

Relatório

ADEQUAÇÃO E CONCLUSÃO DE PROJETO BÁSICO E A ELABORAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA E EIA/RIMA – PBA’S, DESTINADO À IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO DE PASSAGEIROS ENTRE AS CIDADES DE RECANTO DAS EMAS (I e II), RIACHO FUNDO I E II, SAMAMBAIA, TAGUATINGA, NÚCLEO BANDEIRANTE E O PLANO PILOTO, NAS RODOVIAS DISTRITAIS DF-001 (EPCT) E DF-075 (EPNB) – CORREDOR EIXO SUDOESTE.

**Projeto Executivo de Pavimentação – Trecho 240
(est. 0+0,000 até 55+6,000)**

DEZEMBRO/2020

03	REVISÃO DO PROJETO EXECUTIVO	DEZ/20					
02	REVISÃO DO PROJETO EXECUTIVO	NOV/20					
01	PROJETO EXECUTIVO	SET/20					
00	1ª EMISSÃO	OUT/19					
Nº	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO	DATA	APROVO
		CONTRATADA				DER-DF	

REVISÕES

Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte de Passageiros do Corredor Sudoeste		
AUTOR DO PROJETO – CREA ARLINDO VERZEGNASSI FILHO – CREA 5060497290/D-SP	DATA	CONFERIDO 
COORDENADOR – CREA ARLINDO VERZEGNASSI FILHO – CREA 5060497290/D-SP	DATA	CONFERIDO

 Empreendimentos Sustentáveis	UNIDADE DE CONSTRUÇÃO GERAL	
VISTO	DATA	LOCAL TRECHO 02 - SUBTRECHO 240
APROVO	DATA	ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO – RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTO
ETAPA DE PROJETO EXECUTIVO	TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO DE RESTAURAÇÃO	DATA DEZEMBRO/2020
	CODIFICAÇÃO RT.6.240.V99.F03.R03	REVISÃO R03

SUMÁRIO

1.	Apresentação.....	1
2.	Levantamento de Dados.....	3
2.1	Estudos de Tráfego	3
2.1.1	Estudos de Tráfego – DF 001 – Trecho: 02 – Subtrecho 240 – Posto 01.....	4
2.1.2	Estudos de Tráfego – DF 001 – Trecho: 02 – Subtrecho 240 – Posto 02.....	10
2.2	Avaliação Estrutural do Pavimento.....	16
2.3	Avaliação Visual das Soluções-AVS – Início de 2019.....	22
2.4	Janelas de Inspeção e Composição das Camadas.....	29
3	Projeto de Restauração	38
3.1	Segmentação Homogênea.....	38
3.2	Dimensionamento do Reforço pelo Método PRO-269/94	44
3.3	Dimensionamento Reconstrução	55
3.3.1	Método do DNIT	55
3.3.2	Método Mecânico.....	61
3.4	Soluções Propostas	71
3.5	Controle Deflectométrico	80
4.	Especificações.....	83
	ANEXO I – UNIFILAR SOLUÇÕES – PE.....	85
	ANEXO II – UNIFILAR SOLUÇÕES - PD.....	86



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do trecho de restauração Mapa de Situação – BRT Sudoeste.....	2
Figura 2: Localização dos Postos de Contagem de Tráfego – Trecho 02 – Subtrecho 240 – BRT Sudoeste	3
Figura 3: Deflexão PD-FD – Faixa Direita da Pista Direita.....	19
Figura 4: Raio de Curvatura PD-FD – Pista Direita - Faixa Direita.....	19
Figura 5: Flexa PD-FD - Pista Direita - Faixa Direita	20
Figura 6: Deflexão PE-FE - Faixa Esquerda da Pista Esquerda	21
Figura 7: Raio de Curvatura PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda	21
Figura 8: Flexa PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda	22
Figura 9: Defeitos no pavimento	23
Figura 10: Defeitos no pavimento	23
Figura 11: IGG-PD-FE – Pista Direita - Faixa Esquerda.....	24
Figura 12: IGG-PD-FD – Pista Direita - Faixa Direita	25
Figura 13: IGG-PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda.....	26
Figura 14: IGG-PE-FD – Pista Esquerda – Faixa Direita.....	26
Figura 15: IGG-PD-FE – Pista Direita - Faixa Esquerda – Agosto de 2020	27
Figura 16: IGG-PD-FD – Pista Direita - Faixa Direita – Agosto de 2020	28
Figura 17: IGG-PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda – Agosto de 2020.....	28
Figura 18: IGG-PE-FD – Pista Esquerda - Faixa Direita – Agosto de 2020	29
Figura 19: Curva granulométrica – Traço de cascalho – Pista direita	33
Figura 20: Curva granulométrica – Traço de cascalho – Pista esquerda.....	34
Figura 21: Gráfico coeficiente angular	39
Figura 22: Diferenças acumuladas das deflexões – PE – FE	40
Figura 23: Diferenças acumuladas das deflexões – PD – FD	41
Figura 24: Patologias na Pista Direita – Estaca 4 a 16	48
Figura 25: Patologias na Pista Direita – Estaca 16 a 42	49



Figura 26: Patologias na Pista Direita – Estaca 42 a 64	50
Figura 27: Patologias na Pista Esquerda – Estaca 30 a 4.....	52
Figura 28: Patologias na Pista Esquerda – Estaca 64 a 30.....	53
Figura 29: Exemplificação dos pontos de obtenção dos dados de interesse.....	65



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Volume médio diário de tráfego – Posto 01.....	5
Tabela 2: Resultados de Fatores de Veículo-FV – Posto 01 –USACE e AASHTO- Corredor Sudoeste.....	7
Tabela 4: Projeção do VMD	9
Tabela 5: Volume médio diário de tráfego – Posto 02.....	11
Tabela 6: Resultados de Fatores de Veículo-FV – Posto 02 –USACE e AASHTO- Corredor Sudoeste.....	13
Tabela 8: Projeção do VMD	15
Tabela 9: Espessuras das camadas do pavimento e materiais empregados – Subtrecho 240.....	30
Tabela 10: Resultados dos ensaios de caracterização, compactação e CBR para a camada de subleito – Subtrecho 240.....	31
Tabela 11: Resultados dos ensaios de caracterização, compactação e CBR para a camada de sub-base – Subtrecho 240.....	32
Tabela 12: Resultados dos ensaios de caracterização, compactação e CBR para a camada de base – Subtrecho 240 – Energia Intermediária.....	32
Tabela 13: Traço de cascalho – Pista Direita – Faixa D-DNIT.....	33
Tabela 14: Traço de cascalho – Pista Esquerda – Faixa D-DNIT.....	34
Tabela 15: Resultados dos ensaios de compactação e CBR para o cascalho enquadrado na Faixa D – com incorporação da cal em massa – Subtrecho 240 – Energias Intermediária e Modificada.....	35
Tabela 16: Resultados dos ensaios de densidade “in situ” para as diversas camadas do pavimento – Subtrecho 240.....	36
Tabela 17: Resultados dos ensaios de compactação e CBR para o subleito com incorporação da cal em massa – Subtrecho 240 – Energia Intermediária.....	37
Tabela 18: Variação coeficiente angular	39



Tabela 19: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Direita – Faixa Esquerda	42
Tabela 20: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Direita – Faixa Direita ...	43
Tabela 21: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Esquerda – Faixa Direita	43
Tabela 22: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Esquerda – Faixa Esquerda	44
Tabela 23: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – PRO 011/79 – Pista Direita-Faixa Direita	47
Tabela 24: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – PRO 269/94 – Pista Direita-Faixa Direita	47
Tabela 27: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – PRO 011/79 – Pista Esquerda-Faixa Esquerda	51
Tabela 28: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – PRO 269/94 – Pista Esquerda-Faixa Esquerda.....	51
Tabela 31: Camadas betuminosas, espessura mínima	55
Tabela 32: Estrutura do pavimento e valores usuais de Módulo de Resiliência e Poisson	67
Tabela 33: Dados do carregamento imposto ao pavimento	68
Tabela 34: Dados dos pontos de avaliação no pavimento	68
Tabela 35: Análise Mecânica – Pavimento Flexível	69
Tabela 36: Análise Mecânica – Pavimento Flexível	70
Tabela 37: Análise Mecânica – Pavimento Semi-Rígido em BGTC	70
Tabela 38: Análise Mecânica – Pavimento Semi-Rígido em BGTC	71



1. Apresentação

O pavimento rodoviário deve ser dimensionado tendo em vista os materiais disponíveis, o tráfego previsto para o período de projeto e as características locais, de forma a minimizar a tensão vertical que atinge o subleito e proteger as camadas asfálticas e cimentadas do processo de fadiga decorrente do carregamento cíclico do tráfego.

Para atender algumas alterações com relação às questões geométricas para a implantação do Corredor Sudoeste, serão necessários implantar em alguns locais pavimentos novos na modalidade flexível para o Trecho 01, dividindo em Subtrecho 100 (DF 075) e Subtrecho 200 (DF 001) e Trecho 02 (DF 001), dividido em Subtrechos (220, 230 e 240). Salientamos que para o Trecho 02, referente ao Subtrecho 240, está previsto apenas o estudo para a restauração de pavimento e será apresentado em Caderno específico, como se observa no Mapa de Situação apresentado abaixo:



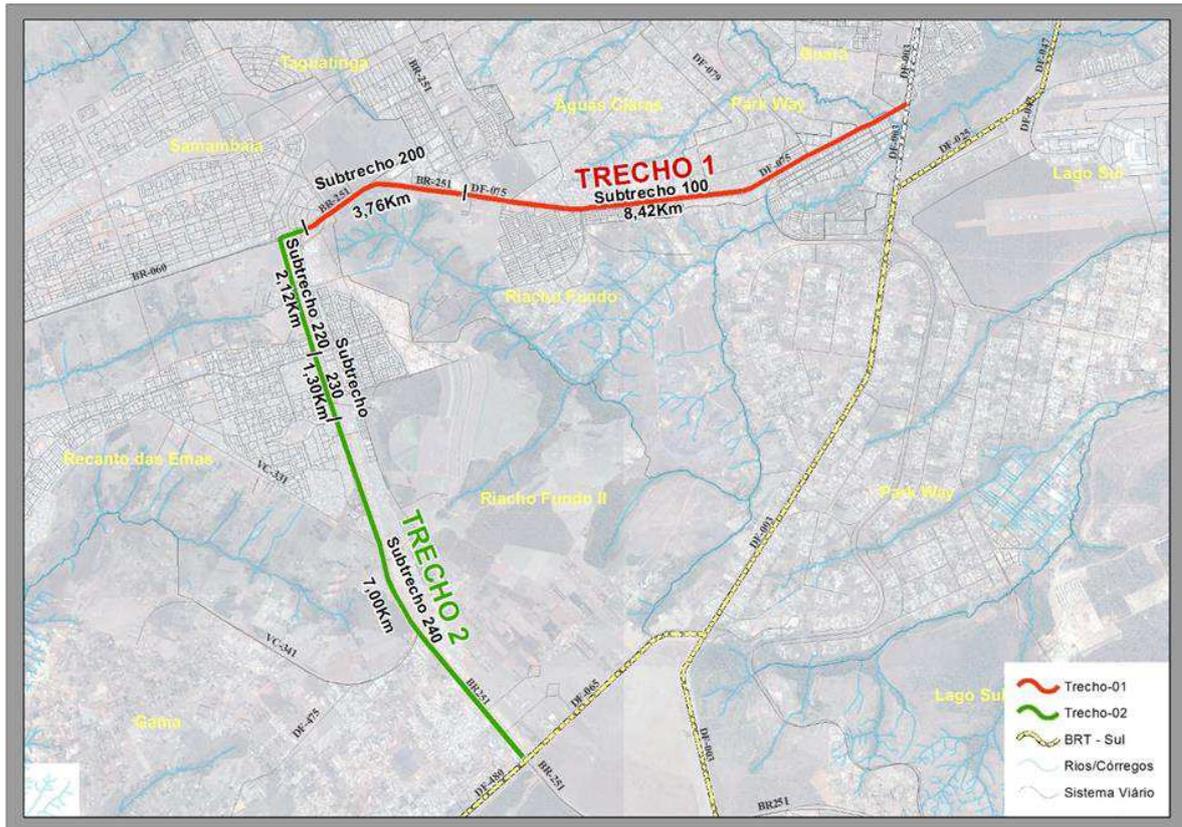


Figura 1: Localização do trecho de restauração Mapa de Situação – BRT Sudoeste

Salientamos que todo o Subtrecho 240 tem aproximadamente 6,00 km e tem pista dupla, denominadas de Pista Direita e Pista Esquerda, sentido Viaduto da Samambaia/Viaduto do Periquito (DF 065). Considerando este sentido, para cada Pista foi considerado a Faixa Esquerda e Faixa Direita.

A ARIA – Empreendimentos Sustentáveis apresenta neste relatório o Projeto Executivo de dimensionamento da solução de restauração do pavimento para o Trecho 02, Subtrecho 240 do Corredor Eixo Sudoeste, BRT Sul, especificamente o trecho que compreende da estaca 0+0,000 até a estaca 55+6,000, com uma extensão total de 1,106km. Este trecho está inserido no Distrito Federal, situado entre as cidades de Recanto das Emas, Riacho Fundo I e II, Samambaia, Taguatinga, Núcleo Bandeirantes e o Plano Piloto.



2. Levantamento de Dados

O pavimento rodoviário deve ser dimensionado tendo em vista os materiais disponíveis, o tráfego previsto para o período de projeto e as características estruturais e funcionais existentes no trecho.

Para o dimensionamento das soluções técnicas propostas foram considerados os seguintes parâmetros e critérios.

2.1 Estudos de Tráfego

Informamos que no Trecho 02, Subtrecho 240, objeto deste estudo, foram realizadas contagens de tráfego volumétrica e classificatória em 02 Postos de Contagem, denominados de Posto 01 e Posto 02. A Figura 02 apresenta a localização aproximada destes postos.



