise dos esforços atuantes, percebe-se que essa frequência de espessuras demandadas concentra-se predominantemente no centro de aplicação das cargas, haja vista que à meia distância entre as cargas duplas há menos pontos que demandam reforço e com espessuras médias de menor magnitude. Salienta-se que essas espessuras foram definidas de forma a garantir que os esforços de tração na fibra inferior da camada de revestimento se situem aquém do limite de resistência máximo admissível definido para o CBUQ Faixa C / DNER, considerando o número de solicitações previstas para sua prestação de serviços futura, estimada em 10 anos.

Complementarmente, cabe destaque a sútil diferença externada pelo pavimento entre as faixas de tráfego no que concerne às demandas do pavimento em termos de proteção da camada de revestimento existente, particularidade essa que envidenciou, na conjuração das necessidades, relativa similaridade de comportamento já anteriormente exaltada, haja vista que os módulos de resiliência externados ao longo do pavimento se apresentam com pequenas diferenças.

Constata-se também que a teoria anteriormente concebida e descrita - quando do cotejamento entre as aplicações de cargas duplas - de que a linha de influência mais severa ocorre mais especificamente sob as cargas individuais propiciando o desenvolvimento de esforços de tração mais acentuados, veio encontrar apoio sólido presentemente, confirmado pela constatação de que os esforços de tração horizontal desenvolvidos na face inferior da camada de revestimento *sob o centro de aplicação da carga* apresentam valores significativamente superiores, enquanto que as análises processadas *à meia distância, entre os centros de aplicação de duas cargas* evidenciaram a existência de demandas menos frequentes em termos de proteção da camada asfáltica existente à fadiga.

✓ ***Verificação da Resistência à Deformação Permanente***

Seguidamente, promoveu-se o dimensionamento da espessura da ***camada de reforço*** reclamada para ***proteger o solo de fundação*** de forma a garantir seu adequado comportamento durante uma prestação de serviços futura igual a 10 anos. No âmbito do dimensionamento das espessuras demandadas para se garantir a necessária ***resistência do solo de fundação às deformações permanentes***, foram calculados os esforços de compressão vertical atuantes no topo do solo de fundação, tendo-se considerado espessuras crescentes da camada de reforço asfáltico variando de 0,5 cm a 20,0 cm; os cálculos foram efetuados a cada incremento de 0,5 cm, sempre nas "***verticais sob o centro de aplicação da carga***" e à "***meia distância entre os centros de aplicação de duas cargas***", em ambas as faixas de tráfego de forma individualizada. Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

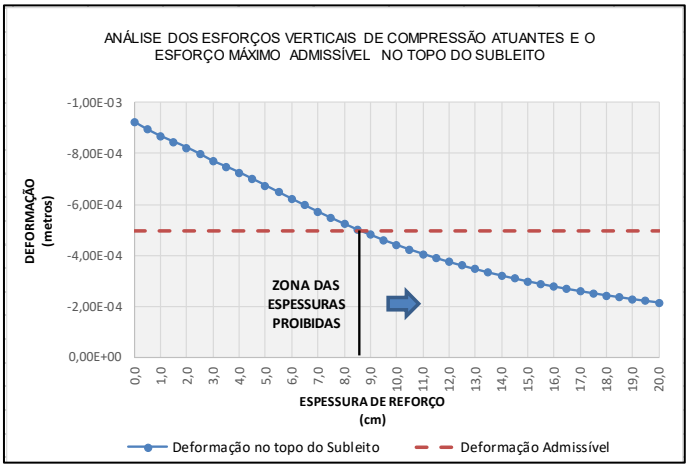


Figura 257 – Cotejamento entre os esforços verticais de compressão atuantes e o esforço resistente intrínseco do solo de fundação e das camadas granulares.

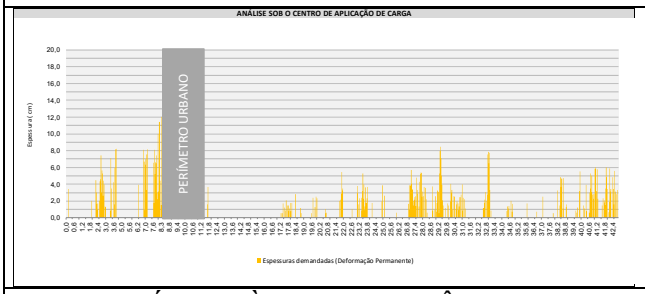
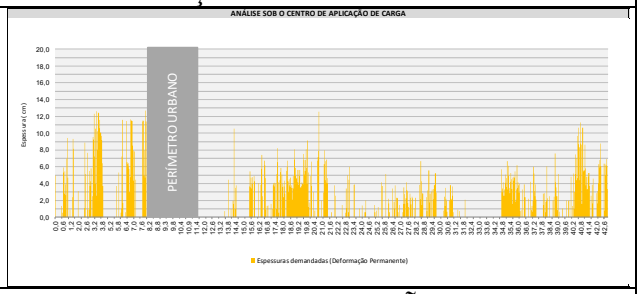
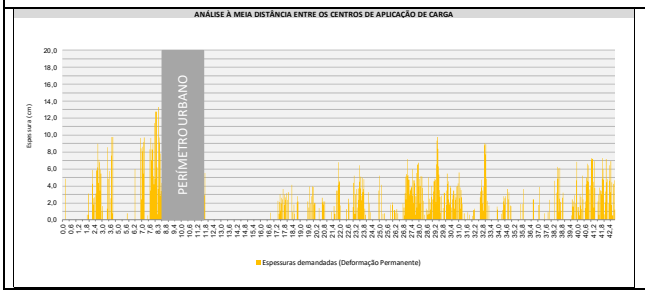
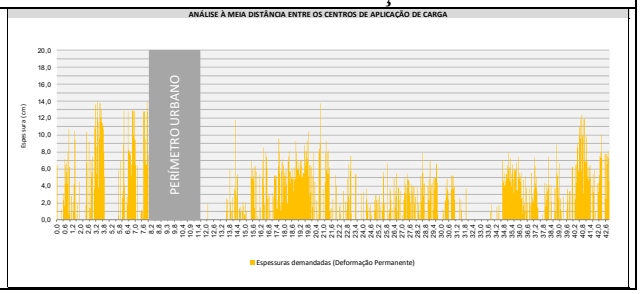
DIMENSIONAMENTO DA RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO PERMANENTE GO-330 – PISTA SIMPLES	
km 0,000 ao km 42,830	
LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
ANÁLISE SOB O CENTRO DE APLICAÇÃO DE CARGA	
	
ANÁLISE À MEIA DISTÂNCIA ENTRE OS CENTROS DE APLICAÇÃO DE CARGA	
	

Figura 258 – Verificação da Resistência à Deformação Permanente no Solo de Fundação – Pista Simples.

O solo de fundação apresentou uma notória carência estrutural, haja vista a demanda por espessuras de reforço em quase toda a extensão do trecho, com uma média de 4,5 cm. As demandas por reforço, além de muito frequentes, apresentam espessuras elevadas nos trechos com TSD, com espessuras demandadas que chegam à 14,0 cm, devido à baixa capacidade de suporte estrutural desse tipo de revestimento.

A ressaltar finalmente, a relativa similitude externada por ambas as faixas no que tange às demandas para proteção do solo de fundação, particularidade essa que evidenciou, na conjugação das necessidades, quando ocorrentes, demandas similares e conjugadas pelo pavimento de ambas as faixas de tráfego. As maiores demandas se situam nas mesmas regiões, em ambas as faixas de tráfego, sendo elas significativamente superiores no lado direito da plataforma.

- ✓ ***Verificação Conjunta das Resistências à Fadiga do Reforço Proposto e à Deformação Permanente do Solo de Fundação***

Assim considerando, e dando continuidade ao dimensionamento do reforço estrutural pelo método Paragon – *verificação das resistências à fadiga e às deformações permanentes* – torna-se sempre necessário promover o cotejamento entre as espessuras demandadas por ambos os critérios de dimensionamento, contemplando concomitantemente os esforços calculados nos diferentes locais de avaliação considerados para cálculo dos esforços atuantes - ***centro de aplicação da carga*** *e* ***à meia distância entre os centros de aplicação de cargas*** - de forma a se poder definir as espessuras finais.

Nessa particularização do *dimensionamento à fadiga*, quando se tem de contemplar os esforços de tração que atuarão as faces inferiores das camadas de reforço e em duas verticais de avaliação previamente definidas (centro da carga e entre cargas), julgou-se que a melhor forma de cotejamento e de definição das espessuras que satisfazem à todas as exigências, concomitantemente, consistiria na sobreposição, em um mesmo gráfico, das espessuras demandadas para atendimento aos critérios de fadiga e de deformação permanente do solo de fundação; a representação gráfica contemplando as requerências demandadas em cada estaca está apresentada a seguir.

VERIFICAÇÃO CONJUNTA DAS ESPESSURAS DEMANDADAS TENDO EM CONTA AS RESISTÊNCIAS À FADIGA (CAMADA ASFÁLTICA DE REFORÇO E REVESTIMENTO EXISTENTE) E À DEFORMAÇÃO PERMANENTE (SOLO DE FUNDAÇÃO) GO-330 – PISTA SIMPLES	
km 0,00 ao km 42,830	
LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
ANÁLISE SOB O CENTRO DE APLICAÇÃO DE CARGA E À MEIA DISTÂNCIA	

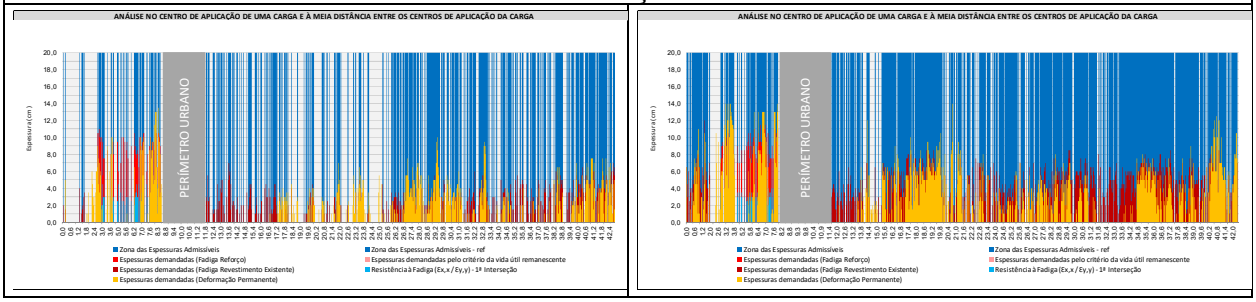


Figura 259 – Espessuras Demandadas pelas Condições de Dimensionamento (Resistências à Fadiga e à Deformação Permanente) – Pista Simples.

Da análise dos resultados obtidos, destaca-se que no lado direito há uma demanda sutilmente maior das espessuras reclamadas tanto para o fenômeno da fadiga, quanto para a deformação permanente quando comparado ao lado esquerdo. Todavia, é importante salientar que essas ínfimas diferenças de espessuras, se mostram insuficientes para a adoção de soluções de restauração distintas para as duas faixas de tráfego, visto que o comportamento de ambas é homogêneo em quase todo o trecho.

Seguidamente, com base nos valores obtidos, desconsideraram-se os valores espúrios, já que a metodologia Paragon considera que nunca é válida a contemplação estatística de "risco zero" no tratamento de populações, a qual é inclusivamente rejeitada por organismos rodoviários internacionais de renome, podendo se citar como exemplo a CALTRANS (antiga Califórnia Division of Highways) que admite em seus métodos de dimensionamento um percentual de subdimensionamento da ordem dos 20% e também o Asphalt Institute, que preconiza em seus "Manual Series" que os valores representativos de qualquer variável devem ser definidos pelo "octogésimo quinto percentil", ou seja, por um valor que conglomere 85% da população; a prosa cantada em verso pelo Banco Mundial é que não existe economia mundial capaz de comportar a probabilidade de "risco zero"!

Portanto, de forma a se poder dividir a população das espessuras de reforço calculadas em agrupamentos homogêneos, selecionou-se a técnica adotada pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (França) denominada "decoupage", a qual permite a divisão de variáveis através da contemplação e definição de intervalos de amplitude, com eliminação dos valores espúrios.

Seguidamente, para cada intervalo definido – segmento de variação homogênea – aplicou-se a regra do "octogésimo percentil" de forma a definir o valor representativo que englobe 80% das espessuras componentes; as análises das distribuições longitudinais das espessuras calculadas foram processadas por faixas de tráfego, procedimento esse que permitiu agrupar, sequencialmente, as espessuras estatisticamente similares; os resultados obtidos, considerando ambas as condições de dimensionamento, são indicados nos diagramas gráficos apresentados a seguir.

Vale destacar que ainda nesta fase de tratamento não se teve em conta as extensões dos segmentos homogêneos, as quais foram definidas apenas com base na distribuição das populações estatísticas (“decoupage” e octogésimo percentil).

Assim considerando, no caso presente, ao se analisar as espessuras demandadas a fim de atender aos critérios de fadiga e deformação permanente e considerando concomitantemente suas respectivas incidências e as extensões relativas, percebeu-se ser frequente a recorrência de demanda de espessuras de magnitudes pouco variáveis – mesmo que por vezes de formas não continuadas – exigência que explicita, de forma inquestionável, uma certa homogeneidade estrutural do pavimento.

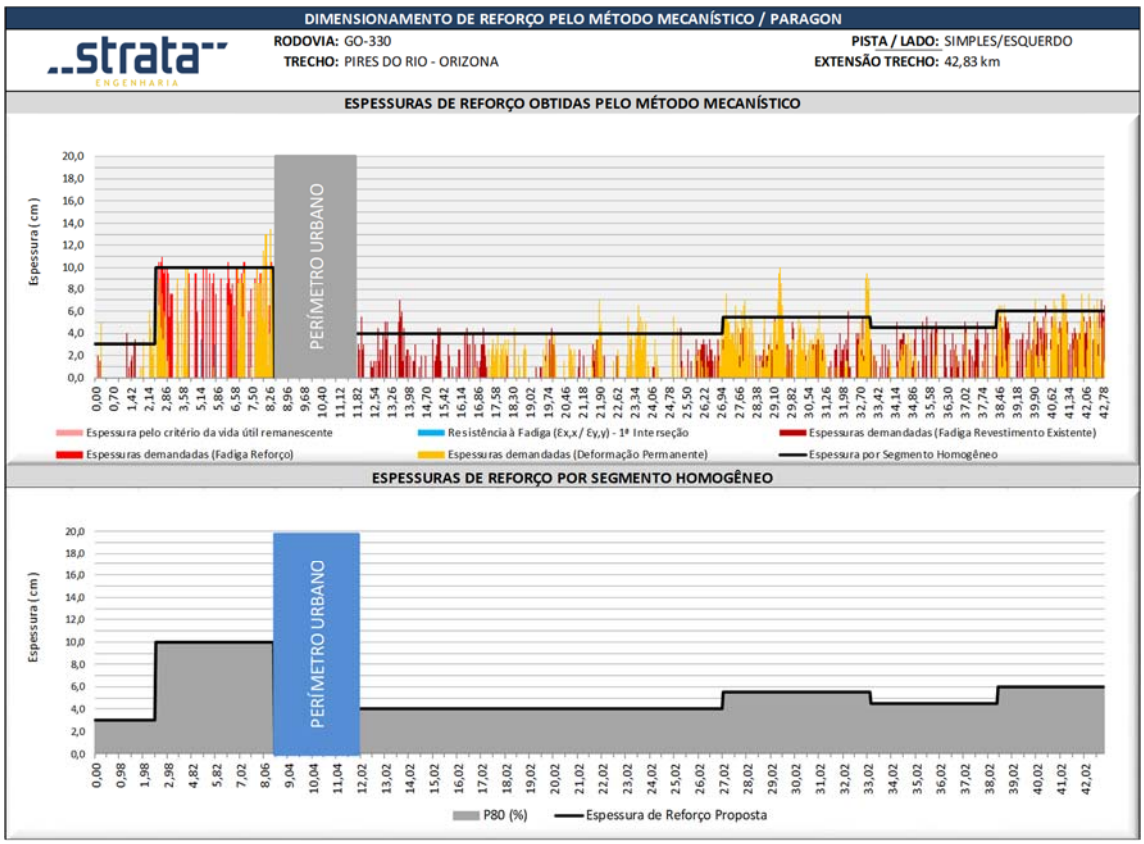


Figura 260 – Espessuras de Reforço Obtidas pelo Método Mecanístico / Paragon Pista Simples / Lado Esquerdo / km 0,000 ao km 42,830 – GO-330

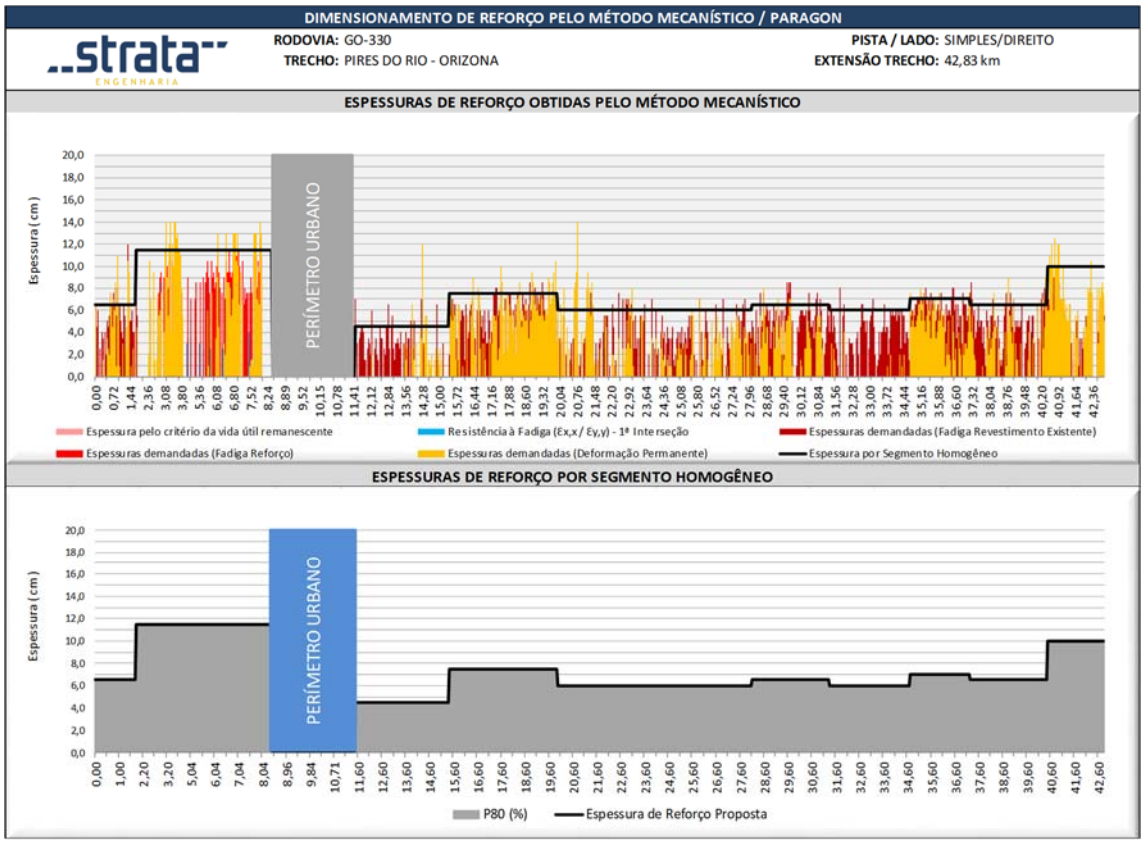


Figura 261 – Espessuras de Reforço Obtidas pelo Método Mecanístico / Paragon Pista Simples / Lado Direito / km 0,000 ao km 42,830 – GO-330

Na sequência das avaliações, como a metodologia Paragon trabalha com as faixas de tráfego individualizadas, pela série de motivos já externados anteriormente, faz-se necessário confrontar as espessuras preconizadas para o pavimento das duas faixas de tráfego contíguas – obtidas em dimensionamento os individualizados – de forma a se promover as necessárias compatibilizações estruturais e altimétricas. Esta exigência se faz fundamentalmente necessária dado ao fato de que os dimensionamentos processados têm, por premissa básica e de forma exclusiva – independentes dos estados funcionais detectados – a definição dos aportes estruturais requeridos pelo pavimento para sua prestação de serviço futura.

Desta forma, promoveu-se primeiramente o cotejamento entre as espessuras máximas demandadas pelo pavimento para as faixas contíguas, tendo-se promovido a compatibilização altimétrica, condição atendida pela seleção da espessura que satisfez, simultaneamente, a ambas as faixas contíguas. Os resultados obtidos para os lados direito e esquerdo devidamente superpostos, são ilustrados na parte superior do gráfico apresentado a seguir, sendo que a espessura finalmente selecionada é aquela definida pela linha pontilhada, tradutora da demanda maior; esse resultado final encontra-se representado na parte inferior do gráfico das mesmas figuras. Finalmente, com a eliminação de fracionamentos excessivos em termos longitudinais ficaram traduzidas condições notáveis de exequibilidade – particularidade que demandou pequenos ajustes nas espessuras dimensionadas; tais ajustes, sempre de pequena monta, se apresentaram resguardando a perenidade almejada para o reforço estrutural preconizado.

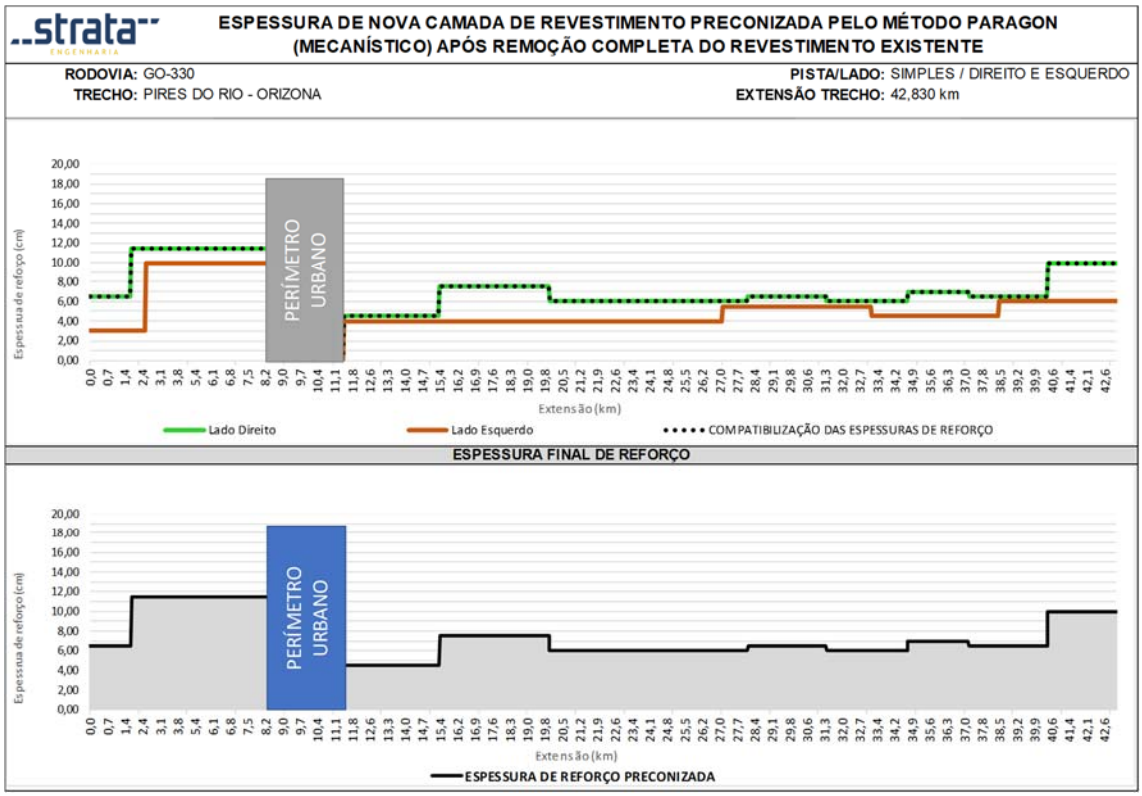


Figura 262 – Espessuras de Reforço determinadas pelo Método Paragon
Pista Simples – km 0,000 ao km 42,830

MÉTODO MECANÍSTICO / PARAGON - ESPESSURA DE REFORÇO PROPOSTA

RODOVIA: GO-330
TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA
PISTA/LADO: SIMPLES / DIREITO E ESQUERDO
EXTENSÃO TRECHO: 42,830 km

SEGMENTO HOMOGÊNEO						
Nº	ESTACA		km		EXTENSÃO (m)	ESPESSURA DE REFORÇO PROPOSTA (cm)
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	94	0,00	1,88	1880	6,50
2	94	422	1,88	8,44	6560	11,50
3	422	424	8,44	8,47	30	10,00
4	424	572	8,47	11,44	2970	0,00
5	572	770	11,44	15,40	3960	4,50
6	770	996	15,40	19,92	4520	7,50
7	996	1404	19,92	28,08	8160	6,00
8	1404	1566	28,08	31,32	3240	6,50
9	1566	1734	31,32	34,68	3360	6,00
10	1734	1860	34,68	37,20	2520	7,00
11	1860	2022	37,20	40,44	3240	6,50
12	2022	2142	40,44	42,83	2390	10,00

Figura 263 – Resumo das espessuras de reforço preconizadas após o cotejamento dos lados esquerdo e direito Pista Simples – Km 0,000 ao km 42,830

4.2.8.3.10. Cotejamento entre as Soluções Conceptivas e Estruturais

O fundamento maior da metodologia Paragon repousa na proposta de cotejamento entre as "*soluções conceptivas*" e as "*soluções estruturais*", procedimento que naturalmente se impõe, haja vista que todo o procedimento metodológico se pautou na premissa básica de que "***é preciso conceber antes de dimensionar***". Ou seja, as soluções finais de restauração devem ter em conta primeiramente a natureza e o tipo de intervenção corretiva demandada pelo pavimento em função de seus estados de sanidade – locais de intervenções, se superficiais ou em profundidade – e as demandas estruturais, calculadas de forma a prover o aporte estrutural requerido pelo pavimento, sempre por sobreposição de camadas. Assim considerando, com a

conclusão de várias etapas importantes, tradutoras dos estados de sanidade externados pelo pavimento e definidoras dos tipos de intervenções corretivas demandadas pelo pavimento no estado presente e das requerências de aporte estrutural necessárias para que o sistema se qualifique para comportar as solicitações que lhe serão impingidas durante a sua prestação de serviços futura, necessário se faz contemplar e compatibilizar, de forma harmônica, ambas as proposições; no exemplo crasso da importância desse cotejamento, cita-se a demanda de um reforço estrutural sobre um pavimento que externa um elevado e avançado estado de degradação funcional, que *per se* não comporta a sobreposição direta de uma camada Adicional de reforço estrutural.

Nesse particular, cabe ainda destacar que todos os processamentos efetuados se embasaram em ***critérios puramente analíticos***, obviamente que alicerçados em teorias sólidas que permitiram a definição dos diagnósticos funcional e estrutural, os quais facultaram conceber as requerências específicas de recuperação do pavimento e definir suas carências estruturais. Assim considerando, a fase final proposta pela metodologia Paragon consiste portanto no cotejamento entre as soluções conceptivas e estruturais, as quais podem ser diretamente cotejadas através da apreciação dos resultados obtidos que estão apresentados em lineares sinópticos contendo as soluções ilustradas sob forma gráfica.

Ademais, ressalta-se que a contratante fez algumas determinações para alteração das alternativas de solução inicialmente propostas pela consultora, que consistem principalmente nas seguintes: não utilização do material fresado para composição de degraus de acostamento e destinação do mesmo para bota-fora; utilização de imprimação asfáltica com EAI ao invés daquela com arenado asfáltico, ainda que a base granular existente apresente comportamento laterítico e seja aderida a um percentual de cimento na alternativa de reciclagem; homogeneização das espessuras asfálticas dimensionadas, que até então eram variáveis conforme demanda do pavimento a cada segmento; utilização de camada de binder para a composição da espessura total dimensionada.

No caso do pavimento em análise, observou-se uma grande concordância entre o cotejamento e os estados de sanidade (diagnóstico funcional) e estrutural devido à presença de divisões bem definidas em termos de conservação do pavimento existente. Desta forma, ao se analisar os valores modulares (diagnóstico estrutural) e as carências de aportes estruturais (reforço do pavimento), verifica-se uma considerável correspondência – com certas benevolências – entre os módulos e as carências estruturais, definidas pelas espessuras de reforço requeridas.

De forma a evidenciar tais constatações, são apresentados a seguir os cotejamentos dos diagnósticos funcional e estrutural e suas respectivas espessuras de reforço demandadas pelo pavimento, definidas de forma completamente independente, considerando segmentos homogêneos e tratados com a adoção da regra do “octogésimo percentil”.

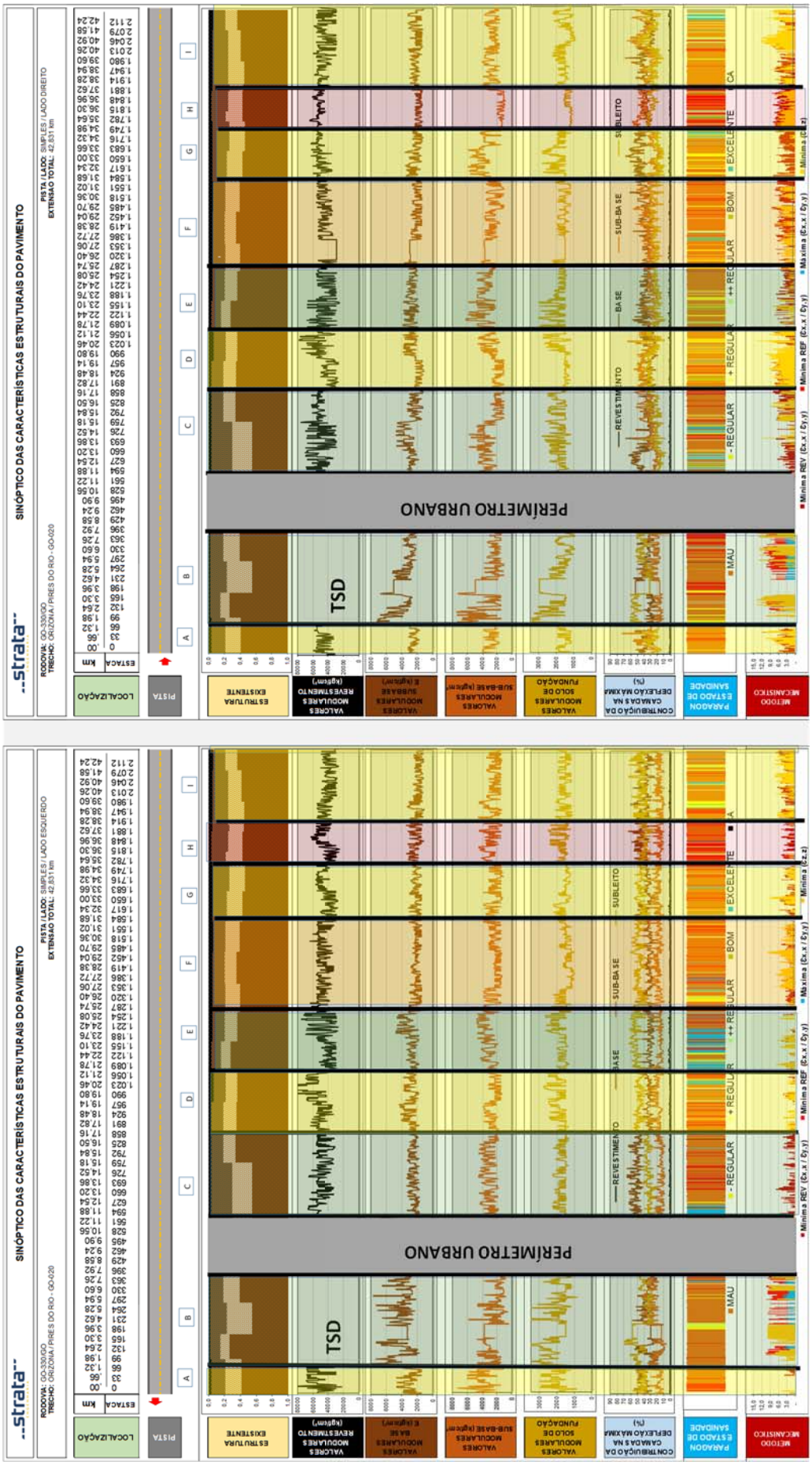


Figura 264 – Sinóptico das Características Estruturais do Pavimento, Solução conceptiva e Dimensionamento mecanístico
Pista Simples – km 0,000 ao km 42,830.

4.2.8.3.11. Definição das espessuras de reforço estrutural contemplando concomitantemente os métodos DNIT PRO 11/79, DNIT PRO 269/94 e PARAGON

O objetivo maior de se promover o dimensionamento através de três métodos distintos se deve ao benefício de se poder dispor de um espectro de variação das espessuras (máximas e mínimas) preconizadas para composição do reforço estrutural e, a partir dessa gama de variação, se estabelecer critérios que permitam a seleção de um deles ou de combinações que permitam a iteração matemática entre os resultados obtidos. Fundamentada em experiência pregressa – endossada pelo DNIT e pelo TCU – a Consultora propõe que a espessura de reforço seja definida a partir do cálculo da "***espessura mediana policiada, entretanto, pelo atendimento simultâneo a pelo menos dois dos três métodos considerados***". Entretanto, mais recentemente, alguns Departamentos de Estradas de Rodagem incorporaram a essa proposição a exigência de atendimento obrigatório ao método mecanístico, haja vista sua enorme consistência e profundidade de análise. Sob tal condicionamento, caso a espessura mediana de reforço eleita (atendimento a dois dos três métodos) fosse ditada pelo atendimento aos métodos PRO 11 ou PRO 269 – com a natural exclusão da espessura preconizada pelo método mecanístico, a maior – o resultado final deveria ser revisto de forma a fazer prevalecer a espessura obtida pelo método mecanístico determinante.

Na complementação dos trabalhos, com o objetivo de propiciar uma melhor análise espectral, julgou-se adequado plotar em gráficos as características estruturais do sistema pavimento – solo de fundação e as espessuras de reforço preconizadas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e Mecanístico (Paragon) para o trecho como um todo, considerando as faixas individualizadas (lado direito e lado esquerdo). Posteriormente, apresentou-se um gráfico com as espessuras de reforço preconizadas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e Mecanístico (Paragon) – já processadas no caso do método Paragon com a integração entre as duas faixas – procedimento adotado com o objetivo de facilitar a definição da "espessura mediana" (atendimento simultâneo a pelo menos dois métodos), policiada pela *otimização das espessuras, com a eliminação de segmentos externando curtas extensões*.

Assim considerando, cabe ressaltar que os pressupostos básicos que regem as condições de dimensionamento de ambas as metodologias guardam certa identidade: no caso do PRO-11, a proposição básica se fundamenta na definição da espessura de reforço, constituída por um material apresentando uma "potência de reforço", que seja capaz de limitar o nível de deformabilidade vigente a níveis admissíveis, capazes de prolongar sua vida através do alívio de suas solicitações; no caso da metodologia Paragon, por sua vez, tem-se em conta as resistências à fadiga do reforço do pavimento e da camada de revestimento existente e à deformação permanente do solo de fundação.

Sob tais condições, as espessuras de reforço estrutural preconizadas pela abordagem empírico-mecanicista foram determinadas a partir da limitação dos esforços atuantes na face inferior do reforço condicionada pela sua resistência intrínseca (esforços resistentes), condição que filosoficamente se assemelha à demanda do PRO-11, que limita as deflexões reversíveis vigentes a valores máximos admissíveis; em suma, ambas as metodologias estabeleceram os esforços atuantes (tensões horizontais de tração e deflexões reversíveis máximas) os quais foram cotejados e limitados pelos esforços admissíveis.

Os gráficos comparativos e as espessuras determinadas, por segmentos homogêneos da pista simples, são apresentados a seguir.