Figura 2: Localização dos Postos de Contagem de Tráfego – Trecho 02 – Subtrecho 240 – BRT Sudoeste



2.1.1 Estudos de Tráfego – DF 001 – Trecho: 02 – Subtrecho 240 – Posto 01.

O tráfego é considerado no dimensionamento de pavimentos através do conceito de equivalência de carga, onde se transformam todas as solicitações no número de passagens de um eixo padrão de 8,2 tf, também conhecido como número “N”. Essa transformação normalmente é feita através da aplicação do fator de veículo ao volume previsto para o período de projeto.

Para este estudo, foram realizadas contagens de segunda a domingo, no período de 5:00h às 20:00h, em ambos os sentidos da pista. Também, neste Posto, no dia de quarta-feira foram realizadas contagens no intervalo de 20:00h a 5:00h. Isto permitiu calcular o Fator Diário.

Foi considerado que o ano de 2022 será o de abertura da Rodovia-Corredor Sudoeste ao tráfego, devido o prazo para a tramitação do processo de licitação e de conclusão das obras, e que o ano de 2031 será o final do horizonte de projeto.

Assim, conforme quadro a seguir, pelo processamento e análise dos dados, pode-se observar um VDM (Volume Diário Médio) de 2.937 veículos comerciais na Rodovia DF-001 (EPCT - Estrada Parque Contorno) no ano de 2020, para o Posto de Contagem 01.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

Tabela 1: Volume médio diário de tráfego – Posto 01

Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário
			ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	518
	3CB	3	1	0	1	0	50
	2S1	3	1	2	0	0	11
Cam.	2C	2	1	1	0	0	1316
	3C	3	1	0	1	0	464
	4C	4	1	0	0	1	36
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	25
	2S2	4	1	1	1	0	68
	2S3	5	1	1	0	1	141
	3S1	4	1	1	1	0	1
	3S2	5	1	0	2	0	25
	3S3	6	1	0	1	1	208
	3S2S2	7	1	0	3	0	11
	3S2C4	9	1	0	4	0	9
	2I3	5	1	4	0	0	1
	3I3	6	1	3	1	0	0
	2J3	5	1	2	1	0	1
	3J3	6	1	1	2	0	1
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	10
	2C3	5	1	2	1	0	20
	3C2	5	1	2	1	0	8
	3C3	6	1	1	2	0	13
						Total	2937



Para o cálculo do número N, necessita-se agrupar todos os eixos pesados em simples, duplos e triplos, para então aplicar os fatores de equivalência de carga, já que esses dependem do tipo de eixo e nível de carga.

As equações de equivalência de carga utilizadas foram aquelas propostas pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) e pelo American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

O fator de veículos (Fv) é um multiplicador que permite a determinação do número de eixos equivalentes ao eixo padrão a partir do volume de veículos que trafega durante o período de projeto. O fator de veículos é calculado a partir da seguinte expressão:

$$F_v = F_E \times F_C$$

Onde:

FE = fator de eixo;

FC = fator de equivalência de carga.

Como não se dispõe de dados atualizados que representem as cargas atuantes no referido trecho, a análise foi baseada na consideração de que a composição do fluxo de veículos comerciais na faixa de projeto é de 90% com carregamento máximo legal, de 00% sem carga (vazios) e de 10% com excesso de peso.

Ressalta-se que o carregamento máximo permitido pela Lei da Balança (Código de Trânsito Brasileiro - Lei nº 9.053, de 23.09.1997 – resolução no 12 de 06/02/1998) é de 6,0 tf no eixo simples dianteiro e de 10,0 tf, 17,0 tf e 25,5 tf para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo traseiros, respectivamente.

Pode-se então calcular o fator de veículo da amostra através do cálculo dos fatores individuais de veículo, ponderados em função da percentagem de cada um dos tipos de veículos.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

Tabela 2: Resultados de Fatores de Veículo-FV – Posto 01 –USACE e AASHTO- Corredor Sudoeste.

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - USACE																					
Rodovia:	DF 001 - EPCT																				
Segmento:	TRECHO 02 - SUBTRECHO 240 - POSTO 01																				
Hipóteses:	1ª. % Veículos - Máx. Legal=										90%	2ª. % Veículos - Vazios=			0%	3ª. % Veículos - Máx. c/ Tol.=			10%		
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos								Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE								
			ESRS		ESRD		ETD		ETT				Individual			Total					
			Nº	P	Nº	P	Nº	P	Nº	P			Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso			
Ônibus	2CB	2	1	6	1	10	0	0	0	0	518	17,64	3,57	0,15	5,54	0,63	0,03	0,98			
	3CB	3	1	6	0	0	1	13,5	0	0	50	1,70	2,69	0,14	3,96	0,05	0,00	0,07			
	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	11	0,37	6,86	0,28	10,71	0,03	0,00	0,04			
Caminhão	2C	2	1	6	1	10	0	0	0	0	1316	44,81	3,57	0,15	5,54	1,60	0,07	2,48			
	3C	3	1	6	0	0	1	17	0	0	464	15,80	8,83	0,29	13,08	1,39	0,05	2,07			
	4C	4	1	6	0	0	0	0	1	25,5	36	1,23	9,58	0,43	14,29	0,12	0,01	0,18			
Semi-Reboque	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	25	0,85	6,86	0,28	10,71	0,06	0,00	0,09			
	2S2	4	1	6	1	10	1	17	0	0	68	2,32	12,12	0,42	18,25	0,28	0,01	0,42			
	2S3	5	1	6	1	10	0	0	1	25,5	141	4,80	12,87	0,56	19,46	0,62	0,03	0,93			
	3S1	4	1	6	1	10	1	17	0	0	1	0,03	12,12	0,42	18,25	0,00	0,00	0,01			
	3S2	5	1	6	0	0	2	17	0	0	25	0,85	17,38	0,55	25,79	0,15	0,00	0,22			
	3S3	6	1	6	0	0	1	17	1	25,5	208	7,08	18,13	0,70	27,00	1,28	0,05	1,91			
	3S2S2	7	1	6	0	0	3	17	0	0	11	0,37	25,92	0,82	38,50	0,10	0,00	0,14			
	3S2C4	9	1	6	0	0	4	17	0	0	9	0,31	34,47	1,09	51,21	0,11	0,00	0,16			
	2I3	5	1	6	4	10	0	0	0	0	1	0,03	13,44	0,55	21,05	0,00	0,00	0,01			
	3I3	6	1	6	3	10	1	17	0	0	0	0,00	18,70	0,69	28,59	0,00	0,00	0,00			
	2I3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	1	0,03	15,41	0,55	23,42	0,01	0,00	0,01			
	3I3	6	1	6	1	10	2	17	0	0	1	0,03	20,66	0,69	30,96	0,01	0,00	0,01			
	Reboques	2C2	4	1	6	3	10	0	0	0	0	10	0,34	10,15	0,42	15,88	0,03	0,00	0,05		
		2C3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	20	0,68	15,41	0,55	23,42	0,10	0,00	0,16		
		3C2	5	1	6	2	10	1	17	0	0	8	0,27	15,41	0,55	23,42	0,04	0,00	0,06		
3C3		6	1	6	1	10	2	17	0	0	13	0,44	20,66	0,69	30,96	0,09	0,00	0,14			
Total											2937	100,00						6,70	0,26	10,14	
																			FV - USACE		7,04

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - AASHTO																					
Rodovia:	DF 001 - EPCT																				
Segmento:	TRECHO 02 - SUBTRECHO 240 - POSTO 01																				
Hipóteses:	1ª. % Veículos - Máx. Legal=										90%	2ª. % Veículos - Vazios=			0%	3ª. % Veículos - Máx. c/ Tol.=			10%		
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos								Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - AASHTO								
			ESRS		ESRD		ETD		ETT				Individual			Total					
			Nº	P	Nº	P	Nº	P	Nº	P			Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso			
Ônibus	2CB	2	1	6	1	10	0	0	0	0	518	17,64	2,72	0,14	3,72	0,48	0,02	0,66			
	3CB	3	1	6	0	0	1	13,5	0	0	50	1,70	0,96	0,05	1,30	0,02	0,00	0,02			
	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	11	0,37	5,12	0,26	6,99	0,02	0,00	0,03			
Cam.	2C	2	1	6	1	10	0	0	0	0	1316	44,81	2,72	0,14	3,72	1,22	0,06	1,67			
	3C	3	1	6	0	0	1	17	0	0	464	15,80	1,97	0,11	2,66	0,31	0,02	0,42			
	4C	4	1	6	0	0	0	0	1	25,5	36	1,23	1,89	0,10	2,56	0,02	0,00	0,03			
Semi-Reboque	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	25	0,85	5,12	0,26	6,99	0,04	0,00	0,06			
	2S2	4	1	6	1	10	1	17	0	0	68	2,32	4,36	0,23	5,94	0,10	0,01	0,14			
	2S3	5	1	6	1	10	0	0	1	25,5	141	4,80	4,28	0,22	5,84	0,21	0,01	0,28			
	3S1	4	1	6	1	10	1	17	0	0	1	0,03	4,36	0,23	5,94	0,00	0,00	0,00			
	3S2	5	1	6	0	0	2	17	0	0	25	0,85	3,61	0,20	4,88	0,03	0,00	0,04			
	3S3	6	1	6	0	0	1	17	1	25,5	208	7,08	3,53	0,19	4,78	0,25	0,01	0,34			
	3S2S2	7	1	6	0	0	3	17	0	0	11	0,37	5,25	0,30	7,09	0,02	0,00	0,03			
	3S2C4	9	1	6	0	0	4	17	0	0	9	0,31	6,90	0,39	9,31	0,02	0,00	0,03			
	2I3	5	1	6	4	10	0	0	0	0	1	0,03	9,91	0,50	13,54	0,00	0,00	0,00			
	3I3	6	1	6	3	10	1	17	0	0	0	0,00	9,15	0,47	12,48	0,00	0,00	0,00			
	2I3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	1	0,03	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,00			
	3I3	6	1	6	1	10	2	17	0	0	1	0,03	6,01	0,32	8,15	0,00	0,00	0,00			
	Reboques	2C2	4	1	6	3	10	0	0	0	0	10	0,34	7,51	0,38	10,27	0,03	0,00	0,03		
		2C3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	20	0,68	6,76	0,35	9,21	0,05	0,00	0,06		
		3C2	5	1	6	2	10	1	17	0	0	8	0,27	6,76	0,35	9,21	0,02	0,00	0,03		
3C3		6	1	6	1	10	2	17	0	0	13	0,44	6,01	0,32	8,15	0,03	0,00	0,04			
Total											2937	100,00						2,87	0,15	3,91	
																			FV - AASHTO		2,97

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N” tendo em vista a metodologia preconizada pela USACE e pela AASHTO, utilizando-se uma taxa de crescimento anual de 3% ao ano, para o período de projeto de 10 anos, calculado pela seguinte expressão:

$$N = 365 \times P \times VDM \times Fv \times Fr \times D \times d$$

Onde:

N = número equivalente de operações do eixo padrão;

P = período de projeto;

VDM = volume diário médio de tráfego;

Fv = fator de veículo;

Fr = fator climático regional;

D = porcentagem de veículos comerciais na faixa mais solicitada;

d = porcentagem de veículos por sentido.

De posse do valor médio diário veicular comercial (VDM) de 2.937, Fator de Veículo USACE de 7,04, Fator de Veículo AASHTO de 2,97, fator direcional de 100%, fator climático igual a 1,0 e taxa de crescimento de 3,0% ao ano, determinaram-se os seguintes valores de número N para um período de projeto de 10 anos, com abertura ao tráfego no ano de 2022, principalmente devido o prazo para a tramitação do processo de licitação e de conclusão das obras, e que o ano de 2031 será o final do horizonte de projeto:



DEFINIÇÃO DO NÚMERO “N” – DF-001 (EPCT) – Posto 01

Tabela 3: Projeção do VMD

Projeção do VMD e dos Valores de "N".							
Rodovia:	DF 001 (EPCT)						
Trecho:	2	Subtrecho: 240			Posto: 1		
Ano da Pesquisa	Taxa de Crescimento		Período de Análise	Fatores de Veículo-FV		Fator Climático Regional-	Fator de Pista-FP
	Passeio	Carga		Método USACE	Método AASHTO		
2020	-	3%	10	7,04	2,97	1,0	1,0
VMD	Composição da Frota		Ano de Abertura ao Tráfego				2022
	Passeio	Carga					
2937	-	100%					
Ano	Veículo - Tipo		VMD	N Anual USACE	N Anual AASHTO	N Acum. USACE	N Acum. AASHTO
	Passeio	Carga					
2020	-	2937	2937				
2021	0	3025	3025	7,77E+06	3,28E+06	7,77E+06	3,28E+06
2022	1	3116	3116	8,01E+06	3,38E+06	1,58E+07	6,66E+06
2023	2	3209	3209	8,25E+06	3,48E+06	2,40E+07	1,01E+07
2024	3	3306	3306	8,49E+06	3,58E+06	3,25E+07	1,37E+07
2025	4	3405	3405	8,75E+06	3,69E+06	4,13E+07	1,74E+07
2026	5	3507	3507	9,01E+06	3,80E+06	5,03E+07	2,12E+07
2027	6	3612	3612	9,28E+06	3,92E+06	5,96E+07	2,51E+07
2028	7	3721	3721	9,56E+06	4,03E+06	6,91E+07	2,92E+07
2029	8	3832	3832	9,85E+06	4,16E+06	7,90E+07	3,33E+07
2030	9	3947	3947	1,01E+07	4,28E+06	8,91E+07	3,76E+07
2031	10	4065	4065	1,04E+07	4,41E+06	9,96E+07	4,20E+07

Assim, para efeito de dimensionamento do pavimento a ser implantado no trecho 02, subtrecho 240, Posto 01, foram determinados os seguintes valores de número “N”:

N_{USACE} de $9,96 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.

N_{AASHTO} de $4,20 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.



2.1.2 Estudos de Tráfego – DF 001 – Trecho: 02 – Subtrecho 240 – Posto 02.

O tráfego é considerado no dimensionamento de pavimentos através do conceito de equivalência de carga, onde se transformam todas as solicitações no número de passagens de um eixo padrão de 8,2 tf, também conhecido como número “N”. Essa transformação normalmente é feita através da aplicação do fator de veículo ao volume previsto para o período de projeto.

Para este estudo, foram realizadas contagens de segunda a domingo, no período de 5:00h às 20:00h, em ambos os sentidos da pista. Neste Posto não foram realizadas contagens no intervalo de 20:00h a 5:00h, ou seja, para o período de 24h. Assim, como o Posto 01 está localizado na mesma rodovia, será aplicado para o Posto 02 os mesmos índices de Fator Diário determinados para o Posto 01.

Assim, conforme quadro a seguir, pelo processamento e análise dos dados, pode-se observar um VDM (Volume Diário Médio) de 2.770 veículos comerciais na Rodovia DF-001 (EPCT - Estrada Parque Contorno) no ano de 2020, para o Posto de Contagem 02.



Tabela 4: Volume médio diário de tráfego – Posto 02

Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário
			ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	498
	3CB	3	1	0	1	0	45
	2S1	3	1	2	0	0	10
Cam.	2C	2	1	1	0	0	1267
	3C	3	1	0	1	0	438
	4C	4	1	0	0	1	31
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	22
	2S2	4	1	1	1	0	57
	2S3	5	1	1	0	1	126
	3S1	4	1	1	1	0	0
	3S2	5	1	0	2	0	26
	3S3	6	1	0	1	1	185
	3S2S2	7	1	0	3	0	8
	3S2C4	9	1	0	4	0	8
	2I3	5	1	4	0	0	0
	3I3	6	1	3	1	0	0
	2J3	5	1	2	1	0	0
	3J3	6	1	1	2	0	1
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	10
	2C3	5	1	2	1	0	17
	3C2	5	1	2	1	0	9
	3C3	6	1	1	2	0	12
						Total	2770



Para o cálculo do número N, necessita-se agrupar todos os eixos pesados em simples, duplos e triplos, para então aplicar os fatores de equivalência de carga, já que esses dependem do tipo de eixo e nível de carga.

As equações de equivalência de carga utilizadas foram aquelas propostas pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) e pelo American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

O fator de veículos (Fv) é um multiplicador que permite a determinação do número de eixos equivalentes ao eixo padrão a partir do volume de veículos que trafega durante o período de projeto. O fator de veículos é calculado a partir da seguinte expressão:

$$F_v = F_E \times F_C$$

Onde:

FE = fator de eixo;

FC = fator de equivalência de carga.

Como não se dispõe de dados atualizados que representem as cargas atuantes no referido trecho, a análise foi baseada na consideração de que a composição do fluxo de veículos comerciais na faixa de projeto é de 90% com carregamento máximo legal, de 00% sem carga (vazios) e de 10% com excesso de peso.

Ressalta-se que o carregamento máximo permitido pela Lei da Balança (Código de Trânsito Brasileiro - Lei nº 9.053, de 23.09.1997 – resolução no 12 de 06/02/1998) é de 6,0 tf no eixo simples dianteiro e de 10,0 tf, 17,0 tf e 25,5 tf para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo traseiros, respectivamente.

Pode-se então calcular o fator de veículo da amostra através do cálculo dos fatores individuais de veículo, ponderados em função da percentagem de cada um dos tipos de veículos.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

Tabela 5: Resultados de Fatores de Veículo-FV – Posto 02 –USACE e AASHTO- Corredor Sudoeste.

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - USACE																			
Rodovia:	DF 001 - EPCT																		
Segmento:	TRECHO 02 - SUBTRECHO 240 - POSTO 2																		
Hipóteses:	1ª. % Veículos - Máx. Legal=										90%	2ª. % Veículos - Vazios=			0%	3ª. % Veículos - Máx. c/ Tol.=			10%
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos								Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE						
			ESRS		ESRD		ETD		ETT				Individual			Total			
			Nº	P	Nº	P	Nº	P	Nº	P			Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso	
Ônibus	2CB	2	1	6	1	10	0	0	0	0	0	498	17,98	3,57	0,15	5,54	0,64	0,03	1,00
	3CB	3	1	6	0	0	1	13,5	0	0	45	1,62	2,69	0,14	3,96	0,04	0,00	0,06	
	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	10	0,36	6,86	0,28	10,71	0,02	0,00	0,04	
Caminhão	2C	2	1	6	1	10	0	0	0	0	1267	45,74	3,57	0,15	5,54	1,63	0,07	2,54	
	3C	3	1	6	0	0	1	17	0	0	438	15,81	8,83	0,29	13,08	1,40	0,05	2,07	
	4C	4	1	6	0	0	0	0	1	25,5	31	1,12	9,58	0,43	14,29	0,11	0,00	0,16	
Semi-Reboque	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	22	0,79	6,86	0,28	10,71	0,05	0,00	0,09	
	2S2	4	1	6	1	10	1	17	0	0	57	2,06	12,12	0,42	18,25	0,25	0,01	0,38	
	2S3	5	1	6	1	10	0	0	1	25,5	126	4,55	12,87	0,56	19,46	0,59	0,03	0,89	
	3S1	4	1	6	1	10	1	17	0	0	0	0,00	12,12	0,42	18,25	0,00	0,00	0,00	
	3S2	5	1	6	0	0	2	17	0	0	26	0,94	17,38	0,55	25,79	0,16	0,01	0,24	
	3S3	6	1	6	0	0	1	17	1	25,5	185	6,68	18,13	0,70	27,00	1,21	0,05	1,80	
	3S2S2	7	1	6	0	0	3	17	0	0	8	0,29	25,92	0,82	38,50	0,07	0,00	0,11	
	3S2C4	9	1	6	0	0	4	17	0	0	8	0,29	34,47	1,09	51,21	0,10	0,00	0,15	
	2I3	5	1	6	4	10	0	0	0	0	0	0,00	13,44	0,55	21,05	0,00	0,00	0,00	
	3I3	6	1	6	3	10	1	17	0	0	0	0,00	18,70	0,69	28,59	0,00	0,00	0,00	
	2J3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	0	0,00	15,41	0,55	23,42	0,00	0,00	0,00	
	3J3	6	1	6	1	10	2	17	0	0	1	0,04	20,66	0,69	30,96	0,01	0,00	0,01	
Reboques	2C2	4	1	6	3	10	0	0	0	0	10	0,36	10,15	0,42	15,88	0,04	0,00	0,06	
	2C3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	17	0,61	15,41	0,55	23,42	0,09	0,00	0,14	
	3C2	5	1	6	2	10	1	17	0	0	9	0,32	15,41	0,55	23,42	0,05	0,00	0,08	
	3C3	6	1	6	1	10	2	17	0	0	12	0,43	20,66	0,69	30,96	0,09	0,00	0,13	
Total											2770	100,00					6,56	0,25	9,94
FV - USACE																			6,90

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - AASHTO																			
Rodovia:	DF 001 - EPCT																		
Segmento:	TRECHO 02 - SUBTRECHO 240 - POSTO 02																		
Hipóteses:	1ª. % Veículos - Máx. Legal=										90%	2ª. % Veículos - Vazios=			0%	3ª. % Veículos - Máx. c/ Tol.=			10%
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos								Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - AASHTO						
			ESRS		ESRD		ETD		ETT				Individual			Total			
			Nº	P	Nº	P	Nº	P	Nº	P			Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso	
Ônibus	2CB	2	1	6	1	10	0	0	0	0	498	17,98	2,72	0,14	3,72	0,49	0,02	0,67	
	3CB	3	1	6	0	0	1	13,5	0	0	45	1,62	0,96	0,05	1,30	0,02	0,00	0,02	
	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	10	0,36	5,12	0,26	6,99	0,02	0,00	0,03	
Cam.	2C	2	1	6	1	10	0	0	0	0	1267	45,74	2,72	0,14	3,72	1,24	0,06	1,70	
	3C	3	1	6	0	0	1	17	0	0	438	15,81	1,97	0,11	2,66	0,31	0,02	0,42	
	4C	4	1	6	0	0	0	0	1	25,5	31	1,12	1,89	0,10	2,56	0,02	0,00	0,03	
Semi-Reboque	2S1	3	1	6	2	10	0	0	0	0	22	0,79	5,12	0,26	6,99	0,04	0,00	0,06	
	2S2	4	1	6	1	10	1	17	0	0	57	2,06	4,36	0,23	5,94	0,09	0,00	0,12	
	2S3	5	1	6	1	10	0	0	1	25,5	126	4,55	4,28	0,22	5,84	0,19	0,01	0,27	
	3S1	4	1	6	1	10	1	17	0	0	0	0,00	4,36	0,23	5,94	0,00	0,00	0,00	
	3S2	5	1	6	0	0	2	17	0	0	26	0,94	3,61	0,20	4,88	0,03	0,00	0,05	
	3S3	6	1	6	0	0	1	17	1	25,5	185	6,68	3,53	0,19	4,78	0,24	0,01	0,32	
	3S2S2	7	1	6	0	0	3	17	0	0	8	0,29	5,25	0,30	7,09	0,02	0,00	0,02	
	3S2C4	9	1	6	0	0	4	17	0	0	8	0,29	6,90	0,39	9,31	0,02	0,00	0,03	
	2I3	5	1	6	4	10	0	0	0	0	0	0,00	9,91	0,50	13,54	0,00	0,00	0,00	
	3I3	6	1	6	3	10	1	17	0	0	0	0,00	9,15	0,47	12,48	0,00	0,00	0,00	
	2J3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	0	0,00	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,00	
	3J3	6	1	6	1	10	2	17	0	0	1	0,04	6,01	0,32	8,15	0,00	0,00	0,00	
Reboques	2C2	4	1	6	3	10	0	0	0	0	10	0,36	7,51	0,38	10,27	0,03	0,00	0,04	
	2C3	5	1	6	2	10	1	17	0	0	17	0,61	6,76	0,35	9,21	0,04	0,00	0,06	
	3C2	5	1	6	2	10	1	17	0	0	9	0,32	6,76	0,35	9,21	0,02	0,00	0,03	
	3C3	6	1	6	1	10	2	17	0	0	12	0,43	6,01	0,32	8,15	0,03	0,00	0,04	
Total											2770	100,00					2,85	0,15	3,88
FV - AASHTO																			2,95

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N” tendo em vista a metodologia preconizada pela USACE e pela AASHTO, utilizando-se uma taxa de crescimento anual de 3% ao ano, para o período de projeto de 10 anos, calculado pela seguinte expressão:

$$N = 365 \times P \times VDM \times Fv \times Fr \times D \times d$$

Onde:

N = número equivalente de operações do eixo padrão;

P = período de projeto;

VDM = volume diário médio de tráfego;

Fv = fator de veículo;

Fr = fator climático regional;

D = porcentagem de veículos comerciais na faixa mais solicitada;

d = porcentagem de veículos por sentido.

De posse do valor médio diário veicular comercial (VDM) de 2.770, Fator de Veículo USACE de 6,90, Fator de Veículo AASHTO de 2,95, fator direcional de 100%, fator climático igual a 1,0 e taxa de crescimento de 3,0% ao ano, determinaram-se os seguintes valores de número N para um período de projeto de 10 anos, com abertura ao tráfego no ano de 2022, principalmente devido o prazo para a tramitação do processo de licitação e de conclusão das obras, e que o ano de 2031 será o final do horizonte de projeto.



DEFINIÇÃO DO NÚMERO "N" – DF-001 (EPCT) – Posto 02

Tabela 6: Projeção do VMD

Projeção do VMD e dos Valores de "N".							
Rodovia:	DF 001 (EPCT)						
Trecho:	2	Subtrecho:	240	Posto:	2		
Ano da Pesquisa	Taxa de Crescimento		Período de Análise	Fatores de Veículo-FV		Fator Climático Regional-	Fator de Pista-FP
	Passeio	Carga		Método USACE	Método AASHTO		
2020	-	3%	10	6,90	2,95	1,0	1,0
VMD	Composição da Frota		Ano de Abertura ao Tráfego				2022
	Passeio	Carga					
2770	-	100%					
Ano	Veículo - Tipo		VMD	N Anual USACE	N Anual AASHTO	N Acum. USACE	N Acum. AASHTO
	Passeio	Carga					
2020	-	2770	2770				
2021	0	2853	2853	7,18E+06	3,08E+06	7,18E+06	3,08E+06
2022	1	2939	2939	7,40E+06	3,17E+06	1,46E+07	6,24E+06
2023	2	3027	3027	7,62E+06	3,26E+06	2,22E+07	9,51E+06
2024	3	3118	3118	7,85E+06	3,36E+06	3,01E+07	1,29E+07
2025	4	3211	3211	8,08E+06	3,46E+06	3,81E+07	1,63E+07
2026	5	3308	3308	8,33E+06	3,56E+06	4,65E+07	1,99E+07
2027	6	3407	3407	8,58E+06	3,67E+06	5,50E+07	2,36E+07
2028	7	3509	3509	8,83E+06	3,78E+06	6,39E+07	2,73E+07
2029	8	3614	3614	9,10E+06	3,90E+06	7,30E+07	3,12E+07
2030	9	3723	3723	9,37E+06	4,01E+06	8,23E+07	3,53E+07
2031	10	3834	3834	9,65E+06	4,13E+06	9,20E+07	3,94E+07



Assim, para efeito de dimensionamento do pavimento a ser implantado no trecho 02, subtrecho 240, Posto 02, foram determinados os seguintes valores de número “N”:

N_{USACE} de $9,20 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.

N_{AASHTO} de $3,94 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.

Analisando os resultados de cálculo do número N para o Trecho 02 (DF 001), Subtrecho 240, Postos de Contagem 01 e 02, será adotado, considerando a condição mais conservadora, o número N igual a $9,96 \times 10^7$ para o cálculo do dimensionamento de novos pavimentos flexíveis. Assim, para o presente estudo, este será o valor adotado para a elaboração do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento para o Trecho 02, Subtrecho 240, do Corredor Sudoeste.

2.2 Avaliação Estrutural do Pavimento

Para se realizar o estudo de elaboração dos projetos de restauração dos pavimentos existentes no trecho em questão foram realizados ensaios deflectométricos com a Viga Benkelman com o objetivo de se determinar as condições estruturais do pavimento, no início de 2019.