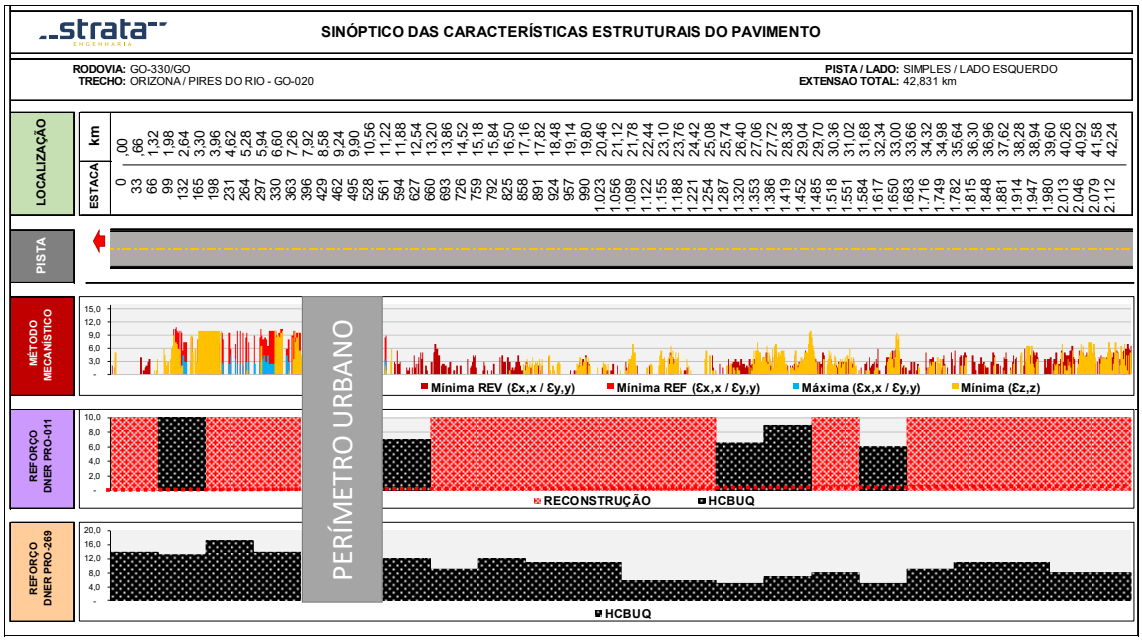


Figura 265 – Espessuras de reforço demandadas pelos três métodos – PRO-11 / PRO-269 / Mecanístico – Paragon (Pista Simples/ Lado Esquerdo)

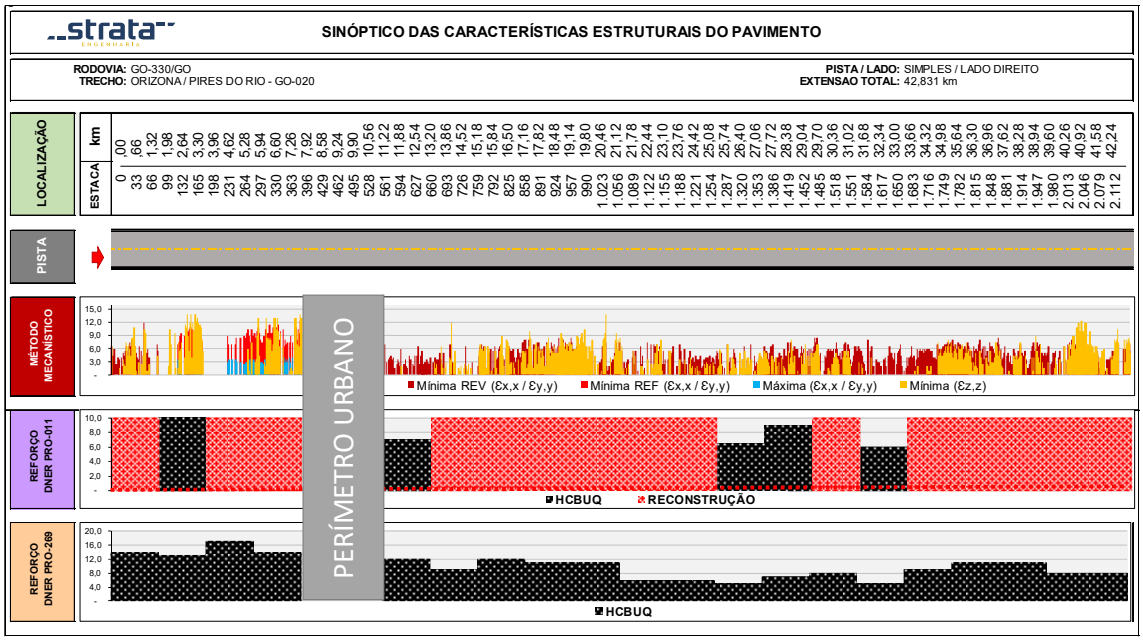


Figura 266 – Espessuras de reforço demandadas pelos três métodos – PRO-11/ PRO-269/ Mecanístico – Paragon (Pista Simples/ Lado Direito)

Salienta-se que a abordagem se propõe, portanto, a atender concomitantemente aos dois métodos normatizados apresentados, definição que pode resultar em espessuras muito variadas. Com isso, faz-se então necessária a eliminação de fracionamentos excessivos em termos longitudinais, de modo a ficarem traduzidas condições notáveis de exequibilidade. O resultado do cotejamento em questão será exposto abaixo em modelo gráfico:

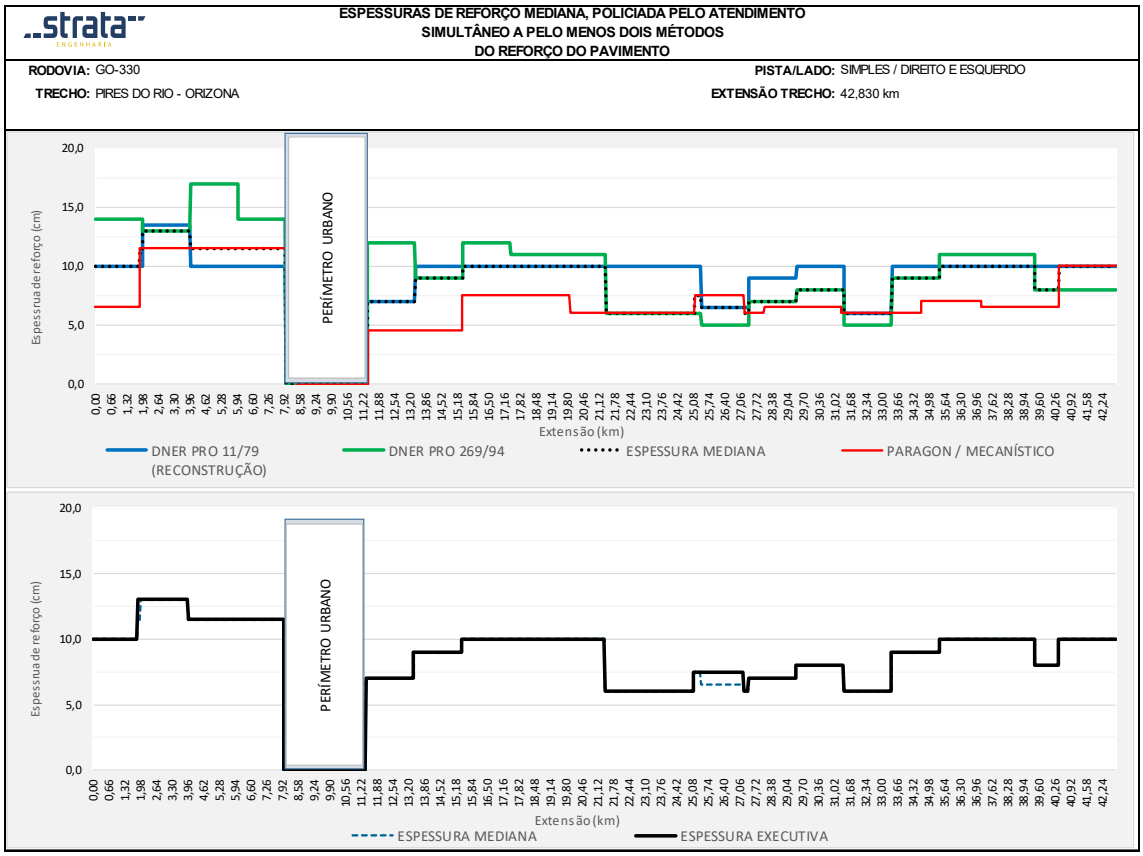


Figura 267 – Espessura de reforço mediana com atendimento à maior espessura preconizada pelos dois métodos normatizados – Pista Simples – km 0,000 ao km 42,830

RESUMO DA ESPESSURA DE REFORÇO MEDIANA, POLICIADA PELO ATENDIMENTO SIMULTÂNEO A PELO MENOS DOIS MÉTODOS

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES/DIREITO
TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83

Nº	SEGMENTO HOMOGÊNEO				EXTENSÃO (m)	ESPESSURA TOTAL DE REVESTIMENTO (cm)
	ESTACA		km			
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	94	0,00	1,88	1.880	10,0
2	94	200	1,88	4,00	2.120	13,0
3	200	400	4,00	8,00	4.000	11,5
4	400	572	8,00	11,44	3.440	0,0
5	572	672	11,44	13,44	2.000	7,0
6	672	772	13,44	15,44	2.000	9,0
7	772	1.072	15,44	21,44	6.000	10,0
8	1.072	1.258	21,44	25,16	3.720	6,0
9	1.258	1.362	25,16	27,24	2.080	7,5
10	1.362	1.372	27,24	27,44	200	6,0
11	1.372	1.472	27,44	29,44	2.000	7,0
12	1.472	1.572	29,44	31,44	2.000	8,0
13	1.572	1.672	31,44	33,44	2.000	6,0
14	1.672	1.772	33,44	35,44	2.000	9,0
15	1.772	1.972	35,44	39,44	4.000	10,0
16	1.972	2.022	39,44	40,44	1.000	8,0
17	2.022	2.142	40,44	42,83	2.390	10,0

Figura 268 – Resumo da espessura de reforço mediana com atendimento à maior espessura preconizada pelos dois métodos normatizados – Pista Simples – km 0,000 ao km 42,830

4.2.9. DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO DE RESTAURAÇÃO

Com base nas análises efetuadas no pavimento da rodovia GO-330, torna-se possível definir alternativas de soluções de restauração e, com base na avaliação e compreensão das mesmas, determinar, junto à equipe de projetos da GOINFRA, a solução final de restauração a ser adotada.

Primeiramente, é necessário se ter em mente as características do pavimento existente em cada segmento homogêneo, resumidas pelos seguintes parâmetros: deflexão, IRI, percentual de trincamento, percentual de desgaste, flechas nas trilhas de roda, defeitos no pavimento e a própria estrutura do pavimento. As informações em questão são sintetizadas no quadro a seguir.

Parâmetros Estruturais e Funcionais dos Segmentos Homogêneos

RODOVIA: GO-330 (2A) — **PISTA:** PISTA SIMPLES

TRECHO: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA — **EXTENSÃO:** 42,830 km

Segmento Homogêneo				Dc FWD (x10-2mm)	Dc VB* (x10-2mm)	Raio (m)	% RP	IRI (m/km)	IGG	ATR (mm)	FC2+FC3 (%)	Obs.
SH	Estaca		Extensão									
Nº	Inicial	Final	(km)									
1	0	100	2000,000	75,00	75,00	95,000	16,00	4,9	96	3,93	59,00	
2	100	200	2000,000	81,38	81,38	106,000	10,00	3,8	38	3,90	19,00	
3	200	300	2000,000	65,60	65,60	94,000	2,00	4,5	95	4,36	66,00	
4	300	400	2000,000	92,24	92,24	75,000	4,00	4	103	4,16	51,00	
5	400	572	3440,000	PERÍMETRO URBANO								
6	572	672	2000,000	60,74	60,74	114,000	1,00	3	34	1,80	30,00	
7	672	772	2000,000	63,08	63,08	100,000	2,00	3,3	55	2,43	26,00	
8	772	872	2000,000	80,75	80,75	83,000	5,94	7,1	154	5,48	98,02	
9	872	972	2000,000	92,15	92,15	71,000	5,00	5,9	99	2,93	78,00	
10	972	1072	2000,000	76,34	76,34	97,000	5,05	3,1	67	2,06	52,53	
11	1072	1172	2000,000	67,93	67,93	97,000	1,00	3,1	46	2,77	37,00	
12	1172	1272	2000,000	65,39	65,39	97,000	1,00	3,1	70	3,90	45,00	
13	1272	1372	2000,000	63,56	63,56	101,000	2,00	2,3	56	2,11	36,00	
14	1372	1472	2000,000	71,92	71,92	105,000	1,00	2,2	39	1,70	21,00	
15	1472	1572	2000,000	78,43	78,43	94,000	1,00	1,9	25	1,61	21,00	
16	1572	1672	2000,000	62,00	62,00	113,000	2,00	2,1	40	1,89	24,00	
17	1672	1772	2000,000	84,56	84,56	76,000	1,00	2,5	53	2,84	36,00	
18	1772	1872	2000,000	87,81	87,81	87,000	-	4,7	140	6,38	82,00	
19	1872	1972	2000,000	76,04	76,04	86,000	4,00	4,8	133	5,07	71,00	
20	1972	2141	3390,000	85,35	85,35	95,000	2,94	3	78	3,13	38,82	

*A correlação entre os valores de deflexão medidos pela viga Benkelman e pelo FWD não foi considerada devido ao baixo coeficiente de correlação obtido na análise de regressão.

Figura 269 – Parâmetros Estruturais e Funcionais dos Segmentos Homogêneos – GO-330.

É essencial, ainda, ressaltar a necessidade de se apresentar alternativas de soluções de projeto, conforme preconizado no Termo de Referência pertinente ao presente contrato, as quais devem ser estudadas e avaliadas visando a escolha da que se associar ao melhor custo benefício dentre todas. Assim considerando, a consultora julgou como oportuna a proposição de duas alternativas de solução para uma restauração efetiva do pavimento em estudos, sendo ambas em pavimentos flexíveis. Tais alternativas são descritas individualmente em subtópicos posteriores para a então elaboração de um comparativo de custos visando a indicação daquela com o melhor fator custo/benefício.

4.2.9.1.Alternativas de Solução

A seguir são detalhadas as proposições alternativas para a restauração do pavimento em análise:

- Alternativa I: Reciclagem da Camada de Base com incorporação de Fração do Revestimento Asfáltico Fresado e Adição de 2% de Cimento Portland:

A primeira alternativa de solução se alicerça em quatro quesitos principais: o primeiro, pela excepcionalidade da solução, de alta qualificação intrínseca e para a composição do sistema estratificado; o segundo, pela imperiosidade de remoção do revestimento existente, em estado avançadíssimo de fadiga, repleto de trincas FC-2 e FC-3 e acometido de cisalhamento da base

de forma notável; o terceiro, pela vantagem de se melhor qualificar a camada de base existente, que embora não evidencie quaisquer deficiências de plasticidade ou de capacidade de suporte, foi ela executada inicialmente com deficiências de compactação, condição que a submeteu, no passado, a processos de cisalhamento nas trilhas de roda devidos à sobrecompactação exercida pelo pesado tráfego usuário e quarto, pelas necessidades de amenizar o passivo (material fresado) a ser gerado e atender disposição normativa referente.

O procedimento de reciclagem, na presente proposição, consistirá na incorporação de todo o revestimento hoje existente no trecho. Complementando a mistura de materiais granular e fresado, julgou-se imprescindível a adição de 2% de cimento Portland com o objetivo de fornecer coesão à mistura final, exigência advinda do fato de os materiais granulares da camada de base não serem dotados de qualquer fração coesiva e externarem trincamentos de acomodação volumétrica, decorrentes de condições de trabalho com umidades menores que as umidades ótimas de construção.

Seguidamente, no âmbito dessa proposição corretiva da camada de base, contemplada com a adição de 2% de cimento Portland, faz-se fundamentalmente necessária a interposição de uma camada antirreflexão de trincas (CART) entre a camada de base e o novo revestimento asfáltico a ser aplicado, concebida de forma a evitar a reflexão das trincas térmicas que se acomodarão, seguramente, no seio da camada melhorada com cimento Portland. De forma a conter a reflexão dessas trincas térmicas para o revestimento asfáltico, concebeu-se o emprego de um Tratamento Superficial Duplo (TSD) bi-granular, a ser composto por duas camadas de agregados pétreos monogranulares sobrepostas: 1ª camada 3/4" – 5/8” (19 – 16 mm) e 2ª camada 5/8” – 3/8” (16 – 10 mm); o TSD executado conforme prescrito, destituído de material fino, se destina a compor uma camada dotada de elevado índice de vazios, capaz de impedir a ascensão das trincas originadas na camada de base.

Para o estabelecimento das proporções retrocitadas, foram coletadas amostras em abundância, as quais foram devidamente ensaiadas em laboratório, tendo sido as proporções finais estabelecidas fruto de diversas tentativas experimentais; os resultados obtidos, excepcionais, são apresentados nos Estudos Geotécnicos; a camada de base reciclada deverá apresentar uma espessura acabada entre **17,5 cm.**

Seguidamente às proposições de composição da nova camada de base, promoveram-se estudos com o objetivo de definir a composição e a espessura da camada asfáltica de revestimento. Após uma série de reflexões, contemplando as adequabilidades estruturais, a magnitude e intensidade do tráfego pesado usuário e as elevadíssimas temperaturas reinantes na região, optou-se pelo emprego de um Concreto Asfáltico Usinado a Quente - Faixa “C” como camada de desgaste (a ser composto com ligante asfáltico modificado com Polímero CAP 60-85-E, em uma capa de **4,0 cm**) e de um Concreto Concreto Asfáltico Usinado a Quente - Faixa “B” como binder (a ser composto com ligante asfáltico modificado com Polímero CAP 55-75-E, em uma capa de **6,0 cm** de espessura). A seleção desses ligantes asfálticos se pautou em três características principais: a) na facilidade e melhores condições de miscigenação de um CAP mais fluído com os agentes poliméricos; b) em suas qualificações de externarem ponto de amolecimento e recuperação elástica mais elevados, importantes no comportamento em pista em trechos que externaram temperaturas da ordem de 42ºC (medidas na campanha deflectométrica) e c) no fato de que durante o processo de usinagem das misturas asfáltica ocorre cerca de 60% de todo o envelhecimento que o ligante asfáltico de constituição sofre durante toda a sua vida; outros

20%, ocorrem durante as operações de transporte, espalhamento e compactação na pista, ou seja, o processo executivo é extremamente agressivo e macula de forma substancial as propriedades originais do ligante asfáltico.

A proposição de utilização de ligante asfáltico com aditivo polimérico se justifica, por conseguinte, por vários benefícios que advêm da incorporação desse aditivo, podendo-se citar nomeadamente:

a) O cimento asfáltico de petróleo é constituído por uma cadeia de hidrocarbonetos não saturados que exibe uma grande propensão à oxidação – absorção de moléculas de oxigênio – que o torna cada vez mais rígido (ou menos flexível), faculdade que propicia sua transição continuada dos materiais dúcteis para os materiais frágeis. Assim, as camadas asfálticas mais velhas – cada vez mais rígidas e quebradiças –, se apresentam mais susceptíveis ao desenvolvimento de tensões horizontais de trações (atuantes) mais acentuadas, nomeadamente quando dispostas sobre bases granulares flexíveis; diferenças modulares muito elevadas entre as camadas asfálticas e de base granular respondem por colapsos desastrosos. A adição de polímero – primo-irmão do asfalto – "preenche" as ligações disponíveis na cadeia principal, agindo como uma verdadeira "água da juventude" para o ligante asfáltico, pois constitui o atributo capaz de retardar, de maneira notável, seu envelhecimento, deixando-o flexível por muito mais tempo.

b) O ligante asfáltico *in natura*, por se tratar de um material viscoelástico e termossensível, exibe grande suscetibilidade aos tempos de aplicação de carga e à temperatura, características que respondem pelo realce de sua componente viscosa, distinção que o induz a escoamentos viscosos. Sob tais condições, seu emprego em locais de clima quente e sujeitos a tráfegos pesados e lentos – condições que caracterizam o pavimento em questão – se torna naturalmente inadequado, particularidade que requer melhorias de suas qualificações, as quais podem ser supridas pela incorporação de polímeros dos tipo SBS ou EVA; concomitantemente, tais produtos dotam os concretos asfálticos de maior poder de recuperação elástica, tornando-os também menos sensíveis aos tempos de carga e às temperaturas.

c) De igual forma, necessário se faz contextualizar que os ligantes asfálticos hoje disponíveis – sempre "duros" – demandam aquecimentos cada vez mais elevados para suas fluidificações, minudência que propicia, de forma notável, a volatilização de seus componentes leves. Os perigos do superaquecimento, passíveis de ocorrer, são dignos de menção e devem ser revestidos de importância maior, pois os ligantes asfálticos, embora compostos predominantemente por frações sólidas – os asfaltenos – são complementados por frações consideráveis de óleos – os maltenos – e frações aromáticas – os carbóides e os carbenos – as quais são extremamente voláteis sob aquecimentos a elevadas temperaturas. Essa "queima" verificada nos superaquecimentos, se traduz pela perda de óleos e voláteis leves, tornando os ligantes mais rígidos - menos flexíveis -, peculiaridade que influencia de forma negativa no desempenho da camada asfáltica.

Dada a importância dessa transformação, vale destacar que incrementos de temperaturas, respondem por uma potencialização do fenômeno da oxidação, o qual se manifesta pela rigidificação exacerbada da cadeia de hidrocarbonetos – originalmente não saturada – que passa

a incorporar moléculas de oxigênio, beneficiadas pela ativação molecular gerada pelo acréscimo de temperatura; a cada incremento de 10º C na temperatura de um ligante aquecido à 100ºC, dobra-se a taxa de oxidação.

Destarte, sabendo-se de antemão que um ligante asfáltico CAP 50-70 (0,1mm) - in natura - ao ser usinado sofre de 60% de seu envelhecimento mais 20% durante as operações de transporte, espalhamento e compactação, pode-se afirmar que ao cabo da execução de uma camada asfáltica a penetração do ligante residual passa a ser da ordem dos 30-45 (0,1mm) e que um ligante CAP 30-45 passa a apresentar uma penetração da ordem dos 20-25 (0,1mm), ou seja, extremamente rígido e quebradiço, impróprio para compor uma camada de revestimento de um pavimento flexível. Sob tais condições julga-se, no caso presente, que a utilização de um ligante asfáltico com polímero se torna exigência imperiosa.

As espessuras do revestimento asfáltico foram determinadas a partir do emprego concomitante de dois procedimentos versados para o dimensionamento tendo em conta que a alteração proposta para a estrutura existente induz à necessidade de se avaliar uma nova estrutura estratificada: o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER 667/22) e o Método Paragon, calcado nas premissas básicas de avaliação da estrutura contemplada como um sistema estratificado elásticos submetido à cargas exteriores (procedimento mecanístico).

As espessuras cotejadas, conforme disposto na ilustração a seguir.

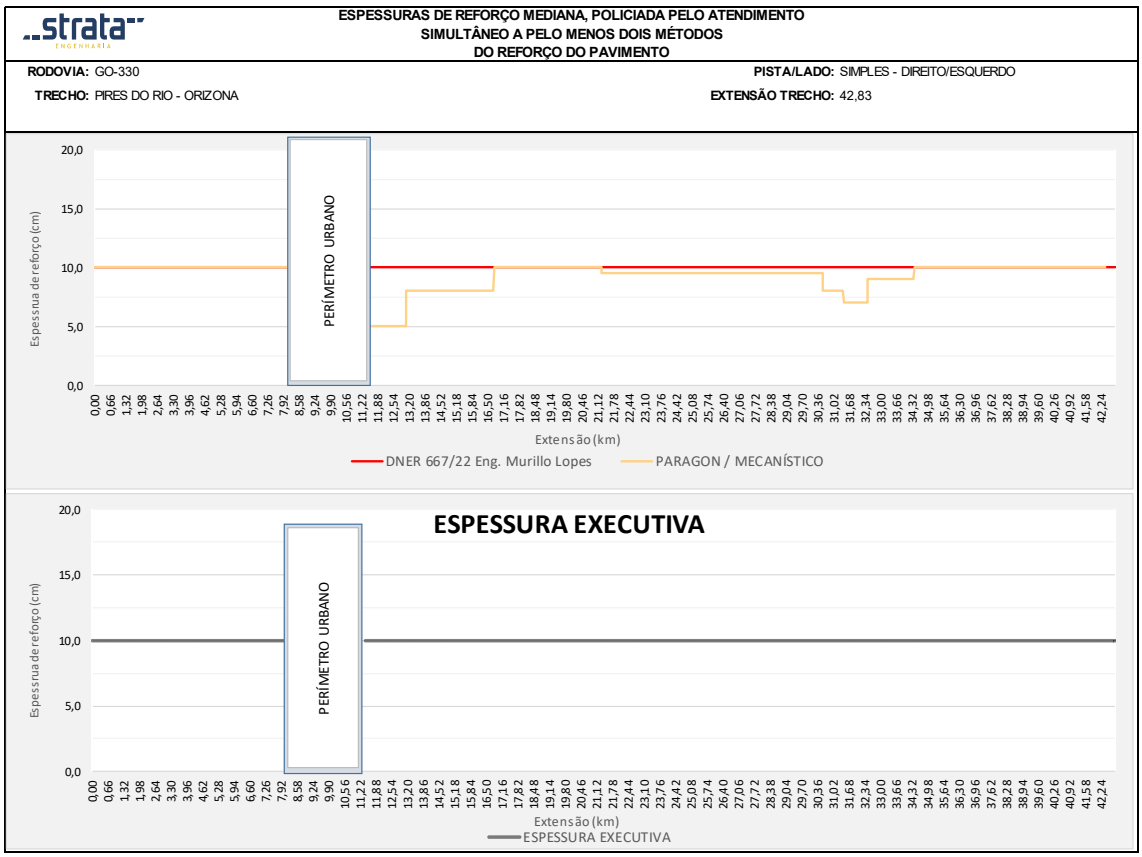


Figura 270 – Espessuras de revestimento asfáltico preconizadas pelo cotejamento dos métodos empírico-mecanístico e DNER 667/22.

O gráfico acima evidencia **um único segmento** – com exceção do perímetro urbano existente no trecho com espessura executiva zerada - de espessuras preconizadas pelo cotejamento entre o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER 677/22) e o Método Paragon. A definição é apresentada a seguir.

strata ENGENHARIA

RESUMO DA ESPESSURA DE REFORÇO MEDIANA, POLICIADA PELO ATENDIMENTO SIMULTÂNEO A PELO MENOS DOIS MÉTODOS

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES - DIREITO/ESQUERDO

TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83

SEGMENTO HOMOGÊNEO						ESPESSURA TOTAL DE REVESTIMENTO (cm)
Nº	ESTACA		km		EXTENSÃO (m)	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	422	0,00	8,44	8.440	10,0
2	422	400	8,44	8,00	-440	0,0
3	400	2.142	8,00	42,83	34.830	10,0

Figura 271 – Resumo da espessura de reforço mediana policiada pelo atendimento simultâneo aos métodos empírico-mecanístico e DNER 667/22.

Para mais, é essencial pontuar que existem degraus elevados entre pista e acostamento quando da consideração da preconização das espessuras de reforço asfáltico previamente calculadas. Os degraus em questão têm o valor médio, hoje, de 13,0 cm. Nesse contexto, valendo-se da máxima de espessuras de degrau não poderem superar os 5,0 cm para a manutenção da segurança da via, a espessura média de **8,0 cm** deverá ser preenchida por CBUQ Faixa "B", o mesmo material da primeira camada a constituir o novo revestimento asfáltico das faixas de rolamento. As espessuras médias são sintetizadas no quadro a seguir.

Alternativa I - Reciclagem 17,5cm				
SH	km Inicial	km Final	Degrau a ser Preenchido com CBUQ Faixa "B" (cm)	
			Calculado	Homogeneizado
1	0,00	3,08	8,0	8,0
2	3,08	8,00	8,0	8,0
3	8,00	11,44	Perímetro Urbano	
4	11,44	17,16	8,0	9,0
5	17,16	20,92	8,0	9,0
6	20,92	24,88	9,0	9,0
7	24,88	26,92	8,0	8,0
8	26,92	31,24	8,0	8,0
9	31,24	32,60	8,0	8,0
10	32,60	33,28	7,0	8,0
11	33,28	39,68	7,0	8,0
12	39,68	42,83	8,0	8,0

Figura 272 – Espessuras de degraus a serem preenchidas, mantendo-se uma diferença de altura máxima de 5,0cm entre pista e acostamento.

Ainda, a consultora julgou pertinente a consideração de reparos profundos em uma área correspondente a 2% do total, para os casos em que eventuais problemas estruturais forem advindos da sub-base granular, e não da base a ser reciclada. Dessa forma, propõe-se, nesses pontos – a serem devidamente identificados em fase de obra, caso existam – a substituição da integral da sub-base existente, representada por um valor médio de ***18,0 cm***.

A seguir, dispõem-se a Seção Tipo e os detalhamentos da estrutura estratificada, ambos representativos da Alternativa I de solução, a qual propõe a reciclagem da camada de base com incorporação de material fresado e adição de Cimento Portland, execução da camada de CART e novo revestimento asfáltico de 10,0cm, com a recomposição altimétrica dos acostamentos a ser realizada com CBUQ Faixa “B”:

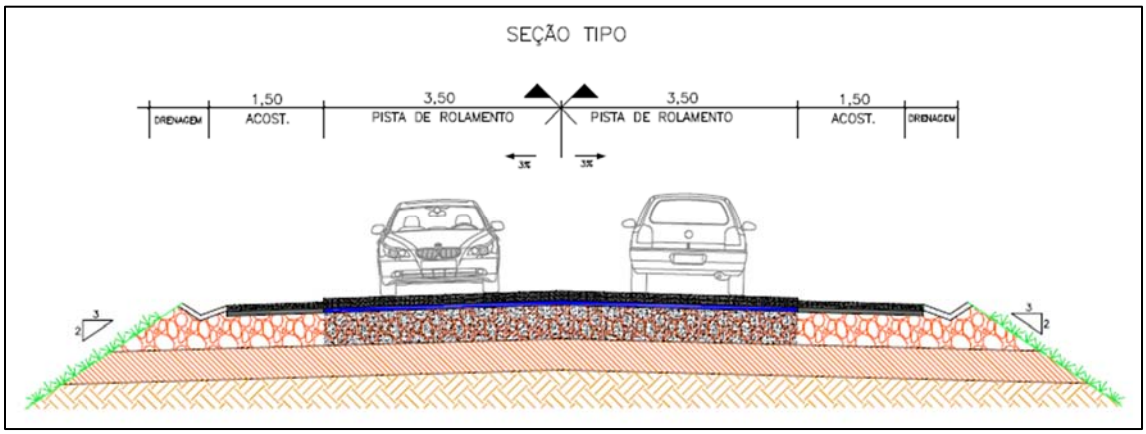


Figura 273 – Seção Tipo relativa à Alternativa I – Reciclagem da Camada de Base.

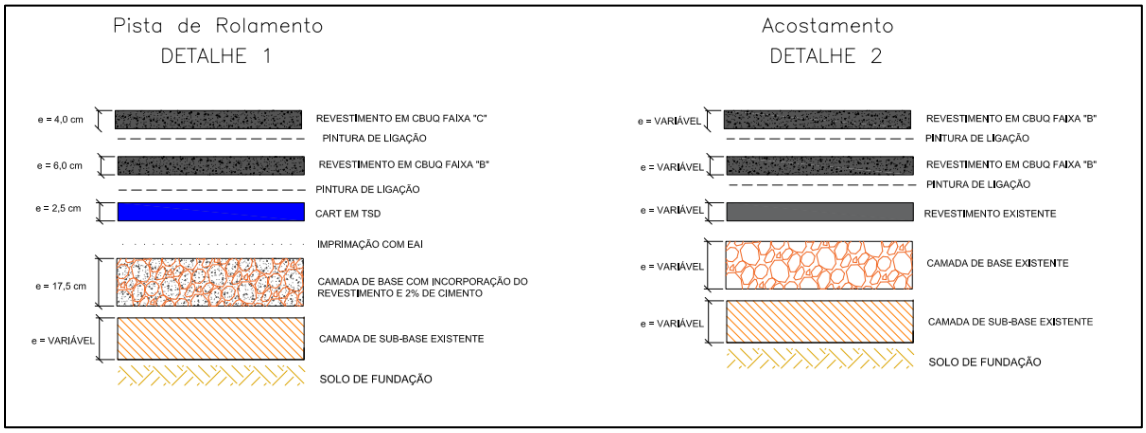


Figura 274 – Detalhamentos do pavimento relativos à Alternativa I – Reciclagem da Camada de Base.

- Alternativa II: Remoção do Revestimento Existente e Recomposição do Revestimento Asfáltico Existente

A segunda alternativa consiste também na remoção total do revestimento asfáltico existente e na execução de nova capa asfáltica. Tal alternativa se apresenta como um procedimento válido, uma vez que os problemas de fadiga verificados no revestimento existente são extremamente agressivos e exatamente iguais aos anteriormente descritos.

O revestimento asfáltico indicado pela consultora para a restauração do pavimento em análise deverá ser composto por Concreto Asfáltico Usinado a Quente Faixa “C” com Polímero (CAP 60-85-E) em espessura fixa de 5,0 cm, a ser sobreposto a camada(s) de CBUQ Faixa “B” com Polímero (“Binder”, com CAP 55-75-E), ambos selecionados pelos mesmos motivos indicados anteriormente, na Alternativa I.

As espessuras de revestimento asfáltico foram determinadas também pelo emprego das duas diferentes metodologias: dimensionamento pelo DNER 667/22 (Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis) e pelo método Paragon (empírico-mecanístico). As espessuras obtidas

por ambos foram cotejadas, e adotada a maior dentre ambas as metodologias citadas, conforme ilustrado no gráfico apresentado a seguir.

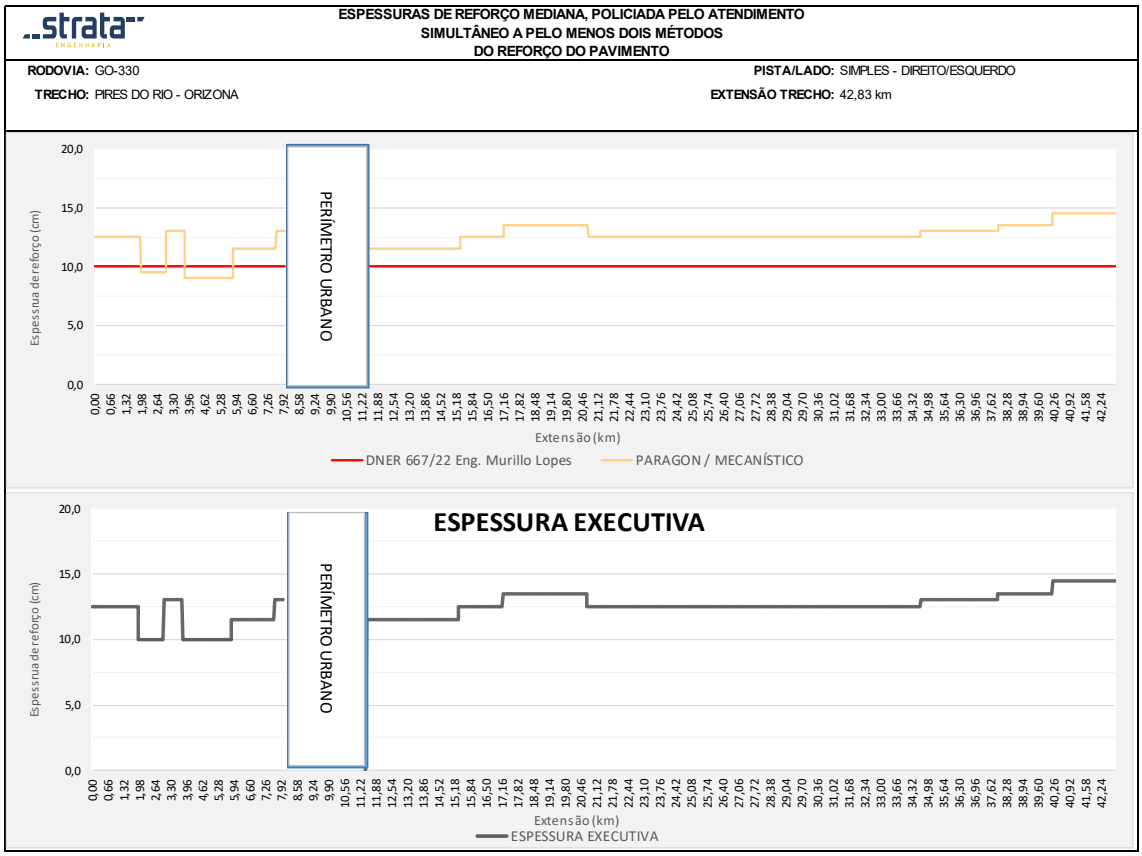


Figura 275 – Espessuras de revestimento asfáltico preconizadas pelo cotejamento das metodologias DNER 667/22 e empírico-mecanística, considerando a maior espessura obtida.

O gráfico acima ilustra **14 segmentos** com espessuras variadas, justificados pelo cotejamento entre as metodologias de dimensionamento aplicadas. Os segmentos preconizados no cotejamento estão apresentados a seguir.

RESUMO DA ESPESSURA DE REFORÇO MEDIANA, POLICIADA PELO ATENDIMENTO SIMULTÂNEO A PELO MENOS DOIS MÉTODOS

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES - DIREITO/ESQUERDO
TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83 km

Nº	SEGMENTO HOMOGÊNEO				EXTENSÃO (m)	ESPESSURA TOTAL DE REVESTIMENTO (cm)
	ESTACA		km			
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	98	0,00	1,96	1.960	12,5
2	98	150	1,96	3,00	1.040	10,0
3	150	190	3,00	3,80	800	13,0
4	190	292	3,80	5,84	2.040	10,0
5	292	382	5,84	7,64	1.800	11,5
6	382	400	7,64	8,00	360	13,0
7	400	574	8,00	11,48	3.480	0,0
8	574	768	11,48	15,36	3.880	11,5
9	768	860	15,36	17,20	1.840	12,5
10	860	1.036	17,20	20,72	3.520	13,5
11	1.036	1.734	20,72	34,68	13.960	12,5
12	1.734	1.896	34,68	37,92	3.240	13,0
13	1.896	2.010	37,92	40,20	2.280	13,5
14	2.010	2.142	40,20	42,83	2.630	14,5

Figura 276 – Resumo da espessura de reforço mediana policiada pelo atendimento simultâneo aos métodos empírico-mecanístico e DNER 667/22.

Para mais, é essencial pontuar que existem degraus elevados entre pista e acostamento quando da consideração da preconização das espessuras de reforço asfáltico previamente calculadas. Os degraus em questão tem o valor médio, hoje, de 13,0 cm. Nesse contexto, valendo-se da máxima de espessuras de degrau não poderem superar os 5,0 cm para a manutenção da segurança da via, a espessura média de **8,0 cm** deverá ser preenchida por CBUQ Faixa "B", o mesmo material da primeira camada a constituir o novo revestimento asfáltico das faixas de rolamento. As espessuras médias são sintetizadas no quadro a seguir.

Alternativa II - Fresagem + Rec.				
SH	km Inicial	km Final	Degrau a ser Preenchido (cm)	
			Calculado	Homogeneizado
1	0,00	1,96	8,0	8,5
2	1,96	3,00	5,0	8,5
3	3,00	3,80	8,5	8,5
4	3,80	5,84	6,0	7,0
5	5,84	7,64	6,5	7,0
6	7,64	8,00	7,0	7,0
7	8,00	11,44	Perímetro Urbano	
8	11,44	15,36	4,0	7,0
9	15,36	17,20	5,5	7,0
10	17,20	20,72	7,0	7,0
11	20,72	34,68	5,5	7,0
12	34,68	37,92	5,0	7,0
13	37,92	40,20	6,0	7,0
14	40,20	42,83	7,5	7,5

Figura 277 – Espessuras de degraus após a execução da alternativa preconizada, a ser preenchido para que a diferença máxima de altura entre pista e acostamento não supere 5,0 cm.

Ainda, é essencial ressaltar que foram mapeados diversos segmentos em se vê necessária a

execução de reparos profundos, dadas as condições do pavimento no tocante a problemas estruturais. Na presente alternativa, como não há qualquer aprimoramento da camada de base existente, é necessário um procedimento de reparos profundos capaz de sanar o problema dos segmentos supracitados. Para o presente caso, optou-se por fresagem do material asfáltico existente, remoção de 20,0 cm do material granular e substituição do mesmo por 20,0 cm de brita graduada simples (BGS), a ser imprimada e sobreposta pelo revestimento asfáltico análogo ao calculado para o segmento em que o reparo se situa. Os segmentos são dispostos a seguir.

SEGMENTO HOMOGÊNEO				
DESCRIÇÃO	km		ESTACA GEOMÉTRICO	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
PISTA - SEG 01	0,000	2,000	0 + 0,00	100 + 0,00
PISTA - SEG 04	6,000	8,000	300 + 0,00	400 + 0,00
PISTA - SEG 08	15,440	17,440	772 + 0,00	872 + 0,00
PISTA - SEG 09	17,440	19,440	872 + 0,00	972 + 0,00
PISTA - SEG 18	35,440	37,440	1.772 + 0,00	1.872 + 0,00
PISTA - SEG 19	37,440	39,440	1.872 + 0,00	1.972 + 0,00

Figura 278 – Segmentos alvos de reparos profundos na Alternativa II.

Posteriormente, apresentam-se a Seção Tipo e os detalhamentos da estrutura estratificada, ambos representativos da Alternativa II de solução:

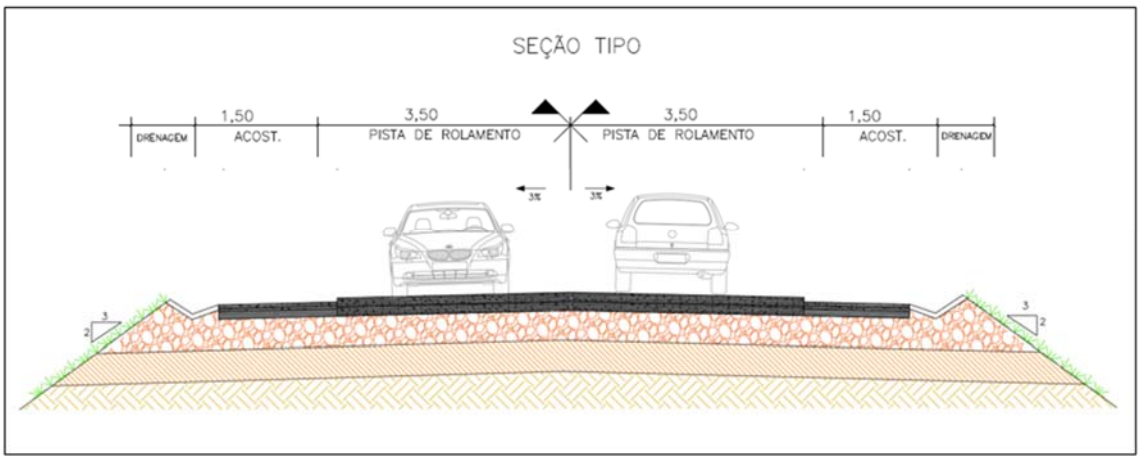


Figura 279 – Seção Tipo relativa à Alternativa II – Fresagem e Recomposição.

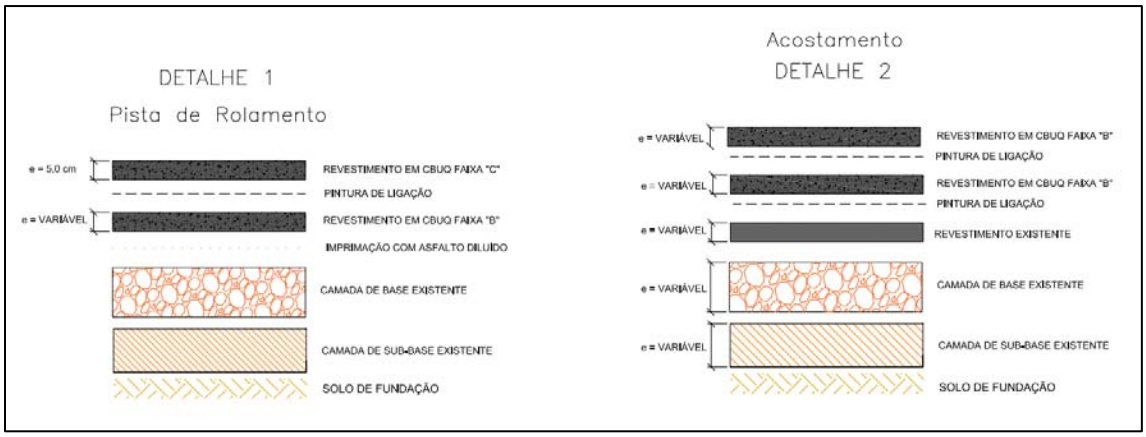


Figura 280 – Detalhamentos do pavimento relativos à Alternativa II – Fresagem e Recomposição.

Consoante ao atendimento da Instrução de Projetos Rodoviários IP-12 da GOINFRA para Projetos de Restauração Estrutural, proceder-se-á no presente tópico com a utilização da matriz de soluções técnicas de restauração do pavimento para aferir o contexto das duas alternativas já abordadas no presente documento.

Os catálogos utilizados serão os constantes na página 17 (Tratamento Superficial) e na página 19 (Concreto Asfáltico) da Instrução de Projetos IP-12, visto que o trecho em estudo denota de ambos tipos de revestimento, e estão representados pela imagem a seguir.

MATRIZ DE SOLUÇÕES TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO											GOINFRA - DOR
Março de 2023							Catálogo para Rodovias com: Tratamento Superficial				
Estado		Bom	Estado Regular ou Ruim								Péssimo estado
Número N	Funcional		30 < IGG ≤ 80			80 < IGG ≤ 150					
10 anos (USACE)	Estrutural	IGG < 30	IRI ≤ 5 TR ≤ 30	IRI > 5 TR ≤ 30	Qualquer IRI TR > 30	IRI ≤ 5 TR ≤ 30	IRI > 5 TR ≤ 30	Qualquer IRI TR > 30			IGG > 150 Ocorrências contínuas de panelas, remendos ruins, rupturas ou deformações
< 5,0E+06	Dc < 100	MR / M1-5 (*)	MR / M1-5 (*)	RL + (H3) ou (M2)	RL + (Rep + Hx) ou (M2)	RL + M2	RL + (Rep + Hx) ou (M2)	RL + (Rep + Hx) ou (M2)			Rec + TS + M2 ou RT + TS + M2
	Dc ≥ 100	MR / M1-5 (*)	RL + M2	RL + (Rep + Hx) ou (M2)	RL + Rep + Hx	RL + Hx	Rec + TS + M2 ou RT + TS + M2	Rec + TS + M2 ou RT + TS + M2			Rec + TS + M2 ou RT + TS + M2
5,0E+06 a 1,0E+07	Dc < 100	MR / M1-5 (*)	RL + M2	RL + Hx	RL + Rep + Hx	RL + M2	RL + Rep + Hx	RL + Rep + Hx			Rec + TS + Hx ou RT + TS + Hx
	Dc ≥ 100	MR / M1-5 (*)	RL + Hx	RL + Rep + Hx	RL + Rep + Hx	RL + Hx	Rec + TS + Hx ou RT + TS + Hx	LIVRE			Rec ou RT + (LIVRE Rev.)
1,0E+07 a 5,0E+07	Dc < 100	MR/M1-5 (1)	RL + (H3) ou (M2)	RL + Rep +Hx	RL + Rep + Hx	LIVRE	LIVRE	LIVRE			Rec ou RT + (LIVRE Rev.)
	Dc ≥ 100	MR/M1-5 (1)	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE			Rec ou RT + (LIVRE Rev.)

Figura 281 – Matriz de Soluções Técnicas de Restauração do Pavimento (Tratamento Superficial) – IP-12 GOINFRA.

MATRIZ DE SOLUÇÕES TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO											GOINFRA - DOR
Março de 2023							Catálogo para Rodovias com: Concreto Asfáltico				
Estado		Bom	Estado Regular ou Ruim								Péssimo estado
Número N	Funcional		30 < IGG ≤ 80				80 < IGG ≤ 150				
10 anos (USACE)	Estrutural	IGG ≤ 30	IRI ≤ 4 TR ≤ 30	4 < IRI ≤ 5 TR ≤ 30	IRI > 5 TR ≤ 30	Qualquer IRI TR > 30 ou F > 10 mm	IRI ≤ 5 TR ≤ 30	IRI > 5 TR ≤ 30	Qualquer IRI TR > 30 ou F > 10 mm		IGG > 150 Ocorrências contínuas de panelas, remendos ruins, rupturas ou deformações
≤ 5,0E+06	Dc < 70 e R ≥ 100	MR / M1-5	MR / M1-5	RL + FD + M2	RL + FD + H3	RL - FC + (H3 ou M2)	RL + FD + M2	RL + FD + H3	RL + FC + Hx		Rec+TS+(Hx ou M2) ou RT+TS+(Hx ou M2)
	70 ≤ Dc < 90 e R ≥ 100	MR / M1-5	RL + FD + M2	RL + FD + (H3 ou M2)	RL + FD + Hx	RL + FC + Hx	RL + FD + (H3 ou M2)	RL + FD + Hx	RL + FC + Hx		Rec+TS+(Hx ou M2) ou RT+TS+(Hx ou M2)
	Dc ≥ 90 ou R < 100	MR / M1-5	RL + FD + Hx	RL + FD + Hx	RL + FD + Hx	RL + FC + Hx	RL + FD + Hx	RL + FD + Rep + Hx	LIVRE		Rec ou RT + (LIVRE Rev.)
5,0E+06 a 1,0E+07	Dc < 60 e R ≥ 100	MR / M1-5	RL + FD + M2	RL + FD + M2	RL + FD + Hx	RL + FC + Hx	RL + FD + (H3 ou M2)	RL + FD + Hx	RL + FC + Hx		Rec+TS+(Hx ou M2) ou RT+TS+(Hx ou M2)
	60 ≤ Dc < 90 e R ≥ 100	MR / M1-5	RL + FD + M2	RL + FD + Hx	RL + FD + Hx	RL + FC + Hx	RL + FD + Hx	RL + FD + Rep + Hx	RL + FC + Hx		Rec + TS + Hx ou RT + TS + Hx
	Dc ≥ 90 ou R < 100	MR / M1-5	RL + FD + Hx	RL + FD + Hx	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE		Rec ou RT + (LIVRE Rev.)
1,0E+07 a 5,0E+07	Dc < 50 e R ≥ 100	MR / M1-5	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE		Rec ou RT + (LIVRE Rev.)
	50 ≤ Dc < 90 e R ≥ 100	MR / M1-5	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE		Rec ou RT + (LIVRE Rev.)
	Dc ≥ 90 ou R < 100	MR / M1-5	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE	LIVRE		Rec ou RT + (LIVRE Rev.)

Figura 282 – Matriz de Soluções Técnicas de Restauração do Pavimento (Concreto Asfáltico) – IP-12 GOINFRA.

Foi criada uma tabela específica que relaciona cada um dos segmentos homogêneos definidos a uma solução do catálogo supracitado, de acordo com seus parâmetros caracterizadores – Número "N", IRI, Flecha, IGG e Deflexões Características, a qual se dispõe a seguir.

APLICAÇÃO DA MATRIZ DE SOLUÇÕES TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO - IP-12 (GOINFRA)												
SH	km Inicial	km Final	Dc (10^-2mm)	Rc (m)	IGG	ATR LD (%)	ATR LE (%)	IRI LD	IRI LE	IRI Máx	Solução Segundo o Catálogo de Rodovias (Concreto Asfáltico)	Solução Segundo o Catálogo de Rodovias (Tratamento Superficial)
1	0,00	2,00	76,0	97	96	85,0	65,0	5,0	4,8	5,0	LIVRE	
2	2,00	4,00	81,2	104	38	36,0	33,0	3,5	4,2	4,2	-	LIVRE
3	4,00	6,00	67,1	93	95	92,0	81,0	5,0	3,9	5,0	-	LIVRE
4	6,00	8,00	91,2	75	103	73,0	70,0	2,9	5	5,0	-	LIVRE
5	8,00	11,44	PERÍMETRO URBANO									
6	11,44	13,44	56,1	115	34	63,0	31,0	2,7	3,4	3,4	LIVRE	
7	13,44	15,44	64,9	97	55	59,0	16,0	3,0	3,5	3,5	LIVRE	
8	15,44	17,44	81,4	82	154	100,0	99,0	5,8	8,4	8,4	LIVRE	
9	17,44	19,44	91,4	72	99	90,0	93,0	5,2	6,6	6,6	LIVRE	
10	19,44	21,44	76,3	98	67	69,7	73,7	2,5	3,8	3,8	LIVRE	
11	21,44	23,44	67,3	97	46	57,0	60,0	2,3	3,8	3,8	LIVRE	
12	23,44	25,44	65,7	97	70	67,0	51,0	2,8	3,3	3,3	LIVRE	
13	25,44	27,44	63,5	102	56	58,0	58,0	2,0	2,6	2,6	LIVRE	
14	27,44	29,44	73,0	105	39	34,0	46,0	2,0	2,4	2,4	LIVRE	
15	29,44	31,44	77,5	95	25	58,0	36,0	2,0	1,9	2,0	LIVRE	
16	31,44	33,44	60,8	113	40	46,0	40,0	2,0	2,3	2,3	LIVRE	
17	33,44	35,44	85,9	76	53	56,0	54,0	1,9	3	3,0	LIVRE	
18	35,44	37,44	86,7	87	140	94,0	98,0	3,6	5,7	5,7	LIVRE	
19	37,44	39,44	76,2	85	133	86,0	88,0	3,2	6,4	6,4	LIVRE	
20	39,44	42,83	84,0	96	78	62,4	59,4	2,5	3,5	3,5	LIVRE	

Matriz de Soluções Técnicas de Restauração do Pavimento (Tratamento Superficial) – IP-12 GOINFRA.

Da aplicação da matriz de soluções técnicas da IP-12, conclui-se que os procedimentos preconizados pela mesma estão de acordo com àqueles adotados nas Alternativas I e II expostas pela projetista, uma vez que houve predomínio de soluções livres.

4.2.9.2.Comparativo de Custos das Alternativas de Solução

- Restauração

As composições referenciais da GOINFRA utilizadas para cada uma das soluções de restauração, bem como os custos totais e por quilômetro para cada uma delas, serão dispostos nas tabelas a seguir.

Composições e Quantidades - Alternativa I				
CÓDIGO	FONTE	DISCRIMINAÇÃO	UND.	QUANT.
40625M	GOINFRA	Reciclagem com Adição de 2% de Cimento e Incorporação do Revestimento Asfáltico à Base	m³	45.495,45
40380	GOINFRA	Imprimação com EAI	m²	259.974,00
40609	GOINFRA	Tratamento Superficial Duplo - TSD (BC)	m²	259.974,00
40602	GOINFRA	Concreto Asfáltico com Polímero - Faixa C	m³	10.398,96
40618	GOINFRA	Concreto Asfáltico com Polímero - Faixa B	m³	24.992,04
40385	GOINFRA	Pintura de Ligação	m²	744.288,00

Composições e Quantidades - Alternativa II				
CÓDIGO	FONTE	DISCRIMINAÇÃO	UND.	QUANT.
40470	GOINFRA	Fresagem Contínua do revestimento Asfáltico	m³	11.942,70
40466	GOINFRA	Fresagem Descontínua para Reparo Profundo - Material Granular	m³	15.840,00
40607	GOINFRA	Estabilização Brita Graduada - Usina (BGS Para Recomposição do Reparo Profundo)	m³	15.840,00
40380	GOINFRA	Imprimação com Asfalto diluído	m²	259.974,00
40602	GOINFRA	Concreto Asfáltico com Polímero - Faixa C	m³	12.998,70
40618	GOINFRA	Concreto Asfáltico com Polímero - Faixa B	m³	31.253,43
40385	GOINFRA	Pintura de Ligação	m²	1.004.262,00
-	-	Espalhamento de Material Fresado	m²	8.954,50

Figura 283 – Composições e quantidades – Restauração.

DEMONSTRATIVOS DE CUSTOS DE SERVIÇOS			
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	R$	R$/km
	ORÇAMENTO		
1	ALTERNATIVA I	R$ 86.476.963,47	R$ 2.035.230,96
2	ALTERNATIVA II	R$ 108.491.579,62	R$ 2.553.343,84

Figura 284 – Demonstrativos de custos de serviços – Restauração.

Foi submetido à GOINFRA como uma entrega preliminar à Etapa 3 uma documento intitulado Proposta de Alternativas, aos modelos do órgão contratante, em que foram expostas as duas alternativas – também explanadas no presente arrazoado – e indicada aquela que a consultora julgou como mais eficiente tecnicamente (**Alternativa I**), atentando-se aos dizeres da IP-12 sobre a indicação de alternativa específica em relação às eventuais diferenças de custo. Conforme passagem da Proposta de Alternativas em questão, tem-se:

"Diante das soluções apresentadas, acreditamos que a Alternativa de Solução I é a mais indicada para o trecho, uma vez que se trata da solução que que além de assegurar o pleno atendimento da estrutura existente ao período de vida útil determinado, também promoverá o maior ganho estrutural ao pavimento, tanto pela obtenção de uma nova camada de base notavelmente mais resistente, quanto pela execução da maior espessura de de revestimento preconizada pelos métodos DNER 667/22 e Empírico-mecanística (Paragon).

Todavia, é fundamental ressaltar que mesmo que a diferença econômica entre as duas Alternativas seja da ordem de 15%, seguindo as diretrizes expostas a baixo, e contidas na normativa IP-12/2023 (GOINFRA), a Alternativa II deveria ser escolhida, uma vez que apresenta um custo de restauração inferior:

'Independente do volume do tráfego:

4º) Deverá ser escolhida a alternativa de intervenção mais econômica quando comparados as estimativas de custo dos conjuntos de solução de restauração somados com as suas estimativas de custo de conservação para igual período, combatíveis com a evolução natural de trincamento ao longo do tempo.

5º) Deverá ser escolhida a alternativa de intervenção mais econômica quando comparados as estimativas de custo apenas dos conjuntos de solução de restauração.'"

4.2.10. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO CONSIDERANDO A RECICLAGEM DA CAMADA DE BASE

4.2.10.1. Considerações Gerais

Conforme descrito anteriormente, a definição da espessura do revestimento asfáltico a ser executado após o procedimento fresagem e recomposição do revestimento deverá se fundamentar em um cotejamento entre a espessura definida pela aplicação da normativa vigente DNER 667/22 (***Método de Projeto de Pavimentos Rodoviários – DNIT***), e a espessura determinada pela avaliação empírico-mecanística (***Fundamentos da Mecânica dos Pavimentos***) do pavimento.

Para aplicação da metodologia fundamentada no ***Critério da Resistência***, tendo-se selecionado para o efeito o ***Método de Projeto de Pavimentos Rodoviários – DNIT***, desenvolvido pelo saudoso *Dr. Murillo Lopes de Souza*, teve-se em conta os valores das *capacidades de suporte do reforço do solo de fundação e das camadas do pavimento existentes*, todos expressos em termos dos valores CBR; os valores obtidos foram determinados após a realização de ensaios com as amostras colhidas "in situ", retrabalhadas em laboratório.

Seguidamente, com o objetivo de se aferir os resultados obtidos utilizando o ***Critério Mecanístico,*** selecionou-se o método Paragon (anteriormente descrito), procedimento que permitiu a definição das espessuras demandadas contemplando *as resistências à fadiga da nova camada asfáltica e à deformação permanente do solo de fundação*, as quais foram determinadas tendo em conta o cotejamento entre os esforços atuantes e os esforços resistentes máximos admissíveis, definidos pelas leis previsionais das resistências retrocitadas; para a aplicação desta metodologia considerou-se a estrutura física remanescente traduzida pelas espessuras e pelos valores modulares das camadas de revestimento, de base, reforço do subleito e dos solos de fundação anteriormente definidos (retroanálises).

4.2.10.2. Dimensionamento pelo Critério Resistência (Método DNIT)

Considerando que a alternativa em voga contempla a execução de um novo revestimento asfáltico, julgou-se apropriado e pertinente avaliar e dimensionar a solução prevista pela aplicação de um método alicerçado no ***Critério da Resistência***, tendo-se selecionado para o efeito o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT desenvolvido pelo ***Dr. Murillo Lopes de Souza.*** Além de verificar se as camadas existentes atendem ao necessário de acordo com a metodologia aludida. Desse modo, o presente dimensionamento foi desenvolvido visando o aproveitamento das camadas granulares constitutivas do pavimento existente. Complementarmente, cumpre lembrar que as concepções e os dimensionamentos efetuados contemplaram as cargas a serem impingidas pelos veículos comerciais pesados ao longo de uma duração de vida de 10 anos.

Assim considerando, para elaboração dos projetos de reconstruções parciais e totais, foram promovidos primeiramente Estudos Geotécnicos visando a determinação das características físicas, mecânicas e de resistência dos materiais componentes dos solos de fundação e das camadas constitutivas dos pavimentos existentes; para o efeito, foram contempladas:

- a prospecção das camadas constitutivas dos pavimentos existentes e dos respectivos solos de fundação e reforço do subleito, a coleta de amostras para definição das características granulométricas, de plasticidade, de expansão e de capacidade de suporte (definição do ISC de projeto);

Ademais, os projetos foram desenvolvidos com base na estimativa da quantidade e magnitude das solicitações a serem impostas ao pavimento durante sua futura prestação de serviços ("vida

de projeto"), parâmetros que foram avaliados a partir do cálculo do Número "N" – número de solicitações do eixo simples padrão de rodas duplas de 8,2 t – determinado com base nos fatores de equivalência do USACE.

a) Determinação do Número "N"

A partir das informações e orientações fornecidas, considerou-se o número de aplicações do eixo-padrão expressado pelo Número N, levando em conta os fatores de equivalência de carga **FEC/USACE** para um período acumulado desde o ano de abertura, 2026, durante um período de vida de 10 anos.

Nesse sentido, apresenta-se a seguir um resumo do cálculo do número N, resultado esse utilizado para o dimensionamento do pavimento:

PROJEÇÃO DO "VMDA" E DO NÚMERO "N"										
RODOVIA: GO-330						**POSTO:** P05				
Ano	Volume Médio Anual de Tráfego (VMDA)					Valores do Número "N"				Observações
	Veículos-tipo				Total	USACE		AASHTO		
	Moto	Passeio	Coletivo	Carga		Ano a Ano	Acumulado	Ano a Ano	Acumulado	
2023	332	4.315	102	1.521	6.270	2,52E+06	***	6,99E+05	***	Pesquisa
2024	342	4.444	105	1.567	6.458	2,60E+06	***	7,20E+05	***	
2025	352	4.578	108	1.614	6.652	2,67E+06	2,67E+06	7,41E+05	7,41E+05	1º ano
2026	363	4.715	111	1.662	6.851	2,75E+06	5,43E+06	7,63E+05	1,50E+06	
2027	374	4.857	115	1.712	7.057	2,84E+06	8,26E+06	7,86E+05	2,29E+06	
2028	385	5.002	118	1.763	7.269	2,92E+06	1,12E+07	8,10E+05	3,10E+06	
2029	396	5.152	122	1.816	7.487	3,01E+06	1,42E+07	8,34E+05	3,93E+06	5º ano
2030	408	5.307	125	1.871	7.711	3,10E+06	1,73E+07	8,59E+05	4,79E+06	
2031	421	5.466	129	1.927	7.943	3,19E+06	2,05E+07	8,85E+05	5,68E+06	
2032	433	5.630	133	1.985	8.181	3,29E+06	2,38E+07	9,12E+05	6,59E+06	
2033	446	5.799	137	2.044	8.426	3,39E+06	2,72E+07	9,39E+05	7,53E+06	
2034	460	5.973	141	2.105	8.679	3,49E+06	**3,06E+07**	9,67E+05	**8,50E+06**	10º ano
Composição Percentual do Tráfego (%)				Parâmetros Adotados no Cálculo do Número de Operações do Eixo-padrão de 8,2 t - Número "N"						
Moto	Passeio	Coletivo	Carga	Fatores de Veículo - FV				Fator Climático		Fator de Pista
5,30	68,82	1,63	24,26	FV_{USACE}		FV_{AASHTO}		FR		FP
Taxas de Crescimento do Tráfego (%)				8,507		2,359		1,000		0,500
Moto	Passeio	Coletivo	Carga	Ano Inicial para o Cálculo do Número "N"						2025
3,00	3,00	3,00	3,00	Período de Projeto para o Cálculo do Número "N"						10 anos

Figura 285 – Número N utilizado na metodologia DNER 667/22 – P05

$$N_{USACE} = 3{,}06 \times 10^{7}$$

b) Determinação da espessura mínima do revestimento

Para o valor de número "N" representativo do tráfego na rodovia GO-330, o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER para o pavimento da pista principal recomenda como revestimento uma camada betuminosa com no mínimo **10,0 cm** de espessura:

Tabela 22 – Espessura mínima de revestimento asfáltico

NÚMERO "N"	ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO
$10^7 < N < 5x10^7$	Revestimento asfáltico com 10 cm de espessura

c) Determinação do valor do ISC de projeto (IS_{PROJ})

Os valores de IS_{PROJ} foram definidos através de análises e estudos estatísticos dos resultados obtidos em ensaios de laboratório processados com amostras representativas do solo de fundação do trecho em questão. A coleta das amostras, os ensaios e as análises foram realizados tal como exposto nos *Estudos Geotécnicos*.

Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente e o resumo obtido é indicado no quadro apresentado a seguir; os valores de ISC e expansão foram definidos nas condições ótimas de compactação da energia correspondente ao Proctor Normal.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

DENOMINAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA OBRA

RODOVIA: GO- 330
TRECHO: ORIZONA/ PIRES DO RIO- GO-020 (PRÓXIMO RONCADOR)
EXTENSÃO: 42,49 km

PROCEDÊNCIA DO MATERIAL

CAMADA DO PAVIMENTO - SUBLEITO

ELABORAÇÃO: ..strata ENGENHARIA

PARÂMETRO	LIMITES		GRANULOMETRIA							COMPACTAÇÃO		12 GOLPES		IG
ESTATÍSTICO	LL	IP	2"	1"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	Hót	D max.	Exp.	CBR	
N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
$\bar{X}$	32	9	99	99	94	88	79	68	43	14,8	1,813	0,13	15,44	
σ	4,21	1,83	2,58	3,21	11,79	15,34	19,73	20,83	13,22	2,04	0,11	0,13	6,74	
µmín	31	9	99	98	91	84	73	62	39	14,2	1,779	0,09	13	2
µmáx	34	10	100	100	98	93	85	74	47	15,4	1,847	0,17	17	
Xmín	28	7	97	96	83	73	60	48	30	12,8	1,702	0,00	9	
Xmáx	37	11	100	100	100	100	98	88	56	16,8	1,925	0,26	22	

Figura 286 - Análise estatística do estudo do subleito – Pista Simples (Proctor normal: 12 golpes).

Os resultados obtidos evidenciaram fundamentalmente que os solos de fundação externaram valores de CBR médios (Proctor Normal) da ordem dos 15,44% ao longo do trecho. O desvio padrão é consideravelmente elevado, atingindo 6,74%. Destarte, julgou-se prudente trabalhar com os valores estatísticos que levam em consideração as variações amostrais, tendo-se optado pelo valor do Xmín obtido, valor que garante o atendimento estrutural ao longo de toda a rodovia.

- **Proctor Normal: ISC (mínimo) – Pista Simples = 9%**

Na sequência, determinou-se o *índice de suporte a ser adotado no dimensionamento da estrutura do pavimento* (**IS_{PROJ}**), o qual foi processado tendo em conta o emprego do valor de ISC mínimo, supracitado, devidamente policiado pelo Índice de Suporte – IS definido em função do Índice de Grupo. Na definição do Índice de Grupo, o valor de Índice de Grupo IG obtido foi igual a 2 (IG=2), ao qual corresponde ao valor do IS_{IG} = 15%, para Pista Simples, conforme definido na tabela apresentada a seguir:

Tabela 20 – Valores de IS_{IG} em função do IG

Valores de IS_{IG} em Função do IG				
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	**Índice de grupo IG**			**Índice de suporte IS_{IG}**
	0			**20**
	1			**18**
Proctor Normal	**2**			**15**
	3			**13**
	4			**12**
	5			**10**
	6			**9**
	7			**8**
	8			**7**
	9	**A**	**10**	**6**
	11	**A**	**12**	**5**
	13	**A**	**14**	**4**
	15	**A**	**17**	**3**
	18	**A**	**20**	**2**

Assim procedendo e tendo em conta que:

$$\mathbf{IS_{PROJ} = (IS_{IG} + ISC_{CBR}) / 2}$$

Obteve-se:

- Proctor Normal: IS_{PROJ} (Pista Simples) = (15 + 9) / 2 = 12%

Tendo em vista que o cálculo do IS_{PROJ} resultou em valor maior do que o ISC mínimo apresentado pelo subleito, optou-se por escolher o último como o valor de projeto. Portanto:

$$\mathbf{IS_{PROJ}\ (Pista\ Simples) = 9{,}0\%}$$

d) Camadas Granulares Existentes e Propostas

✓ <u>Base granular proposta</u>

A camada de base granular existente, é composta por um cascalho com características lateríticas, em praticamente toda a extensão do trecho, exceto em alguns pontos em que foi constatado um solo com composição quartzosa. A referida estrutura até então existente é disposta a seguir, em um linear de espessuras.

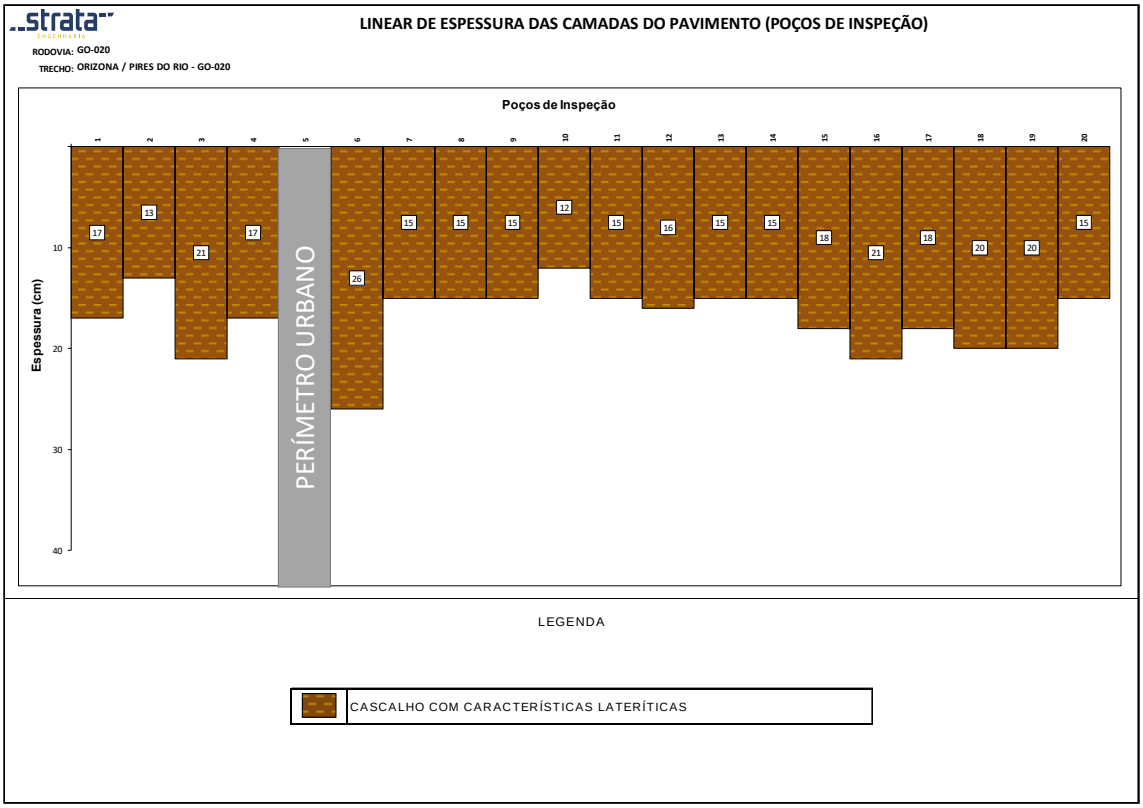


Figura 127 – Linear de Espessuras da Camada de Base Existente

Através da aplicação da metodologia normativa DNER 667/22, a base reciclada contará com uma espessura constante de ***17,5 cm***, essencialmente composta por 3,0cm do material fresado e 14,5cm do material granular existente.

✓ Sub-base existente

Paralelamente, considerando-se as variações de espessuras detectadas na camada de sub-base prospectadas, é necessário definir uma espessura representativa para a referida camada no processo de dimensionamento normatizado (Dr. Engº Murillo Lopes de Souza). Dispõe-se a seguir, para este fim, o linear de espessuras da camada de sub-base existente.

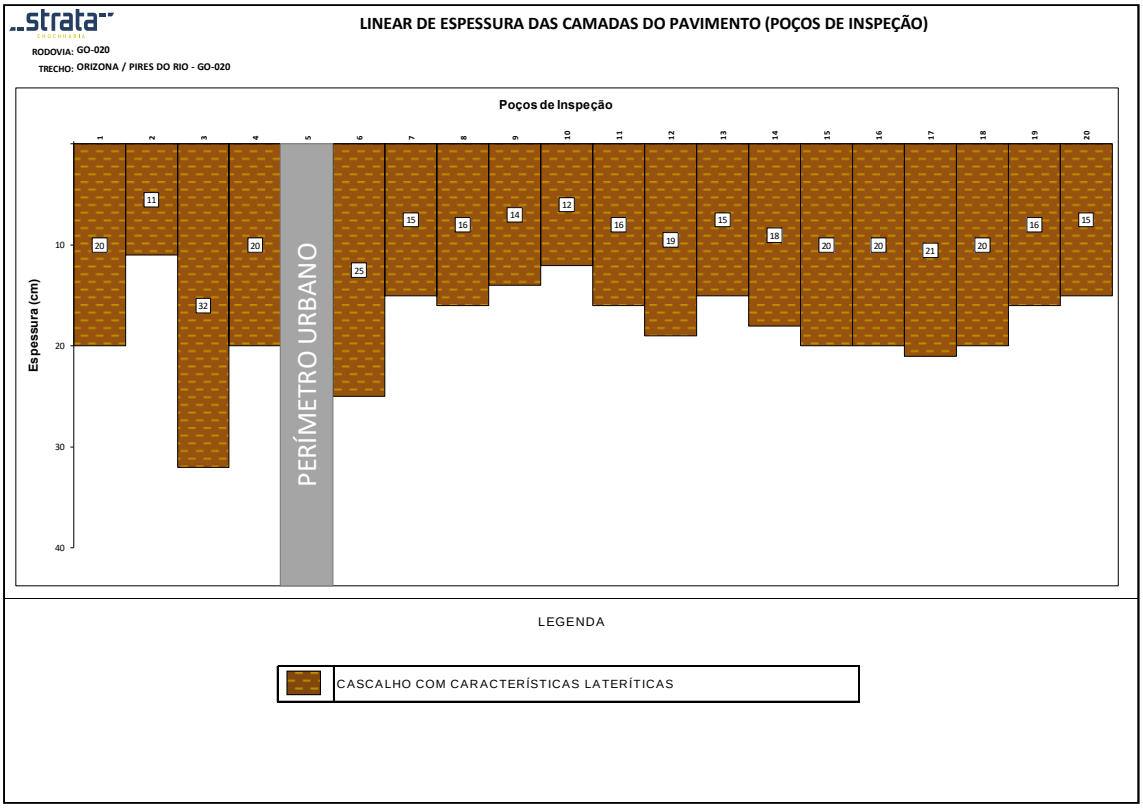


Figura 129 - Linear de espessuras da camada de sub-base existente

Procurou-se determinar, também, um valor representativo das espessuras existentes de sub-base granular. Julgou-se que a consideração de uma camada de sub-base com espessura mínima igual a ***18,0 cm*** representaria, com fidelidade, a realidade do trecho.

e) Dimensionamento do Pavimento – Procedimentos de Cálculo

Para efeito de cálculo, o número N considerado será o referente ao obtido pelo posto de contagem, cujo valor é descrito a seguir:

$$\mathbf{N_{\ (\ USACE\ adotado)} = 3{,}06 \times 10^{7}}$$

o qual, em conjunto com a resistência do subleito (CBR), permite calcular a espessura total do pavimento (H_t) em termos de material granular (com coeficiente estrutural K=1,0) através da equação:

$$H_t = 77{,}67 \times N^{\,0{,}0482} \times CBR^{\,-0{,}598}$$

ou seja:

$$H_t = 77{,}67 \times (3{,}06 \times 10^{7})^{\,0{,}0482} \times (9)^{\,-0{,}598}$$

$$\mathbf{H_t\ (Pista\ Simples) = 47{,}91\ cm}$$

Seguidamente, promoveu-se o cálculo do H_{20} (sub-base), condição esta que estabelece, como fator de segurança, a consideração de um valor de CBR para a camada de sub-base sempre igual a 20%. Sobre esse particular cabe ressaltar que embora não se admitindo o emprego de materiais com valores CBR < 20% para composição desta camada de sub-base, caso o material selecionado externe capacidade de suporte traduzida por CBR > 20%, deve-se, mesmo assim, adotar o valor 20%; na prática, esta proposição se manifesta como um coeficiente de segurança.

Assim, considerando número ***N = 3,06 x 10^7*** e um material com ***CBR = 20%***, verifica-se que a espessura de material granular padrão necessária à proteção da sub-base é igual substancialmente a:

H_{20} (Pista Simples) = 35,66 cm

Espessura de Base Preconizada: B >= 15,66 cm

Espessura Média de Base Existente: B = 17,5 cm

Em relação aos coeficientes de equivalência estrutural foram adotados os valores a seguir:

Tabela 24 – Coeficientes estruturais

MATERIAL DE CONSTITUIÇÃO	COEFICIENTE ESTRUTURAL
Revestimento (K_R)	2,0
Base granular (K_B)	1,0
Sub-base granular (K_S)	1,0

Finalmente, foi processado o dimensionamento das espessuras necessárias à composição do sistema estratificado; para o efeito, levou-se em conta as inequações desenvolvidas pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza, a seguir descritas:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_n$$

$$10,0 \times 2,0 + B \times 1,0 + SB \times 1,0 \geq 47,91$$

$$5,0 \times 2,0 + 15,66 \times 1,0 + SB \times 1,0 \geq 47,91$$

Espessura de Sub-base Preconizada: SB > 10,91 cm

Espessura de Sub-base Existente: SB = 18,0cm

Uma vez que as espessuras médias de base e sub-base existentes são de 17,0 cm e 18,0 cm, respectivamente, considera-se que tanto as espessuras de **base** quanto as espessuras de **sub-base** existentes são **superiores ao necessário pela metodologia DNER 667/22**, ou seja, atendem à nova estrutura proposta.

Dimensionamento do Pavimento pelo Método do DNER

(Eng.º Murillo Lopes de Souza)

Rodovia GO-330

Trecho: ENTR GO-020 / ENTR GO-219 - ORIZONA

Extensão: 42,83 km

Características do subleito

$ISC_{PROJETO}$ = 9

Características do reforço

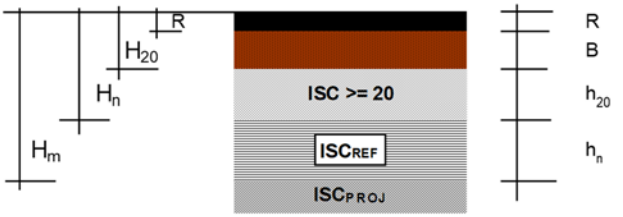
ISC_{REF} =

Características dos materiais empregados no pavimento

	Coeficiente de Equivalência Estrutural		ISC (%)	
Base	$K_{B=}$	1,00	80	⇦ ISC > 80 para Tráfego > 5x10^6
Sub-Base	$K_{S=}$	1,00	20	
Reforço	$K_{ref=}$	2,00	-	

Revestimento	$K_{R=}$	2,0	Espessura	10,00	cm	CBUQ

ESPESSURAS EQUIVALENTES



H_{20}	35,66
H_n	47,91
H_m	-

Parâmetros atuantes no pavimento

Número terminal de solicitações do eixo-padrão (USACE)	3,06E+07
Pressão de contato pneu-pavimento	81,52

Cálculo das espessuras

Base $R*K_R + B*K_B \geq H_{20}$

	B ≥	15,66	cm
adotado	**B =**	**17,50**	**cm**

Sub-Base $R*K_R + B*K_B + h_{20}*K_S \geq H_n$

	h_{20} ≥	10,41	cm
adotado	h_{20} =	18,00	cm

RESUMO DAS ESPESSURAS ADOTADAS

Camada	Esp Eq. (cm)
Revestimento	20,0
Base	17,5
Sub-Base	18,0
Reforço	0,0
Total	**55,5**

Observação:

Figura 287 - Dimensionamento do Pavimento pelo Método do DNER.

RESUMO DA ESPESSURA DE REFORÇO - MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DNER 667/22

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES - DIREITO/ESQUERDO

TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83

SEGMENTO HOMOGÊNEO						ESPESSURA TOTAL DE REVESTIMENTO (cm)
Nº	ESTACA		km		EXTENSÃO (m)	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	2.142	0,00	42,83	42.830	10,0

Figura 288 - Resumo das espessuras de revestimento determinadas pelo critério da resistência.

4.2.10.3. Dimensionamento pelo Critério Mecanístico (Método PARAGON)

Para a aplicação do método mecanístico considerou-se a disposição do sistema estratificado existentes, cujos módulos das camadas granulares e solo de fundação foram obtidos a partir da retroanálise. Quanto ao revestimento existente, considerou-se a remoção do mesmo de todas as iterações mecanísticas. O módulo do novo revestimento a ser dimensionado foi determinado de forma idêntica ao que foi realizado considerando uma camada de reforço, exposto no 4.2.8.3.4. Ou seja, considerou-se um revestimento asfáltico composto de ligante modificado com polímero, com módulo de 40.900 kgf/cm².

Promoveram-se, então, os cálculos dos principais esforços solicitantes da estrutura estratificada:

- ✓ os esforços de tração horizontal máximos ocorrentes na fibra mais tracionada da ***camada de revestimento proposta*** – fibra inferior – os quais foram cotejados com o esforço resistente máximo admissível, intrínseco à mistura asfáltica selecionada (verificação da resistência à fadiga) e;

- ✓ os esforços verticais de compressão máximos atuantes no topo do ***solo de fundação***, os quais foram devidamente cotejados com o esforço máximo de compressão admissível (verificação da resistência à deformação permanente).

Cabe ressaltar que a lei preditiva para cálculo da resistência à fadiga para a camada de reforço – ou, no presente caso, para a camada de revestimento a se sobrepor à base granular existente – é definida pelo modelo do *The Asphalt Institute*; e para a lei de resistência a deformação permanente utilizou-se o modelo definido pela *Shell Koninklijke Laboratorium Amsterdam - SKLA,* conforme já exposto anteriormente.