A Viga Benkelman é composta por um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa, cuja relação entre os comprimentos dos braços é conhecida. Idealizada pelo engenheiro A.C. Benkelman, do Bureau of Public Roads, foi utilizada pela primeira vez nas pistas experimentais do WASHO em 1953. A Viga Benkelman, dentre os vários instrumentos disponíveis para medições defletométricas em pavimentos, foi o aparelho que mais se difundiu em todo o mundo e até hoje tem um importante papel no meio rodoviário nacional.



A Viga Benkelman é composta essencialmente de uma parte fixa e uma viga móvel. A parte fixa é apoiada no pavimento por meio de três pés reguláveis, sendo a viga móvel acoplada a esta por meio de uma articulação, ficando uma das extremidades (ponta de prova) em contato com o pavimento, e a outra extremidade acionando um extensômetro com precisão de 10-2 mm.

A Viga Benkelman é um equipamento regulamentado no Brasil pelo método de ensaio DNER-ME 24/94 – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman.

O ensaio completo consiste basicamente das seguintes etapas:

- Colocar a ponta de prova da Viga Benkelman entre os pneus de uma das rodas geminadas do eixo traseiro do caminhão, colocando-a exatamente sob o seu eixo;
- Fazer uma leitura inicial (L_0) no extensômetro, que se situa sobre o braço móvel da viga;
- Fazer o caminhão se afastar lentamente até 10 m de distância da ponta de prova, ou até que o extensômetro não acuse mais variação de leitura;
- Ler no extensômetro a leitura final (L_f).

A leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado gerado na superfície do pavimento é associado à deformação elástica do pavimento (deflexão). As distâncias das leituras realizadas são posicionadas de forma que as deflexões registradas reflitam a contribuição das diversas camadas na deformabilidade total do pavimento e defina completamente a geometria da bacia de deflexão.

Os valores de deflexão máxima (Df_1) representam a condição estrutural do pavimento como um todo. A análise desses valores baseia-se na comparação com níveis deflectométricos admissíveis em função do tráfego (número “N”), ou seja, a partir dos valores de Df_1 é possível calcular as espessuras de reforço necessárias por segmento homogêneo.



Os valores Df_9 oferecem informações acerca das condições de deformabilidade das camadas finais de terraplenagem ou subleito, sendo recomendáveis valores inferiores a 10×10^{-2} mm.

Uma forma de se avaliar as características elásticas dos componentes da porção superior da estrutura, ou seja, o próprio revestimento e a base são através do raio de curvatura da bacia de deflexão medida.

No caso de se considerar o raio de curvatura a 25 cm, a expressão para sua determinação é a seguinte:

$$Raio = \frac{6250}{2 \cdot (d_0 - d_{25})}$$

Um raio de curvatura baixo é indicativo de um severo arqueamento da deformada, denotando uma condição estrutural crítica. A análise conjunta da deflexão máxima e do raio de curvatura já permite uma melhor compreensão do complexo comportamento das estruturas de pavimentos.

Para o presente estudo, foram realizadas leituras para os seguintes espaçamentos: 0; 25; 50; 75; 100; 200; 500; 700 e 1000 cm. Tal procedimento permite determinar a bacia de deflexões do pavimento.

As deflexões no pavimento foram determinadas a cada 20,0m, sendo os locais destas leituras na faixa de maior solicitação pelos veículos, ou seja, a faixa adjacente ao acostamento. Salientamos que este procedimento foi adotado tanto para a Pista Direita como para a Pista Esquerda.

A seguir, no gráfico abaixo, podemos visualizar a variação das deflexões para a Pista Direita do Trecho 02, Subtrecho 240, para o Corredor Sudoeste. Observando este gráfico podemos afirmar que a maioria das deflexões estão acima de 100×10^{-2} mm para a Faixa Direita da Pista Direita. Em anexo são apresentados os valores em forma de tabela.



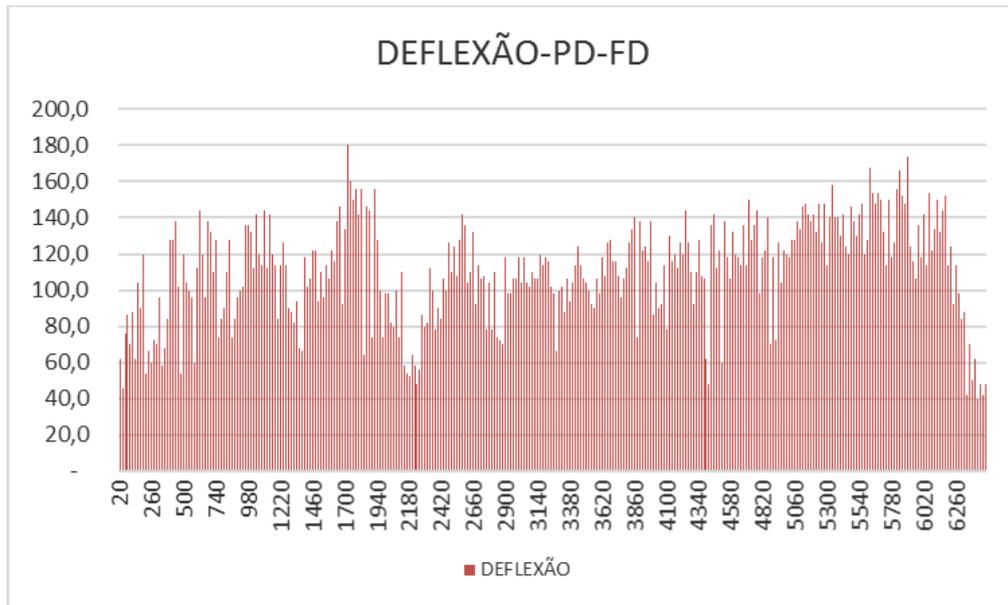


Figura 3: Deflexão PD-FD – Faixa Direita da Pista Direita

No gráfico abaixo podemos visualizar os raios de curvatura para a Pista Direita, Faixa Direita.

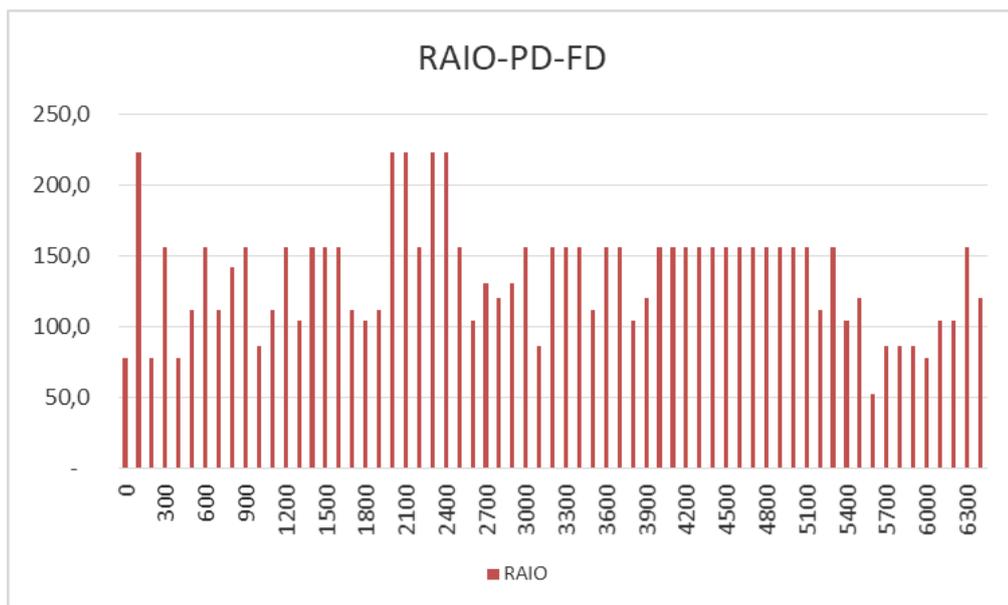


Figura 4: Raio de Curvatura PD-FD – Pista Direita - Faixa Direita



Com relação a flexa no pavimento na Pista Direita, Faixa Direita, o gráfico a seguir mostra como foi a sua variação em centímetros. Percebe-se que praticamente em todo este trecho a flechas são superiores a 3,0 cm.

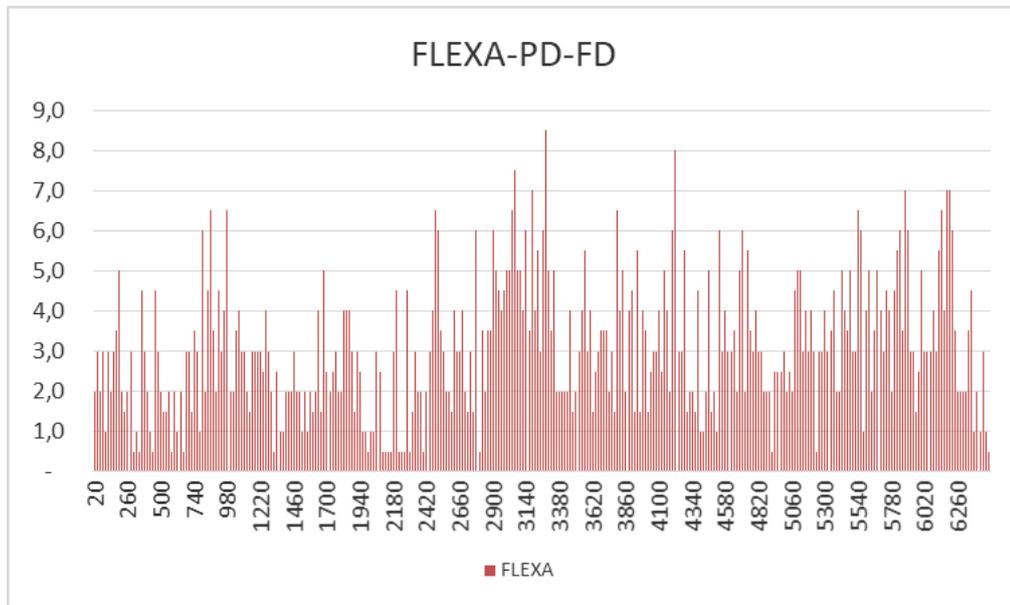


Figura 5: Flexa PD-FD - Pista Direita - Faixa Direita

No gráfico abaixo, podemos visualizar a variação das deflexões para a Pista Esquerda do Trecho 02, Subtrecho 240, para o Corredor Sudoeste. Observando este gráfico podemos afirmar que de modo geral as deflexões estão abaixo de 100×10^{-2} mm para a Faixa Esquerda da Pista Esquerda, Subtrecho 240.



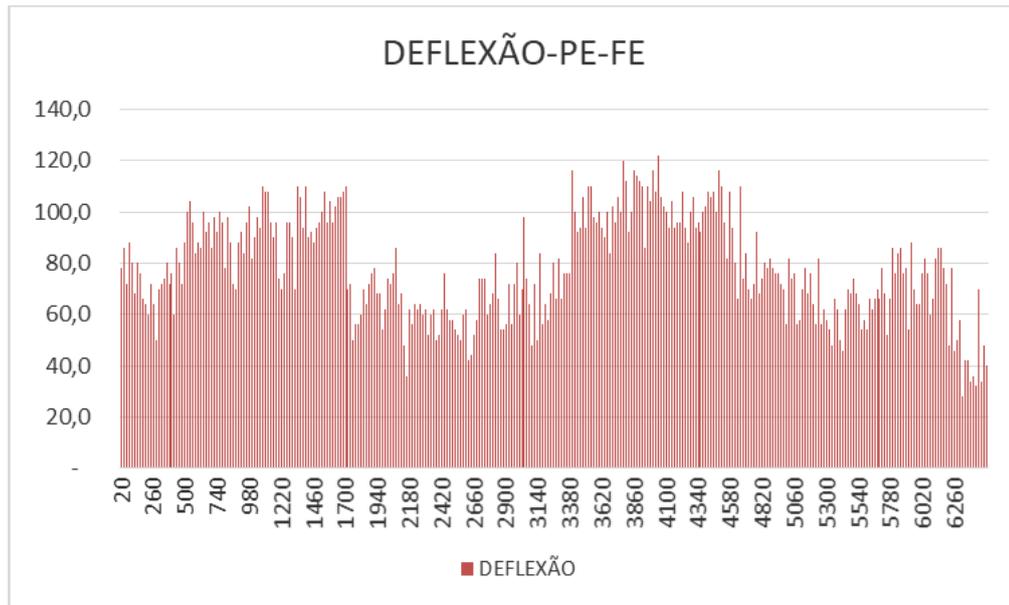


Figura 6: Deflexão PE-FE - Faixa Esquerda da Pista Esquerda

Para o gráfico abaixo podemos visualizar os raios de curvatura para a Pista Esquerda, Faixa Esquerda.

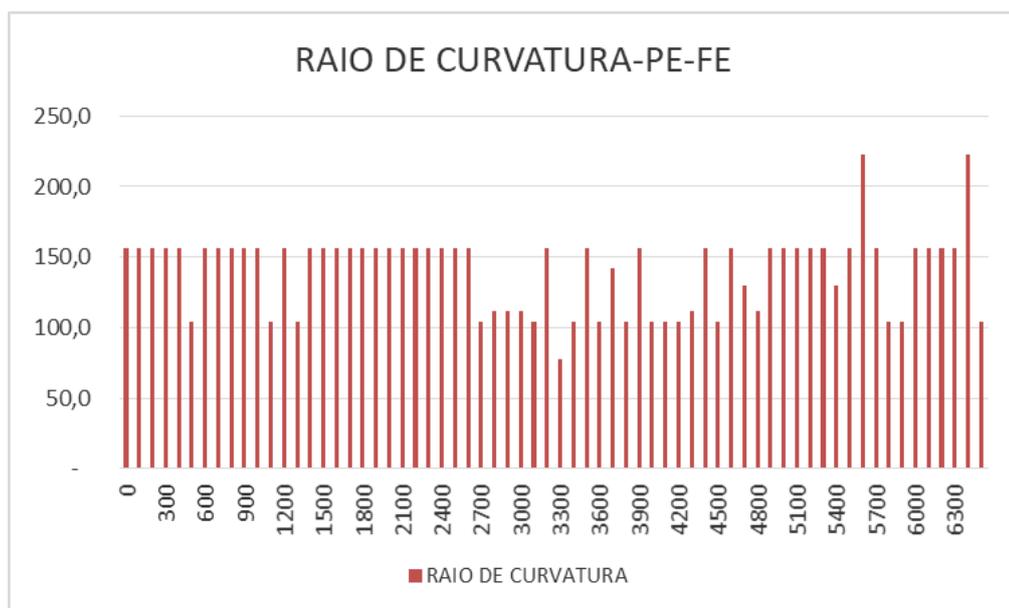


Figura 7: Raio de Curvatura PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda



Quanto às flexas no pavimento na Pista Esquerda, Faixa Esquerda, o gráfico a seguir mostra como foi a sua variação em centímetros. Percebe-se que praticamente em todo este trecho a flexas são superiores a 2,0 cm.