Diante do exposto, os resultados obtidos são apresentados a seguir em representações gráficas.

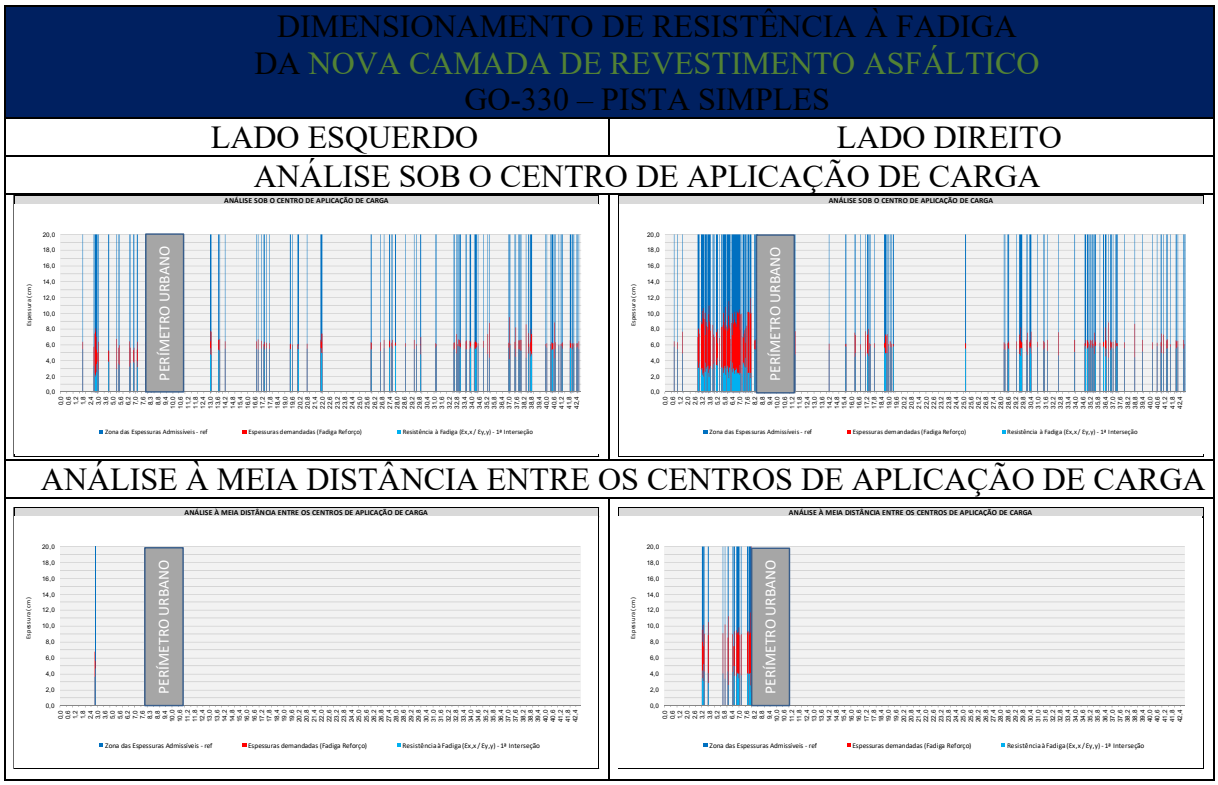


Figura 289 – Verificação da Resistência à Fadiga da Nova Camada de Revestimento – GO-330.

Da análise dos resultados obtidos quanto a verificação da resistência à fadiga na face inferior da nova camada de revestimento asfáltico pôde-se constatar fundamentalmente que:

a) Constatam-se duas gamas de espessuras que atendem ao critério de dimensionamento quando cotejados os esforços atuantes com o esforço resistente máximo admissível pertinente à mistura asfáltica selecionada: a gama das espessuras inferiores à espessura definida pela primeira interseção da curva "esforços atuantes versus espessuras", com o esforço resistente máximo admissível, no caso presente, da ordem dos 3,0 cm e a gama das espessuras superiores àquelas definida pela segunda interseção, a qual estabeleceu espessuras mínimas da ordem dos 8,0 cm a 10,0 cm; a não obediência a tais limites implica em se selecionar espessuras dispostas na zona das "espessuras proibidas", na qual os valores das tensões de tração atuantes sobrepõem aos esforços resistentes, condição que seguramente compromete o desempenho da camada de reforço, reduzindo sua expectativa de desempenho.

b) Ademais, na análise dos esforços atuantes, percebe-se uma constância maior de demandas de espessuras asfálticas no centro de aplicação das cargas em relação à meia distância entre as cargas duplas. Salienta-se que essas espessuras foram definidas de forma a garantir que os esforços de tração na fibra inferior da nova camada de revestimento asfáltico se situem aquém do limite de resistência máximo admissível, considerando o número de solicitações previstas para sua prestação de serviços futura, estimada em 10 anos. Em suma, a linha de influência mais severa ocorre mais especificamente sob as cargas individuais, propiciando o desenvolvimento de esforços de tração mais acentuados, o que se confirma pela constatação de que os esforços de tração horizontal desenvolvidos na face inferior da camada de reforço sob o centro de

aplicação da carga existem. As análises processadas à meia distância, entre os centros de aplicação de duas cargas, evidenciaram também a existência de demandas constantes de espessuras asfálticas, porém de magnitudes inferiores às requeridas pela análise no centro de aplicação de cargas.

c) De forma complementar, cabe destaque a certa similitude externada pelo pavimento de ambas as faixas de tráfego no que concerne às demandas do pavimento em termos de proteção da camada de revestimento proposta aos esforços de fadiga, principalmente no trecho revestido por TSD; as carências estruturais distribuídas ao longo de todo o pavimento se apresentam e se concentram em ambas as faixas de tráfego de forma homozigótica, comportando-se de forma gemelar, siamêsa; a visualização gráfica exalta esse comportamento espelhado.

❖ Verificação da Resistência à Deformação Permanente no Topo no Subleito

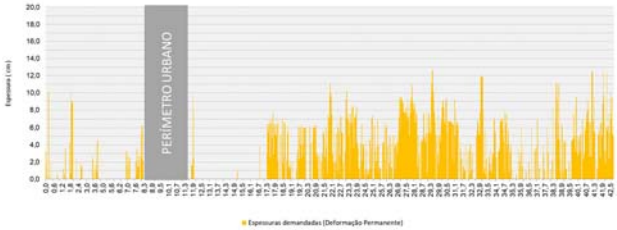
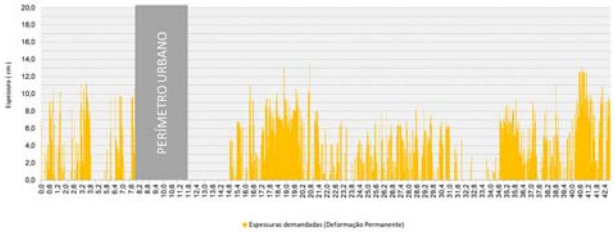
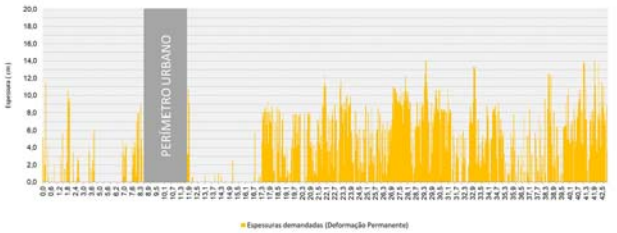
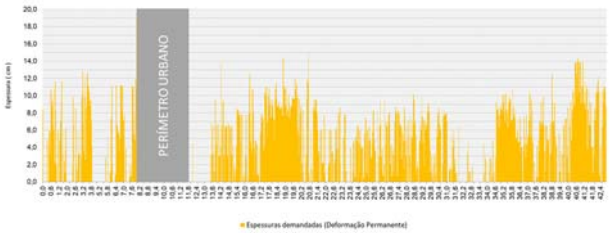
DIMENSIONAMENTO DE RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO PERMANENTE NO TOPO DO SUBLEITO GO-330 – PISTA SIMPLES	
LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
ANÁLISE SOB O CENTRO DE APLICAÇÃO DE CARGA	
	
ANÁLISE À MEIA DISTÂNCIA ENTRE OS CENTROS DE APLICAÇÃO DE CARGA	
	

Figura 290 – Verificação da Deformação Permanente no topo do solo de fundação – GO-330

Da análise dos resultados obtidos quanto a verificação da resistência à deformação permanente no topo do subleito pôde-se constatar fundamentalmente que:

a) Constatou-se que o solo de fundação apresenta, de forma geral, uma significativa carência estrutural, principalmente em razão do revestimento, devido à insuficiência das espessuras, conforme os dados obtidos por sondagem. Essas espessuras são inadequadas para suportar o tráfego atuante, conforme a metodologia DNER 667/22.

b) Tal como anteriormente constatado, verificou-se também que os esforços de compressão vertical desenvolvidos no topo do solo de fundação quando calculados à

meia distância entre os centros de aplicação de duas cargas são sutilmente mais acentuados que aqueles verificados sob o centro de aplicação da carga, condição essa atestada pela maior intensidade de ocorrências e pela demanda de espessuras máximas mais robustas;

- ❖ Cotejamento entre as Espessuras requeridas para as Resistências à Fadiga das Camadas Asfálticas e à Deformação Permanente do Solo de Fundação

Finalmente, é possível promover a "decoupage" dos agrupamentos populacionais das espessuras de reforço requeridas em tramos homogêneos, para o quais se aplicou a regra do octogésimo percentil, conforme apresentado a seguir.

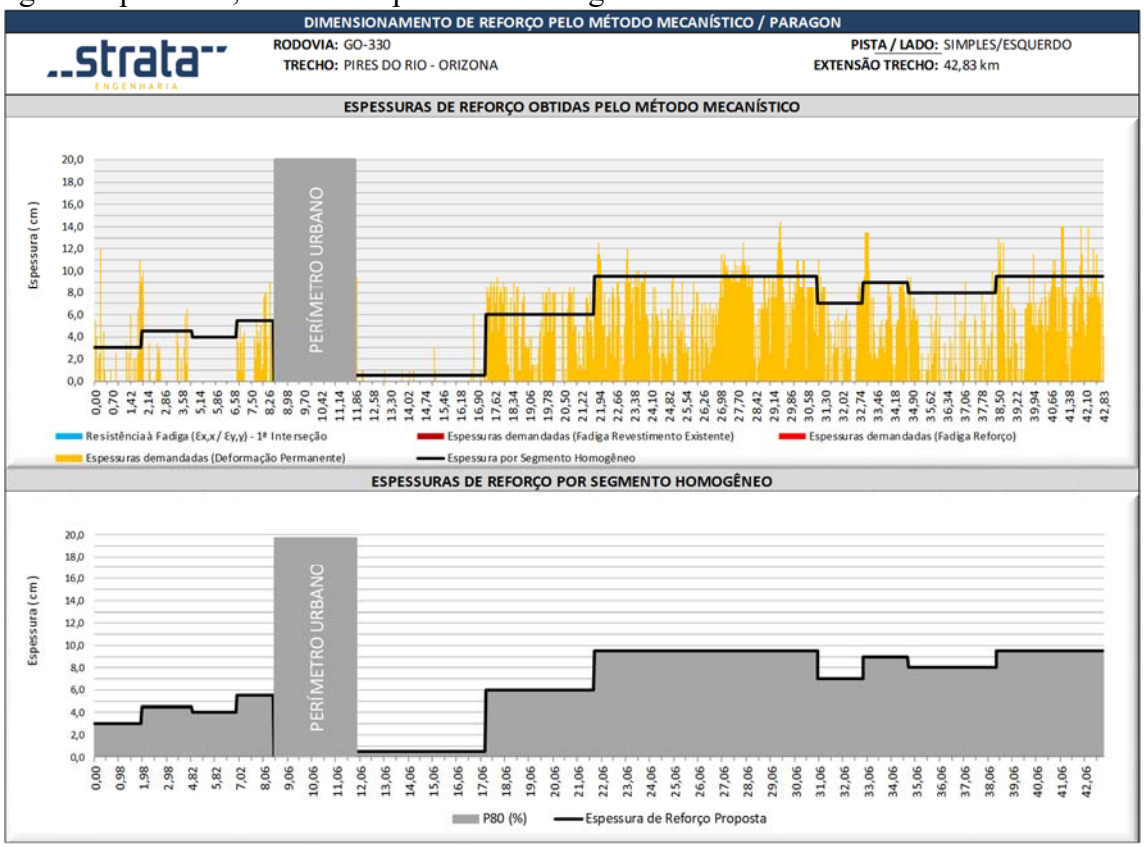


Figura 291 – Espessuras de Reforço Obtidas pelo Método Mecanístico / Paragon
Pista Simples / Lado Esquerdo – Retirando o Revestimento Existente – km 0,0 ao km 42,830

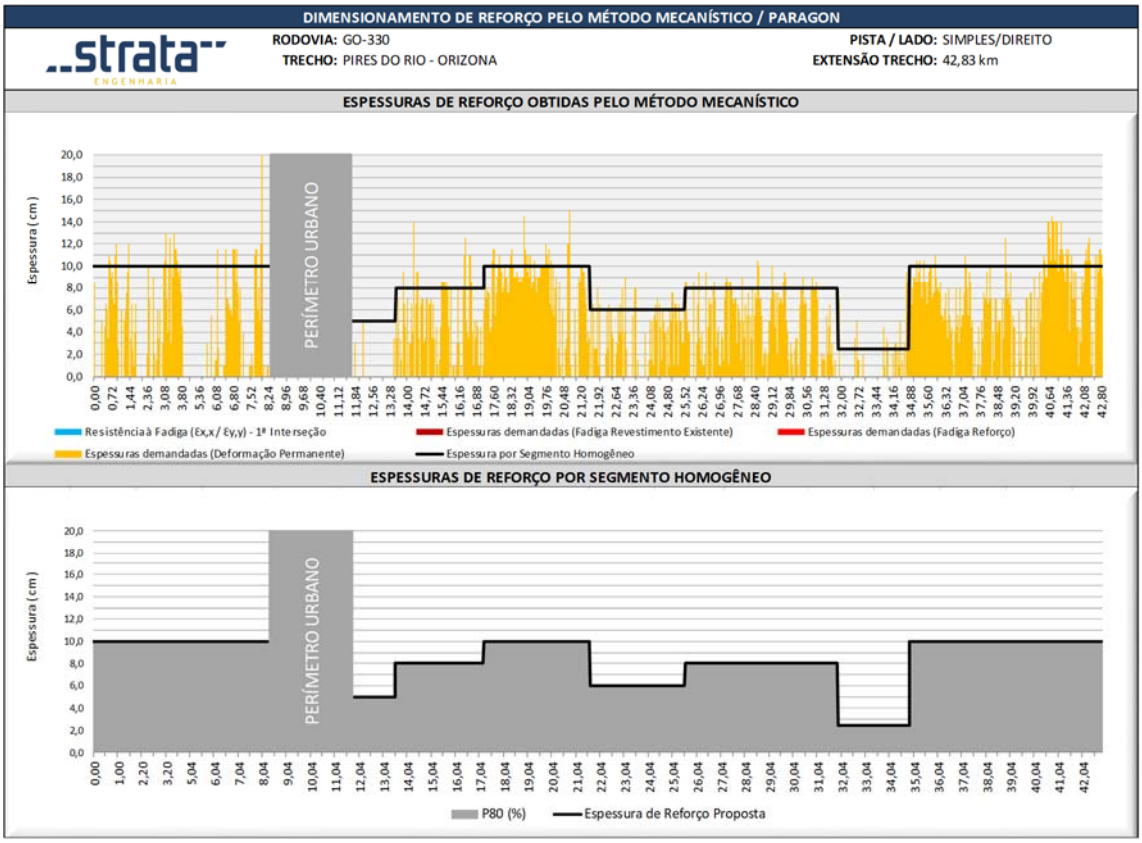


Figura 292 – Espessuras de Reforço Obtidas pelo Método Mecanístico / Paragon
Pista Simples / Lado Direito – Removendo o Revestimento Existente – km 0,0 ao km 42,830

Na sequência das avaliações, como a metodologia Paragon trabalha com as faixas de tráfego individualizadas, pela série de motivos já externados anteriormente, faz-se necessário confrontar as espessuras preconizadas para o pavimento das duas faixas de tráfego contíguas – obtidas em dimensionamentos individualizados – de forma a se promover as necessárias compatibilizações estruturais e altimétricas.

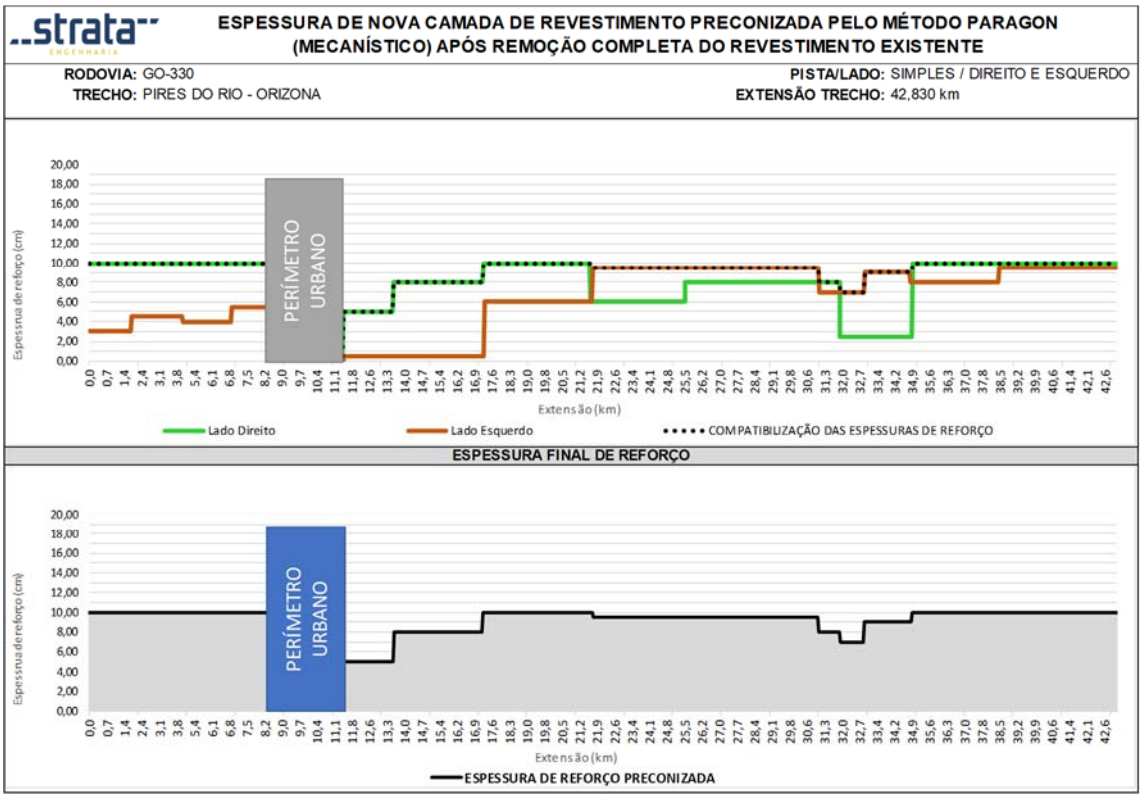


Figura 293 – Cotejamento das espessuras demandadas da nova camada de revestimento em ambos os lados – Lados Direito e Esquerdo (Pista Simples) – km 0,000 ao km 42,830

MÉTODO MECANÍSTICO / PARAGON - ESPESSURA DE REFORÇO PROPOSTA

RODOVIA: GO-330
TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA
PISTA/LADO: SIMPLES / DIREITO E ESQUERDO
EXTENSÃO TRECHO: 42,830 km

SEGMENTO HOMOGÊNEO						
Nº	ESTACA		km		EXTENSÃO (m)	ESPESSURA DE REFORÇO PROPOSTA (cm)
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	424	0,00	8,47	8470	10,00
2	424	572	8,47	11,44	2970	0,50
3	572	676	11,44	13,52	2080	5,00
4	676	860	13,52	17,20	3680	8,00
5	860	1086	17,20	21,72	4520	10,00
6	1086	1550	21,72	31,00	9280	9,50
7	1550	1594	31,00	31,88	880	8,00
8	1594	1644	31,88	32,88	1000	7,00
9	1644	1742	32,88	34,84	1960	9,00
10	1742	2141	34,84	42,82	7980	10,00
11	2141	2141	42,82	42,82	0	10,00
12	2141	2142	42,82	42,83	10	10,00

Figura 294 – Espessuras de Reforço determinadas pelo Método Paragon (Pista Simples) – Km 0,000 ao km 42,830

4.2.10.4. Definição das Espessuras Finais de Restauração do Pavimento

Conforme vem de se explanar, promoveu-se o dimensionamento do novo revestimento do pavimento do presente trecho, partindo da premissa básica da alternativa de solução de pavimentação contemplando a remoção do revestimento existente com base nas metodologias calcadas nos ***Critérios Mecanístico e Resistência*** cujos resultados obtidos externaram magnitudes, a grosso modo, em intervalos conforme descrito a seguir:

- Critério da Resistência: espessura constante de 10,0 cm;
- Critério Mecanístico: espessuras entre 0,5 cm e 10,0 cm.

A fim de escolher a espessura de revestimento a ser adotada considerando a remoção do revestimento existente, julgou-se adequado cotejar os resultados obtidos e selecionar uma espessura mínima que atendesse aos dois métodos de dimensionamentos conjuntamente. Essa proposição alicerçou-se na premissa de que o Critério da Resistência ser um método normativo, de grande valor e de eficácia comprovada quando se tem em conta, fundamentalmente, a resistência dos solos de fundação ao puncionamento. Paralelamente, embora se trate de um método empírico, que leva em consideração a qualidade das camadas granulares em termos da capacidade de suporte dos materiais constituintes, preconiza a adoção de espessuras mínimas de revestimento asfáltico em função do número N.

Numa outra vertente, as análises realizadas por meio do Método Mecanístico se alicerçam em critérios clássicos das Teorias da Elasticidade aplicadas à Mecânica dos Pavimentos, e vislumbram o pavimento como um sistema estratificado elástico submetido a esforços solicitantes (tensões e deformações) quando atuados por cargas exteriores. As condições de dimensionamento são estabelecidas a partir do cotejamento entre os esforços atuantes impostos pelas cargas do tráfego e os esforços resistentes intrínsecos a cada material constituinte; a premissa básica consiste em se garantir que os esforços atuantes não sobrepujem os esforços resistentes, a serem definidos em função do número de repetições de carga previsto a incidir na estrutura durante sua vida de projeto (vida útil).

Deste modo, no presente projeto, a fim de atender ambas as metodologias, constatou-se a necessidade de atender as seguintes espessuras de revestimento:

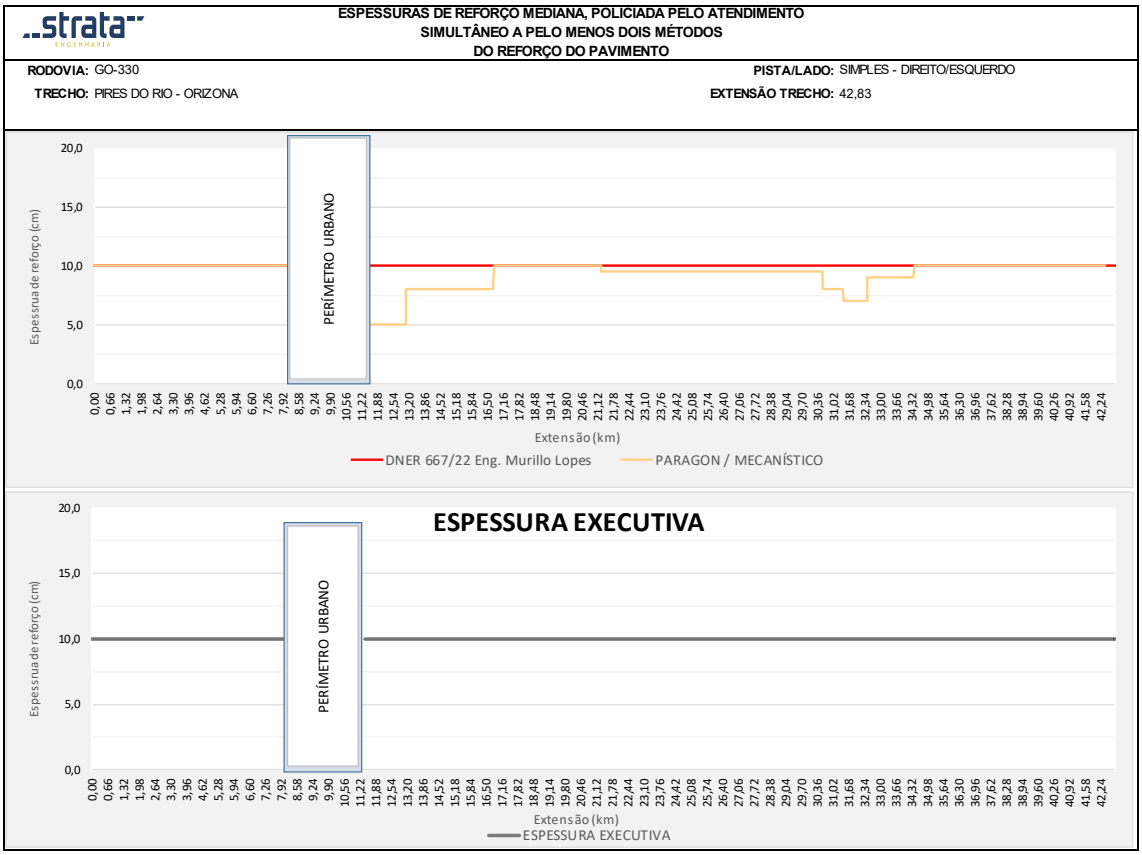


Figura 295 – Cotejamento entre as espessuras de revestimento policiada pelos critérios mecanístico e de resistência.

RESUMO DA ESPESSURA DE REFORÇO MEDIANA, POLICIADA PELO ATENDIMENTO SIMULTÂNEO A PELO MENOS DOIS MÉTODOS

RODOVIA: GO-330 **PISTA/LADO:** SIMPLES - DIREITO/ESQUERDO

TRECHO: PIRES DO RIO - ORIZONA **EXTENSÃO TRECHO:** 42,83

SEGMENTO HOMOGÊNEO						ESPESSURA TOTAL DE REVESTIMENTO (cm)
Nº	ESTACA		km		EXTENSÃO (m)	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	0	422	0,00	8,44	8.440	10,0
2	422	400	8,44	8,00	-440	0,0
3	400	2.142	8,00	42,83	34.830	10,0

Figura 296 – Resumo da espessura de reforço policiada pelos critérios mecanístico e de resistência. Pista simples.

4.2.10.5. Detalhamento Executivo

Consiste na execução dos serviços a seguir descriminados, obedecendo-se às especificações do DNIT e demais especificações pertinentes. Todas as etapas deverão ser executadas com controle de qualidade bastante rígido.

***Pista de Rolamento*: Reparos Profundos + Reciclagem da Camada de Base com incorporação de Fração do Revestimento Asfáltico Fresado e Adição de 2% de Cimento Portland + TSD (C.A.R.T.) + Pintura de Ligação + CBUQ Faixa "B" com Polímero (Binder) + Pintura de Ligação + CBUQ Faixa "C" com Polímero**

- Execução de reparos profundos em eventuais pontos acometidos por defeitos estruturais que sejam oriundos da fragilidade das camadas granulares, de acordo com os dizeres da Especificação de Serviços ES-SC 003/2019 GOINFRA. Para fins quantitativos, foi estimada uma área de 2% do total das faixas de rolamento existentes. A espessura de material granular a ser removida deverá ser equivalente à espessura total de base e sub-base granulares existentes (para fins quantitativos, considerou-se um valor médio de **34,0 cm**), enquanto a fresagem do material asfáltico existente deverá ser feita em sua espessura total. O material granular de base deverá ser enviado para bota-espera, enquanto o material de sub-base será removido (enviado para bota-fora) e substituído por uma camada de brita graduada simples (BGS) de igual espessura. Posteriormente, deverá ser novamente depositado o material granular de base que fora removido, em espessura suficiente para recompor integralmente o volume retirado para os reparos.

- Reciclagem da camada de base "in situ" com incorporação do revestimento asfáltico fresado e adição de Cimento Portland (CP-II) de acordo com os dizeres da normativa DNIT 167/2013 – ES, visando a composição de uma camada constituída por 72% de material granular da base existente (em massa), 25% de revestimento existente já fresado (em massa) e distribuído na área de rolamento e 2% de CP-II (em massa), com espessura final após compactação de 17,5cm. A definição dessas proporções se deu em razão dos ensaios necessários para a validação da mistura proposta, a qual deve se enquadrar essencialmente em uma das duas possibilidades de faixas granulométricas e atender a condições ideais de resistência a tração e flexão. No presente caso, a mistura em questão se enquadrou na Faixa II da referida normativa;

- Execução de imprimação com EAI, fundamentada nos dizeres da Especificação de Serviço GOINFRA ES-PAV 007/2019 – Imprimação Asfáltica, dado que a GOINFRA proíbe, conforme descrito na mesma, a utilização de CM-30 em casos de presença de cimento na base granular. A taxa de aplicação deverá ser definida em obra, mas para efeito de quantificação de projeto será considerada como 1,3 litros/m². O procedimento deverá envolver varredura da superfície e posterior aplicação de um banho de ligante sobre a camada de base recém

compactada, por um período suficiente para que haja a máxima penetração na camada em questão;

- Camada anti-reflexão de trincas, a ser executada em Tratamento Superficial Duplo (TSD), conforme procedimento descrito na norma Especificação de Serviço GOINFRA PAV-010/2018. A emulsão asfáltica a ser utilizada deverá ser a RR-2C, a uma taxa de aplicação referencial total de 2,8 l/m².

- Execução de pintura de ligação, com emulsão asfáltica RR-1C, taxa de aplicação igual a 1,0 l/m², diluída em água na proporção 1:1 (totalizando 0,5 l de água e 0,5 l de emulsão asfáltica RR-1C por m²), de acordo com a norma DNIT 145/2012-ES. Esta pintura deve ser executada em toda largura da faixa e só deverá ser paga quando aplicada;

- Execução da camada de estruturação interna, a ser composta com Concreto Betuminoso Usinado a Quente, Faixa "B" (Binder), com polímero, em consonância com a norma DNER 385/99-ES, com ***espessura fixa de 6,0 cm*** conforme dimensionamento. O ligante asfáltico utilizado deverá ser o CAP 60/85-E com taxa de aplicação referencial de 5,5%. O quadro que sintetiza as espessuras asfálticas preconizadas para cada camada, por segmento, é disposto ao fim do presente tópico.

- Execução de pintura de ligação, com emulsão asfáltica RR-1C, taxa de aplicação igual a 1,0 l/m², diluída em água na proporção 1:1 (totalizando 0,5 l de água e 0,5 l de emulsão asfáltica RR-1C por m²), de acordo com a norma DNIT 145/2012-ES. Esta pintura deve ser executada em toda largura da faixa e só deverá ser paga quando aplicada;

- Execução da camada de reforço em Concreto Betuminoso Usinado a Quente, Faixa "C" com polímero, com ***espessura fixa de 4,0 cm***, conforme quadro apresentado ao fim do presente subtópico, em consonância com a norma DNER 385/99-ES em espessura obtida após o cotejamento dos métodos de dimensionamento já expostos no presente arrazoado. O ligante asfáltico utilizado deverá ser o CAP 60/85 com taxa de aplicação referencial de 6,0%.

Alternativa I - Reciclagem 17,5cm									
SH	km Inicial	km Final	Espessura Base Existente (cm)	Espessura Sub-base Existente (cm)	Espessura Asfáltica a ser Incorporada (cm)	Reciclagem da Camada de Base + 3% de CP + 25% MAF	Espessura CBUQ (cm)		
							Calculada	Homogeneizada	
							Total	Faixa "C"	Binder
1	0,00	3,08	17,0	20,0	3,0	17,5	10,0	4,0	6,0
2	3,08	8,00	13,0	11,0	3,0	17,5	10,0	4,0	6,0
3	8,00	11,44	Perímetro Urbano						
4	11,44	17,16	26,0	25,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0
5	17,16	20,92	15,0	16,0	3,0	17,5	10,0	4,0	6,0
6	20,92	24,88	12,0	12,0	3,0	17,5	10,0	4,0	6,0
7	24,88	26,92	16,0	19,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0
8	26,92	31,24	15,0	15,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0
9	31,24	32,60	18,0	20,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0
10	32,60	33,28	21,0	20,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0
11	33,28	39,68	21,0	20,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0
12	39,68	42,83	20,0	16,0	5,0	17,5	10,0	4,0	6,0

Figura 297 – Espessuras de revestimento a serem executadas, por camada – Pista Simples.

Acostamentos: **Pintura de Ligação + Preenchimento dos degraus existentes com CBUQ Faixa "B" com Polímero.**

- Limpeza da área revestida dos acostamentos, em ambos os sentidos da via, por meio de varredura da superfície para posterior execução de revestimento asfáltico;

- Execução de pintura de ligação, com emulsão asfáltica RR-1C, taxa de aplicação igual a 0,9 l/m², diluída em água na proporção 1:1 (totalizando 0,45 l de água e 0,45 l de emulsão asfáltica RR-1C por m²)[3], de acordo com a norma DNIT 145/2012-ES. Esta pintura deve ser executada em toda largura da faixa e só deverá ser paga quando aplicada;

- Execução da camada de estruturação interna, a ser composta com Concreto Betuminoso Usinado a Quente, Faixa "B" (Binder), com polímero, em consonância com a norma DNER 385/99-ES, com espessura variável conforme dimensionamento. O ligante asfáltico utilizado deverá ser o CAP 60/85-E com taxa de aplicação referencial de 5,5%. O quadro que sintetiza as espessuras asfálticas preconizadas para cada camada, por segmento, é disposto ao fim do presente subtópico;

- Execução de pintura de ligação, com emulsão asfáltica RR-1C, taxa de aplicação igual a 1,0 l/m², diluída em água na proporção 1:1 (totalizando 0,5 l de água e 0,5 l de emulsão asfáltica RR-1C por m²)[3], de acordo com a norma DNIT 145/2012-ES. Esta pintura deve ser executada em toda largura da faixa e só deverá ser paga quando aplicada;

- Execução de nova camada de Concreto Betuminoso Usinado a Quente, Faixa "B" (Binder) com polímero, em consonância com a norma DNER 385/99-ES, com espessura fixa de 4,0 cm. O ligante asfáltico utilizado deverá ser o CAP 60/85-E com taxa de aplicação referencial de 5,5%. O quadro que sintetiza as espessuras asfálticas preconizadas para cada camada, por segmento, é disposto ao fim do presente subtópico.

Alternativa I - Reciclagem 17,5cm				
SH	km Inicial	km Final	Degrau a ser Preenchido com CBUQ Faixa "B" (cm)	
			Calculado	Homogeneizado
1	0,00	3,08	8,0	8,0
2	3,08	8,00	8,0	8,0
3	8,00	11,44	Perímetro Urbano	
4	11,44	17,16	8,0	9,0
5	17,16	20,92	8,0	9,0
6	20,92	24,88	9,0	9,0
7	24,88	26,92	8,0	8,0
8	26,92	31,24	8,0	8,0
9	31,24	32,60	8,0	8,0
10	32,60	33,28	7,0	8,0
11	33,28	39,68	7,0	8,0
12	39,68	42,83	8,0	8,0

Figura 298 – Espessuras de revestimento a serem executadas, por camada, para preenchimento dos degraus entre pista e acostamento, visando um degrau máximo final de, no máximo, 5,0cm – Acostamentos.

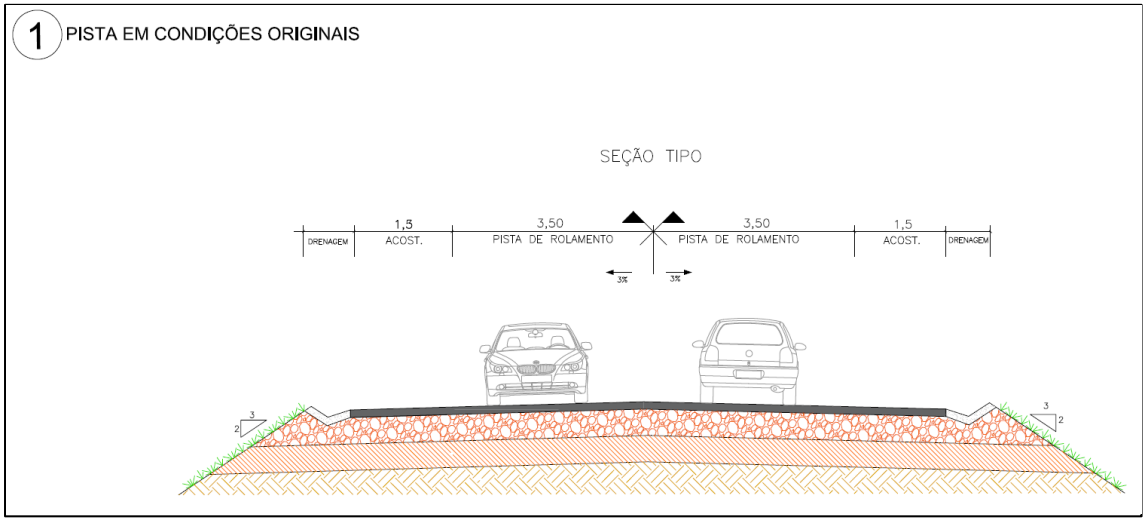
Ademais, no tocante ao procedimento de reparos profundos, foi feito questionamento sobre a execução de uma possível capa asfáltica intermediária para que o trecho pudesse ser liberado para o tráfego parcialmente, até as próximas etapas. Sobre isso, a consultora mantém a indicação dos procedimentos já preconizados, sem a execução da referida capa intermediária, de acordo com a seguinte justificativa.

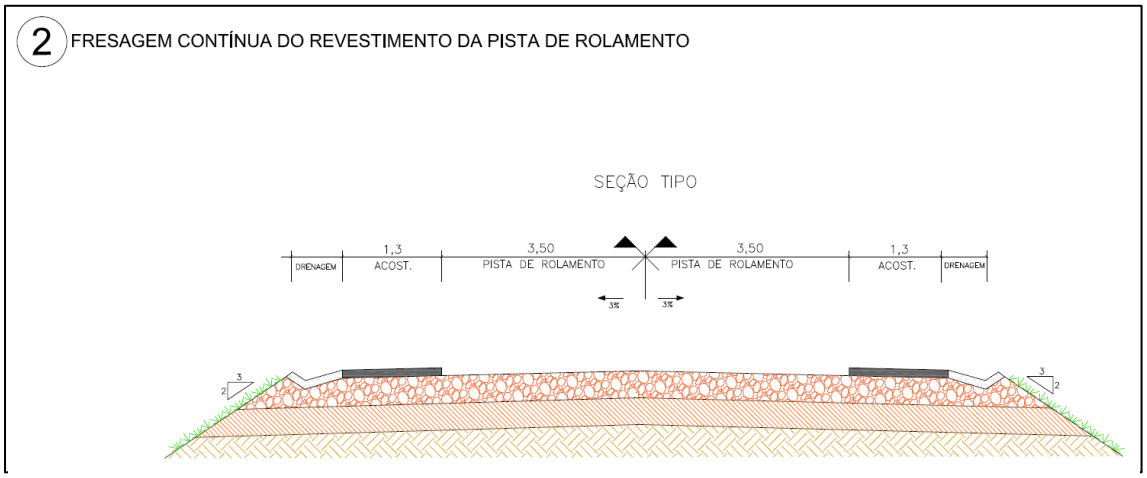
Conforme conversado entre as partes na reunião técnica do dia 03/12/2025, a operação de reparos profundos deverá ser composta pelas seguintes etapas:

- Verificação de eventuais pontos com necessidade de reparos profundos por problemas estruturais específicos, única e exclusivamente na camada granular de sub-base existente;
- Fresagem total do revestimento existente nos pontos em questão, a serem alvos de reparos profundos;
- Remoção integral do volume da camada granular de base existente e transporte do mesmo para bota-espera;
- Remoção integral do volume da camada de sub-base comprometida e transporte do mesmo para bota-fora, uma vez que não será reaproveitado;
- Execução de nova camada de sub-base em BGS, com volume equivalente ao removido;
- Recomposição da base granular, com o material até então armazenado em bota-espera;
- Reciclagem da camada granular de base, com adição de cimento Portland (3%);
- Execução de imprimação asfáltica (EAI) em toda a largura de pistas e acostamentos;
- Execução de novo revestimento asfáltico, composto por CBUQ Faixa “B” (6,0cm) e CBUQ Faixa “C” (4,0cm), em camadas asfálticas unidas por pintura de ligação.

A sugestão do órgão para recomposição de camada de revestimento asfáltico previamente à execução de reciclagem da base granular é compreensível para dar celeridade e produtividade à obra, mas envolve a execução de um revestimento asfáltico plenamente novo para, em poucos meses, o destruir (fresagem parcial) para a execução do procedimento de reciclagem da camada de base. Conforme conversado em reunião técnica, a consultora entende que tal preconização seria um problema em fase de obras, uma vez que resultaria em desperdício direto de recursos valiosos (no caso, uma nova camada de concreto asfáltico de espessura elevada). Nesse contexto, a consultora opta por manter a preconização das etapas de execução dos reparos profundos conforme previamente descritas.

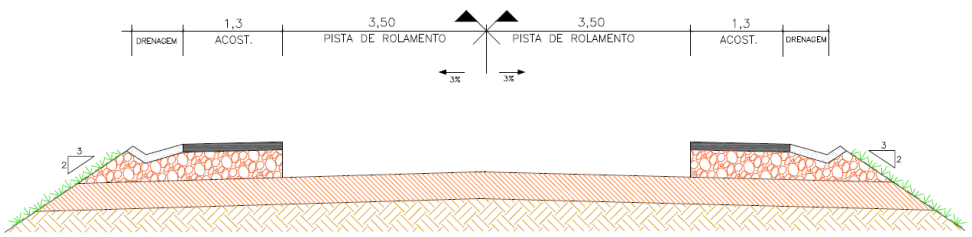
Por fim, visando facilitar a compreensão das etapas de soluções propostas para a pista de rolamento e os acostamentos, apresenta-se a seguir o sequencial executivo das soluções.





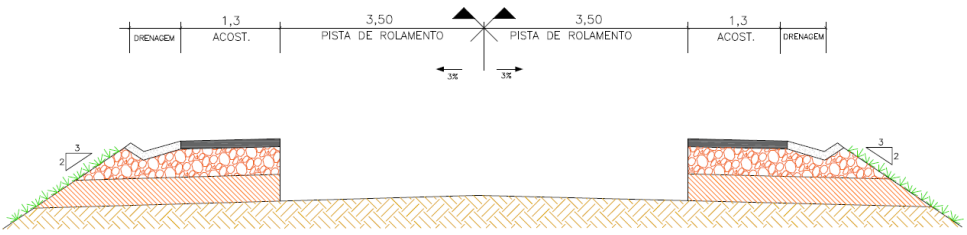
3 REMOÇÃO DA BASE GRANULAR EXISTENTE E TRANSPORTE DO MATERIAL REMOVIDO EM PONTOS DE REPAROS PROFUNDOS

SEÇÃO TIPO



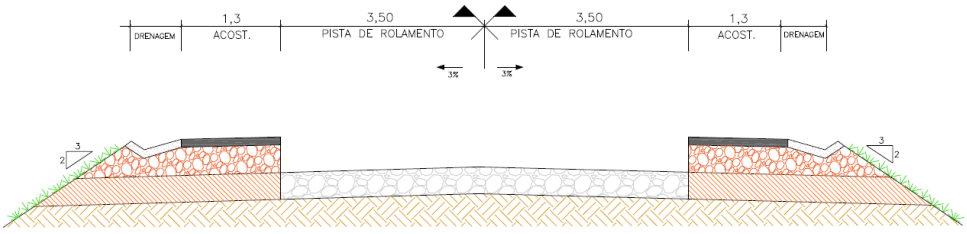
4 REMOÇÃO DA SUB-BASE GRANULAR EXISTENTE E TRANSPORTE DO MATERIAL REMOVIDO PARA BOTA-FORA, EM PONTOS DE REPAROS PROFUNDOS

SEÇÃO TIPO

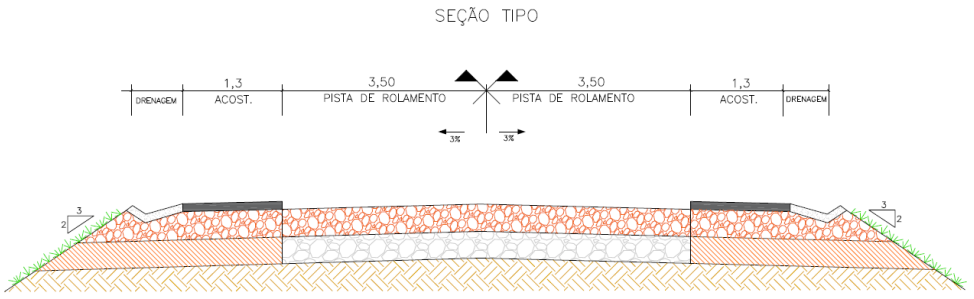


5 EXECUÇÃO DE NOVA CAMADA GRANULAR DE SUB-BASE EM BGS, EM PONTOS DE REPAROS PROFUNDOS

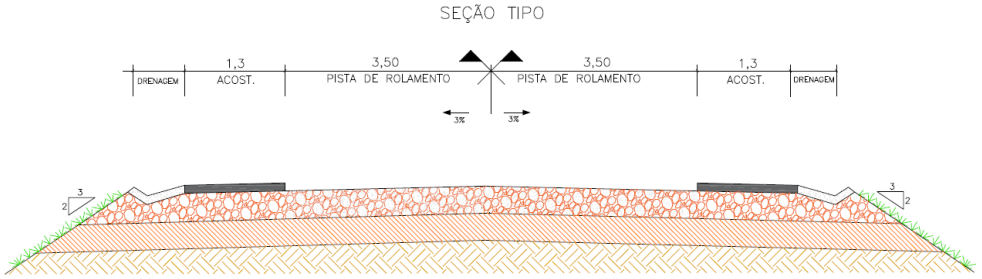
SEÇÃO TIPO



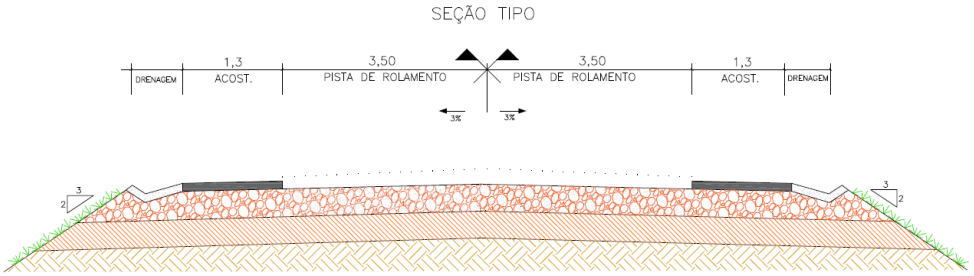
6 RECOMPOSIÇÃO DO VOLUME DE BASE GRANULAR REMOVIDO COM A UTILIZAÇÃO DO MESMO MATERIAL ATÉ ENTÃO EXISTENTE (ENVIADO PARA BOTA-ESPERA), EM PONTOS DE REPAROS PROFUNDOS



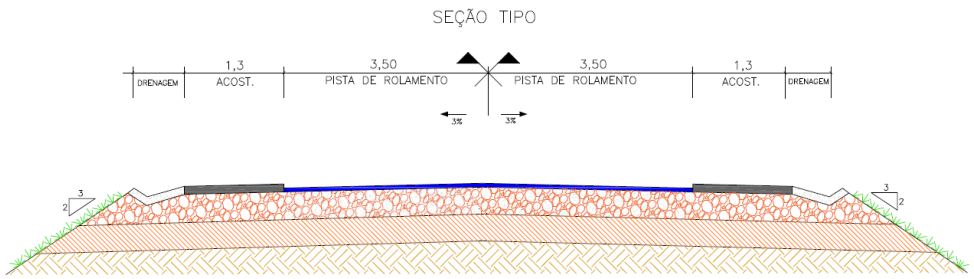
7 RECICLAGEM DA BASE COM INCORPORAÇÃO DO REVESTIMENTO E DE 2% DE CIMENTO



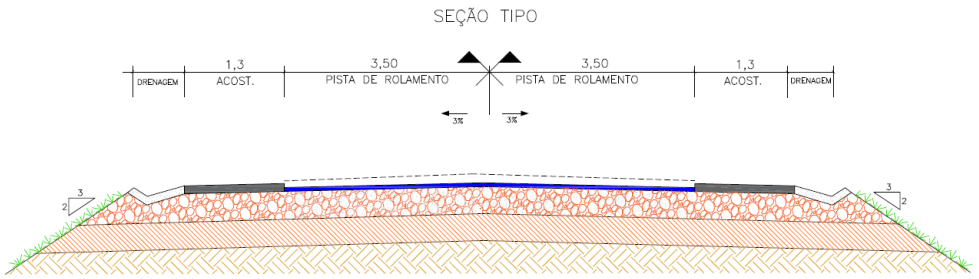
8 EXECUÇÃO DA IMPRIMAÇÃO COM EAI E, POSTERIORMENTE, DE PINTURA DE LIGAÇÃO



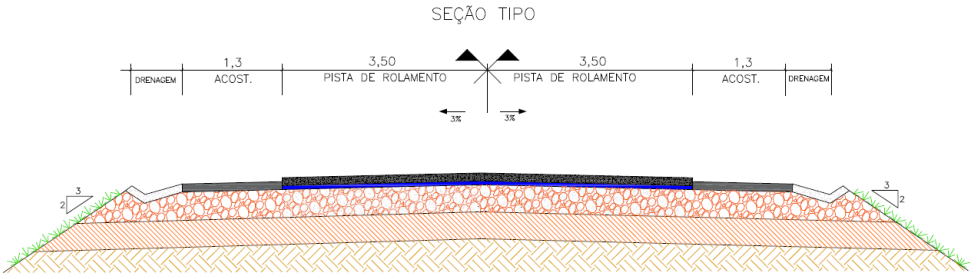
9 EXECUÇÃO DA CAMADA ANTIRREFLEXÃO DE TRINCAS (CART) EM TSD (2,5cm)



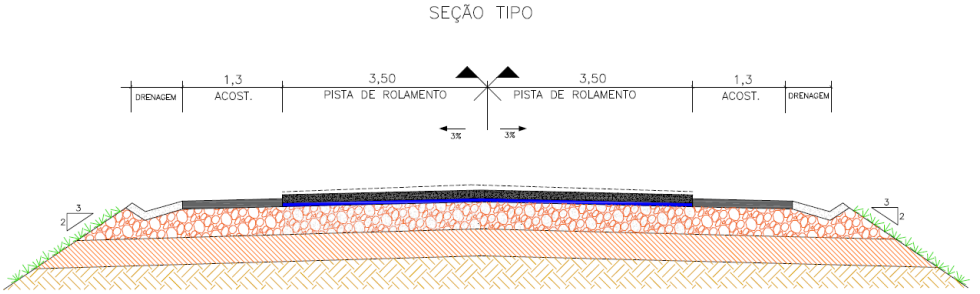
10 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO COM RR-2C



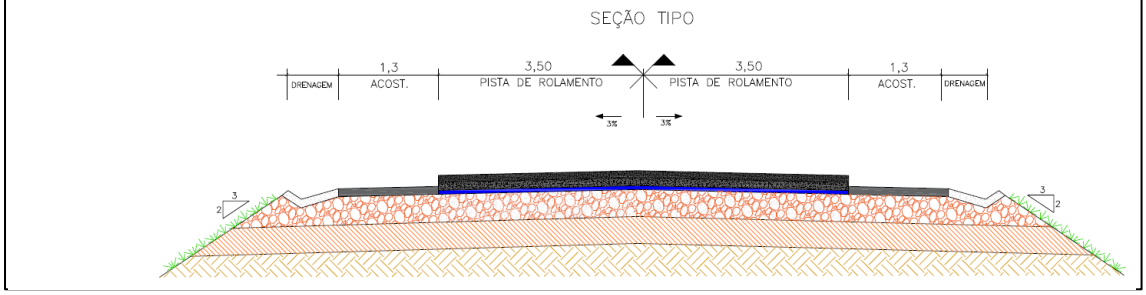
11 EXECUÇÃO DA PRIMEIRA CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "B" (6 Cm)



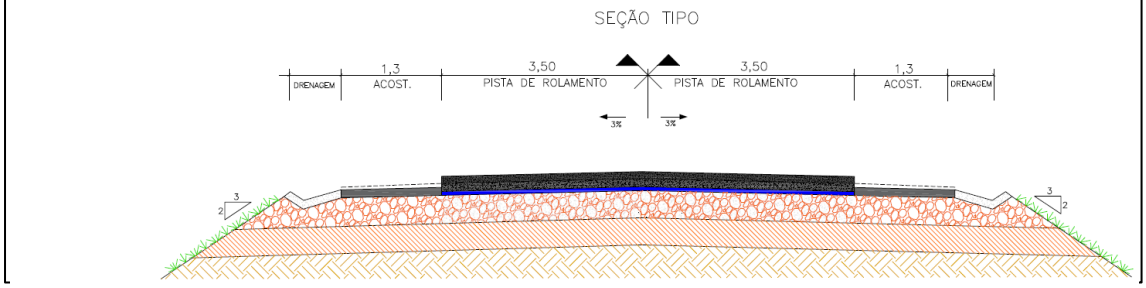
12 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO



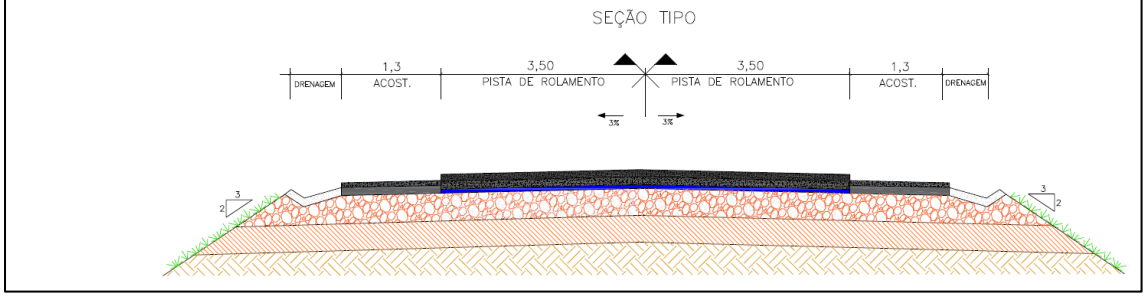
13 EXECUÇÃO DA SEGUNDA CAMADA DE REVESTIMENTO EM CBUQ FAIXA "C" (4 Cm)



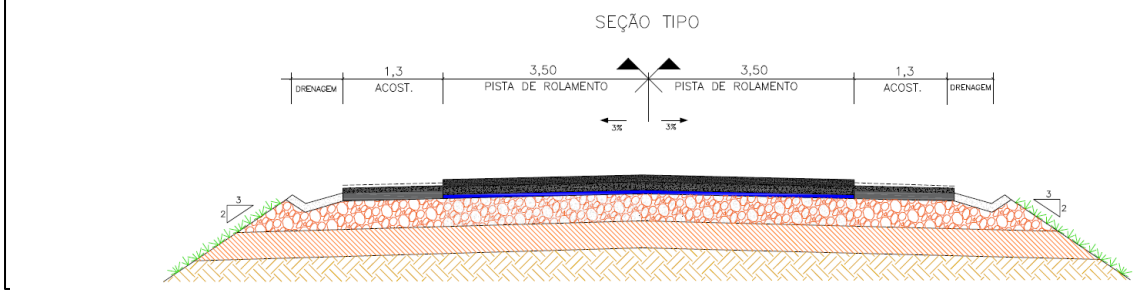
14 EXECUÇÃO DE PINTURA DE LIGAÇÃO NO ACOSTAMENTO

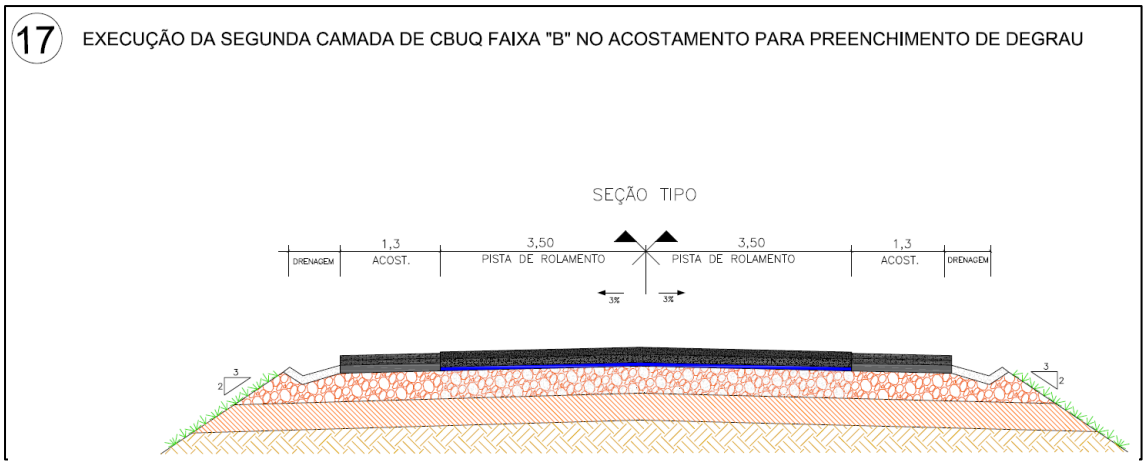


15 EXECUÇÃO DA CAMADA DE CBUQ FAIXA "B" NO ACOSTAMENTO PARA PREENCHIMENTO DE DEGRAU



16 EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO NO ACOSTAMENTO





Limpa-rodas: **Composição de camada de material asfáltico fresado (10,0cm) + Banho de Emulsão (EAI)**

O procedimento de revestimento dos limpa-rodas mapeados consiste na deposição de uma camada de 10,0cm de material asfáltico fresado, a ser recoberta por um banho de EAI com a taxa de 2,0 l/m². O objetivo do referido banho é o de criar a devida adesão, por meio da recuperação das capacidades ligantes do asfalto presente no material fresado e da efetiva ligação entre agregados promovidas por este banho. Para tal, é essencialmente necessário que a taxa utilizada seja a supracitada, visando garantir uma maior durabilidade do procedimento por retenção dos agregados depostos.

4.2.10.6. Fontes de Materiais a Serem Utilizados

As principais fontes de materiais indicadas em projeto são as seguintes, conforme apresentado no Linear de Ocorrências:

- **Concreto Asfáltico Usinado a Quente com Polímero**:

  Materiais pétreos: serão provenientes do Calcário Silvania, localizado a 99,01 km do Canteiro de Obras.

  Filler: será utilizado Cimento Portland proveniente da Votorantim Cimento, localizada a 203,80 km do Canteiro de Obras;

  Material Betuminoso: o CAP será proveniente de Morrinhos/GO, distante 140,89 km da usina de asfalto.

  Areia: será proveniente do Areal Areialto 3, localizado a 43,25 km do Canteiro de Obras.

- **Tratamento Superficial Duplo**:

  Materiais pétreos: serão provenientes do Calcário Silvania, localizado a 99,01 km do Canteiro de Obras.

  Material Betuminoso: será proveniente de Morrinhos/GO, distante 140,89 km da usina de asfalto.

- **Pintura de ligação/Imprimação**:

  Material Betuminoso: será proveniente de Morrinhos/GO, distante 140,89 km da usina de asfalto.

- **Reciclagem de Base:**

  Cimento Portland: será proveniente da Votorantim Cimento, localizada a 203,80 km do Canteiro de Obras.

Obs.: A usina de asfalto está localizada junto ao Canteiro de Obras na estaca 1129.

4.2.10.7. Especificações de Serviço

- Especificação de Serviço GOINFRA ES-PAV/003/2019 – Pavimentação – Reciclagem Profunda de Pavimentos;

- Especificação de Serviço GOINFRA ES-PAV 007/2019 – Pavimentação – Imprimação Asfáltica;

- Especificação de Serviço GOINFRA ES-PAV 010/2019 – Pavimentação – Tratamentos Superficiais Asfálticos por Penetração – À Frio;

- Especificação de Serviço GOINFRA ES-PAV 008/2019 – Pavimentação – Pintura de Ligação;

- Especificação de Serviço DNER-ES 385/99 – Pavimentação – concreto asfáltico com asfalto polímero.

4.3 – PROJETO DE SINALIZAÇÃO

4.3.1. Introdução

O Projeto Sinalização para a rodovia GO-330 – Trecho: Orizona/Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador) - foi elaborado em conformidade com os seguintes documentos:

- Manuais de Sinalização do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN;
- Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT de 2010;
- Código de Trânsito Brasileiro (Lei Federal nº 9.503 de 24/09/1997) e a Resolução nº 160 de 22 deAbril de 2004;
- Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;
- Instrução de Projetos Rodoviários IP-15 GOINFRA – Projeto Sinalização;

4.3.2. Metodologia

O sistema de sinalização foi projetado de forma a assegurar aos usuários da rodovia atenção, compreensão e resposta necessária às mensagens, por meio de padronizações de símbolos, cores, formas e dimensões adequadas e simplificadas de legendas, em conformidade com a legislação em vigor.

A sinalização vertical é composta de placas e dispositivos especiais e a sinalização horizontal de faixas ou linhas de demarcação pintadas no pavimento.

4.3.2.1.Parâmetros de Dimensionamento

Os parâmetros de dimensionamento dos vários elementos tanto da sinalização vertical como horizontal, foram obtidos de tabelas constantes dos documentos mencionados acima, função da velocidade de projeto ou de operação e da classe da rodovia.

Na sequência, para os itens específicos relativos à sinalização vertical e sinalização horizontal, encontram- se apresentados os valores de velocidade para os elementos adotados como distância de visibilidade de ultrapassagem, dimensionamento e dimensão das placas e tipos, padrões de dimensionamentos da letra para rodovia:

- Rodovia: 60 km/h;

4.3.3. Projeto de Sinalização Horizontal

A sinalização horizontal tem como finalidade principal orientar o motorista dentro de critérios pré- estabelecidos por normas, aumentando assim, a segurança do tráfego.

Este tipo de sinalização é composto por pinturas de faixas contínuas e faixas interrompidas, no pavimento, associada às marcas fixadas no pavimento, nas cores branca (para canalização) e amarela (para proibição).

As faixas interrompidas foram utilizadas na demarcação das faixas de rolamento, servindo como guia ao usuário e disciplinando a canalização do fluxo.

Os principais elementos que estão sendo utilizados no presente projeto relativos à sinalização horizontal, são:

4.3.3.1.Marcas Longitudinais

As marcas longitudinais separam e ordenam as correntes de tráfego, definindo a parte da pista destinada à circulação de veículos, a sua divisão em faixas de mesmo sentido, a divisão de fluxos opostos, as faixas de uso exclusivo ou preferencial de espécie de veículo, as faixas reversíveis, além de estabelecer as regras de ultrapassagem e de transposição.

As marcas longitudinais amarelas, contínuas simples ou duplas, têm poder de regulamentação, separam os movimentos veiculares de fluxos opostos e regulamentam a proibição de ultrapassagem e os deslocamentos laterais, exceto para acesso a imóvel lindeiro;

- As marcas longitudinais brancas contínuas são utilizadas para delimitar a pista (linha de bordo) e para separar faixas de trânsito de fluxos de mesmo sentido. Neste caso, têm poder de regulamentação de proibição de ultrapassagem e transposição;
- As marcas longitudinais brancas, seccionadas ou tracejadas, não têm poder de regulamentação, apenas ordenam os movimentos veiculares de mesmo sentido.

a) Linhas de Divisão de Fluxos Opostos - LFO

As marcações constituídas por Linhas de Divisão de Fluxos Opostos (LFO) separam os movimentos veiculares de sentidos opostos e indicam os trechos da via em que a ultrapassagem é permitida ou proibida.

Para a determinação das zonas de permissão e proibição de ultrapassagem, constrói-se uma régua transparente, na mesma escala do projeto, contendo a distância mínima de visibilidade de acordo com a velocidade da via e, nas duas extremidades, segmentos verticais de 1,20 m (altura do olho do observador), conforme previsto no Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT. Deslizando a régua sobre o perfil vertical e eixo horizontal é possível determinar tais áreas. As imagens a seguir apresentam a metodologia para determinação das zonas de ultrapassagem horizontal e a tabela com as distâncias mínimas de ultrapassagem com relação à velocidade da via, respectivamente.

A velocidade diretriz do projeto foi de 60km/h, portanto, a distância de visibilidade adotada foi de 180m, conforme o Manual Brasileiro de Sinalização de trânsito Volume IV do CONTRAN.

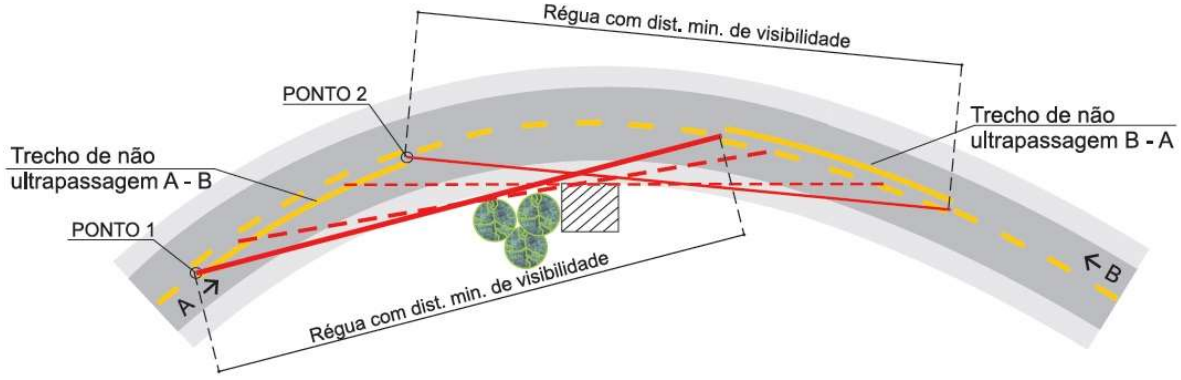


Figura 1: Distância de visibilidade de ultrapassagem - Horizontal
Fonte: Manual de Sinalização Rodoviária, DNIT, 3 ª edição, 2010

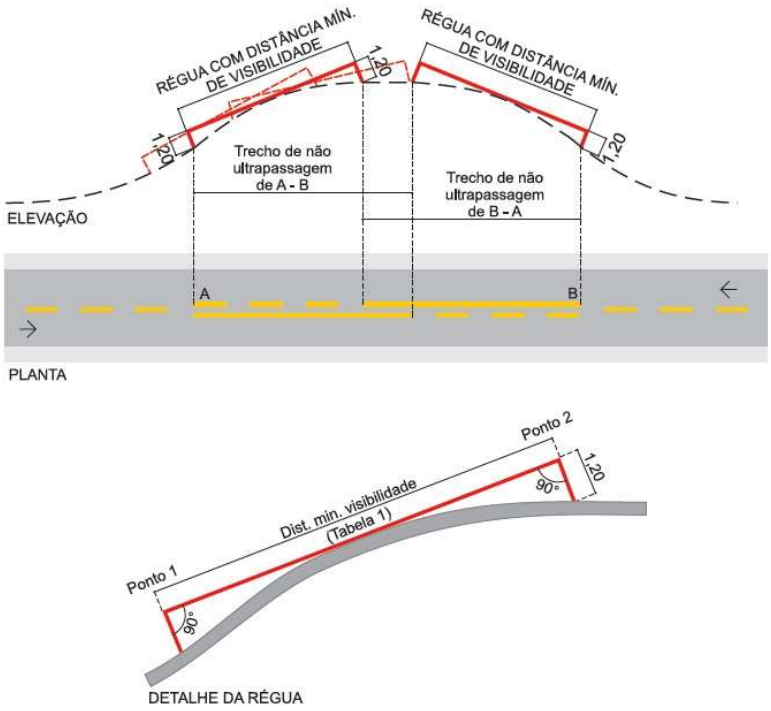


Figura 2: Distância de visibilidade de ultrapassagem - Vertical
Fonte: Manual de Sinalização Rodoviária, DNIT, 3 ª edição, 2010.

VELOCIDADE REGULAMENTADA (km/h)	DISTÂNCIA MÍNIMA DE VISIBILIDADE (m)
40	140
50	160
60	180
70	210
80	245
90	280
100	320
110	355

Tabela 5: Distância mínima de visibilidade x velocidade regulamentada
Fonte: Manual de Sinalização Rodoviária, DNIT, 3 ª edição, 2010.

Os tipos, dimensões e cadência das linhas de fluxos opostos serão os seguintes:

- **Linha Simples Contínua – (LFO-1)**

Linha de divisão de fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e regulamentando os trechos em que a ultrapassagem e os deslocamentos laterais são proibidos para os dois sentidos. Deve ser na cor amarela, com largura igual a 0,10 m.

- **Linha Simples Seccionada (LFO-2)**

A LFO-2 divide fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e indicando os trechos em que a ultrapassagem e os deslocamentos laterais são permitidos.

A LFO-2 será pintada na cor amarela, com largura igual a 0,10m, tracejada na proporção 1:3, sendo que para cada 3,00m pintados tem-se um intervalo de 9,00m.

- **Linha Dupla Contínua – (LFO-3)**

Linhas de divisão de fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e regulamentando os trechos em que a ultrapassagem e os deslocamentos laterais são proibidos para os dois sentidos. Deverão ser na cor amarela, com largura igual a 0,10 m, e com espaçamento entre as faixas igual a 0,10 m.

- **Linha Contínua/Seccionada – (LFO-4)**

Linhas de divisão de fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e regulamentando os trechos em que a ultrapassagem e os deslocamentos laterais são proibidos ou permitidos. Deverão ser na cor amarela, com largura igual a 0,10 m, e com espaçamento entre as faixas igual a 0,10 m. As linhas seccionadas deverão seguir a proporção de 1:3, sendo que para cada 3,0 m pintados, teremos uma interrupção de 9,0 m.

b) Linha de Bordo (LBO)

A LBO delimita, através de linha contínua, a parte da pista destinada ao deslocamento dos veículos, estabelecendo seus limites laterais.

No trecho principal, a LBO será pintada na cor branca, com largura igual a 0,10 m.

c) Linha de Continuidade (LCO)

A LCO é utilizada quando é necessário fornecer continuidade visual às marcações longitudinais. Além disso, a Linha de Continuidade pode ser utilizada para indicar o acréscimo ou término de faixas na via.

A Linha de Continuidade será pintada na cor branca, com largura igual a 0,10 m e cadência de 1:1, sendo que para cada 1,0 m pintado, teremos uma interrupção de 1,0 m.

4.3.4. Marcas de Canalização

As marcas de canalização são utilizadas para orientar e regulamentar os fluxos de veículos em uma via, direcionando-os de modo a propiciar maior segurança e melhor desempenho, em situações que exijam uma reorganização de seu caminhamento natural.

a) Linha de Canalização (LCA)

A LCA delimita o pavimento reservado à circulação de veículos, orientando os fluxos de tráfego por motivos de segurança e fluidez.

A LCA será pintada na cor branca quando direciona fluxo de mesmo sentido e na cor amarela quando direciona fluxo de sentido oposto, com largura de 0,10 m.

A LCA é utilizada em várias situações, pois separa o conflito entre movimentos convergentes ou divergentes, desvia os veículos nas proximidades de ilhas e obstáculos, altera a função do acostamento, demarca canteiros centrais e ilhas, alerta para alteração na largura da pista, possibilita o entrelaçamento do fluxo veicular em interseções em mini rotatória e rotatória e protege áreas de estacionamento.

4.3.5. Projeto de Sinalização Vertical

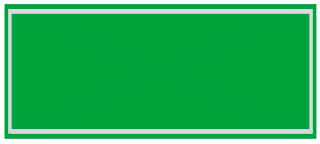
A concepção do projeto de sinalização vertical baseou-se nos princípios expostos a seguir, quais sejam:

- A sinalização deverá ser de fácil compreensão pelos motoristas;
- Deverá ter a mesma intensidade ao longo da via, visando propiciar condicionamento ao motorista;
- Deverá ser contínua, isto é, os sinais deverão ser coerentes entre si;
- Deverá ter o sentido de antecipação a fim de preparar o motorista para sua próxima decisão.

Neste sentido, tornou-se necessário o atendimento a certos requisitos básicos sob o ponto de vista de localização, conservação e uniformidade dos elementos, sendo:

- Localização: as placas foram posicionadas dentro do cone de visão do usuário normal e a uma distância necessária, conforme seu deslocamento, para uma reação adequada;
- Conservação: foram asseguradas as condições da manutenção sob o ponto de vista de colocação elegibilidade;
- Uniformidade: visou garantir que para situações iguais se tenha sinais iguais.

O presente projeto de Sinalização vertical procura contemplar a indicação de placas, objetivando fornecer ao usuário elementos de regulamentação, de advertência, indicativas, educativas, de atrativos turísticos e de marcos quilométricos, além dos dispositivos que favorecerão a visualização da modificação do alinhamento da via em planta e deverão possuir as seguintes formas detalhadas a seguir:

	Para os Sinais de Regulamentação serão utilizadas predominantemente a forma circular, na cor branca em seu fundo e a cor vermelha em sua borda.
	Os Sinais de Advertência terão a forma quadrada, com posicionamento definido por diagonal na vertical, e fundo na cor amarela.
	Os Sinais de Indicação serão predominantemente retangulares, com posicionamento do lado maior na horizontal e fundo na cor verde ou azul, conforme anexo II do CTB.
	Os Sinais Educativos serão predominantemente retangulares, com posicionamento do lado maior na horizontal e fundo na cor branca.
	Os Sinais de Referência Quilométrica (Marco Quilométrico) deverão possuir forma retangular com o posicionamento do lado maior na vertical e fundo na cor azul.
	Os Sinais de Indicação de Serviços Auxiliares serão de forma retangular, com o posicionamento do lado maior na vertical e com o fundo na cor azul.
	Os sinais de atrativos turísticos são predominantemente retangulares, com posicionamento do lado maior na horizontal e fundo na cor marrom.
	Os sinais de identificação de municípios, logradouros e regiões de interesse de tráfego, de identificação de pontes, passarelas, viadutos e túneis, de identificação de limites, divisas e fronteiras, de praças de pedágio, indicativas de nome de rodovia, indicativas de distância de rodovias são predominantemente retangulares, com o lado maior na horizontal e fundo na cor azul.
	Os sinais de indicação de serviços auxiliares, de forma retangular, com o lado maior na vertical e com fundo branco, são dispostos em placas de fundo azul formando placas, predominantemente, retangulares com o lado maior na horizontal.

Quanto ao seu posicionamento ao longo da via, as placas estão condicionadas pela distância de visibilidade necessária para sua visualização e pelo tipo de situação.

4.3.5.1.Placas de Regulamentação

Os sinais ou placas de regulamentação têm por objetivo notificar o usuário sobre as restrições, proibições e obrigações que governam o uso da via e cuja violação constitui infração prevista no Código de Trânsito Brasileiro.

As dimensões dos sinais variam em função das características da via, principalmente no tocante à sua velocidade de operação, de forma a possibilitar a percepção do sinal, e a legibilidade e compreensão de sua mensagem, por parte do usuário, dentro de um tempo hábil para que se realize a operação ditada por esta mensagem.

Em função da velocidade de projeto adotada, as placas de regulamentação possuirão diâmetro de 1,00 m no trecho principal e 0,50m no trecho urbano.

- Octogonais: L = 0,41 m (trecho principal) e L = 0,35m (trecho urbano)
- Triangular: L= 1,00 m

4.3.5.2.Placas de Advertência

Os sinais ou placas de advertência são utilizados sempre que se julgar necessário chamar a atenção dos usuários para situações permanentes ou de eventuais perigos, nas vias ou em suas adjacências. Estas situações exigem cuidados adicionais e reações de intensidade diversa por parte dos motoristas, que podem ir desde um simples estado de alerta, quando a situação é eventual, à adoção de manobras mais complexas de direção, a reduções de velocidades ou até mesmo à parada do veículo, quando a situação é permanente.

Em função da velocidade de projeto adotada, as placas de advertência terão formato quadrado, com largura igual a 1,00m no trecho principal e 0,50m no trecho urbano.

4.3.5.3.Placas Indicativas

Os sinais ou placas de indicação têm como finalidade principal orientar os usuários da via no curso de seu deslocamento, fornecendo-lhes as informações necessárias para a definição das direções e sentidos a serem por eles seguidos, e as informações quanto às distâncias a serem percorridas nos diversos segmentos do seu trajeto.

São também utilizados para informar aos usuários quanto à existência de serviços ao longo da via, tais como postos de abastecimento e restaurantes, quanto à ocorrência de pontos geográficos de referência, como divisas de estados e municípios, à localização de áreas de descanso, à existência de parques e lugares históricos, além de fornecer-lhes mensagens educativas ligadas à segurança de trânsito. Enfim, ajudá-los a realizar a sua viagem de maneira direta, segura e confortável.

As dimensões das placas indicativas dependerão do número e tamanho das letras e algarismos empregados que por sua vez, são em função da velocidade de projeto e da distância transversal das placas à linha de visada do usuário, sendo todas retangulares.

Para o dimensionamento das placas indicativas considerando a velocidade de projeto, a altura de letras e algarismos será de 150 mm no trecho principal.

4.3.5.4.Marcos Quilométricos

Os marcos quilométricos são implantados na via com a finalidade principal de fornecer ao usuário uma referência de localização e de progressão ao longo de seu percurso de viagem. Além disso, servem como elemento auxiliar de identificação de locais de ocorrência de incidentes e para o cadastro da rodovia, com vistas à sua manutenção, operação e serviços gerais.

Os marcos devem ser posicionados de modo alternado nos dois lados da rodovia, com espaçamento de 1,00 em 1,00 km, de forma que os quilômetros pares fiquem no sentido crescente e os quilômetros ímpares fiquem no sentido decrescente da rodovia. Os marcos devem ser posicionados com uma tolerância de até 100 m, antes ou depois de sua localização prevista. Caso não seja possível a implantação do marco, ainda que com essa tolerância, ele deverá ser omitido.

- Forma: Retangular
- Dimensão: 0,90 x 1,00m

Altura das letras utilizadas nas placas de identificação quilométrica:

- Distância – Altura mínima da letra minúscula/algarismo – h = 150 mm
- Ponto cardeal – Altura mínima da letra maiúscula – h = 150 mm
- Sigla – Altura mínima da letra maiúscula – h = 150 mm
- Posicionamento e localização: para pista com acostamento, os marcos quilométricos deverão ser posicionados a uma distância mínima de 1,50 m do limite do acostamento e a uma altura de 0,50 m – 1,20 m medida à projeção horizontal da cota do pavimento acabado.

4.3.1.6 Dispositivos Auxiliares

4.3.6.1.Tachas

A tacha proporciona ao condutor melhor percepção do espaço destinado à circulação, realçando a marca longitudinal e/ou marca de canalização e reforçando a visibilidade da sinalização horizontal em condições climáticas adversas, de forma a auxiliar o posicionamento do veículo na faixa de trânsito. Deve ser utilizada quando se deseja melhorar a percepção do condutor quanto aos limites destinado ao rolamento, nas seguintes situações:

- Aumentar as condições de visualização da marca longitudinal e/ou marca de canalização,principalmente à noite, sob chuva ou neblina;
- Auxiliar na percepção das variações geométricas da pista de rolamento, como curvas horizontais,bifurcações e entroncamentos, variação na largura e no número de faixas.