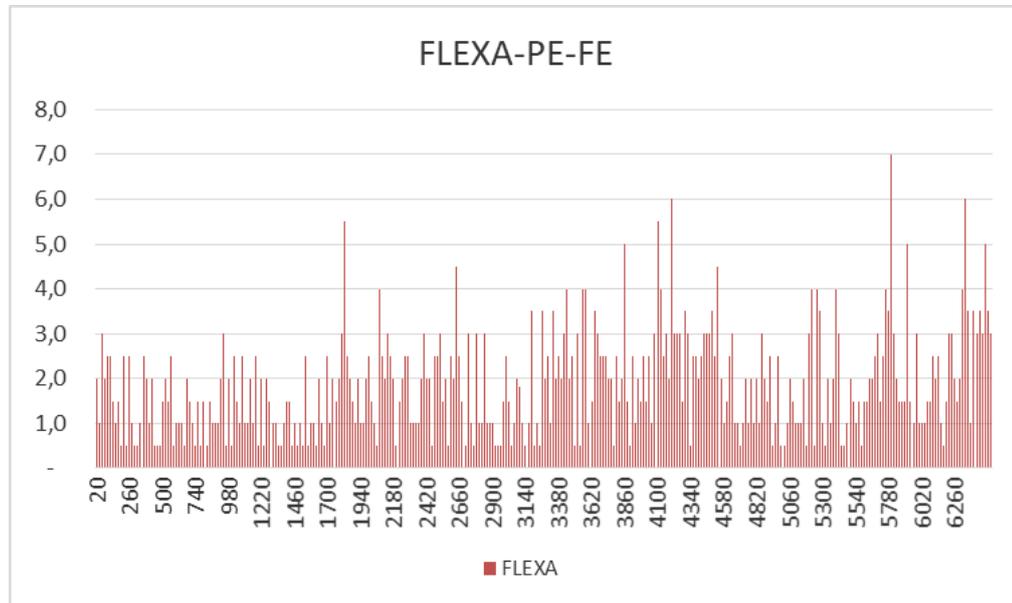


Figura 8: Flexa PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda

2.3 Avaliação Visual das Soluções-AVS – Início de 2019

Foram realizadas inspeções e vistorias por equipes de técnicos e engenheiros no trecho para diagnóstico da condição da pista e avaliação da condição superficial dos pavimentos, no início de 2019.

Para tanto, realizou-se o levantamento denominado Avaliação Visual de Soluções (AVS). Tal levantamento é realizado com um ou mais engenheiros visando indicar soluções preliminares de revitalização dos pavimentos. O levantamento pode ser realizado a pé ou de dentro de um carro a aproximadamente 50 km/h, onde a equipe técnica aponta as soluções na ficha de campo por segmentos de análise, sendo normalmente adotados segmentos homogêneos ou quilométricos respeitando os limites físicos da rodovia (variação das seções transversais).



Apresenta-se a seguir, algumas imagens dos segmentos em análise. Observa-se uma frequência de defeitos nos pavimentos existentes dos tipos: remendos mal executados, trincamentos principalmente dos tipos 2 e 3, buracos, escorregamentos de massa, desagregações, afundamentos e trilhas de roda.



Figura 9: Defeitos no pavimento



Figura 10: Defeitos no pavimento



As condições de superfície de um pavimento visam avaliar as situações superficiais do pavimento e como estas influenciam no conforto ao rolamento. Dependendo do estado de serventia, o pavimento pode ter atingido o seu limite de aceitação à trafegabilidade. Quando esta situação é atingida, é necessário a reconstrução do pavimento.

Para a avaliação do estado superficial do pavimento, é necessário fazer o levantamento de defeitos a olho nu, segundo o procedimento DNIT 006/2003 – PRO. Esta metodologia para o levantamento sistemático de defeitos atribui uma condição ao pavimento por meio do Índice de Gravidade Global-IGG.

O levantamento dos defeitos superficiais permite avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e embasar o diagnóstico da situação funcional. Assim, com o conhecimento da situação funcional e estrutural é possível definir uma solução técnica adequada de restauração de pavimento.

Nos gráficos a seguir é possível observar a variação do IGG para a Pista Direita, nas Faixas Esquerda e Direita.

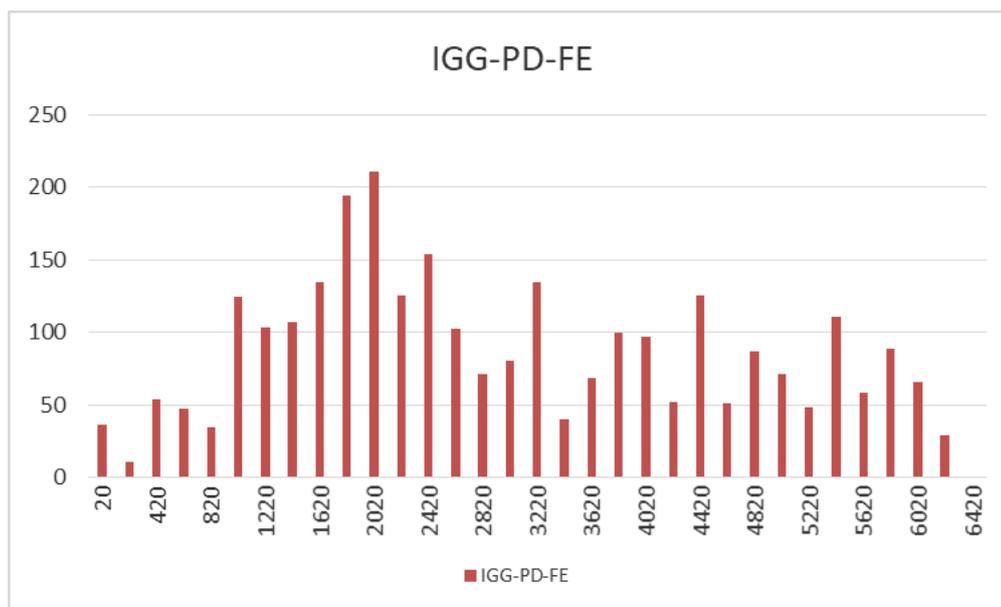


Figura 11: IGG-PD-FE – Pista Direita - Faixa Esquerda



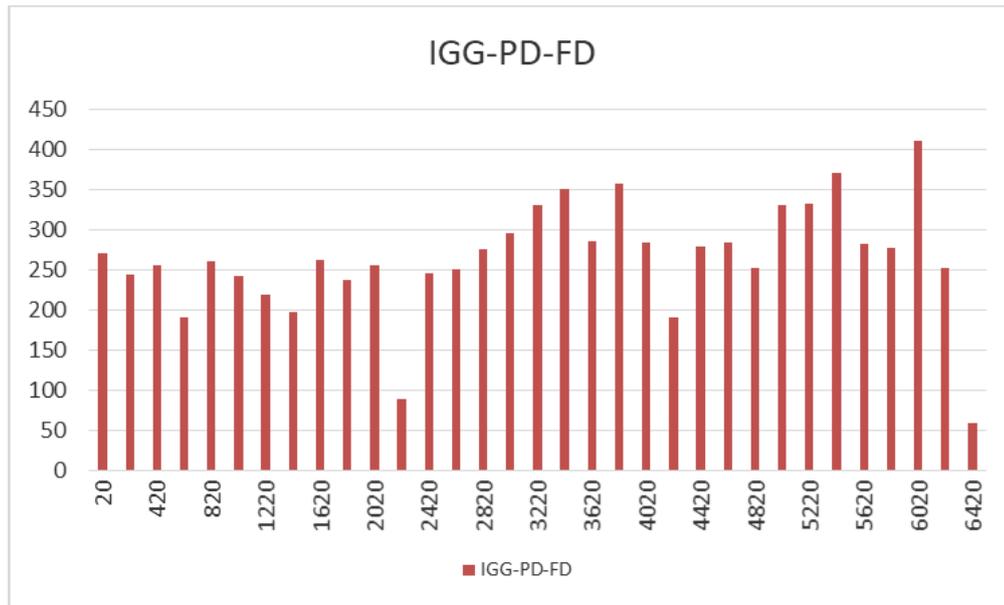


Figura 12: IGG-PD-FD – Pista Direita - Faixa Direita

Comparando os resultados das Faixas Esquerda e Direita para os gráficos acima, constatamos que as condições superficiais de rolamento para a Faixa Direita são piores do que da Faixa Esquerda. Tal condição se justifica pois aquela é a faixa onde circulam veículos com maior carga.

Para verificar as condições superficiais do pavimento, os gráficos a seguir mostram a variação do IGG para a Pista Esquerda, nas Faixas Esquerda e Direita.



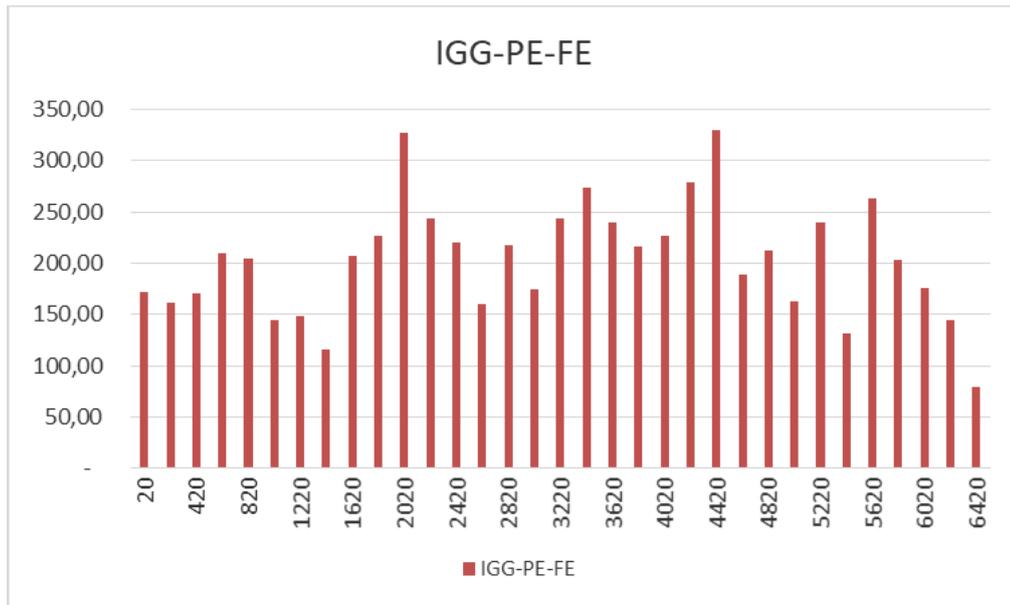


Figura 13: IGG-PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda

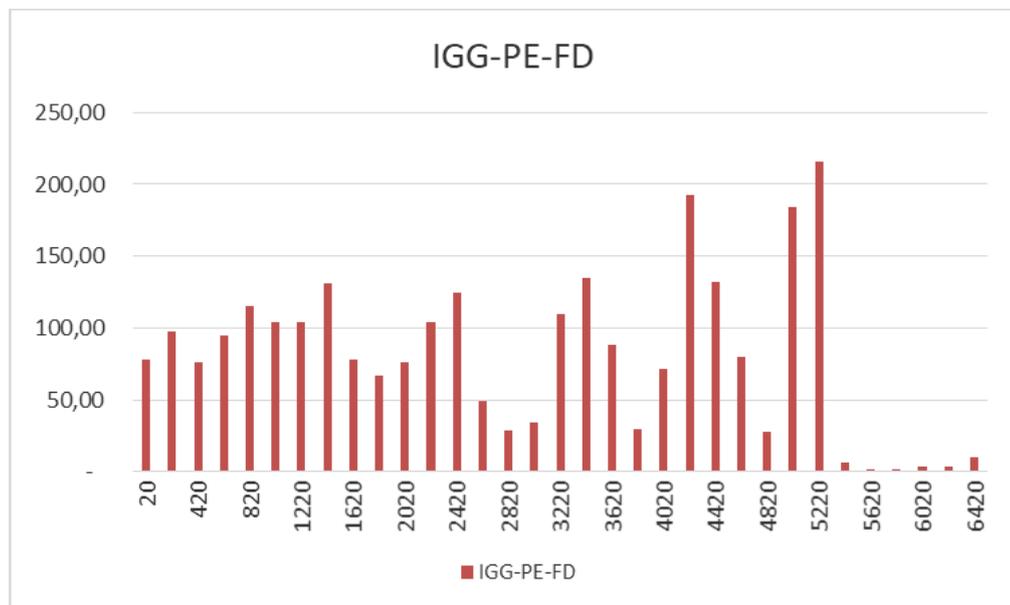


Figura 14: IGG-PE-FD – Pista Esquerda – Faixa Direita

Verifica-se que na Faixa Esquerda, de maior concentração de carga por veículo, é onde as condições superficiais de rolamento do pavimento são mais precárias.



Salientamos que ocorreu o lapso de tempo de aproximadamente um ano e meio entre as avaliações estruturais e funcionais, realizadas em meado de fevereiro de 2019, e o trâmite de aditivo financeiro para a contagem classificatória e volumétrica, que permite calcular o número N. Este intervalo de tempo foi agravado, também, devido a pandemia da Covid que assola o Brasil.

Diante de tais fatos e também com base em vistoria em campo no mês agosto de 2020, constatou-se que ocorreram aumentos nos tipos de defeitos e também nas suas quantidades. No intuito de atualizar estas informações quanto às condições superficiais do pavimento, nos locais em que a solução preliminar não era de reconstrução, foram feitas novas avaliações.

Nos gráficos a seguir é possível observar a variação do IGG para a Pista Direita, nas Faixas Esquerda e Direita, para o mês de agosto de 2020.

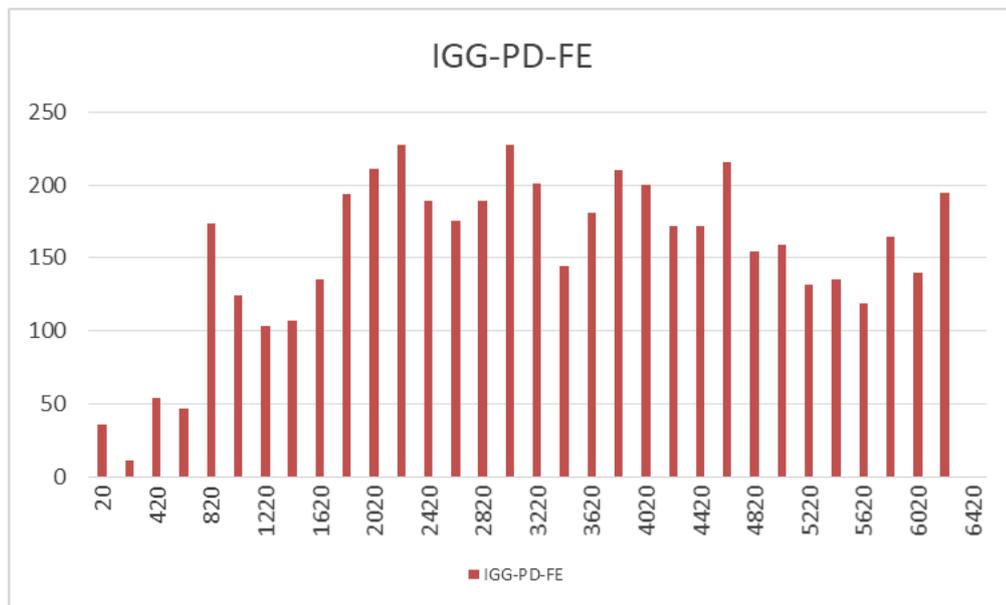


Figura 15: IGG-PD-FE – Pista Direita - Faixa Esquerda – Agosto de 2020



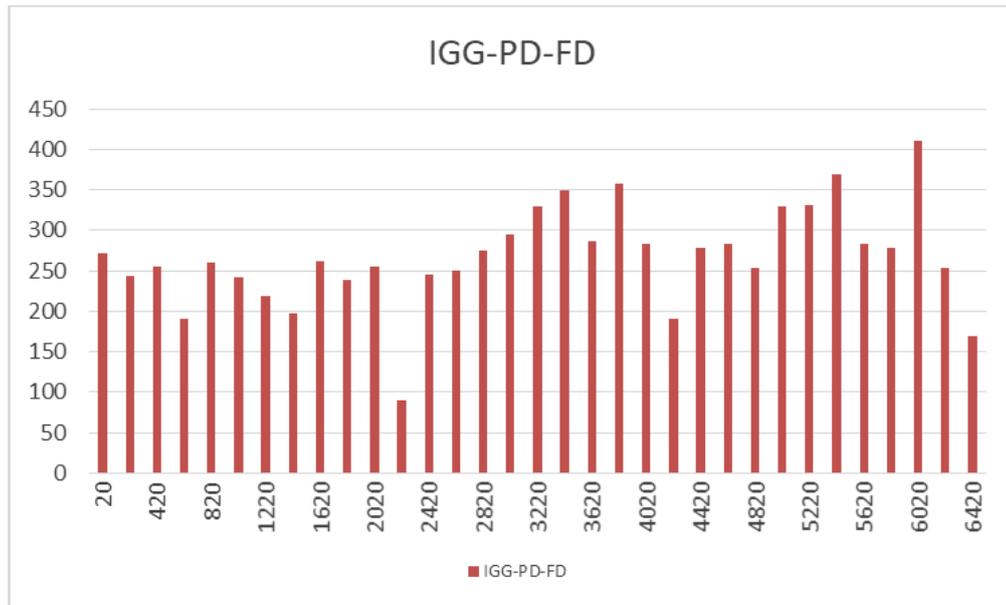


Figura 16: IGG-PD-FD – Pista Direita - Faixa Direita – Agosto de 2020

Nos gráficos a seguir é possível observar a variação do IGG para a Pista Esquerda, nas Faixas Esquerda e Direita, para o mês de agosto de 2020.

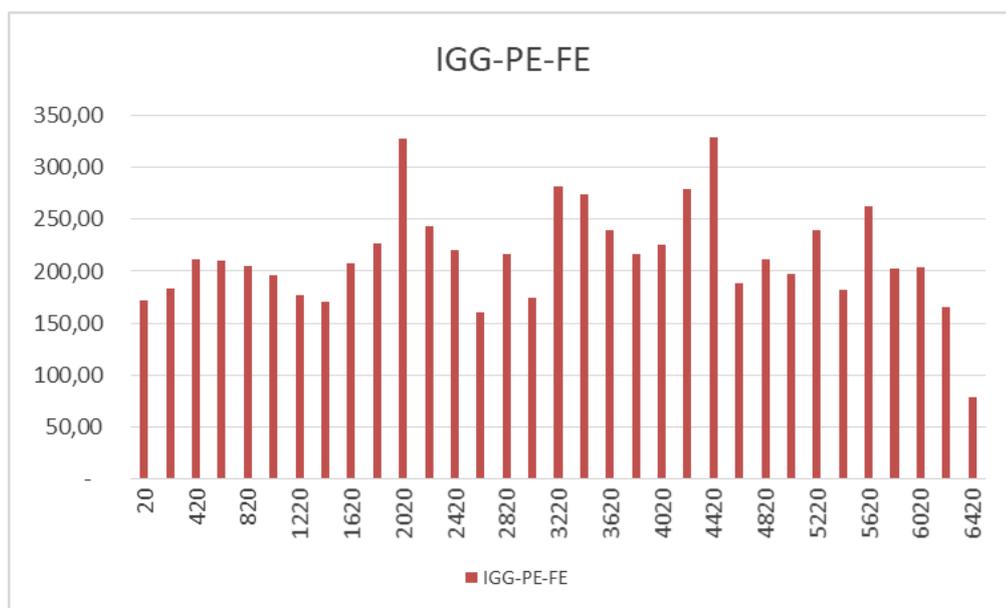


Figura 17: IGG-PE-FE – Pista Esquerda - Faixa Esquerda – Agosto de 2020



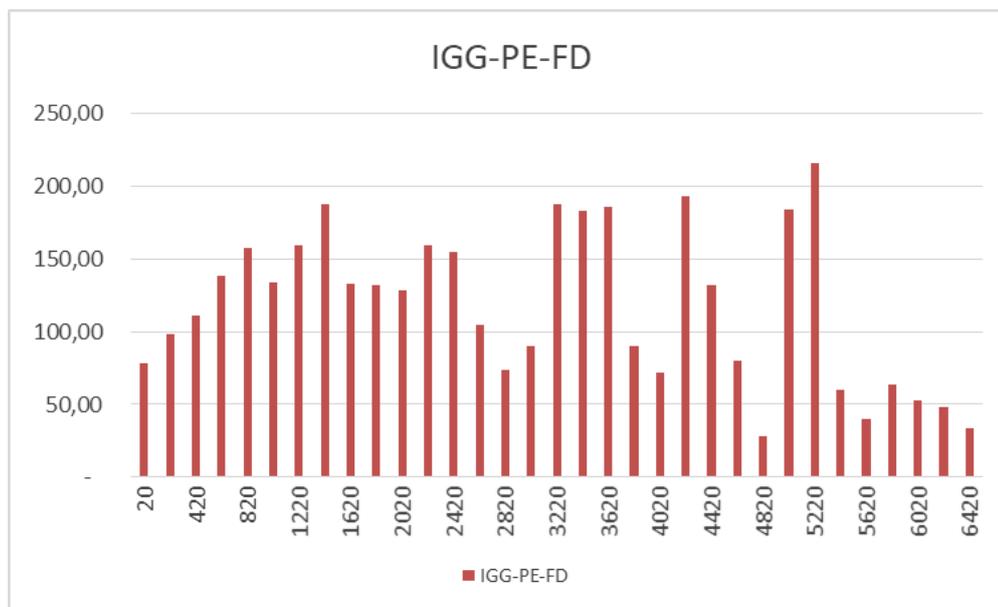


Figura 18: IGG-PE-FD – Pista Esquerda - Faixa Direita – Agosto de 2020

2.4 Janelas de Inspeção e Composição das Camadas

De forma a se verificar a estrutura do pavimento existente no local, em fevereiro de 2019 foram abertas Janelas de Inspeção ao longo da extensão total do trecho 240, denominados Janelas 01 a Janela 12, conforme apresentado abaixo.

Para a programação das investigações geotécnicas realizadas foram executadas Janelas de Inspeção a aproximadamente 1000m de distância entre pontos. Foram executados 6 Janelas na Pista Direita, sentido Viaduto da Samambaia/ Viaduto do Periquito (DF 065) e 6 Janelas na Pista Esquerda. As Janelas foram executadas na faixa de tráfego mais danificada, ou seja, a faixa adjacente ao acostamento.

A seguir, na Tabela 01, apresentamos os resultados das espessuras das camadas do pavimento e tipos de materiais empregados.



Tabela 7: Espessuras das camadas do pavimento e materiais empregados – Subtrecho 240.

Janela	Pista	Espessura das Camadas(cm)			
		Subleito	Sub-base	Base	Revestimento
1	Direita	60,0	20,0	20,0	4,0
2		60,0	17,0	20,0	4,0
3		60,0	13,0	15,0	4,0
4		60,0	23,0	20,0	4,0
5		60,0	16,0	20,0	4,5
6		60,0	15,0	16,0	6,0
7	Esquerda	60,0	17,0	16,0	6,0
8		60,0	18,0	17,0	7,0
9		60,0	19,0	20,0	8,0
10		60,0	15,0	18,0	7,0
11		60,0	16,0	14,0	6,0
12		60,0	16,0	14,0	6,0

Salientamos que em nenhuma Janela de Inspeção foi detectado o nível d'água. O material de base para a Pista Direita é composto por cascalho e fragmentos de revestimento asfáltico. Indicativo que esta base tenha sido tratada no passado com uma reciclagem. As demais camadas de base e sub-base são compostas por cascalho.

A coleta das amostras e os ensaios realizados seguiram as prescrições das especificações técnica vigentes, as determinações do projeto e as recomendações da fiscalização. Segue abaixo a relação das principais especificações técnicas adotadas para a execução dos ensaios.

- Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas – NORMA DNIT 164/2013 - ME;
- Solos - massa específica aparente "in situ" com frasco de areia DNER-ME 092/94;



- Solos - determinação do teor de umidade - DNER-ME 213/94;
- Solos - Índice de suporte califórnia NORMA DNIT 172/2016 - ME;
- Solos - determinação do limite de liquidez - DNER-ME 122/94;
- Solos - determinação do limite de plasticidade - DNER-ME 82/94;
- Solos - análise granulométrica por peneiramento - DNER-ME 80/94.

Para fins de caracterização e do conhecimento da compactação e do CBR, em cada Janela e para cada material identificado nas camadas, foram coletadas amostras deformadas para a realização dos ensaios de granulometria por peneiramento, de limite de liquidez, de limite de plasticidade, de compactação, de expansão e de CBR. Informamos que o material de subleito foi compactado na Energia Normal e os obtidos das camadas de sub-base e base, compactados na Energia Intermediária. O resumo dos resultados destes ensaios pode ser visualizado nas Tabelas 10 a 12.

Tabela 8: Resultados dos ensaios de caracterização, compactação e CBR para a camada de subleito – Subtrecho 240.

LOCAL:	RESUMO DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO										
Nº FURO	W _{OT} (%)	γ _s (Kg/m³)	EXP. (%)	CBR (%)	GRANULOMETRIA				LL	LP	IP
					(% argila)	(% areia fina)	(% areia grossa)	(% pedre)			
JANELA 01-SUBLEITO	28,0	1.462	0,16	6,3	83,30	9,72	3,55	3,42	43,3	28,2	15,2
JANELA 02-SUB-LEITO	27,0	1.485	0,11	6,4	77,48	11,54	4,31	6,67	45,5	29,4	16,1
JANELA 03-SUBLEITO	19,7	1.658	0,13	5,7	56,76	37,01	2,32	3,91	32,2	17,8	14,4
JANELA 04-SUBLEITO	26,1	1.460	0,11	6,2	79,93	13,93	5,12	1,02	42,4	26,6	15,8
JANELA 05-SUB-LEITO	29,8	1.449	0,07	9,0	76,66	16,41	5,55	1,38	48,1	30,2	17,9
JANELA 06-SUBLEITO	25,0	1.490	0,11	8,2	73,64	12,38	6,30	7,68	39,4	25,9	13,5
JANELA 07-SUB-LEITO	27,0	1.422	0,10	7,0	77,27	13,11	6,88	2,74	42,0	26,7	15,3
JANELA 08-SUB-LEITO	27,0	1.485	0,11	6,4	91,01	5,35	2,64	1,00	42,0	28,7	13,3
JANELA 09-SUBLEITO	19,7	1.658	-0,13	5,7	84,25	11,37	2,49	1,88	39,5	25,3	14,2
JANELA 10-SUBLEITO	19,7	1.658	0,20	5,7	87,85	6,11	2,88	3,16	41,4	24,9	16,5
JANELA 11-SUBLEITO	19,7	1.658	-0,02	5,7	76,74	19,38	2,65	1,23	32,5	20,2	12,4
JANELA 12-SUBLEITO	19,7	1.658	-0,06	5,7	89,10	6,98	3,04	0,89	38,3	26,6	11,7



Tabela 9: Resultados dos ensaios de caracterização, compactação e CBR para a camada de sub-base – Subtrecho 240.