A tacha deve ser colocada junto à sinalização horizontal, com o elemento retrorrefletivo perpendicular ao fluxo e voltado para o sentido de circulação dos veículos. As tachas devem ser distribuídas a partir dos seguintes critérios:

- **Linha de Bordo (LBO)**

As tachas implantadas nas linhas de bordo devem ser bidirecionais com elementos retrorrefletivos branco e vermelho. O critério de espaçamento deve ser de 8 em 8m em condições normais, 6 em 6 m nas curvas, pontes e viadutos.

- **Linha de Continuidade (LCO)**

As tachas implantadas nas linhas de continuidade devem ser monodirecionais com elementos retrorrefletivos brancos. O critério de espaçamento deve ser de 2 em 2m.

- **Linha Dupla Contínua (LFO-3)**

As tachas implantadas na linha dupla contínua devem ser bidirecionais com elementos retrorrefletivos amarelo. O critério de espaçamento deve ser de 8 em 8m em condições normais, 6 em 6 m nas curvas, pontes e viadutos.

- **Linha Simples Seccionada (LFO-2)**

As tachas implantadas na linha simples seccionada devem ser bidirecionais com elementos retrorrefletivos amarelo. O critério de espaçamento deve ser de 12 em 12m.

- **Linha Contínua/Seccionada – (LFO-4)**

As tachas implantadas na linha simples contínua/seccionada devem ser bidirecionais com elementos retrorrefletivos amarelo. O critério de espaçamento deve ser de 12 em 12m.

4.3.6.2.Defensas

A Defensa Metálica é um dispositivo de proteção contínua deformável, constituído de uma estrutura metálica que possui forma, resistência e dimensões projetadas para conter e redirecionar veículos desgovernados.

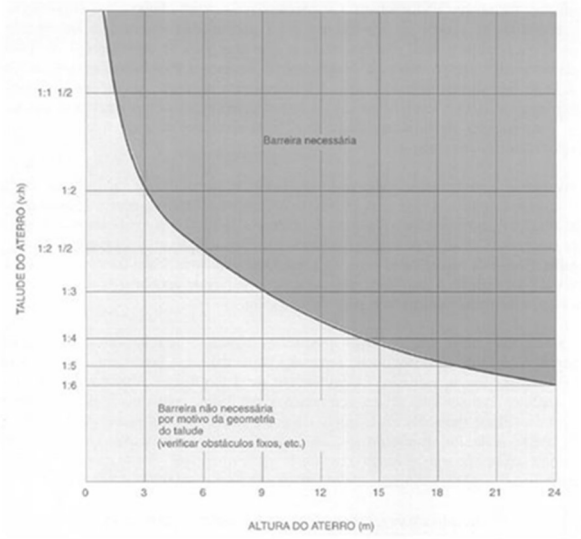
A defensa metálica deve atender às especificações das normas técnicas da ABNT ou especificações superiores.

A defensa metálica é geralmente constituída de três elementos básicos:

- Poste de sustentação: elemento fixado ao solo que, além de sustentar o conjunto na sua altura de projeto, absorve parte da energia resultante da colisão de veículos;
- Lâmina: elemento projetado para receber e absorver o choque de um veículo e servir de guia para a sua trajetória até a parada total do veículo ou o seu retorno à pista;
- Espaçador: elemento intermediário que tem a função de manter o poste de sustentação e a lâmina separados, para evitar o impacto direto do veículo no poste e prevenir o efeito "enganchamento".

O uso de defensa metálica é determinado pela análise das características do local conforme critérios estabelecidos nas normas técnicas da ABNT, que indicam o modelo mais adequado para o nível de contenção desejado e o espaço de trabalho disponível em relação à deflexão máxima do sistema.

O emprego de dispositivo de segurança em aterros pode ser analisado em função da altura de aterro e da declividade do talude, de acordo com a figura abaixo:



A necessidade de implantação de defensas foi avaliada seguindo a NBR 6971 – Defensas metálicas - e a NBR 15486 – Dispositivos de Contenção Viária Projeto e implantação.

Deverão ser implantadas defensas metálicas em locais onde a altura do talude for classificada como crítica, em aproximações (entradas e saídas) de pontes, locais com corte em rocha, postes próximos à pista e, caso existente, curvas consideradas perigosas. Deverão ser implantados delineadores tipo ao longo das defensas. O espaçamento dos delineadores deverá ser a cada 8 metros em curvas e a cada 16 metros em tangentes.

Para garantir a segurança nas transições entre a defensa metálica e barreiras rígidas, como os guarda-corpos de pontes e viadutos ou barreiras de concreto, é obrigatória a utilização de um Módulo de Transição. Este dispositivo, conforme estabelecido pela NBR 15486, tem a função de criar uma interface de rigidez progressiva entre o sistema deformável (defensa) e o sistema rígido (barreira). Sem este módulo, o término abrupto da defensa metálica contra uma estrutura rígida cria um ponto extremamente perigoso, podendo resultar em impactos de alta severidade para os ocupantes do veículo. A NBR 15486 enfatiza a necessidade de transições adequadas para manter a continuidade do desempenho de contenção e eliminar descontinuidades perigosas.

A defensa metálica deve ser implantada de acordo com as normas vigentes, formando um sistema contínuo, preferencialmente sem aberturas ou interrupções. Em local onde ocorre a necessidade de interromper a defensa para permitir a passagem de pedestres, devem ser observados os critérios construtivos de uma abertura segura, conforme estabelecido em norma técnica da ABNT.

Todo terminal de defensa metálica sujeita a impacto por um veículo deve possuir características para minimizar os efeitos deste impacto. O terminal de defensa deve conter o dispositivo absorvedor de energia, conforme a necessidade do projeto e as características do local. O uso do terminal aéreo frontal ao fluxo de veículos deve ser vedado.

4.3.7. Definição dos Tipos de Materiais

4.3.7.1.Sinalização Vertical

As placas com área inferior ou igual a 1m2 serão confeccionadas em chapas de aço zincadas nº 16 em conformidade com a norma ABNT NBR 11.904/2015. O verso das chapas será revestido com pintura eletrostática a pó (poliéster) ou tinta esmalte sintética sem brilho na cor preta de secagem a 140° C.

As placas aéreas e com área superior a 1m2 serão confeccionadas em chapa de alumínio composto (ACM) formada por duas lâminas de alumínio e um núcleo de polietileno conforme ABNT 16.179/2013 em conformidade com o Manual do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR LEGAL.

Todas as placas de sinalização utilizarão a película tipo III/III.

Os suportes das placas deverão ser de madeira com dimensões de 8 x 8 cm em conformidade com a norma ABNT 16.033/2021.

4.3.7.2.Sinalização Horizontal

A sinalização horizontal, conforme solicitação da Goinfra, deverá ser executada com resina acrílica, aplicada com espessura nominal de 0,6 mm, sendo obrigatória a incorporação de microesferas de vidro para garantir a retrorrefletância, em conformidade com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Volume IV) e as normas ABNT NBR 16.184:2013 e ABNT NBR 15.405:2016.

4.3.7.3.Tachas

As tachas utilizadas serão refletivas com corpo em plástico injetado com um pino, tipo III com revestimento antiabrasivo (face de vidro), conforme os requisitos da norma ABNT NBR 14.636:2013.

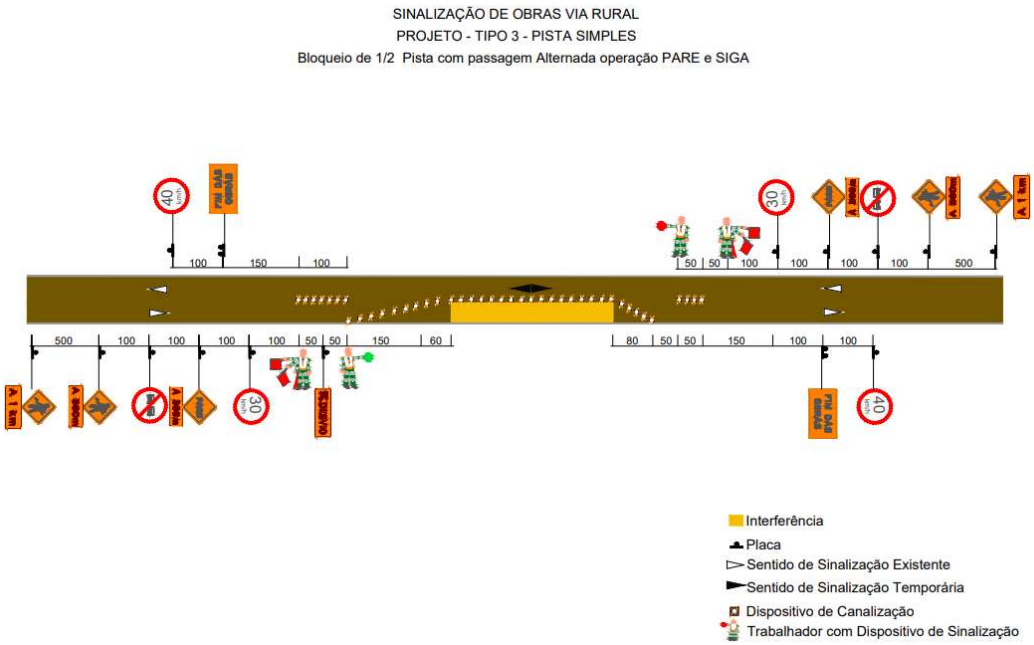
4.3.8. Sinalização de Obras

Conforme solicitado pelo GOINFRA, as quantidades relativas ao dimensionamento da sinalização temporária serão mantidas nesta etapa, sendo devidamente tratadas na Fase de Orçamento, que corresponde à quarta etapa do processo.

Em fase de obra, será utilizada sinalização especial, conforme projeto tipo 3.

Projeto tipo	Utilização
3	Bloqueio de 1/2 pista com passagem alternada e operação PARE e SIGA

Tabela 6 – Projeto Tipo 3 de Sinalização de Obras



Deverão ser utilizadas placas de "TRECHO EM OBRAS" a cada 500,0m ao longo da extensão de todo o trecho que estiver em obras.

No início e final de cada trecho em obra, será utilizado o sistema PARE-SIGA, onde um lado da pista fica interditada para permitir a passagem de veículos em apenas uma mão da via, de forma a organizar o trânsito e propiciar segurança aos usuários da via.

Ao longo do trecho em obras, a velocidade da via será reduzida e proibida a ultrapassagem de veículos.

Serão, ainda, posicionadas placas alertando aos usuários sobre a permanência de homens e máquinas na pista.

4.3.8.1.Sinalização Vertical de Obras

A sinalização vertical de obras adotada possui as seguintes placas, conforme projeto tipo 3:

Tabela 7 – Listagem Vertical de Sinalização de Obras

CÓDIGO	PISTA	LADO	ESTACA	DIMENSÕES	ÁREA (m²)	SITUAÇÃO	SUPORTE		TIPO DE SUBSTRATO	TIPO DE PELÍCULA
							QUANT.	MATERIAL		
A-24	-	D	-	L = 0,60	0,36	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-24	-	D	-	L = 0,60	0,36	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-24	-	E	-	L = 0,60	0,36	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-24	-	E	-	L = 0,60	0,36	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-1	-	D	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-1	-	E	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-2	-	D	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-2	-	E	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-3	-	D	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-3	-	E	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-15	-	D	-	L = 0,60	0,36	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-15	-	E	-	L = 0,60	0,36	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-5	-	D	-	1,20 x 0,60	0,72	TEMPORÁRIA	2	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-5	-	E	-	1,20 x 0,60	0,72	TEMPORÁRIA	2	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
OB-4	-	D	-	1,20 x 0,40	0,48	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-7	-	D	-	Ø = 0,75	0,44	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-7	-	E	-	Ø = 0,75	0,44	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-19.3	-	D	-	Ø = 0,75	0,44	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-19.3	-	E	-	Ø = 0,75	0,44	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-19.4	-	D	-	Ø = 0,75	0,44	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-19.4	-	E	-	Ø = 0,75	0,44	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-1	-	D	-	L = 0,41	0,83	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-8	-	E	-	L = 0,41	0,83	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
R-1	-	D	-	L = 0,41	0,83	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
A-8	-	E	-	L = 0,41	0,83	TEMPORÁRIA	1	MADEIRA	CHAPA DE AÇO	ALTA INTENSIDADE TIPO III
									ÁREA TOTAL SINALIZAÇÃO VERTICAL	12,92
									QUANTIDADE TOTAL DE SUPORTES	27

- **Cores**

A sinalização vertical utilizada em obra ou serviço apresenta as seguintes cores:

- Sinais de regulamentação: fundo na cor branca; orla e tarjas na cor vermelha e símbolos na cor preta – exceto sinal R-1 - “Parada Obrigatória” com fundo e orla externa na cor vermelha, legenda e orla interna na cor branca;
- Sinais de advertência: fundo e orla externa na cor laranja; orla interna, legendas e símbolos na cor preta.

- **Dimensões**

Tabela 8 – Sinalização Vertical de Obras

DIMENSÕES			
PLACAS DE REGULAMENTAÇÃO	OCTOGONAIS	R-1	L=0,414
		A-8	L=0,414
	CIRCULARES	REG	Ø=0,75
PLACAS DE ADVERTÊNCIA	QUADRADAS	ADV	L=0,60
PLACAS INDICATIVAS DE OBRAS	RETANGULAR	OB-1	1,20x0,40
	RETANGULAR	OB-2	1,20x0,40
	RETANGULAR	OB-3	1,20x0,40
	RETANGULAR	OB-4	1,20x0,40
	RETANGULAR	OB-5	1,20x0,60

A sinalização especial de advertência e indicativas de obra têm letras e algarismos com a seguinte altura:

- 15,0cm.

- **Materiais**

As placas de sinalização de obras serão confeccionadas como os mesmos materiais e suportes utilizados no projeto de sinalização.

4.4 – PROJETO DE OBRAS COMPLEMENTARES

4.4.1. Introdução

O Projeto de Obras Complementares que foi desenvolvido para o Lote 01, rodovia GO- Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador) irá suprir as necessidades do trecho quanto ao aspecto de segurança viária, através de indicação de dispositivos para cada condição específica, observadas as exigências constantes nas normas e especificações vigentes.

4.4.2. Metodologia

Os tipos de dispositivos a serem adotados e suas localizações para implantação/alteração foram definidas com base em criteriosa análise do Projeto Geométrico (planta, perfil e seção transversal) e nas informações obtidas através das observações de campo.

O Projeto de Obras Complementares contempla a indicação, substituição e implantação das cercas de vedação ao longo da faixa de domínio da rodovia. No Item 3 são apresentados o cadastro dos elementos e dispositivos das obras complementares, contendo informações como localização, tipo, dimensões, estado, entre outras.

4.4.3. Quantitativos

Neste item serão apresentados os quantitativos relativos aos serviços de Obras Complementares bem como suas localizações e informações.

QUADRO DE DADOS DE ENTRADA - QDE 15								
PROJETO DE OBRAS COMPLEMENTARES								
CERCA DE VEDAÇÃO DA FAIXA DE DOMÍNIO								
LOCALIZAÇÃO						LADO	EXTENSÃO (m)	SERVIÇO
ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL					
23	+	10	24	+	3	Direito	13	Manter
145	+	0	168	+	18	Direito	478	Manter
196	+	6	199	+	9	Direito	63	Manter
200	+	12	228	+	1	Direito	549	Manter
230	+	10	231	+	17	Direito	27	Manter
237	+	18	241	+	9	Direito	71	Manter
244	+	13	246	+	6	Direito	33	Manter
286	+	15	291	+	10	Direito	95	Manter
303	+	16	343	+	4	Direito	788	Manter
346	+	6	359	+	16	Direito	270	Manter
426	+	7	430	+	2	Direito	75	Manter
437	+	5	438	+	6	Direito	21	Realocar
595	+	0	595	+	13	Direito	13	Manter
603	+	11	608	+	10	Direito	99	Realocar
615	+	10	622	+	4	Direito	134	Manter
627	+	0	635	+	9	Direito	169	Manter
675	+	16	678	+	2	Direito	46	Realocar
830	+	2	830	+	11	Direito	9	Manter
866	+	1	992	+	5	Direito	2524	Manter
1011	+	4	1044	+	13	Direito	669	Manter
1045	+	10	1051	+	17	Direito	127	Realocar
0	+	0	0	+	0	Direito	0	Realocar
1207	+	14	1241	+	11	Direito	677	Manter
1243	+	2	1283	+	4	Direito	802	Manter
1284	+	0	1296	+	5	Direito	245	Manter
1304	+	16	1322	+	5	Direito	349	Manter
1328	+	10	1341	+	4	Direito	254	Manter
1361	+	12	1364	+	10	Direito	58	Realocar
1436	+	9	1437	+	1	Direito	12	Manter
1728	+	17	1842	+	2	Direito	2265	Manter
1843	+	2	1845	+	9	Direito	47	Manter
1848	+	10	1859	+	2	Direito	212	Manter
1859	+	14	1896	+	6	Direito	732	Manter
1925	+	11	1928	+	6	Direito	55	Realocar
1976	+	2	1985	+	14	Direito	192	Realocar
2016	+	18	2025	+	10	Direito	172	Realocar
2035	+	3	2043	+	7	Direito	164	Realocar
2047	+	10	2061	+	13	Direito	283	Manter
2122	+	1	2123	+	16	Direito	35	Manter
27	+	19	29	+	0	Direito	21	Manter
35	+	9	35	+	19	Direito	10	Manter
46	+	13	54	+	2	Direito	149	Manter
111	+	6	113	+	1	Direito	35	Manter
177	+	15	182	+	13	Direito	98	Manter
188	+	5	193	+	0	Direito	95	Manter
203	+	20	207	+	17	Direito	97	Manter
251	+	6	272	+	4	Direito	418	Manter
274	+	7	299	+	18	Direito	511	Manter
301	+	8	306	+	11	Direito	103	Manter
310	+	18	312	+	0	Direito	22	Manter
312	+	14	315	+	14	Direito	60	Manter
316	+	19	317	+	16	Direito	17	Manter
359	+	1	359	+	15	Direito	14	Manter
368	+	5	372	+	12	Direito	87	Manter
427	+	3	427	+	13	Direito	10	Manter
577	+	4	577	+	18	Direito	14	Manter
580	+	7	580	+	17	Direito	10	Manter
581	+	11	584	+	17	Direito	66	Manter

QUADRO DE DADOS DE ENTRADA - QDE 15								
PROJETO DE OBRAS COMPLEMENTARES								
CERCA DE VEDAÇÃO DA FAIXA DE DOMÍNIO								
LOCALIZAÇÃO						LADO	EXTENSÃO (m)	SERVIÇO
ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL					
620	+	4	620	+	17	Direito	13	Realocar
641	+	0	641	+	11	Direito	11	Manter
647	+	7	648	+	7	Direito	20	Realocar
659	+	6	659	+	14	Direito	8	Manter
687	+	17	706	+	12	Direito	375	Manter
713	+	11	718	+	18	Direito	107	Manter
735	+	7	737	+	9	Direito	42	Manter
738	+	12	749	+	1	Direito	209	Manter
798	+	19	812	+	18	Direito	279	Manter
826	+	16	837	+	14	Direito	218	Manter
861	+	6	863	+	4	Direito	38	Manter
1007	+	8	1012	+	17	Direito	109	Manter
1023	+	17	1030	+	4	Direito	127	Manter
1033	+	5	1039	+	16	Direito	131	Manter
1068	+	12	1096	+	3	Direito	551	Manter
1127	+	19	1149	+	1	Direito	422	Manter
1149	+	10	1177	+	12	Direito	562	Manter
1179	+	16	1192	+	18	Direito	262	Manter
1214	+	17	1296	+	3	Direito	1626	Manter
1317	+	11	1333	+	4	Direito	313	Manter
1334	+	19	1356	+	11	Direito	432	Manter
1356	+	17	1358	+	18	Direito	41	Manter
1374	+	5	1375	+	6	Direito	21	Manter
1468	+	15	1509	+	17	Direito	822	Manter
1542	+	12	1543	+	16	Direito	24	Manter
1612	+	18	1616	+	8	Direito	70	Manter
1680	+	4	1729	+	12	Direito	988	Manter
1829	+	9	1842	+	7	Direito	258	Realocar
1843	+	5	1849	+	16	Direito	131	Realocar
1858	+	12	1859	+	19	Direito	27	Realocar
1873	+	10	1905	+	4	Direito	634	Manter
1906	+	2	1939	+	2	Direito	660	Manter
1940	+	1	1954	+	5	Direito	284	Manter
1955	+	10	1959	+	0	Direito	70	Manter
1967	+	2	1975	+	14	Direito	172	Manter
1975	+	15	1985	+	16	Direito	201	Realocar
1999	+	15	2020	+	2	Direito	407	Manter
2020	+	19	2049	+	12	Direito	573	Manter
2070	+	17	2105	+	1	Direito	684	Manter
TOTAL			Item 40800 - Cerca de ved. de faixa de domínio em madeira (m) :					0,00
			Item 40804 - Remoção de cerca (m):					0,00
			Item 40805 - Remoção e recolocão de cerca (m):					1584,00

Tabela 1: Cadastro de cercas existentes

4.5 – PROJETO DE CANTEIRO DE OBRAS

4.5 Canteiro de Obras e Instalações

A localização sugerida para o Canteiro de Obra e Instalações é na estaca 1129/LD.

A área e elementos que compõem o canteiro seguiram o modelo de canteiro padrão DNIT.

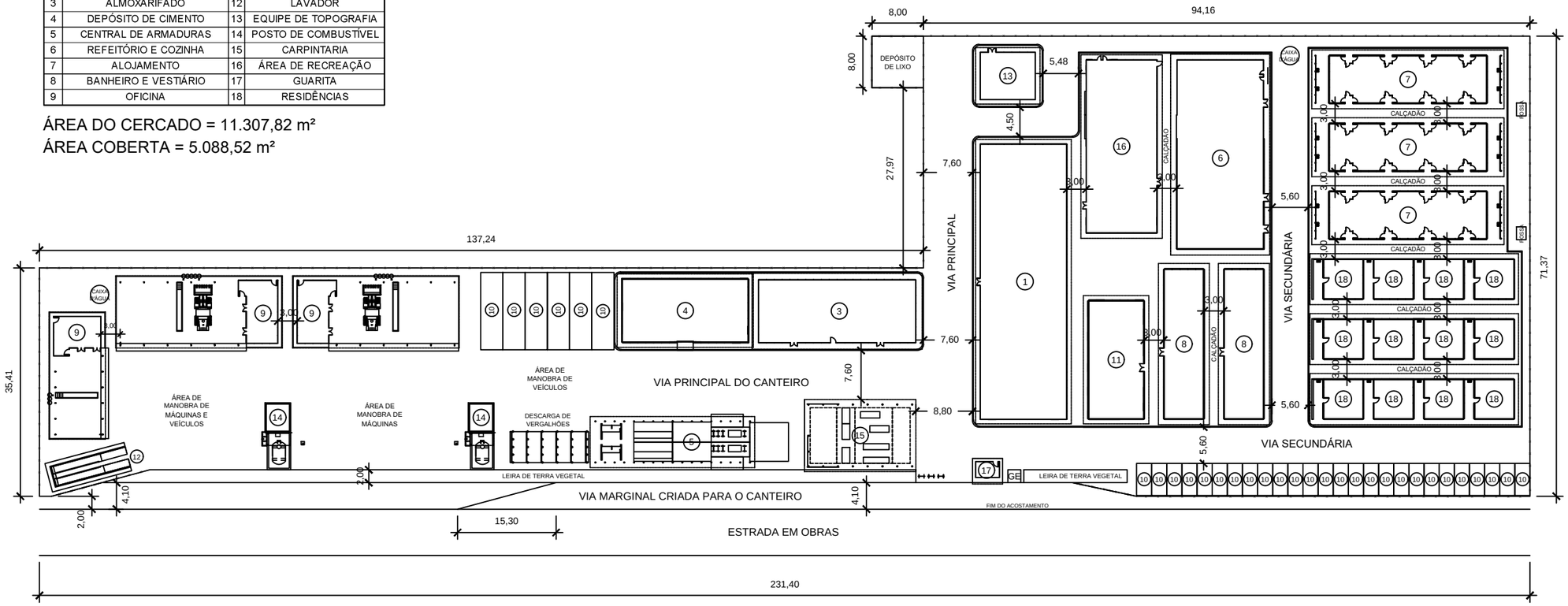
A Figura a seguir apresenta um croqui sugestivo do layout do canteiro e instalações, com usina de asfalto.

CANTEIRO DE OBRAS

Construção ou Restauração Rodoviária (Grande Porte)

DESENHOS			
1	ESCRITÓRIO E SEÇÃO TÉCNICA	10	GARAGENS
2	-	11	AMBULATÓRIO
3	ALMOXARIFADO	12	LAVADOR
4	DEPÓSITO DE CIMENTO	13	EQUIPE DE TOPOGRAFIA
5	CENTRAL DE ARMADURAS	14	POSTO DE COMBUSTÍVEL
6	REFEITÓRIO E COZINHA	15	CARPINTARIA
7	ALOJAMENTO	16	ÁREA DE RECREAÇÃO
8	BANHEIRO E VESTIÁRIO	17	GUARITA
9	OFICINA	18	RESIDÊNCIAS

ÁREA DO CERCADO = 11.307,82 m²
ÁREA COBERTA = 5.088,52 m²



NOTAS:
1. Dimensões em metros – Escala 1:750
2. A área ocupada pelo canteiro busca equilibrar o menor impacto à natureza com o necessário conforto dos trabalhadores e a eficiência dos serviços.
   A hierarquização das vias e o uso de calçadões têm esse objetivo.
3. A cobertura vegetal original recolhida é empregada em leiras no canteiro com as seguintes finalidades:
   3.1. Facilitar futura reposição da cobertura vegetal ao terreno natural pela formação ampla em linhas;
   3.2. Separar as áreas de vivência das áreas produtoras de poluição sonora e de pó no interior do canteiro;
   3.3. Isolamento de segurança e visual do canteiro em relação ao trânsito dos usuários da via frontal;
   3.4. Por meio de leiras padronizadas, conformar divisas do canteiro, reduzindo o consumo de arame farpado.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA–ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT	FGV
CANTEIRO DE OBRAS CONSTRUÇÃO OU RESTAURAÇÃO RODOVIÁRIA (GRANDE PORTE)	
ÁLBUM DE PROJETOS–TIPO DE CANTEIRO DE OBRAS	DESENHO 3.3

5 – QUANTITATIVOS

5.1 – QUADRO DE QUANTIDADES

QUADRO DE QUANTIDADES			
Rodovia:	GO - 330	**Tabela Referência:**	**abr/25**
Trecho:	Orizona / Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador)	**Extensão (km):**	**42,49**
Código	**Descrição**	**Unid.**	**Quant.**
	PAVIMENTAÇÃO		
40625M	RECICLAGEM COM ADIÇÃO DE 2% DE CIMENTO E INCORPORAÇÃO DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO À BASE	m3	47.549,600
40380	IMPRIMAÇÃO	m2	271.712,000
40609	TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO - TSD (BC)	m2	271.712,000
40602	CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE - CBUQ - FAIXA C	m3	10.868,480
40618	CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE - CBUQ - FAIXA B	m3	24.740,448
40385	PINTURA DE LIGAÇÃO	m2	745.267,200
40145	ESPALHAMENTO DE MATERIAL FRESADO PARA LIMPA-RODAS	m3	240,661
40380M	BANHO DE EAI PARA LIMPA-RODAS	m2	2.406,610
	REMOÇÃO PAVIMENTO EXISTENTE - PAVIMENTAÇÃO		
40425	REMOÇÃO E CARGA DE PAV. ASFÁLTICA (EXCETO TRANSPORTE)	m3	1.847,641
40145	ESPALHAMENTO DE MATERIAL EM BOTA-FORA	m3	1.847,641
40430	TRANSPORTE DE PAVIMENTO REMOVIDO	m3km	2.611,171
	TRANSPORTES - PAVIMENTAÇÃO		
40435	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BETUMINOSO	TKM	15.501,588
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	TKM	664.276,051
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m3km	5.870.980,435
40440	TRANSPORTE LOCAL DE MASSA ASFÁLTICA	TKM	882.835,732
40530	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BETUMINOSO	tkm	890.744,095
40449	TRANSPORTE LOCAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm	20.944,623
	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO - PAVIMENTAÇÃO		
40495	FORNECIMENTO DE EMULSÃO RR-2C COM POLÍMERO	T	760,793
40510	FORNECIMENTO DE EMULSÃO RR-1C	T	372,633
40485-M	FORNECIMENTO DE EMULSÃO ASFÁLTICA PARA IMPRIMAÇÃO E PARA LIMPA RODAS - EAI	T	362,852
40515	FORNECIMENTO DE CAP-60/85 COM POLÍMERO	T	4.830,800
	REPAROS LOCALIZADOS PROFUNDOS (BASE)		
40466	FRESAGEM DESCONTÍNUA PARA REPARO LOCALIZADO	m3	242,709
40607	ESTABILIZAÇÃO BRITA GRADUADA - BGS - USINA	m3	978,163
40325	TRANSPORTE LOCAL DA MISTURA	m3km	15.039,481
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m3km	142.620,740
40006	TRANSPORTE DE ENTULHOS	m3km	20.046,911
	TRABALHOS INICIAIS		
40380	IMPRIMAÇÃO COM EAI	m2	2.325,000
40385	PINTURA DE LIGAÇÃO	m2	2.325,000
40618	CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE - CBUQ - FAIXA B	m3	102,580
40466	FRESAGEM DESCONTÍNUA PARA REPARO LOCALIZADO	m3	102,580
	TRANSPORTES - TRABALHOS INICIAIS		
40435	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BETUMINOSO	TKM	45,912
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	TKM	731,836
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m3km	15.194,463
40440	TRANSPORTE LOCAL DE MASSA ASFÁLTICA	TKM	2.581,356
40530	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BETUMINOSO	tkm	2.535,740
40006	TRANSPORTE DE ENTULHOS	m3km	1.121,199

QUADRO DE QUANTIDADES

Rodovia: GO - 330 **Tabela Referência:** abr/25
Trecho: Orizona / Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador) **Extensão (km):** 42,49

Código	Descrição	Unid.	Quant.
	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO - TRABALHOS INICIAIS		
40510	FORNECIMENTO DE EMULSÃO RR-1C	T	1,046
40485	FORNECIMENTO DE EMULSÃO ASFÁLTICA PARA IMPRIMAÇÃO - EAI	t	3,022
40515	FORNECIMENTO DE CAP-60/85 COM POLÍMERO	T	13,540
	DRENAGEM		
605504	BUEIRO METÁLICO SEM INTERRUPÇÃO DE TRÁFEGO - D = 1,20 M - CHAPA GALVANIZADA - ESCAVADO EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA - ATERRO RODOVIÁRIO MÁXIMO = 9,00 M	m	48,000
41861	BOCA DE BSTC D=1,20M (AC/BC)	un	5,000
41846	BOCA DE BSTC D=0,60M (AC/BC)	un	12,000
41856	BOCA DE BSTC D=1,00M (AC/BC)	un	4,000
45005	ESCAVAÇÃO MANUAL MAT. 1ª CAT.	m³	199,699
40140	ESTABILIZAÇÃO DE SOLO COM BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE COM RACHÃO	m³	10,872
2003365	TRANSPOSIÇÃO DE SEGMENTOS DE SARJETA - TSS 120 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	m	49,000
41330	MEIO FIO COM SARJETA - MFC01	m	308,000
41332	MEIO FIO COM SARJETA - MFC03	m	12.338,605
41385	ENTRADA D'ÁGUA - EDA 01 (AC/BC)	un	62,000
41386	ENTRADA D'ÁGUA - EDA 02 (AC/BC)	un	17,000
2003499	CAIXA COLETORA DE SARJETA - CCS 300-120 A - COM GRELHA DE CONCRETO - AREIA E BRITA COMERCIAIS	un	1,000
2003457	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 300-366 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	7,000
2003469	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 300-666 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	1,000
2003459	DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 360-414 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	3,000
2003393	DESCIDA D'ÁGUA DE ATERROS TIPO RÁPIDO - DAR 60-30 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	m	110,000
2003407	DESCIDA D'ÁGUA DE ATERROS EM DEGRAUS - DAD 60-36 - AREIA E BRITA COMERCIAIS	m	170,000
2003179	DISSIPADOR DE ENERGIA - DED 03 A - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	22,000
2003175	DISSIPADOR DE ENERGIA - DED 01 A - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	18,000
2003231	DISSIPADOR DE ENERGIA - DES 125-375 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	1,000
2003237	DISSIPADOR DE ENERGIA - DES 100-300 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un	1,000
42820	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO SIMPLES	m3	483,749
42825	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO ARMADO	m3	29,510
41211	SARJETA TRIANGULAR DE CONCRETO - STC 73-15	m	711,000
41209	SARJETA TRIANGULAR DE CONCRETO - STC 108-25	m	85,000
2003289	SARJETA TRIANGULAR DE GRAMA - STG 100-20 - ESCAVAÇÃO MECÂNICA	m	749,000
42430	LIMPEZA DE SARJETA	M	6.559,400
42425	LIMPEZA DE MEIO-FIO E DESCIDA D´AGUA	M	2.568,000
42445	DESOBSTRUÇÃO DE BUEIROS	m3	276,365
42480	CAIAÇÃO (3 DEMÃOS)	m2	11.729,034
	TRANSPORTES DRENAGEM		
40449	TRANSPORTE LOCAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm	68,891
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	TKM	62.729,626
40445	TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS	m3km	322,825
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m3km	74.707,531
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm	196,319
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm	128,019
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm	208,813
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm	178,076
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m3km	9.019,905
40098	TRANSPORTE LOCAL MAT. 1ª CATEG. C/ BASCULANTE 10M³ - DMT>10,0KM	m3km	2.166,734
40005	CARGA DE ENTULHOS	m3	513,259
40006	TRANSPORTE DE ENTULHOS	m3km	13.606,496

QUADRO DE QUANTIDADES			
Rodovia:	GO - 330	**Tabela Referência:**	**abr/25**
Trecho:	Orizona / Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador)	**Extensão (km):**	**42,49**
Código	**Descrição**	**Unid.**	**Quant.**
	SINALIZAÇÃO		
	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL		
40815	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL COM RESINA ACRÍLICA (0,6 mm)	m2	12.704,550
	SINALIZAÇÃO VERTICAL		
40853	SINALIZAÇÃO VERTICAL TOTALMENTE REFLETIVA (TIPO III)	m2	125,510
40856	SINALIZAÇÃO VERTICAL TOTALMENTE REFLETIVA - CHAPA DE ALUMÍNIO	m2	70,370
	DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA		
40830	TACHA REFLETIVA MONODIRECIONAL	Un	141,000
40835	TACHA REFLETIVA BIDIRECIONAL	Un	14.798,000
	DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA		
40810	DEFENSA METÁLICA SEMI-MALEÁVEL SIMPLES	M	188,000
3713873	MÓDULO DE TRANSIÇÃO DE DEFENSA METÁLICA PARA BARREIRA RÍGIDA - FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO	und	8,000
3713690	TERMINAL DE ANCORAGEM DE DEFENSA METÁLICA PARA BARREIRA NEW JERSEY - FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO	und	8,000
3713903	TERMINAL ABSORVEDOR DE ENERGIA DE NÃO ABERTURA COM NÍVEL DE CONTENÇÃO TL3 PARA DEFENSA METÁLICA - FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO	und	12,000
	SINALIZAÇÃO TEMPORÁRIA		
40853	SINALIZAÇÃO VERTICAL TOTALMENTE REFLETIVA (TIPO III)	m2	12,920
40816	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL COM RESINA ACRÍLICA EMULSIONADA EM ÁGUA (0,3 mm)	m2	3.876,000
	OBRAS COMPLEMENTARES		
40805	REMOÇÃO E RECOLOCAÇÃO DE CERCA	M	1.584,000
	MEIO AMBIENTE		
40870	REVESTIMENTO VEGETAL EM MUDAS	m2	20.420,000
40800	CERCA DE VEDAÇÃO DE FAIXA DE DOMÍNIO EM MADEIRA	M	4.638,991
40895	SEMEADURA MANUAL	m2	14.107,820
	ADMINISTRAÇÃO		
42150	ADMINISTRAÇÃO LOCAL - TIPO C2	un	1,000
	CANTEIRO DE OBRAS		
42250M*	CANTEIRO DE OBRA - TIPO C2 (COM USINA DE SOLOS)	un	1,000
	MOBILIZAÇÃO / DESMOBILIZAÇÃO		
42301	MOBILIZAÇÃO / DESMOBILIZAÇÃO - CONFORME DEMONSTRATIVO	un	1,000

NOTA: *Conforme o Relatório de Análise de Projeto 853/2025, na página 25 (3.20 – item 78), foi indicada a adoção da faixa C2 para o dimensionamento da Administração Local e do Canteiro de Obras. Entretanto, em função da solução de pavimentação que prevê a execução de Brita Graduada (BGS), constatou-se a necessidade de implantação de uma usina de solos, infraestrutura não contemplada na faixa C2 anteriormente especificada. Diante do exposto, a projetista contatou a equipe de fiscalização que determinou a utilização da faixa C2 acrescida da instalação da usina de solos.