LOCAL:		RESUMO DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO									
Nº FURO	W _{OT} (%)	γ _s (Kg/m³)	EXP. (%)	CBR (%)	GRANULOMETRIA				LL	LP	IP
					(% argila)	(% areia fina)	(% areia grossa)	(% pedre)			
JANELA 01-SUB-BA SE	9,2	2.132	0,04	34,0	31,30	21,03	5,85	41,82	19,7	16,6	3,1
JANELA 02-SUB-BA SE	9,8	2.150	0,02	56,0	20,17	17,40	5,42	57,01	20,2	15,3	4,9
JANELA 03-SUB-BA SE	11,3	2.164	0,07	29,5	28,12	19,91	7,19	44,78	17,4	13,8	3,6
JANELA 04-SUB-BA SE	8,6	2.208	0,03	48,0	14,74	22,91	5,22	57,13	17,3	NP	NP
JANELA 05-SUB-BA SE	9,2	2.138	0,05	34,5	22,03	25,10	6,02	46,85	19,0	NP	NP
JANELA 06-SUB-BA SE	9,3	2.218	0,05	32,0	19,86	22,10	7,05	50,98	19,2	NP	NP
JANELA 07-SUB-BA SE	11,3	1.953	0,05	36,0	30,05	19,63	10,23	40,08	27,6	17,9	9,7
JANELA 08-SUB-BA SE	9,1	2.160	0,04	48,0	26,12	24,45	12,83	36,60	21,5	16,0	5,5
JANELA 09-SUB-BA SE	8,8	2.052	0,02	38,0	24,90	19,17	8,84	47,08	22,8	15,8	7,0
JANELA 10-SUB-BA SE	7,4	1.992	0,04	52,0	22,84	24,47	8,99	43,71	19,0	NP	NP
JANELA 11-SUB-BA SE	8,1	2.017	0,01	45,0	17,29	21,57	7,99	53,15	14,2	NP	NP
JANELA 12-SUB-BA SE	8,8	1.983	0,03	53,0	22,79	29,58	7,96	39,66	NP	NP	NP

Tabela 10: Resultados dos ensaios de caracterização, compactação e CBR para a camada de base – Subtrecho 240 – Energia Intermediária.

LOCAL:		RESUMO DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO									
Nº FURO	W _{OT} (%)	γ _s (Kg/m³)	EXP. (%)	CBR (%)	GRANULOMETRIA				LL	LP	IP
					(% argila)	(% areia fina)	(% areia grossa)	(% pedre)			
JANELA 01-BASE	7,0	2.152	0,00	70,0	16,72	15,24	13,23	54,81	16,8	NP	NP
JANELA 02 BASE	6,8	2.137	0,02	61,0	12,88	14,15	10,46	62,50	15,5	NP	NP
JANELA 03-BASE	8,9	2.171	0,01	34,4	22,28	14,55	7,92	55,25	20,1	14,2	6,0
JANELA 04-BASE	7,5	2.164	0,02	43,0	16,84	20,47	11,56	51,14	17,2	NP	NP
JANELA 05 BASE	8,6	2.130	0,02	62,0	13,59	15,50	12,71	58,20	16,6	NP	NP
JANELA 06 BASE	10,1	1.993	0,54	32,0	12,69	10,30	13,02	64,00	16,6	NP	NP
JANELA 07 BASE	10,3	1.926	0,03	59,0	25,97	15,59	8,60	49,85	21,4	15,2	6,2
JANELA 08 BASE	7,2	2.053	0,01	62,0	18,35	25,34	8,14	48,17	16,6	NP	NP
JANELA 09 BASE	8,0	1.848	0,02	38,0	24,16	30,12	6,66	39,06	8,2	NP	NP
JANELA 10 BASE	8,5	2.069	0,01	41,0	19,30	19,21	9,26	52,23	14,8	NP	NP
JANELA 11 BASE	13,0	1.890	0,04	39,0	25,20	23,60	8,36	42,84	20,2	14,5	5,7
JANELA 12 BASE	8,7	1.990	0,02	66,0	21,47	23,69	8,84	46,00	16,5	NP	NP

Com relação à granulometria, observamos que os materiais provenientes da camada de base não encaixam em nenhuma das faixas granulométricas da Norma DNIT 141/2010 – ES. Visando enquadrar estes materiais para viabilizar seu uso como material de base, foram elaborados vários traços de misturas com e sem incorporação de agregados.



Finalmente, para o cascalho da Pista Direita, o material que melhor se enquadrou foi aquele com incorporação de 10% de pó de pedra, na Faixa D da referida especificação, conforme gráfico e tabela abaixo.

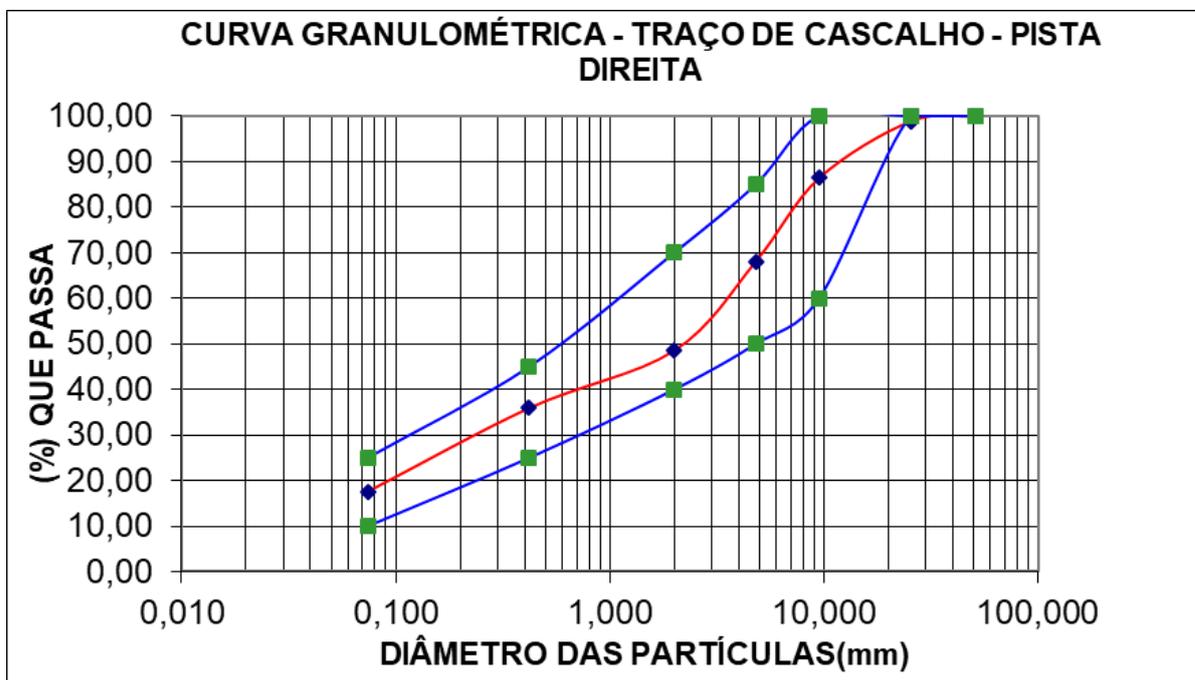


Figura 19: Curva granulométrica – Traço de cascalho – Pista direita

Tabela 11: Traço de cascalho – Pista Direita – Faixa D-DNIT.

PENEIRA (mm)	MED. BASE-PD		BRITA 1		PEDRISCO)		PÓ		AREIA BARR.	SOMA	Faixa D	Faixa D	
	GRAN.	90,00	GRAN.	0,00	GRAN.	0,00	GRAN.	10,00	GRAN.	0,00	INF	SUP	
	(%)	0	(%)	0	(%)		(%)	0		0,00			
50,800	100,00	90,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,0	10,00		0,00	100,00	100	100
25,400	98,70	88,83	100,00	0,00	100,00	0,00	100,0	10,00		0,00	98,83	100	100
9,500	84,88	76,40	14,8	0,00	99,20	0,00	100,00	10,00		0,00	86,40	60	100
4,800	64,60	58,14	2,8	0,00	50,50	0,00	99,10	9,91		0,00	68,05	50	85
2,000	46,29	41,66	0,1	0,00	8,60	0,00	68,40	6,84		0,00	48,50	40	70
0,420	37,53	33,78	0,1	0,00	1,00	0,00	21,50	2,15		0,00	35,93	25	45
0,074	19,36	17,42	0,1	0,00	0,30	0,00	1,50	0,15		0,00	17,57	10	25

Para o cascalho da Pista Esquerda, o material que melhor se enquadrou foi aquele com incorporação de 10% de pó de pedra e 10% de Brita 01, na Faixa D da referida especificação, de acordo com o gráfico abaixo.



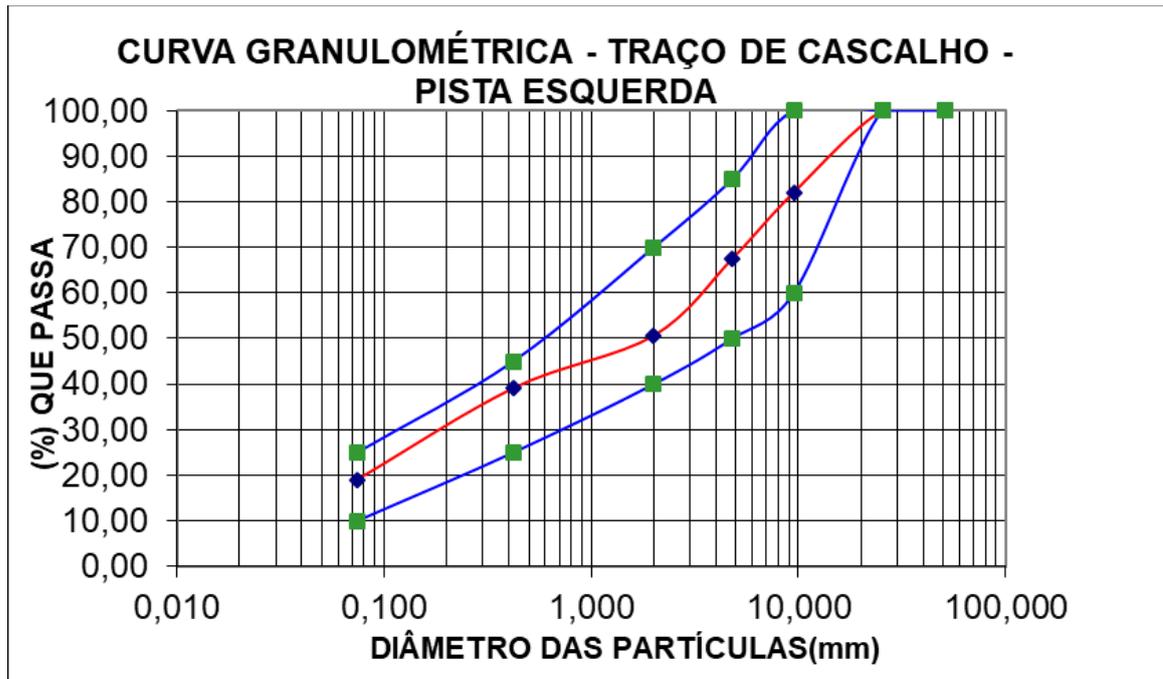


Figura 20: Curva granulométrica – Traço de cascalho – Pista esquerda

Tabela 12: Traço de cascalho – Pista Esquerda – Faixa D-DNIT.

PENEIRA (mm)	MED. BASE-PE		BRITA 1		PEDRISCO)		PÓ		AREIA BARR.	SOMA	Faixa D	Faixa D	
	GRAN.	80,00	GRAN.	10,00	GRAN.	0,00	GRAN.	10,00	GRAN.	0,00	INF	SUP	
	(%)	0	(%)	0	(%)		(%)	0		0,00			
50,800	100,00	80,00	100,00	10,00	100,00	0,00	100,0	10,00		0,00	100,00	100	100
25,400	100,00	80,00	100,00	10,00	100,00	0,00	100,0	10,00		0,00	100,00	100	100
9,500	88,27	70,62	14,8	1,48	99,20	0,00	100,00	10,00		0,00	82,10	60	100
4,800	71,75	57,40	2,8	0,28	50,50	0,00	99,10	9,91		0,00	67,59	50	85
2,000	54,74	43,79	0,1	0,01	8,60	0,00	68,40	6,84		0,00	50,64	40	70
0,420	46,22	36,97	0,1	0,01	1,00	0,00	21,50	2,15		0,00	39,13	25	45
0,074	23,64	18,91	0,1	0,01	0,30	0,00	1,50	0,15		0,00	19,07	10	25

Também, com o intuito de verificar se o cascalho apresenta ganho de densidade e de resistência, e de sua possibilidade como reuso para a camada de base, neste material enquadrado na Faixa D-DNIT foram realizados ensaios de compactação e CBR nas energias intermediária e modificada, com incorporação de percentuais da cal em massa, apresentados os resultados na Tabela 17. Informamos que a cal utilizada é do tipo CAL HIDRATADA CH-I.



Tabela 13: Resultados dos ensaios de compactação e CBR para o cascalho enquadrado na Faixa D – com incorporação da cal em massa – Subtrecho 240 – Energias Intermediária e Modificada.