TRANSPORTES DRENAGEM								
CÓDIGO		SERVIÇOS	UND	CONSUMO	DMT LOCAL	DMT COMERCIAL	QUANTIDADE T x KM (L)	QUANTIDADE T x KM (C)
41330		**MEIO FIO COM SARJETA - MFC01**	**m**				**308,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,037310	0,00	203,80	0,00	2.341,96
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,060475	0,00	43,25	0,00	805,59
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,059245	0,00	99,01	0,00	1.806,68
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000472	0,00	12,50	0,00	1,82
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,102500	10,66	0,00	336,54	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					336,54
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					2.612,27
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					1,82
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					2.341,96
41332		**MEIO FIO COM SARJETA - MFC03**	**m**				**12.338,61**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,015288	0,00	203,80	0,00	38.443,32
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,024780	0,00	43,25	0,00	13.223,71
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,024276	0,00	99,01	0,00	29.656,66
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000193	0,00	12,50	0,00	29,80
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,042000	10,66	0,00	5.524,24	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					5.524,24
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					42.880,38
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					29,80
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					38.443,32
41385		**ENTRADA D'ÁGUA - EDA 01 (AC/BC)**	**un**				**62,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,036520	0,00	203,80	0,00	461,45
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,066330	0,00	43,25	0,00	177,86
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,062810	0,00	99,01	0,00	385,57
10044		PREGO	T	0,000001	10,66	12,50	0,00	0,00
10048		SARRAFO	T	0,000091	10,66	12,50	0,06	0,07
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000462	0,00	12,50	0,00	0,36
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,000303	10,66	12,50	0,20	0,24
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,110000	10,66	0,00	72,70	0,00
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					461,45
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					72,70
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					563,43
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,36
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,00
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					0,31
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					0,26
41386		**ENTRADA D'ÁGUA - EDA 02 (AC/BC)**	**un**				**17,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,046480	0,00	203,80	0,00	161,03
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,084420	0,00	43,25	0,00	62,07
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,079940	0,00	99,01	0,00	134,55
10044		PREGO	T	0,000000	10,66	12,50	0,00	0,00
10048		SARRAFO	T	0,000030	10,66	12,50	0,01	0,01
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000588	0,00	12,50	0,00	0,12
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,000101	10,66	12,50	0,02	0,02
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,140000	10,66	0,00	25,37	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					25,37
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					161,03
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					196,62
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,13
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,00
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					0,03
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					0,02
40140		**ESTABILIZAÇÃO DE SOLO COM BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE COM RACHÃO**	**m³**				**10,87**	
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	1,000000	10,66	99,01	115,90	1.076,44
40445		TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS	m³km					115,90
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					1.076,44
2003393		**DESCIDA D'ÁGUA DE ATERROS TIPO RÁPIDO - DAR 60-30 - AREIA E BRITA COMERCIAIS**	**m**				**110,00**	
M0075		Arame liso recozido em aço-carbono - D = 1,24 mm	T	0,000231	10,66	12,50	0,27	0,32
10069		AÇO CA - 50	T	0,012719	10,66	12,50	14,91	17,49
10044		PREGO	T	0,000029	10,66	12,50	0,03	0,04
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,112159	0,00	43,25	0,00	533,60
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,069196	0,00	203,80	0,00	1.551,24
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,109878	0,00	99,01	0,00	1.196,69
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000874	0,00	12,50	0,00	1,20
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,014558	10,66	12,50	17,07	20,02
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,004378	10,66	12,50	5,13	6,02
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000029	10,66	12,50	0,03	0,04
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,190100	10,66	0,00	222,91	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					222,91
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					1.551,24
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					1.730,29
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					19,09
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					15,25
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					26,04
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					22,20

TRANSPORTES DRENAGEM								
CÓDIGO		SERVIÇOS	UND	CONSUMO	DMT LOCAL	DMT COMERCIAL	QUANTIDADE T x KM (L)	QUANTIDADE T x KM (C)
2003407		**DESCIDA D'ÁGUA DE ATERROS EM DEGRAUS - DAD 60-36 - AREIA E BRITA COMERCIAIS**	**m**				**170,00**	
M0075		Arame liso recozido em aço-carbono - D = 1,24 mm	T	0,000420	10,66	12,50	0,76	0,89
10069		AÇO CA - 50	T	0,023073	10,66	12,50	41,81	49,03
10044		PREGO	T	0,000057	10,66	12,50	0,10	0,12
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,192222	0,00	43,25	0,00	1.413,31
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,118591	0,00	203,80	0,00	4.108,71
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,188312	0,00	99,01	0,00	3.169,62
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,001499	0,00	12,50	0,00	3,18
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,029064	10,66	12,50	52,67	61,76
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,008739	10,66	12,50	15,84	18,57
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000057	10,66	12,50	0,10	0,12
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,325800	10,66	0,00	590,41	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					590,41
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					4.108,71
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					4.582,93
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					53,35
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					42,78
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					80,33
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					68,51
2003179		**DISSIPADOR DE ENERGIA - DED 03 A - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS**	**un**				**22,00**	
10044		PREGO	T	0,000078	10,66	12,50	0,02	0,02
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,372880	0,00	43,25	0,00	354,80
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,230048	0,00	203,80	0,00	1.031,44
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	0,184200	10,66	99,01	43,20	401,23
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,365296	0,00	99,01	0,00	795,70
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,002907	0,00	12,50	0,00	0,80
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,039193	10,66	12,50	9,19	10,78
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,011785	10,66	12,50	2,76	3,24
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000078	10,66	12,50	0,02	0,02
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,632000	10,66	0,00	148,22	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					148,22
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					1.031,44
40445	TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS		m^3km					43,20
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					1.551,72
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,84
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,04
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					14,02
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					11,96
605504		**BUEIRO METÁLICO SEM INTERRUPÇÃO DE TRÁFEGO - D = 1,20 M - CHAPA GALVANIZADA - ESCAVADO EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA - ATERRO RODOVIÁRIO MÁXIMO = 9,00 M**	**m**				**48,00**	
M2500		CHAPA METÁLICA CORRUGADA GALVANIZADA PARA TUNNEL LINER	T	0,096000	10,66	12,50	49,12	57,60
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,085766	10,66	203,80	43,88	839,00
40449	TRANSPORTE LOCAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					43,88
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					839,00
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					57,60
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					49,12
2003499		**CAIXA COLETORA DE SARJETA - CCS 300-120 A - COM GRELHA DE CONCRETO - AREIA E BRITA COMERCIAIS**	**un**				**1,00**	
M0075		ARAME LISO RECOZIDO EM AÇO-CARBONO - D = 1,24 MM (18	T	0,004130	10,66	12,50	0,04	0,05
10069		AÇO CA - 50	T	0,227136	10,66	12,50	2,42	2,84
10044		PREGO	T	0,000739	10,66	12,50	0,01	0,01
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	2,514433	0,00	43,25	0,00	108,75
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	1,510444	0,00	203,80	0,00	307,83
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	2,537810	0,00	99,01	0,00	251,27
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR PARA	T	0,017337	0,00	12,50	0,00	0,22
M1429		TÁBUA DE PINHO DE TERCEIRA - E = 2,5 CM	T	0,373629	10,66	12,50	3,98	4,67
M0290		TÁBUA - E = 2,5 CM E L = 10 CM	T	0,112347	10,66	12,50	1,20	1,40
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000739	10,66	12,50	0,01	0,01
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	3,645800	10,66	0,00	38,86	0,00
45165		CONCRETO FCK=25 MPA	M3	0,115500	10,66	0,00	1,23	0,00
1106057		CONCRETO MAGRO - CONFECÇÃO EM BETONEIRA E LANÇAMENTO MANUAL - AREIA E BRITA COMERCIAIS	M3	0,493500	10,66	0,00	5,26	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					45,36
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					307,83
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					360,02
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					3,13
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					2,48
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					6,07
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					5,18

TRANSPORTES DRENAGEM								
CÓDIGO		SERVIÇOS	UND	CONSUMO	DMT LOCAL	DMT COMERCIAL	QUANTIDADE T x KM (L)	QUANTIDADE T x KM (C)
2003457		DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 300-366 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un				7,00	
10044		PREGO	T	0,000129	10,66	12,50	0,01	0,01
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	1,247260	0,00	43,25	0,00	377,61
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,769496	0,00	203,80	0,00	1.097,76
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	0,868100	10,66	99,01	64,78	601,65
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	1,221892	0,00	99,01	0,00	846,86
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,009724	0,00	12,50	0,00	0,85
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,064985	10,66	12,50	4,85	5,69
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,019541	10,66	12,50	1,46	1,71
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000129	10,66	12,50	0,01	0,01
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	2,114000	10,66	0,00	157,75	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					157,75
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					1.097,76
40445		TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS	m³km					64,78
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					1.826,12
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,87
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,02
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					7,40
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					6,31
2003469		DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 300-666 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un				1,00	
10044		PREGO	T	0,000165	10,66	12,50	0,00	0,00
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	2,149842	0,00	43,25	0,00	92,98
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	1,326343	0,00	203,80	0,00	270,31
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	1,594000	10,66	99,01	16,99	157,82
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	2,106116	0,00	99,01	0,00	208,53
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,016761	0,00	12,50	0,00	0,21
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,083183	10,66	12,50	0,89	1,04
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,025013	10,66	12,50	0,27	0,31
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000165	10,66	12,50	0,00	0,00
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	3,643800	10,66	0,00	38,84	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					38,84
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					270,31
40445		TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS	m³km					16,99
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					459,33
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,21
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,00
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					1,35
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					1,15
2003459		DISSIPADOR DE ENERGIA - DEB 360-414 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un				3,00	
10044		PREGO	T	0,000149	10,66	12,50	0,00	0,01
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	1,648224	0,00	43,25	0,00	213,86
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	1,016870	0,00	203,80	0,00	621,71
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	1,181500	10,66	99,01	37,78	350,94
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	1,614701	0,00	99,01	0,00	479,61
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,012851	0,00	12,50	0,00	0,48
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,075145	10,66	12,50	2,40	2,82
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,022595	10,66	12,50	0,72	0,85
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000149	10,66	12,50	0,00	0,01
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	2,793600	10,66	0,00	89,34	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					89,34
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					621,71
40445		TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS	m³km					37,78
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					1.044,41
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,49
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,01
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					3,67
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					3,13
2003175		DISSIPADOR DE ENERGIA - DED 01 A - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS	un				18,00	
10044		PREGO	T	0,000078	10,66	12,50	0,01	0,02
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,374768	0,00	43,25	0,00	291,76
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,231213	0,00	203,80	0,00	848,18
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	0,184200	10,66	99,01	35,34	328,28
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,367146	0,00	99,01	0,00	654,32
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,002922	0,00	12,50	0,00	0,66
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,039193	10,66	12,50	7,52	8,82
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,011785	10,66	12,50	2,26	2,65
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000078	10,66	12,50	0,01	0,02
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,635200	10,66	0,00	121,88	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					121,88
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					848,18
40445		TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS	m³km					35,34
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					1.274,35
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,69
47050		TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					0,03
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					11,47
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					9,78

TRANSPORTES DRENAGEM								
CÓDIGO		SERVIÇOS	UND	CONSUMO	DMT LOCAL	DMT COMERCIAL	QUANTIDADE T x KM (L)	QUANTIDADE T x KM (C)
2003237		**DISSIPADOR DE ENERGIA - DES 100-300 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS**	**un**				**1,00**	
10044		PREGO	T	0,000088	10,66	12,50	0,00	0,00
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,414711	0,00	43,25	0,00	17,94
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,255856	0,00	203,80	0,00	52,14
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	0,321100	10,66	99,01	3,42	31,79
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,406276	0,00	99,01	0,00	40,23
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,003233	0,00	12,50	0,00	0,04
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,044491	10,66	12,50	0,47	0,56
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,013378	10,66	12,50	0,14	0,17
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000088	10,66	12,50	0,00	0,00
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,702900	10,66	0,00	7,49	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					7,49
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					52,14
40445	TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS		m^3km					3,42
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					89,95
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,04
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,00
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					0,72
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					0,62
2003231		**DISSIPADOR DE ENERGIA - DES 125-375 - AREIA, BRITA E PEDRA DE MÃO COMERCIAIS**	**un**				**1,00**	
10044		PREGO	T	0,000109	10,66	12,50	0,00	0,00
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,611417	0,00	43,25	0,00	26,44
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,377213	0,00	203,80	0,00	76,88
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA (POSTO PEDREIRA)	M3	0,507500	10,66	99,01	5,41	50,25
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,598981	0,00	99,01	0,00	59,31
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,004767	0,00	12,50	0,00	0,06
M1429		Tábua de pinho de terceira - E = 2,5 cm	T	0,055260	10,66	12,50	0,59	0,69
M0290		Tábua - E = 2,5 cm e L = 10 cm	T	0,016616	10,66	12,50	0,18	0,21
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000109	10,66	12,50	0,00	0,00
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	1,036300	10,66	0,00	11,05	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					11,05
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					76,88
40445	TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS		m^3km					5,41
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					136,00
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,06
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,00
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					0,90
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					0,77
2003289		**SARJETA TRIANGULAR DE GRAMA - STG 100-20 - ESCAVAÇÃO MECÂNICA**	**m**				**749,00**	
10048		SARRAFO	T	0,000831	10,66	12,50	6,63	7,78
10000		ADUBO NPK	T	0,000066	10,66	12,50	0,53	0,62
10041		PÓ CALCÁRIO	T	0,000199	10,66	12,50	1,59	1,86
10404		ADUBO ORGÂNICO	T	0,000222	10,66	12,50	1,77	2,08
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					4,56
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					3,89
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					7,78
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					6,63
2003365		**TRANSPOSIÇÃO DE SEGMENTOS DE SARJETA - TSS 120 - AREIA E BRITA COMERCIAIS**	**m**				**49,00**	
M0075		ARAME LISO RECOZIDO EM AÇO-CARBONO - D = 1,24 MM (18	T	0,000489	10,66	12,50	0,26	0,30
10069		AÇO CA - 50	T	0,026900	10,66	12,50	14,05	16,48
10044		PREGO	T	0,000063	10,66	12,50	0,03	0,04
10081		AREIA COMERCIAL (POSTO AREAL)	M3	0,594581	0,00	43,25	0,00	1.260,07
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,373904	0,00	203,80	0,00	3.733,88
10082		BRITA COMERCIAL (POSTO PEDREIRA)	M3	0,585940	0,00	99,01	0,00	2.842,68
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR PARA	T	0,004721	0,00	12,50	0,00	2,89
M1429		TÁBUA DE PINHO DE TERCEIRA - E = 2,5 CM	T	0,032004	10,66	12,50	16,72	19,60
M0290		TÁBUA - E = 2,5 CM E L = 10 CM	T	0,009623	10,66	12,50	5,03	5,89
11016		DESMOLDANTE P/ FORMA	T	0,000063	10,66	12,50	0,03	0,04
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,757900	10,66	0,00	395,88	0,00
45165		CONCRETO FCK=25 MPA	M3	0,252000	10,66	0,00	131,63	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					527,51
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					3.733,88
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					4.102,75
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					19,74
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					14,37
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					25,50
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					21,74

TRANSPORTES DRENAGEM								
CÓDIGO		SERVIÇOS	UND	CONSUMO	DMT LOCAL	DMT COMERCIAL	QUANTIDADE T x KM (L)	QUANTIDADE T x KM (C)
41846		**BOCA DE BSTC D=0,60M (AC/BC)**	**un**				**12,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,302670	0,00	203,80	0,00	740,21
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,662865	0,00	43,25	0,00	344,03
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,756397	0,00	99,01	0,00	898,69
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA	M3	0,773220	0,00	99,01	0,00	918,68
10044		PREGO	T	0,000055	10,66	12,50	0,01	0,01
10048		SARRAFO	T	0,007114	10,66	12,50	0,91	1,07
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,023657	10,66	12,50	3,03	3,55
42841		CONCRETO CICLÓPICO FCK=11 MPA P/DRENAGEM	M3	1,470000	10,66	0,00	188,04	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					188,04
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					2.161,40
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,01
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,01
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					740,21
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					4,62
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					3,94
41856		**BOCA DE BSTC D=1,00M (AC/BC)**	**un**				**4,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,468340	0,00	203,80	0,00	381,79
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	1,024931	0,00	43,25	0,00	177,31
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	1,172159	0,00	99,01	0,00	464,22
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA	M3	1,198228	0,00	99,01	0,00	474,55
10044		PREGO	T	0,000109	10,66	12,50	0,00	0,01
10048		SARRAFO	T	0,014045	10,66	12,50	0,60	0,70
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,046708	10,66	12,50	1,99	2,34
42841		CONCRETO CICLÓPICO FCK=11 MPA P/DRENAGEM	M3	2,278000	10,66	0,00	97,13	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					97,13
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					1.116,08
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,01
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,00
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					381,79
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					3,04
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					2,59
41861		**BOCA DE BSTC D=1,20M (AC/BC)**	**un**				**5,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,639046	0,00	203,80	0,00	651,19
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	1,405800	0,00	43,25	0,00	304,00
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	1,582774	0,00	99,01	0,00	783,55
10034		PEDRA DE MÃO / MARROADA	M3	1,617976	0,00	99,01	0,00	800,98
10044		PREGO	T	0,000138	10,66	12,50	0,01	0,01
10048		SARRAFO	T	0,017693	10,66	12,50	0,94	1,11
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,058840	10,66	12,50	3,14	3,68
42841		CONCRETO CICLÓPICO FCK=11 MPA P/DRENAGEM	M3	3,076000	10,66	0,00	163,95	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					163,95
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					1.888,54
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,01
47050	TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,01
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					651,19
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					4,78
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					4,08
42480		**CAIAÇÃO (3 DEMÃOS)**	**m2**				**11.729,03**	
10009		CAL PARA PINTURA	T	0,000200	10,66	203,80	25,01	478,08
40449	TRANSPORTE LOCAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					25,01
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					478,08
41209		**SARJETA TRIANGULAR DE CONCRETO - STC 108-25**	**m**				**85,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,039931	0,00	203,80	0,00	691,72
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,064723	0,00	43,25	0,00	237,94
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,063407	0,00	99,01	0,00	533,62
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000505	0,00	12,50	0,00	0,54
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,001521	10,66	12,50	1,38	1,62
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,109700	10,66	0,00	99,40	0,00
40436	TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO		m^3km					99,40
40455	TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS		m^3km					771,56
40451	TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO		tkm					0,54
40450	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER		tkm					691,72
40453	TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA		tkm					1,62
47049	TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA		tkm					1,38

TRANSPORTES DRENAGEM								
CÓDIGO		SERVIÇOS	UND	CONSUMO	DMT LOCAL	DMT COMERCIAL	QUANTIDADE T x KM (L)	QUANTIDADE T x KM (C)
41211		**SARJETA TRIANGULAR DE CONCRETO - STC 73-15**	**m**				**711,00**	
10010		CIMENTO PORTLAND CP II - 32	T	0,026499	0,00	203,80	0,00	3.839,78
10081		AREIA - COMERCIAL (AC)	M3	0,042952	0,00	43,25	0,00	1.320,81
10082		BRITA - COMERCIAL (BC)	M3	0,042078	0,00	99,01	0,00	2.962,16
10097		ADITIVO PLASTIFICANTE E RETARDADOR	T	0,000335	0,00	12,50	0,00	2,98
10025		COMPENSADO RESINADO - 10 mm	T	0,001033	10,66	12,50	7,83	9,18
42838		CONCRETO FCK=20 MPA P/ DRENAGEM	M3	0,072800	10,66	0,00	551,77	0,00
40436		TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO	m³km					551,77
40455		TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	m³km					4.282,96
40451		TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO	tkm					2,98
40450		TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER	tkm					3.839,78
40453		TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA	tkm					9,18
47049		TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA	tkm					7,83
		TRANSPORTE TOTAL (SERVIÇOS DE DRENAGEM)						
40449		**TRANSPORTE LOCAL DE CIMENTO / CAL / FILLER**	**tkm**					**68,89**
40450		**TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO / CAL / FILLER**	**tkm**					**62.729,63**
40445		**TRANSPORTE LOCAL DE AGREGADOS**	**m³km**					**322,83**
40455		**TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS**	**m³km**					**74.707,53**
40451		**TRANSPORTE COMERCIAL DE MATERIAL BÁSICO**	**tkm**					**196,32**
47050		**TRANSPORTE LOCAL DE MATERIAL BÁSICO**	**tkm**					**128,02**
40453		**TRANSPORTE COMERCIAL DE MADEIRA**	**tkm**					**208,81**
47049		**TRANSPORTE LOCAL DE MADEIRA**	**tkm**					**178,08**
40436		**TRANSPORTE LOCAL DE CONCRETO**	**m³km**					**9.019,91**

NOTA: Conforme determinação da GOINFRA, o transporte dos materiais incluídos nas composições de concreto deverá seguir estritamente as composições registradas no centro de custo da própria instituição. Esta consultora considera que tal procedimento não representa a metodologia mais adequada para elaboração do orçamento, uma vez que as quantidades efetivamente transportadas divergem das quantidades dos insumos remunerados nas composições SICRO, resultando em possíveis distorções nos valores orçamentários.

5.2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO - PAVIMENTAÇÃO

DADOS DE CADASTRO DA PISTA EXISTENTE

SEGMENTO HOMOGENEO	Pista/Lado	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			EXTENSÃO	Largura Lado Direito	Largura Lado Esquerdo	Largura de Acostamento	Largura total da Pista	Área Pista	(h) Pavimento	RECICLAGEM COM 2% DE CIMENTO E INCORPORAÇÃO DO REVESTIMENTO EXISTENTE		IMPRIMAÇÃO (EAI)	Tratamento Superficial Duplo (RR-2C)	PINTURA DE LIGAÇÃO	CBUQ Faixa "B" (m3) - Pista			PINTURA DE LIGAÇÃO - 1ª CAMADA Acostamentos
																				Espessuras		Volume	
															Lado Direito	Lado Esquerdo				Lado Direito	Lado Esquerdo		
1	Simples / Direito e Esquerdo	0	+	0,00	30	+	0,00	600	3,5	3,5	2,6	7,0	4.200,00	0,04	367,50	367,50	4.200,00	4.200,00	4.200,00	0,060	0,060	252,00	1.560,00
	Viaduto sobre Linha Férrea	30	+	0,00	31	+	10	30															
2	Simples / Direito e Esquerdo	31	+	10	82	+	17	1027	3,5	3,5	2,6	7,0	7.189,00	0,04	629,04	629,04	7.189,00	7.189,00	7.189,00	0,060	0,060	431,34	2.670,20
	Ponte sobre Rio Corumbá	82	+	17	93	+	1	204															
3	Simples / Direito e Esquerdo	93	+	1	100	+	0,00	139	3,5	3,5	2,6	7,0	973,00	0,04	85,14	85,14	973,00	973,00	973,00	0,060	0,060	58,38	361,40
4	Simples / Direito e Esquerdo	100	+	0,00	200	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,02	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
5	Simples / Direito e Esquerdo	200	+	0,00	300	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,02	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
6	Simples / Direito e Esquerdo	300	+	0,00	400	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,02	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
7	Simples / Direito e Esquerdo	400	+	0,00	572	+	0,00	3440	Perímetro Urbano														
8	Simples / Direito e Esquerdo	572	+	0,00	672	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,04	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
9	Simples / Direito e Esquerdo	672	+	0,00	772	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,04	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
10	Simples / Direito e Esquerdo	772	+	0,00	872	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,04	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
11	Simples / Direito e Esquerdo	872	+	0,00	972	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,07	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
12	Simples / Direito e Esquerdo	972	+	0,00	1072	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,04	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
13	Simples / Direito e Esquerdo	1072	+	0,00	1172	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
14	Simples / Direito e Esquerdo	1172	+	0,00	1272	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
15	Simples / Direito e Esquerdo	1272	+	0,00	1372	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
16	Simples / Direito e Esquerdo	1372	+	0,00	1472	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,06	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
17	Simples / Direito e Esquerdo	1472	+	0,00	1572	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
18	Simples / Direito e Esquerdo	1572	+	0,00	1672	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
19	Simples / Direito e Esquerdo	1672	+	0,00	1772	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,04	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
20	Simples / Direito e Esquerdo	1772	+	0,00	1872	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
21	Simples / Direito e Esquerdo	1872	+	0,00	1972	+	0,00	2000	3,5	3,5	2,6	7,0	14.000,00	0,05	1.225,00	1.225,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	0,060	0,060	840,00	5.200,00
22	Simples / Direito e Esquerdo	1972	+	0,00	2124	+	10	3050	3,5	3,5	2,6	7,0	21.350,00	0,06	1.868,13	1.868,13	21.350,00	21.350,00	21.350,00	0,060	0,060	1.281,00	7.930,00
	Limpa-rodas 01	27	+	0	27	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 02	140	+	0	140	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 03	180	+	0	180	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 04	195	+	0	195	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 05	245	+	0	245	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 06	362	+	0	362	+	0						155,71	0,10									
	Limpa-rodas 07	735	+	0	735	+	0						155,71	0,10									
	Limpa-rodas 08	1095	+	0	1095	+	0						155,71	0,10									
	Limpa-rodas 09	1190	+	0	1190	+	0						155,71	0,10									
	Limpa-rodas 10	1316	+	0	1316	+	0						155,71	0,10									
	Limpa-rodas 11	1418	+	0	1418	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 12	1493	+	0	1493	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 13	1532	+	0	1532	+	0						155,71	0,10									
	Limpa-rodas 14	1718	+	0	1718	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 15	1819	+	0	1819	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 16	1901	+	0	1901	+	0						133,85	0,10									
	Limpa-rodas 17	2112	+	0	2112	+	0						133,85	0,10									
								42.490,00					**274.118,61**			**47.549,60**	**271.712,00**	**271.712,00**	**271.712,00**			**16.302,72**	**100.921,60**

DADOS DE CADASTRO DA PISTA EXISTENTE

QUANTITATIVOS CBUQ / MATERAIAL BETUMINOS

SEGMENTO HOMOGENEO	Pista/Lado	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			EXTENSÃO	Largura Lado Direito	CBUQ Faixa "B" (m3) - 1ª CAMADA - Acostamentos		PINTURA DE LIGAÇÃO - 2ª CAMADA Acostamentos	CBUQ Faixa "B" (m3) - 2ª CAMADA - Acostamentos		PINTURA DE LIGAÇÃO	CBUQ Faixa "C" (m3)			TOTAL AQUISIÇÃO RR-2C - TSD (T)	TOTAL AQUISIÇÃO RR-1C Pint.Lig. (T)
										Espessuras			Espessuras			Espessuras				
										Acostamentos	Volume		Acostamentos	Volume		Lado Direito	Lado Esquerdo	Volume	2,8 l/m²	0,5 l/m²
1	Simples / Direito e Esquerdo	0	+	0,00	30	+	0,00	600	3,5	0,040	62,40	1.560,00	0,040	62,40	4.200,00	0,04	0,04	168,00	11,76	5,76
	Viaduto sobre Linha Férrea	30	+	0,00	31	+	10	30												
2	Simples / Direito e Esquerdo	31	+	10	82	+	17	1027	3,5	0,040	106,81	2.670,20	0,040	106,81	7.189,00	0,04	0,04	287,56	20,13	9,86
	Ponte sobre Rio Corumbá	82	+	17	93	+	1	204												
3	Simples / Direito e Esquerdo	93	+	1	100	+	0,00	139	3,5	0,040	14,46	361,40	0,040	14,46	973,00	0,04	0,04	38,92	2,72	1,33
4	Simples / Direito e Esquerdo	100	+	0,00	200	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
5	Simples / Direito e Esquerdo	200	+	0,00	300	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
6	Simples / Direito e Esquerdo	300	+	0,00	400	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
7	Simples / Direito e Esquerdo	400	+	0,00	572	+	0,00	3440												
8	Simples / Direito e Esquerdo	572	+	0,00	672	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
9	Simples / Direito e Esquerdo	672	+	0,00	772	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
10	Simples / Direito e Esquerdo	772	+	0,00	872	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
11	Simples / Direito e Esquerdo	872	+	0,00	972	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
12	Simples / Direito e Esquerdo	972	+	0,00	1072	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
13	Simples / Direito e Esquerdo	1072	+	0,00	1172	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
14	Simples / Direito e Esquerdo	1172	+	0,00	1272	+	0,00	2000	3,5	0,045	234,00	5.200,00	0,045	234,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
15	Simples / Direito e Esquerdo	1272	+	0,00	1372	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
16	Simples / Direito e Esquerdo	1372	+	0,00	1472	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
17	Simples / Direito e Esquerdo	1472	+	0,00	1572	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
18	Simples / Direito e Esquerdo	1572	+	0,00	1672	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
19	Simples / Direito e Esquerdo	1672	+	0,00	1772	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
20	Simples / Direito e Esquerdo	1772	+	0,00	1872	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
21	Simples / Direito e Esquerdo	1872	+	0,00	1972	+	0,00	2000	3,5	0,040	208,00	5.200,00	0,040	208,00	14.000,00	0,04	0,04	560,00	39,20	19,20
22	Simples / Direito e Esquerdo	1972	+	0,00	2124	+	10	3050	3,5	0,040	317,20	7.930,00	0,040	317,20	21.350,00	0,04	0,04	854,00	59,78	29,28
	Limpa-rodas 01	27	+	0	27	+	0													
	Limpa-rodas 02	140	+	0	140	+	0													
	Limpa-rodas 03	180	+	0	180	+	0													
	Limpa-rodas 04	195	+	0	195	+	0													
	Limpa-rodas 05	245	+	0	245	+	0													
	Limpa-rodas 06	362	+	0	362	+	0													
	Limpa-rodas 07	735	+	0	735	+	0													
	Limpa-rodas 08	1095	+	0	1095	+	0													
	Limpa-rodas 09	1190	+	0	1190	+	0													
	Limpa-rodas 10	1316	+	0	1316	+	0													
	Limpa-rodas 11	1418	+	0	1418	+	0													
	Limpa-rodas 12	1493	+	0	1493	+	0													
	Limpa-rodas 13	1532	+	0	1532	+	0													
	Limpa-rodas 14	1718	+	0	1718	+	0													
	Limpa-rodas 15	1819	+	0	1819	+	0													
	Limpa-rodas 16	1901	+	0	1901	+	0													
	Limpa-rodas 17	2112	+	0	2112	+	0													
								42.490,00			**4.218,86**	**100.921,60**		**4.218,86**	**271.712,00**			**10.868,48**	**760,79**	**372,63**

DADOS DE CADASTRO DA PISTA EXISTENTE O

SEGMENTO HOMOGENEO	Pista/Lado	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			EXTENSÃO	Largura Lado Direito	TOTAL AQUISIÇÃO EAI (T)	DMT (Estaca Canteiro = 1129) DMT	TRANSP. LOCAL DE MAT. BET.(IMPR. + TSD + LIGAÇÃO) m³.Km	Aquisição Material betuminoso CAP (CBUQ FAIXA B)	Aquisição Material betuminoso CAP (CBUQ FAIXA C)	TRANSP. COM. DE MAT. BETUMINOSO (tKm)	CBUQ FAIXA B		
																TRANSPROTE FILLER (CBUQ)Fx.B	TRANSPORTE BRITA E PÓ DE PEDRA CBUQ	TRANSPORTE PEDRISCO CBUQ
													2400	2400		35,0064	1,164456	0,303384
										1,3 l/m²			5,50%	6%	144,00	204,00	99,41	99,41
1	Simples / Direito e Esquerdo	0	+	0,00	30	+	0,00	600	3,5	5,46	22,28	511,99	49,74	24,19	13.954,98	2.690,84	43.617,83	11.364,06
	Viaduto sobre Linha Férrea	30	+	0,00	31	+	10	30										
2	Simples / Direito e Esquerdo	31	+	10	82	+	17	1027	3,5	9,35	21,45	843,72	85,13	41,41	23.886,28	4.605,83	74.659,18	19.451,49
	Ponte sobre Rio Corumbá	82	+	17	93	+	1	204										
3	Simples / Direito e Esquerdo	93	+	1	100	+	0,00	139	3,5	1,26	20,65	109,93	11,52	5,60	3.232,90	623,38	10.104,80	2.632,67
4	Simples / Direito e Esquerdo	100	+	0,00	200	+	0,00	2000	3,5	18,20	19,58	1.499,83	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
5	Simples / Direito e Esquerdo	200	+	0,00	300	+	0,00	2000	3,5	18,20	17,58	1.346,63	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
6	Simples / Direito e Esquerdo	300	+	0,00	400	+	0,00	2000	3,5	18,20	15,58	1.193,43	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
7	Simples / Direito e Esquerdo	400	+	0,00	572	+	0,00	3440										
8	Simples / Direito e Esquerdo	572	+	0,00	672	+	0,00	2000	3,5	18,20	10,14	776,72	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
9	Simples / Direito e Esquerdo	672	+	0,00	772	+	0,00	2000	3,5	18,20	8,14	623,52	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
10	Simples / Direito e Esquerdo	772	+	0,00	872	+	0,00	2000	3,5	18,20	6,14	470,32	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
11	Simples / Direito e Esquerdo	872	+	0,00	972	+	0,00	2000	3,5	18,20	4,14	317,12	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
12	Simples / Direito e Esquerdo	972	+	0,00	1072	+	0,00	2000	3,5	18,20	2,14	163,92	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
13	Simples / Direito e Esquerdo	1072	+	0,00	1172	+	0,00	2000	3,5	18,20	0,14	10,72	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
14	Simples / Direito e Esquerdo	1172	+	0,00	1272	+	0,00	2000	3,5	18,20	1,86	142,48	172,66	80,64	47.505,02	9.340,83	151.412,21	39.448,50
15	Simples / Direito e Esquerdo	1272	+	0,00	1372	+	0,00	2000	3,5	18,20	3,86	295,68	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
16	Simples / Direito e Esquerdo	1372	+	0,00	1472	+	0,00	2000	3,5	18,20	5,86	448,88	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
17	Simples / Direito e Esquerdo	1472	+	0,00	1572	+	0,00	2000	3,5	18,20	7,86	602,08	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
18	Simples / Direito e Esquerdo	1572	+	0,00	1672	+	0,00	2000	3,5	18,20	9,86	755,28	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
19	Simples / Direito e Esquerdo	1672	+	0,00	1772	+	0,00	2000	3,5	18,20	11,86	908,48	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
20	Simples / Direito e Esquerdo	1772	+	0,00	1872	+	0,00	2000	3,5	18,20	13,86	1.061,68	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
21	Simples / Direito e Esquerdo	1872	+	0,00	1972	+	0,00	2000	3,5	18,20	15,86	1.214,88	165,79	80,64	46.516,61	8.969,48	145.392,77	37.880,21
22	Simples / Direito e Esquerdo	1972	+	0,00	2124	+	10	3050	3,5	27,76	18,38	2.147,06	252,83	122,98	70.937,83	13.678,46	221.723,97	57.767,32
	Limpa-rodas 01	27	+	0	27	+	0			0,27	22,04							
	Limpa-rodas 02	140	+	0	140	+	0			0,27	19,78							
	Limpa-rodas 03	180	+	0	180	+	0			0,27	18,98							
	Limpa-rodas 04	195	+	0	195	+	0			0,27	18,68							
	Limpa-rodas 05	245	+	0	245	+	0			0,27	17,68							
	Limpa-rodas 06	362	+	0	362	+	0			0,31	15,34							
	Limpa-rodas 07	735	+	0	735	+	0			0,31	7,88							
	Limpa-rodas 08	1095	+	0	1095	+	0			0,31	0,68							
	Limpa-rodas 09	1190	+	0	1190	+	0			0,31	1,22							
	Limpa-rodas 10	1316	+	0	1316	+	0			0,31	3,74							
	Limpa-rodas 11	1418	+	0	1418	+	0			0,27	5,78							
	Limpa-rodas 12	1493	+	0	1493	+	0			0,27	7,28							
	Limpa-rodas 13	1532	+	0	1532	+	0			0,31	8,06							
	Limpa-rodas 14	1718	+	0	1718	+	0			0,27	11,78							
	Limpa-rodas 15	1819	+	0	1819	+	0			0,27	13,80							
	Limpa-rodas 16	1901	+	0	1901	+	0			0,27	15,44							
	Limpa-rodas 17	2112	+	0	2112	+	0			0,27	19,66							
								42.490,00		**358,04**		**15.444,34**	**3.265,74**	**1.565,06**	**909.713,24**	**176.679,10**	**2.863.918,91**	**746.157,15**

DADOS DE CADASTRO DA PISTA EXISTENTE										TRANSPORTES DE AGRAGADOS E MASSA										
										Transporte comercial										
											TSD	RECICLAGEM	RECICLAGEM	CBUQ FAIXA C						
SEGMENTO HOMOGENEO	Pista/Lado	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			EXTENSÃO	Largura Lado Direito	TRANSPORTE AREIA - FX,B	TRANSPORTE BRITA TSD	TRANSPORTE LOCAL DE CIMENTO	TRANSPORTE COMERCIAL DE CIMENTO	TRANSPROTE FILLER (CBUQ), Fx-C	TRANSPORTE BRITA E PÓ DE PEDRA CBUQ	TRANSPORTE PEDRISCO CBUQ	TRANSPORTE AREIA - Fx,C	TOTAL TRANSPORTE COMERCIAL DE AGREGADOS	TRANSPROTE LOCAL MASSA ASFALTICA	PERCENTUAL REPARO PROFUNDO
										0,06456	0,02267	2%	2%	34,71264	1,100376	0,3549	0,064824			
										43,25	99,41	2,12 t/m³	204,00	204,00	99,41	99,41	43,25			
1	Simples / Direito e Esquerdo	0	+	0,00	30	+	0,00	600	3,5	1.052,11	9.465,22	694,33	6.357,46	1.189,67	18.377,25	5.927,14	471,01	90.274,63	29.131,55	2,00%
	Viaduto sobre Linha Férrea	30	+	0,00	31	+	10	30												
2	Simples / Direito e Esquerdo	31	+	10	82	+	17	1027	3,5	1.800,86	16.201,31	1.144,19	10.881,85	2.036,32	31.455,72	10.145,29	806,21	154.520,07	48.005,92	2,00%
	Ponte sobre Rio Corumbá	82	+	17	93	+	1	204												
3	Simples / Direito e Esquerdo	93	+	1	100	+	0,00	139	3,5	243,74	2.192,78	149,09	1.472,81	275,61	4.257,40	1.373,12	109,12	20.913,62	6.255,07	2,00%
4	Simples / Direito e Esquerdo	100	+	0,00	200	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	2.033,97	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	85.337,47	2,00%
5	Simples / Direito e Esquerdo	200	+	0,00	300	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	1.826,21	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	76.620,67	2,00%
6	Simples / Direito e Esquerdo	300	+	0,00	400	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	1.618,45	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	67.903,87	2,00%
7	Simples / Direito e Esquerdo	400	+	0,00	572	+	0,00	3440												
8	Simples / Direito e Esquerdo	572	+	0,00	672	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	1.053,34	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	45.459,65	2,00%
9	Simples / Direito e Esquerdo	672	+	0,00	772	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	845,58	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	36.493,25	2,00%
10	Simples / Direito e Esquerdo	772	+	0,00	872	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	637,82	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	27.526,85	2,00%
11	Simples / Direito e Esquerdo	872	+	0,00	972	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	430,06	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	18.560,45	2,00%
12	Simples / Direito e Esquerdo	972	+	0,00	1072	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	222,30	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	9.594,05	2,00%
13	Simples / Direito e Esquerdo	1072	+	0,00	1172	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	14,54	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	627,65	2,00%
14	Simples / Direito e Esquerdo	1172	+	0,00	1272	+	0,00	2000	3,5	3.652,22	31.550,75	193,22	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	308.648,35	8.338,75	2,00%
15	Simples / Direito e Esquerdo	1272	+	0,00	1372	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	400,98	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	16.823,42	2,00%
16	Simples / Direito e Esquerdo	1372	+	0,00	1472	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	608,74	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	25.540,22	2,00%
17	Simples / Direito e Esquerdo	1472	+	0,00	1572	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	816,50	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	34.257,02	2,00%
18	Simples / Direito e Esquerdo	1572	+	0,00	1672	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	1.024,26	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	42.973,82	2,00%
19	Simples / Direito e Esquerdo	1672	+	0,00	1772	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	1.232,02	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	51.690,62	2,00%
20	Simples / Direito e Esquerdo	1772	+	0,00	1872	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	1.439,78	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	60.407,42	2,00%
21	Simples / Direito e Esquerdo	1872	+	0,00	1972	+	0,00	2000	3,5	3.507,03	31.550,75	1.647,54	21.191,52	3.965,57	61.257,49	19.757,14	1.570,04	300.915,42	69.124,22	2,00%
22	Simples / Direito e Esquerdo	1972	+	0,00	2124	+	10	3050	3,5	5.348,22	48.114,89	2.911,70	32.317,07	6.047,50	93.417,67	30.129,64	2.394,31	458.896,02	122.163,77	2,00%
	Limpa-rodas 01	27	+	0	27	+	0													
	Limpa-rodas 02	140	+	0	140	+	0													
	Limpa-rodas 03	180	+	0	180	+	0													
	Limpa-rodas 04	195	+	0	195	+	0													
	Limpa-rodas 05	245	+	0	245	+	0													
	Limpa-rodas 06	362	+	0	362	+	0													
	Limpa-rodas 07	735	+	0	735	+	0													
	Limpa-rodas 08	1095	+	0	1095	+	0													
	Limpa-rodas 09	1190	+	0	1190	+	0													
	Limpa-rodas 10	1316	+	0	1316	+	0													
	Limpa-rodas 11	1418	+	0	1418	+	0													
	Limpa-rodas 12	1493	+	0	1493	+	0													
	Limpa-rodas 13	1532	+	0	1532	+	0													
	Limpa-rodas 14	1718	+	0	1718	+	0													
	Limpa-rodas 15	1819	+	0	1819	+	0													
	Limpa-rodas 16	1901	+	0	1901	+	0													
	Limpa-rodas 17	2112	+	0	2112	+	0													
								42.490,00		69.080,77	612.336,87	20.944,62	411.285,02	76.963,82	##########	383.446,59	30.471,28	5.894.296,98	882.835,73	

DADOS DE CADASTRO DA PISTA EXISTENTE

REPAROS PROFUNDOS

SEGMENTO HOMOGENEO	Pista/Lado	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			EXTENSÃO	Largura Lado Direito	QUANTITATIVOS REPARO PROFUNDO								
										REPARO PROFUNDO EM BGS (Empolamento 1,48)	TRANSPORTE LOCAL BGS (MISTURA) - MATERIAL CALCÁRIO SILVANIA	TRANSPORTE COMERCIAL (MAT BGS)	REMOÇÃO E CARGA DE PAV. ASFÁLTICA (m³)	FRESAGEM DESCONTÍNUA - REVESTIMENTO ASFÁLTICO	TRANSPORTE DE ENTULHOS	ESPALHAMENTO DE MATERIAL EM BOTA-FORA	ESPALHAMENTO DE MATERIAL FRESADO PARA LIMPA-RODAS	BANHO DE EAI
												99,41			Adoção do Projetista			
										0,18		1,4667	0,18		10,93			
1	Simples / Direito e Esquerdo	0	+	0,00	30	+	0,00	600	3,5	15,12	498,57	2.204,57	28,56	3,36	312,16	312,16		
	Viaduto sobre Linha Férrea	30	+	0,00	31	+	10	30										
2	Simples / Direito e Esquerdo	31	+	10	82	+	17	1027	3,5	25,88	821,60	3.773,48	48,89	5,75	534,32	534,32		
	Ponte sobre Rio Corumbá	82	+	17	93	+	1	204										
3	Simples / Direito e Esquerdo	93	+	1	100	+	0,00	139	3,5	3,50	107,05	510,72	6,62	0,78	72,32	72,32		
4	Simples / Direito e Esquerdo	100	+	0,00	200	+	0,00	2000	3,5	50,40	1.460,51	7.348,55	95,20	5,60	1.040,54	1.040,54		
5	Simples / Direito e Esquerdo	200	+	0,00	300	+	0,00	2000	3,5	50,40	1.311,33	7.348,55	95,20	5,60	1.040,54	1.040,54		
6	Simples / Direito e Esquerdo	300	+	0,00	400	+	0,00	2000	3,5	50,40	1.162,14	7.348,55	95,20	5,60	1.040,54	1.040,54		
7	Simples / Direito e Esquerdo	400	+	0,00	572	+	0,00	3440										
8	Simples / Direito e Esquerdo	572	+	0,00	672	+	0,00	2000	3,5	50,40	756,36	7.348,55	95,20	11,20	1.040,54	1.040,54		
9	Simples / Direito e Esquerdo	672	+	0,00	772	+	0,00	2000	3,5	50,40	607,18	7.348,55	95,20	11,20	1.040,54	1.040,54		
10	Simples / Direito e Esquerdo	772	+	0,00	872	+	0,00	2000	3,5	50,40	457,99	7.348,55	95,20	11,20	1.040,54	1.040,54		
11	Simples / Direito e Esquerdo	872	+	0,00	972	+	0,00	2000	3,5	50,40	308,81	7.348,55	95,20	19,60	1.040,54	1.040,54		
12	Simples / Direito e Esquerdo	972	+	0,00	1072	+	0,00	2000	3,5	50,40	159,63	7.348,55	95,20	11,20	1.040,54	1.040,54		
13	Simples / Direito e Esquerdo	1072	+	0,00	1172	+	0,00	2000	3,5	50,40	10,44	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
14	Simples / Direito e Esquerdo	1172	+	0,00	1272	+	0,00	2000	3,5	50,40	138,74	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
15	Simples / Direito e Esquerdo	1272	+	0,00	1372	+	0,00	2000	3,5	50,40	287,93	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
16	Simples / Direito e Esquerdo	1372	+	0,00	1472	+	0,00	2000	3,5	50,40	437,11	7.348,55	95,20	16,80	1.040,54	1.040,54		
17	Simples / Direito e Esquerdo	1472	+	0,00	1572	+	0,00	2000	3,5	50,40	586,29	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
18	Simples / Direito e Esquerdo	1572	+	0,00	1672	+	0,00	2000	3,5	50,40	735,48	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
19	Simples / Direito e Esquerdo	1672	+	0,00	1772	+	0,00	2000	3,5	50,40	884,66	7.348,55	95,20	11,20	1.040,54	1.040,54		
20	Simples / Direito e Esquerdo	1772	+	0,00	1872	+	0,00	2000	3,5	50,40	1.033,85	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
21	Simples / Direito e Esquerdo	1872	+	0,00	1972	+	0,00	2000	3,5	50,40	1.183,03	7.348,55	95,20	14,00	1.040,54	1.040,54		
22	Simples / Direito e Esquerdo	1972	+	0,00	2124	+	10	3050	3,5	76,86	2.090,78	11.206,55	145,18	25,62	1.586,82	1.586,82		
	Limpa-rodas 01	27	+	0	27	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 02	140	+	0	140	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 03	180	+	0	180	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 04	195	+	0	195	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 05	245	+	0	245	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 06	362	+	0	362	+	0										15,57	155,71
	Limpa-rodas 07	735	+	0	735	+	0										15,57	155,71
	Limpa-rodas 08	1095	+	0	1095	+	0										15,57	155,71
	Limpa-rodas 09	1190	+	0	1190	+	0										15,57	155,71
	Limpa-rodas 10	1316	+	0	1316	+	0										15,57	155,71
	Limpa-rodas 11	1418	+	0	1418	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 12	1493	+	0	1493	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 13	1532	+	0	1532	+	0										15,57	155,71
	Limpa-rodas 14	1718	+	0	1718	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 15	1819	+	0	1819	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 16	1901	+	0	1901	+	0										13,39	133,85
	Limpa-rodas 17	2112	+	0	2112	+	0										13,39	133,85
								42.490,00		**978,16**	**15.039,48**	**142.620,74**	**1.847,64**	**242,71**	**20.194,72**	**20.194,72**	**240,66**	**2.406,61**

DADOS DE CADASTRO DA PISTA EXISTENTE

SEGMENTO HOMOGENEO	Pista/Lado	ESTACA INICIAL			ESTACA FINAL			EXTENSÃO	Largura Lado Direito	AQUISIÇÃO EAI LIMPA-RODAS (t) 2,0 l/m²	TRANSPORTE LOCAL DE EAI - LIMPA-RODAS	TRANSPORTE COMERCIAL DE EAI - LIMPA-RODAS 144,00	TRANSPORTE DE PAVIMENTO REMOVIDO 10,93
1	Simples / Direito e Esquerdo	0	+	0,00	30	+	0,00	600	3,5				
	Viaduto sobre Linha Férrea	30	+	0,00	31	+	10	30					
2	Simples / Direito e Esquerdo	31	+	10	82	+	17	1027	3,5				
	Ponte sobre Rio Corumbá	82	+	17	93	+	1	204					
3	Simples / Direito e Esquerdo	93	+	1	100	+	0,00	139	3,5				
4	Simples / Direito e Esquerdo	100	+	0,00	200	+	0,00	2000	3,5				
5	Simples / Direito e Esquerdo	200	+	0,00	300	+	0,00	2000	3,5				
6	Simples / Direito e Esquerdo	300	+	0,00	400	+	0,00	2000	3,5				
7	Simples / Direito e Esquerdo	400	+	0,00	572	+	0,00	3440					
8	Simples / Direito e Esquerdo	572	+	0,00	672	+	0,00	2000	3,5				
9	Simples / Direito e Esquerdo	672	+	0,00	772	+	0,00	2000	3,5				
10	Simples / Direito e Esquerdo	772	+	0,00	872	+	0,00	2000	3,5				
11	Simples / Direito e Esquerdo	872	+	0,00	972	+	0,00	2000	3,5				
12	Simples / Direito e Esquerdo	972	+	0,00	1072	+	0,00	2000	3,5				
13	Simples / Direito e Esquerdo	1072	+	0,00	1172	+	0,00	2000	3,5				
14	Simples / Direito e Esquerdo	1172	+	0,00	1272	+	0,00	2000	3,5				
15	Simples / Direito e Esquerdo	1272	+	0,00	1372	+	0,00	2000	3,5				
16	Simples / Direito e Esquerdo	1372	+	0,00	1472	+	0,00	2000	3,5				
17	Simples / Direito e Esquerdo	1472	+	0,00	1572	+	0,00	2000	3,5				
18	Simples / Direito e Esquerdo	1572	+	0,00	1672	+	0,00	2000	3,5				
19	Simples / Direito e Esquerdo	1672	+	0,00	1772	+	0,00	2000	3,5				
20	Simples / Direito e Esquerdo	1772	+	0,00	1872	+	0,00	2000	3,5				
21	Simples / Direito e Esquerdo	1872	+	0,00	1972	+	0,00	2000	3,5				
22	Simples / Direito e Esquerdo	1972	+	0,00	2124	+	10	3050	3,5				
	Limpa-rodas 01	27	+	0	27	+	0			0,27	5,90	38,55	146,30
	Limpa-rodas 02	140	+	0	140	+	0			0,27	5,30	38,55	146,30
	Limpa-rodas 03	180	+	0	180	+	0			0,27	5,08	38,55	146,30
	Limpa-rodas 04	195	+	0	195	+	0			0,27	5,00	38,55	146,30
	Limpa-rodas 05	245	+	0	245	+	0			0,27	4,73	38,55	146,30
	Limpa-rodas 06	362	+	0	362	+	0			0,31	4,78	44,84	170,19
	Limpa-rodas 07	735	+	0	735	+	0			0,31	2,45	44,84	170,19
	Limpa-rodas 08	1095	+	0	1095	+	0			0,31	0,21	44,84	170,19
	Limpa-rodas 09	1190	+	0	1190	+	0			0,31	0,38	44,84	170,19
	Limpa-rodas 10	1316	+	0	1316	+	0			0,31	1,16	44,84	170,19
	Limpa-rodas 11	1418	+	0	1418	+	0			0,27	1,55	38,55	146,30
	Limpa-rodas 12	1493	+	0	1493	+	0			0,27	1,95	38,55	146,30
	Limpa-rodas 13	1532	+	0	1532	+	0			0,31	2,51	44,84	170,19
	Limpa-rodas 14	1718	+	0	1718	+	0			0,27	3,15	38,55	146,30
	Limpa-rodas 15	1819	+	0	1819	+	0			0,27	3,69	38,55	146,30
	Limpa-rodas 16	1901	+	0	1901	+	0			0,27	4,13	38,55	146,30
	Limpa-rodas 17	2112	+	0	2112	+	0			0,27	5,26	38,55	146,30
								42.490,00		**4,81**	**57,25**	**693,10**	**2.630,42**

5.3 – QUADRO DMT

QUADRO RESUMO DOS FORNECEDORES								
FORNECEDOR	TIPO DE MATERIAL	CONTATO	ENDEREÇO	COORDENADAS CANTEIRO		COORDENADAS FORNECEDOR		DISTÂNCIA DE TRANSPORTE (km)
				Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
Calcário Silvania	Brita, Pedrisco, Pedra de Mão	(62) 99906-7371	Silvânia, Goiás	17°12'25.24"S	48°18'49.73"O	16°34'44.20"S	48°19'36.00"O	99,01
Areialto 3	Areia	(64) 98114-9266	Orizona, Goiás			17° 6'20.46"S	48° 7'43.96"O	43,25
Distribuidora	EAI, RR-1C, RR-2C, CAP 55/75-E, CAP 60/85-E	(64) 3047-1127	Morrinhos, Goiás			17°41'41.04"S	49° 8'42.49"O	140,89
Cimenteira	Cimento, Cal	(64) 3003-0543	Edealina, Goiás			17°15'30.32"S	49°46'48.98"O	203,80
Material de Construção	Madeira, Materiais Básicos	(64) 3461-1756	Pires do Rio, Goiás			17°17'54.28"S	48°16'55.34"O	12,50

MATERIAL REMOVIDO					
LOCAL	TIPO DE MATERIAL	ENDEREÇO	COORDENADAS		DISTÂNCIA DE TRANSPORTE (km)
			Latitude	Longitude	
Bota-Fora	Material 1ª Categoria	Pires do Rio, Goiás	17°11'27.27"S	48°18'46.86"O	10,85
Aterro	Concreto Demolido	Orizona, Goiás	17° 0'28.01"S	48°17'6.25"O	26,51

5.4 – QUADRO DE CONSUMO

QUADRO DE CONSUMO DE MATERIAIS

RODOVIA: GO-330 **PISTA:** SIMPLES

TRECHO: Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador) **EXTENSÃO:** 42,83 km

Materiais Indicados		Consumo por m³			
		Unid.	Quantidade	Unid.	Quantidade
Reciclagem com adição de 2% de cimento e incorporação do revestimento asfáltico à base	Cimento Portland CP-II - 32 (a granel)	t	2,000 * 0,02 = 0,040	m³	0,040 / 1,4 = 0,028571

Densidades Adotadas

DENSIDADES APARENTES (COMPACTADO):

- **Mistura solo + CP + Revest: 2,2 t/m³**
- **PMF Faixa "D": 2,300 t/m³**
- **CBUQ "B" Com Polímero: 2,4**
- **CBUQ "C" Com Polímero: 2,4**
- **CM-30: 1000 kg/m³**
- **Areia: 1,5 kg/m³**

DENSIDADES MATERIAL SOLTO:

- **Cimento Portland**: 1,4 t/m³
- **RM-1C:** 1000 kg/m³
- **Material Fresado:** 1500 kg/m³
- **Brita:** 1,5 *(solta)*
- **Areia:** 1,5 *(solta)*
- **Filler:** 1,5 *(solta)*
- **Solo:** 1,5 *(solta)*
- **Revestimento:** 1,5 *(solta)*
- **RR-2C:** 1000 kg/m³

5.5 – LINEAR DE OCORRÊNCIAS

LINEAR DAS OCORRÊNCIAS GO-330

QUADRO RESUMO

OCORRÊNCIA	COORDENADAS		PROCEDÊNCIA	DESTINO	ACESSO AO EIXO (ESTACA)	POSIÇÃO	DISTÂNCIA AO CANTEIRO (Km)				MATERIAL
	Latitude	Longitude					LEITO NATURAL	REV. PRIMÁRIO	PAV.	TOTAL	
PEDREIRA	17°54'23.78"S	47°46'32.41"O	PEDREIRA CATHALÃO LTDA	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 0	LD	0,02 Km	1,28 Km	157,87 Km	159,17 Km	GRANITO
PEDREIRA	17°55'44.62"S	47°47'21.82"O	PEDREIRA EGP	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 0	LD	0,02 Km	0,33 Km	156,53 Km	156,88 Km	GRANITO
PEDREIRA	18°11'36.81"S	48° 4'8.61"O	PEDREIRA MELHOR BRITA	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 0	LD	0,02 Km	7,61 Km	131,72 Km	139,35 Km	GRANITO
AREAL	17°39'46.48"S	48° 6'3.73"O	AREAL LEMOS 2	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 0	LD	0,02 Km	6,74 Km	66,58 Km	73,34 Km	AREIA
AREAL	17°27'30.63"S	48° 9'50.91"O	AREAL EDSON JUSTINO (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 0	LD	0,02 Km	7,12 Km	34,98 Km	42,12 Km	AREIA
AREAL	17°23'22.67"S	48°15'37.73"O	AREAL SOLO E TETO 1 (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 0	LD	0,02 Km	2,83 Km	25,04 Km	27,89 Km	AREIA
AREAL	17°20'25.97"S	48°14'19.04"O	ARENALTO EXTRAÇÃO E COMERCIO (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 28	LD	0,02 Km	5,31 Km	22,02 Km	27,35 Km	AREIA
AREAL	17°22'24.09"S	48°15'4.43"O	AREAL RAFAEL DOS SANTOS LOURENÇO (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 29	LE	0,02 Km	0,53 Km	22,00 Km	22,55 Km	AREIA
AREAL	17°21'29.31"S	48°15'5.42"O	AREAL LMF (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 74	LE	0,02 Km	0,51 Km	21,10 Km	21,63 Km	AREIA
AREAL	17°21'37.01"S	48°15'21.36"O	AREIALTO 1 (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 74	LE	0,02 Km	0,54 Km	21,10 Km	21,66 Km	AREIA
AREAL	17°20'44.72"S	48°14'24.67"O	AREAL LEMOS 4 (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 143	LD	0,42 Km	0,92 Km	19,72 Km	21,06 Km	AREIA
DISTRIBUIDORA	17°41'41.04"S	49° 8'42.49"O	BRASQUIMICA PRODUTOS ASFALTICOS	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 420	LE	0,02 Km	5,41 Km	135,46 Km	140,89 Km	EAI, RR-1C, RR-2C, CAP 55/75-E, CAP 60/85-E
AREAL	18° 4'7.18"S	48°39'46.87"O	AREAL PORTO DAS LARANJEIRAS	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 420	LE	0,02 Km	1,60 Km	122,18 Km	123,80 Km	AREIA LAVADA
AREAL	18° 3'47.53"S	48°36'6.94"O	AREAL BERGAMO	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 420	LE	0,02 Km	0,24 Km	121,98 Km	122,24 Km	AREIA LAVADA
PEDREIRA	17°52'29.64"S	48°39'1.11"O	PEDREIRA MINERAÇÃO FORTALEZA	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 420	LE	0,02 Km	0,45 Km	98,28 Km	98,75 Km	MICAXISTO
AREAL	17°37'8.43"S	48°27'40.35"O	AREAL SEBA	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 420	LE	0,02 Km	10,30 Km	59,98 Km	70,30 Km	AREIA LAVADA
AREAL	17°26'15.78"S	48°18'27.92"O	AREAL RENILDO	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 420	LE	0,02 Km	14,70 Km	19,18 Km	33,90 Km	AREIA
AREAL	17°14'47.71"S	48°11'15.40"O	AREIALTO 2	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 610	LD	0,02 Km	10,94 Km	11,88 Km	22,84 Km	AREIA
AREAL	17°18'6.18"S	48°11'0.58"O	AREAL LEMOS 1 (DESATIVADO)	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 610	LD	0,02 Km	10,70 Km	13,76 Km	24,48 Km	AREIA
AREAL	17° 6'20.46"S	48° 7'43.96"O	AREIALTO 3	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 610	LD	0,02 Km	30,90 Km	12,33 Km	43,25 Km	AREIA
CIMENTEIRA	17°15'30.32"S	49°46'48.98"O	VOTORANTIM CIMENTO	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 750	LD	0,02 Km	10,30 Km	193,48 Km	203,80 Km	CIMENTO, CAL
PEDREIRA	16°34'44.20"S	48°19'36.00"O	CALCÁRIO SILVANIA	CANTEIRO DE OBRAS EST. 1129	EST. 2124+10	LE	0,02 Km	5,68 Km	93,31 Km	99,01 Km	CALCÁRIO

LEGENDA

- BOTA–FORA
- CANTEIRO DE OBRAS
- PEDREIRA
- AREAL
- CIMENTEIRA
- DISTRIBUIDORA (MATERIAL BETUMINOSO)

6 – DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS DA CONDIÇÃO DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO E ACOSTAMENTOS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho: Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), Extensão: 42,49 km

A Rafaela da Silva Cruz de CPF nº 015.770.276-63, responsável pela CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO E ACOSTAMENTOS, e a empresa Strata Engenharia de CNPJ nº 36.490.437/000-1, aqui representada pelo seu responsável técnico, a Engº Rafaela da Silva Cruz, CREA Nº 192283D - MG, declaramos que acompanhamos todos os levantamentos da Condição da Superfície do Pavimento e Acostamentos para determinação e/ou restauração do eixo da rodovia apresentados na Condição da Superfície do Pavimento e Acostamentos, e que esses levantamentos foram realizados obedecendo rigorosamente às normas técnicas de projetos (DNIT 006/2003 – PRO, Norma DNER-PRO 273/96, DNER-ME 024/94, NORMA DNIT 005/2003) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

Rafaela da Silva Cruz

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Rafaela da Silva Cruz
CPF nº 015.770.276-63

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDO DE ALTERNATIVAS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho: Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador), Extensão: 42,49 km

A Paulo Romeu Assunção Gontijo, responsável pelo Estudo de alternativas de pavimento, e a empresa Strata Engenharia de CNPJ nº 36.490.437/000-1, aqui representada pelo seu responsável técnico, o Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo, CREA Nº 67953 - MG, declaramos que desenvolvemos o referido projeto obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP) em vigor e consideramos a viabilidade e economicidade das soluções técnicas apresentadas assumindo total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo
CREA Nº 67953 - MG

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS DE TRÁFEGO

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

A Ana Luiza Estanislau Cançado de CPF nº 074.176.456-31, responsável pelos ESTUDOS DE TRÁFEGO, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, a Engº Ana Luiza Estanislau Cançado, CREA Nº 141965991-0, declaramos que acompanhamos todas as pesquisas de contagem e de ocupação de tráfego apresentadas nos Estudos de Tráfego, que essas pesquisas foram realizadas obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projeto (IP-05 – Estudos de Tráfego) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

Ana Luiza Estanislau Cançado

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Ana Luiza Estanislau Cançado
CPF nº 074.176.456-31

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Edwin Araújo Fonseca de CPF nº 021.068.423-25, responsável pelos ESTUDOS HIDROLÓGICOS, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, o Engº Edwin Araújo Fonseca, CREA Nº 071565479-9, declaramos que acompanhamos todos os levantamentos hidrológicos e cadastro dos dispositivos de drenagem existentes apresentados nos Estudos Hidrológicos, e que esses levantamentos foram realizados obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP-03 – Estudos Hidrológicos) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

gov.br
Documento assinado digitalmente
EDWIN ARAUJO FONSECA
Data: 23/02/2024 13:57:12-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Edwin Araújo Fonseca
CPF nº 021.068.423-25

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS DE TRAVESSIAS URBANAS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho: Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), Extensão: 42,49 km

O Rafaela da Silva Cruz de CPF nº 015.770.276-63, responsável pelos ESTUDOS DE TRAVESSIAS URBANAS, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, o Engª Rafaela da Silva Cruz, CREA Nº 192283D, declaramos que acompanhamos todos os levantamentos das travessias urbanas contidas no trecho para determinação e/ou restauração do eixo da rodovia apresentados nos Estudos de Travessias Urbanas, e que esses levantamentos foram realizados obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IT-02 – Manual de Pavimentação Urbana e IPR-740 – Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

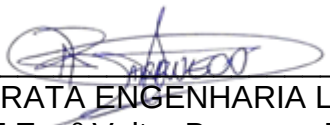
Rafaela da Silva Cruz

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engª Rafaela da Silva Cruz
CPF nº 015.770.276-63

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS GEOLÓGICOS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Valter Barrueco Filho de CPF nº 100.731.178-97, responsável pelos ESTUDOS GEOLÓGICOS, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, o Engº Valter Barrueco Filho, CREA Nº 140943309-9, declaramos que acompanhamos os estudos e levantamentos de Estudos Geológicos apresentados, e estes foram realizadas obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projeto (IP-04 – Estudos Geológicos) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.



STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Valter Barrueco Filho
CPF nº 100.731.178-97

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho: Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), Extensão: 42,49 km

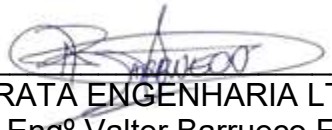
A Rafaela da Silva Cruz de CPF nº 015.770.276-63, responsável pelos ESTUDOS GEOTÉCNICOS, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, a Engª Rafaela da Silva Cruz, CREA Nº 192283D, declaramos que acompanhamos todos os trabalhos de investigação e ensaios de campo e de laboratório apresentados nos Estudos Geotécnicos, que essas investigações e ensaios foram realizados obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projeto (IP-07 – Estudos Geotécnicos) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engª Rafaela da Silva Cruz
CPF nº 015.770.276-63

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Valter Barrueco Filho de CPF nº 100.731.178-97, responsável pelos ESTUDOS TOPOGRÁFICOS, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, o Engº Valter Barrueco Filho, CREA Nº 140943309-9, declaramos que acompanhamos todos os levantamentos topográficos para determinação e/ou restauração do eixo da rodovia apresentados nos Estudos Topográficos, e que esses levantamentos foram realizados obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP-02 – Estudos Topográficos) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.



STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Valter Barrueco Filho
CPF nº 100.731.178-97

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE – PROJETO DE DRENAGEM/OAC

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Paulo Romeu Assunção Gontijo, responsável pelo PROJETO DE DRENAGEM, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada por seu responsável técnico, o Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo, CREA Nº 67953-MG, declaramos que desenvolvemos o referido projeto obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP) em vigor e consideramos a viabilidade e economicidade das soluções técnicas apresentadas assumindo total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo
CREA Nº 67953-MG

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR LEVANTAMENTO DE DADOS HISTÓRICOS DO PAVIMENTO EXISTENTE

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/ Pires do Rio – GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Leonardo Melo Bittencourt de CPF nº 103.971.966-01, responsável pelos LEVANTAMENTOS DE DADOS HISTÓRICOS DO PAVIMENTO EXISTENTE, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada pelo seu responsável técnico, o Engº Leonardo Melo Bittencourt, CREA Nº 142113438-1, declaramos que acompanhamos os estudos e levantamentos de Levantamento de Dados Históricos do Pavimento Existente apresentados, e estes foram realizadas obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projeto (IP-12 – Projeto de Restauração Estrutural de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos – Estudos Iniciais) em vigor e que assumimos total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

gov.br
Documento assinado digitalmente
LEONARDO MELO BITTENCOURT
Data: 21/07/2025 09:52:44-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Leonardo Melo Bittencourt
CPF nº 103.971.966-01

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE – PROJETO DE OBRAS COMPLEMENTARES

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Paulo Romeu Assunção Gontijo, responsável pelo PROJETO DE OBRAS COMPLEMENTARES, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada por seu responsável técnico, o Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo, CREA Nº 67953-MG, declaramos que desenvolvemos o referido projeto obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP) em vigor e consideramos a viabilidade e economicidade das soluções técnicas apresentadas assumindo total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo
CREA Nº 67953-MG

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE – PROJETO DE RESTAURAÇÃO ASFÁLTICA

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Paulo Romeu Assunção Gontijo, responsável pelo PROJETO DE RESTAURAÇÃO ASFÁLTICA, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada por seu responsável técnico, o Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo, CREA Nº 67953-MG, declaramos que desenvolvemos o referido projeto obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP) em vigor e consideramos a viabilidade e economicidade das soluções técnicas apresentadas assumindo total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo
CREA Nº 67953-MG

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE – PROJETO DE SINALIZAÇÃO

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Paulo Romeu Assunção Gontijo, responsável pelo PROJETO DE SINALIZAÇÃO, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada por seu responsável técnico, o Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo, CREA Nº 67953-MG, declaramos que desenvolvemos o referido projeto obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP) em vigor e consideramos a viabilidade e economicidade das soluções técnicas apresentadas assumindo total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.

_____

STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo
CREA Nº 67953-MG

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE – PROJETO DE COMPONENTES SÓCIO-AMBIENTAL

Ref.: Projeto de Restauração da Rodovia GO-330, Trecho Orizona/Pires do Rio - GO-020 (Próx. Roncador), 42,49 km

O Paulo Romeu Assunção Gontijo, responsável pelo PROJETO DE COMPONENTES SÓCIO-AMBIENTAL, e a empresa Strata Engenharia Ltda de CNPJ nº 36.490.437/0001-06, aqui representada por seu responsável técnico, o Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo, CREA Nº 67953-MG, declaramos que desenvolvemos o referido projeto obedecendo rigorosamente às normas técnicas e instruções de projetos (IP) em vigor e consideramos a viabilidade e economicidade das soluções técnicas apresentadas assumindo total responsabilidade quanto à veracidade dos resultados apresentados.



STRATA ENGENHARIA LTDA
RT Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo
CREA Nº 67953-MG

7 – ART

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243123612

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20232636091
EQUIPE à MG20243122828

1. Responsável Técnico

VALTER BARRUECO FILHO
Título profissional: **ENGENHEIRO AGRIMENSOR, ENGENHEIRO CIVIL**
RNP: **1409433099**
Registro: **MG0000136485D MG**

Empresa contratada: **STRATA ENGENHARIA LTDA**
Registro Nacional: **0000067953-MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**
CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**
AVENIDA GOVERNADOR JOSÉ LUDOVICO DE ALMEIDA
Nº: **20**
Complemento:
Bairro: **CONJUNTO CAIÇARA**
Cidade: **GOIÂNIA**
UF: **GO**
CEP: **74775013**

Contrato: **94/2023 - GOINFRA**
Celebrado em: **21/09/2023**
Valor: **R$ 5.577.000,00**
Tipo de contratante: **Pessoa Juridica de Direito Público**
Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

RODOVIA GO-020, GO-139, GO-210, GO-309, GO-330, GO-503, GO-504
Nº: **S/N**
Complemento:
Bairro: **DIVERSOS**
Cidade: **GOIÂNIA**
UF: **GO**
CEP: **74775013**
Data de Início: **04/12/2023**
Previsão de término: **03/12/2025**
Coordenadas Geográficas: **0, 0**
Finalidade: **INFRAESTRUTURA**
Código: **Não Especificado**
Proprietário: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**
CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

4. Atividade Técnica

	Quantidade	Unidade
14 - Elaboração		
80 - Projeto > TRANSPORTES > INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA > #4.1.3 - DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	468,53	km

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Elaboração de Projetos Executivos de Engenharia de Restauração, melhorias e manutenção de Rodovias - Região Sudeste - Lote01 - Estudos Topográficos e Geológicos

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.

- Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/lgpd/politica-privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

SENGE-MG - Sindicato de Engenheiros no Estado de Minas Gerais

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243123612

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20232636091
EQUIPE à MG20243122828

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

VALTER BARRUECO FILHO - CPF: 100.731.178-97

_____, _____ de _____ de _____
Local data

Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA - CNPJ: 03.520.933/0001-06

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Esta ART é isenta de taxa Registrada em: **10/07/2024**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: https://crea-mg.sitac.com.br/publico/, com a chave: 2368C
Impresso em: 10/07/2024 às 15:03:24 por: , ip: 177.39.10.238

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243123506

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20232635149
EQUIPE à MG20243122828

1. Responsável Técnico

EDWIN ARAÚJO FONSECA
Título profissional: **ENGENHEIRO CIVIL**
RNP: **0715654799**
Registro: **51534MG**

Empresa contratada: **STRATA ENGENHARIA LTDA**
Registro Nacional: **0000067953-MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**
CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**
AVENIDA GOVERNADOR JOSÉ LUDOVICO DE ALMEIDA
Nº: **20**
Complemento:
Bairro: **CONJUNTO CAIÇARA**
Cidade: **GOIÂNIA**
UF: **GO**
CEP: **74775013**

Contrato: **94/2023 - GOINFRA**
Celebrado em: **21/09/2023**
Valor: **R$ 5.577.000,00**
Tipo de contratante: **Pessoa Juridica de Direito Público**
Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

RODOVIA GO-020, GO-139, GO-210, GO-309, GO-330, GO-503, GO-504
Nº: **S/N**
Complemento:
Bairro: **DIVERSOS**
Cidade: **GOIÂNIA**
UF: **GO**
CEP: **74775013**
Data de Início: **04/12/2023**
Previsão de término: **03/12/2025**
Coordenadas Geográficas: **0, 0**
Finalidade: **INFRAESTRUTURA**
Código: **Não Especificado**
Proprietário: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**
CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

4. Atividade Técnica

	Quantidade	Unidade
14 - Elaboração		
80 - Projeto > TRANSPORTES > INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA > #4.1.3 - DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	458,53	km

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Elaboração de Projetos Executivos de Engenharia de Restauração, melhorias e manutenção de Rodovias - Região Sudeste - Lote01 - Estudos Hidrológicos

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.

- Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/lgpd/politica-privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

SENGE-MG - Sindicato de Engenheiros no Estado de Minas Gerais

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243123506

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20232635149
EQUIPE à MG20243122828

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Edwin Araújo Fonseca
EDWIN ARAÚJO FONSECA - CPF: 021.068.423-25

_____, _____ de _____ de _____
Local data

Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA - CNPJ: 03.520.933/0001-06

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Esta ART é isenta de taxa

Registrada em: **09/07/2024**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: https://crea-mg.sitac.com.br/publico/, com a chave: Z9yaa
Impresso em: 10/07/2024 às 14:29:01 por: , ip: 177.39.10.238

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243316714

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL
EQUIPE à MG20243122828

1. Responsável Técnico

RAFAELA DA SILVA CRUZ

Título profissional: **ENGENHEIRA CIVIL**

RNP: **1414350368**
Registro: **MG0000192283D MG**

Empresa contratada: **STRATA ENGENHARIA LTDA**

Registro Nacional: **0000067953-MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**

CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

AVENIDA GOVERNADOR JOSÉ LUDOVICO DE ALMEIDA

Nº: **20**

Complemento:

Bairro: **CONJUNTO CAIÇARA**

Cidade: **GOIÂNIA**

UF: **GO**

CEP: **74775013**

Contrato: **94/2023 - GOINFRA**

Celebrado em: **21/09/2023**

Valor: **R$ 5.577.000,00**

Tipo de contratante: **Pessoa Juridica de Direito Público**

Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

RODOVIA GO-020, GO-139, GO-210, GO-309, GO-330, GO-503, GO-504

Nº: **S/N**

Complemento:

Bairro: **DIVERSOS**

Cidade: **GOIÂNIA**

UF: **GO**

CEP: **74775013**

Data de Início: **04/12/2023**

Previsão de término: **03/12/2025**

Coordenadas Geográficas: **0, 0**

Finalidade: **INFRAESTRUTURA**

Código: **Não Especificado**

Proprietário: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**

CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

4. Atividade Técnica

	Quantidade	Unidade
14 - Elaboração		
80 - Projeto > TRANSPORTES > INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA > #4.1.3 - DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	468,53	km

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Elaboração de Projetos Executivos de Engenharia de Restauração, melhorias e manutenção de Rodovias - Região Sudeste - Lote01 - Condição da superfície do pavimento e acostamentos (IRI, deflectometria, LVC); Estudos Geotécnicos (Instrução de Projeto - IP 07) e Estudos de Travessias Urbanas.

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.

- Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/lgpd/politica-privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

SENGE-MG - Sindicato de Engenheiros no Estado de Minas Gerais

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243316714

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL
EQUIPE à MG20243122828

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, _____ de _____ de _____
Local data

RAFAELA DA SILVA CRUZ - CPF: 015.770.276-63

Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA - CNPJ: 03.520.933/0001-06

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Valor da ART: **R$ 99,64** Registrada em: **12/09/2024** Valor pago: **R$ 99,64** Nosso Número: **8605664691**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: https://crea-mg.sitac.com.br/publico/, com a chave: 8830C
Impresso em: 13/09/2024 às 08:35:51 por: , ip: 177.39.10.238

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243123465

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20242715151
EQUIPE à MG20243122828

1. Responsável Técnico

ANA LUIZA ESTANISLAU CANCADO

Título profissional: **ENGENHEIRA CIVIL**

RNP: **1419659910**
Registro: **256156MG**

Empresa contratada: **STRATA ENGENHARIA LTDA**

Registro Nacional: **0000067953-MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**

CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

AVENIDA GOVERNADOR JOSÉ LUDOVICO DE ALMEIDA

Nº: **20**

Complemento:

Bairro: **CONJUNTO CAIÇARA**

Cidade: **GOIÂNIA**

UF: **GO**

CEP: **74775013**

Contrato: **94/2023 - GOINFRA**

Celebrado em: **21/09/2023**

Valor: **R$ 5.577.000,00**

Tipo de contratante: **Pessoa Jurídica de Direito Público**

Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

RODOVIA GO-020, GO-139, GO-210, GO-309, GO-330, GO-503, GO-504

Nº: **S/N**

Complemento:

Bairro: **DIVERSOS**

Cidade: **GOIÂNIA**

UF: **GO**

CEP: **74775013**

Data de Início: **04/12/2023**

Previsão de término: **03/12/2025**

Coordenadas Geográficas: **0, 0**

Finalidade: **INFRAESTRUTURA**

Código: **Não Especificado**

Proprietário: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**

CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

4. Atividade Técnica

	Quantidade	Unidade
14 - Elaboração 80 - Projeto > TRANSPORTES > INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA > #4.1.3 - DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	468,53	km

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Elaboração de Projetos Executivos de Engenharia de Restauração, melhorias e manutenção de Rodovias - Região Sudeste - Lote01 - Estudos de Tráfego

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.

- Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/lgpd/politica-privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

SENGE-MG - Sindicato de Engenheiros no Estado de Minas Gerais

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: https://crea-mg.sitac.com.br/publico/, com a chave: b2CAz
Impresso em: 10/07/2024 às 14:47:22 por: , ip: 177.39.10.238

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20243123465

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20242715151
EQUIPE à MG20243122828

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Ana Luiza Estanislau

ANA LUIZA ESTANISLAU CANCADO - CPF: 074.176.456-31

_____, _____ de _____ de _____
Local data

Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA - CNPJ: 03.520.933/0001-06

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Esta ART é isenta de taxa Registrada em: **09/07/2024**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: https://crea-mg.sitac.com.br/publico/, com a chave: b2CAz
Impresso em: 10/07/2024 às 14:47:22 por: , ip: 177.39.10.238

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20253979077

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20243122828
EQUIPE - ART PRINCIPAL

1. Responsável Técnico

PAULO ROMEU ASSUNCAO GONTIJO
Título profissional: **ENGENHEIRO CIVIL**
RNP: **1404964738**
Registro: **0400000010640MG**

Empresa contratada: **STRATA ENGENHARIA LTDA**
Registro Nacional: **0000067953-MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**
CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**
AVENIDA GOVERNADOR JOSÉ LUDOVICO DE ALMEIDA
Nº: **20**
Complemento:
Bairro: **CONJUNTO CAIÇARA**
Cidade: **GOIÂNIA**
UF: **GO**
CEP: **74775013**

Contrato: **94/2023 - GOINFRA**
Celebrado em: **21/09/2023**
Valor: **R$ 5.577.000,00**
Tipo de contratante: **Pessoa Juridica de Direito Público**
Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

RODOVIA GO-020, GO-139, GO-210, GO-309, GO-330, GO-503, GO-504
Nº: **S/N**
Complemento:
Bairro: **DIVERSOS**
Cidade: **GOIÂNIA**
UF: **GO**
CEP: **74775013**
Data de Início: **04/12/2023**
Previsão de término: **03/12/2025**
Coordenadas Geográficas: **0, 0**
Finalidade: **INFRAESTRUTURA**
Código: **Não Especificado**
Proprietário: **Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA**
CPF/CNPJ: **03.520.933/0001-06**

4. Atividade Técnica

	Quantidade	Unidade
14 - Elaboração		
80 - Projeto > TRANSPORTES > INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA > #4.1.3 - DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	458,53	km

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Projeto de Drenagem, Projeto de Pavimentação , Projeto de Sinalização, Projeto de Obras Complementares, Componente Sócio - Ambiental e Orçamento e Planejamento.

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.

- Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: https://www.crea-mg.org.br/transparencia/lgpd/politica-privacidade-dados. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.

- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

SENGE-MG - Sindicato de Engenheiros no Estado de Minas Gerais

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20253979077

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR ERRO DE DIGITAÇÃO à MG20243122828
EQUIPE - ART PRINCIPAL

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

PAULO ROMEU ASSUNCAO GONTIJO - CPF: 108.825.026-20

_____, _____ de _____ de _____
Local data

Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - GOINFRA - CNPJ: 03.520.933/0001-06

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Esta ART é isenta de taxa

Registrada em: **27/05/2025**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: https://crea-mg.sitac.com.br/publico/, com a chave: ybYdc
Impresso em: 16/06/2025 às 14:17:12 por: , ip: 177.55.229.184

8 – TERMO DE ENCERRAMENTO

O presente volume denominado **Volume 1 – Relatório do Projeto** possui 1863 (Hum mil oitocentos e sessenta e três) páginas numeradas em ordem sequencial crescente, inclusive esta.

Belo Horizonte, Julho/2025

Paulo Romeu Assunção Gontijo
Coordenador