LOCAL: SUBTRECHO 240	RESUMO - COMPACTAÇÃO E CBR - CASCALHO COM INCORPORAÇÃO DA CAL CH-III					
Nº FURO	Energia de Compactação	% Cal em Massa	W _{OT} (%)	v _S (Kg/m ³)	EXP. (%)	CBR (%)
Cascalho - Pista Direita - Am 01	Intermediária	1,0	13,2	2.003	0,01	62,0
Cascalho - Pista Direita - Am 01		2,0	13,6	2.060	0,02	81,0
Cascalho - Pista Direita - Am 01		3,0	12,8	2.051	0,01	103,0
Cascalho - Pista Direita - Am 01	Modificada	1,0	13,1	2.076	0,01	85,0
Cascalho - Pista Direita - Am 01		2,0	13,0	2.070	0,00	102,0
Cascalho - Pista Direita - Am 01		3,0	12,6	2.059	0,00	175,0
Cascalho - Pista Esquerda - Am 02	Intermediária	1,0	13,7	1.915	0,02	75,0
Cascalho - Pista Esquerda - Am 02		2,0	14,0	1.960	0,01	101,0
Cascalho - Pista Esquerda - Am 02		3,0	14,3	1.940	0,03	122,0
Cascalho - Pista Esquerda - Am 02	Modificada	1,0	13,0	2.048	0,02	90,0
Cascalho - Pista Esquerda - Am 02		2,0	13,7	2.011	0,01	139,0
Cascalho - Pista Esquerda - Am 02		3,0	13,6	1.992	0,01	201,0

Dos resultados apresentados acima, verificamos que o material aceitou compactação e ganho de resistência com o aumento de energia. Para seu uso como material de base, verificamos que o percentual de 2,0% da cal em massa, compactado na energia modificada, é o mais indicado para atender o seu uso como material de base, principalmente nos locais em que o projeto de restauração prevê intervenção apenas no revestimento e na base do pavimento.

Além disso, visando conhecer a compacidade e a umidade natural dos materiais componentes das camadas do pavimento, foram realizados em cada Janela e para cada camada os ensaios de densidade “in situ” e de umidade. Na Tabela 16 podemos visualizar os resultados desta pesquisa.



Tabela 14: Resultados dos ensaios de densidade “in situ” para as diversas camadas do pavimento – Subtrecho 240.

Janela	Pista	Camada	Peso esp. Seco (kg/m ³)	Umidade natural (%)
1	D i r e i t a	S u b l e i t o	1176	27,2
2			1345	24,9
3			1373	20,1
4			1236	27,0
5			983	27,9
6			1235	27,4
7	E s q u e r d a		1235	32,9
8			1214	24,5
9			1488	23,2
10			1300	25,2
11			1375	22,3
12			1311	24,5
1	D i r e i t a	S u b - b a s e	2039	10,9
2			1954	11,3
3			1764	10,7
4			2063	9,3
5			1925	10,2
6			2102	7,2
7	E s q u e r d a		1830	12,3
8			1891	11,0
9			1859	13,8
10			1953	12,7
11			1943	9,8
12			1869	9,1
1	D i r e i t a	B a s e	1997	5,4
2			2077	5,9
3			2117	10,1
4			2007	6,0
5			2004	6,4
6			2057	6,9
7	E s q u e r d a		1780	14,9
8			1876	10,6
9			1718	13,1
10			1983	11,3
11			1669	13,9
12			1769	11,1



Neste estudo, para o Trecho 02, Subtrecho 240, em sua maioria, as amostras coletadas do subleito se caracterizam como argilas pouco arenosas e pouco pedregulhosas vermelhas. Estes resultados, obtidos em ensaios laboratoriais, assim como os demais, pertinentes ao projeto Executivo, encontram-se no caderno de Geotecnia do presente projeto.

Para a definição das condições de suporte do subleito do pavimento, foram observados que os valores constantes da tabela acima apresentam CBR da ordem de 6,0%. Assim, para o Subtrecho 240 em estudo, para os locais em que é preciso a reconstrução do pavimento, para efeito de dimensionamento das estruturas do pavimento será adotado como capacidade de suporte do subleito, o CBR de projeto de 9,0%. Tal definição tem a finalidade de uniformizar a solução de reconstrução do pavimento também para os demais Subtrechos, 220 e 230, todos do Trecho 02.

Para isso, foram realizadas novas sondagens a trado e coletada amostras para os ensaios de compactação e CBR na energia intermediária, com 1,0% da cal em massa, visando melhorar a resistência do material de subleito e atender ao CBR mínimo de 9,0% para projeto.

Tabela 15: Resultados dos ensaios de compactação e CBR para o subleito com incorporação da cal em massa – Subtrecho 240 – Energia Intermediária.

LOCAL: SUBTRECHO 240	RESUMO - COMPACTAÇÃO E CBR - SUBLEITO COM INCORPORAÇÃO DA CAL CH-III					
Nº FURO	Energia de Compactação	% Cal em Massa	W _{OT} (%)	v _s (Kg/m ³)	EXP. (%)	CBR (%)
Subleito - Am 01	Intermediária	1,0	28,7	1.452	0,16	11,0
Subleito - Am 02		1,0	27,9	1.431	0,11	9,5
Subleito - Am 03		1,0	26,2	1.450	0,09	15,0
Subleito - Am 04		1,0	25,2	1.502	0,15	9,3

Dos resultados apresentados acima, verificamos que a porcentagem de 1,0% da cal em massa, quando aplicado no material de subleito e compactado na energia intermediária, para o Subtrecho 240, atendem ao valor de CBR de projeto.



3 Projeto de Restauração

O objetivo primordial do projeto de restauração é reforçar o pavimento existente, por adição de novas camadas estruturais ou por substituição de uma ou mais camadas do pavimento, de tal forma que a estrutura resultante possa suportar a repetição das cargas por eixos incidentes, em condições de segurança e conforto para o usuário.

Avaliando os dados estruturais e funcionais da pista em questão, apresentados acima. Observamos que a faixa mais solicitada pelo tráfego encontra-se completamente destruída e com níveis de funcionabilidade inaceitáveis, com IGG da ordem de 200. Com relação as flechas elas variam de maneira geral de 3 a 8 mm. Em função disso, toda as faixas de maior concentração de carga, ou seja, adjacentes ao acostamento, inclusive acostamentos, faixa de segurança, faixa de aceleração e desaceleração que requeiram deslocamentos ou ajustes, serão integralmente restaurados. O período utilizado no dimensionamento do projeto de reabilitação do pavimento é de 10 anos. Para o acostamento e faixas de segurança, as características estruturais são as mesmas adotadas para a pista de rolamento, garantindo ainda o nivelamento da camada superficial.

3.1 Segmentação Homogênea

A segmentação homogênea foi realizada considerando-se como parâmetro de referência a condição estrutural do pavimento como um todo, representada pela deflexão sob a ação da carga. Nessa etapa foi utilizado o método das diferenças acumuladas, preconizado pela AASHTO, para a divisão de uma rodovia em segmentos homogêneos, que consiste na seguinte sequência de cálculo:

- Calcula-se o valor médio para toda a rodovia do parâmetro a ser analisado;
- Calcula-se a diferença entre o valor pontual e o valor médio;



- Calculam-se os valores acumulados das diferenças;
- Plota-se um gráfico onde a abscissa é a posição na rodovia e a ordenada apresenta os valores acumulados das diferenças.

A variação do coeficiente angular da curva assim obtida indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, caracterizando matematicamente as extremidades dos segmentos homogêneos.

Pode-se citar o seguinte exemplo:

Tabela 16: Variação coeficiente angular

Distância	Parâmetro	Parâmetro - Valor Médio	Diferença Acumulada
0,0	70	-10	-10
0,2	70	-10	-20
0,4	70	-10	-30
0,6	90	10	-20
0,8	90	10	-10
1,0	90	10	0
Média	80		

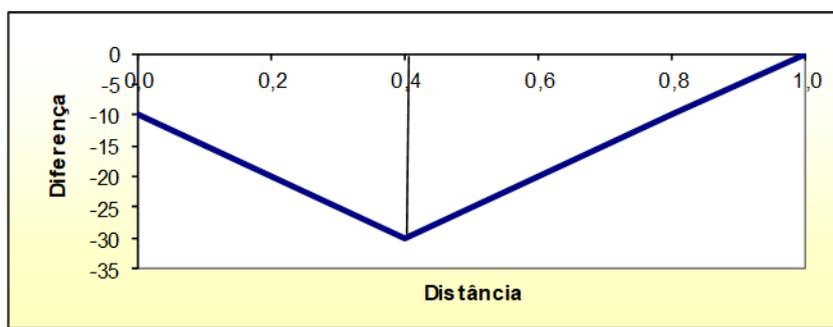


Figura 21: Gráfico coeficiente angular

Verifica-se, pelo gráfico acima, que o ponto de distância 0,4 é um limite de dois segmentos de comportamento distintos. Verifica-se, também, que os segmentos entre os pontos de distância 0 ao 0,4 e 0,4 ao 0,8 possuem comportamento semelhante do ponto de vista do parâmetro analisado.



Ressalta-se que os segmentos homogêneos obtidos por esse parâmetro (deflexão sob a ação da carga), para as Faixas de maior concentração de passagem de veículos pesados, ou seja, adjacentes aos acostamentos, foram reavaliados e reajustados em função dos aspectos superficiais e funcionais observados nos demais levantamentos realizados, bem como dos limites estabelecidos pelos parâmetros de construção e de tráfego.

Os gráficos utilizados na segmentação do trecho em questão são apresentados a seguir para as faixas adjacentes aos acostamentos.

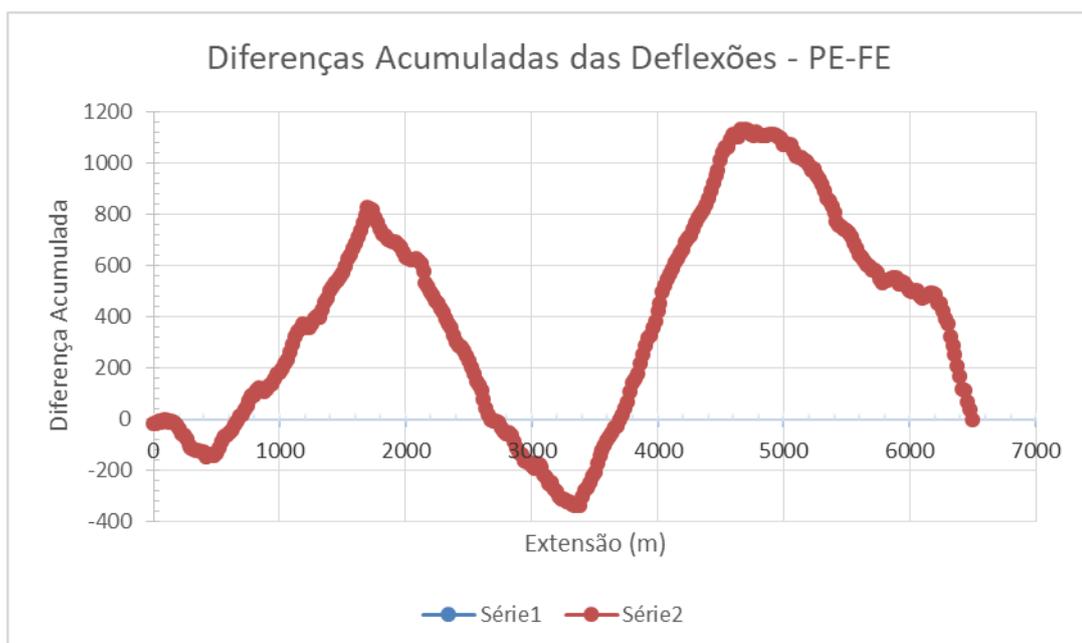


Figura 22: Diferenças acumuladas das deflexões – PE – FE



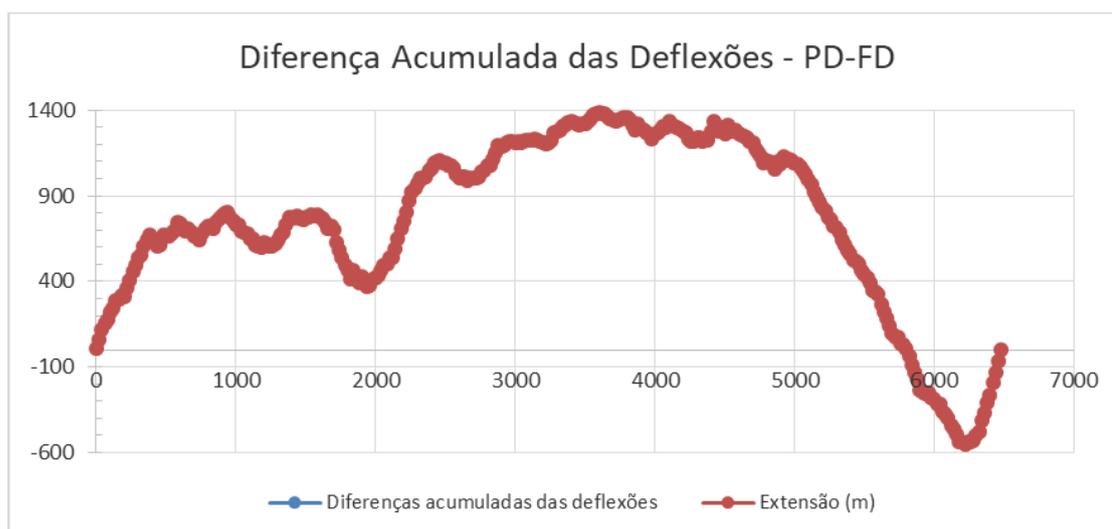


Figura 23: Diferenças acumuladas das deflexões – PD – FD

Seguiu-se, então, a determinação para cada um dos segmentos homogêneos obtidos dos parâmetros deflectométricos médios e característicos, para efeito de dimensionamento da restauração.

A seguir apresentamos nas Tabelas abaixo os parâmetros determinados e adotados para a determinação do dimensionamento do projeto de restauração do pavimento flexível, para cada segmento, Subtrecho 240.

Salientamos que para a Faixas de memor volume de tráfego, adjacentes as canteiro central, ou seja, Faixa Esquerda da Pista Direita e Faixa Direita da Pista Esquerda, foram realizadas nestas faixas a avaliação funcional e com isto o critério de definição de trechos homogêneos é em função do IGG e da vistoria realizada recentemente no mês de agosto de 2020.

Importante lembrar que este estudo foi realizado para todo o subtrecho 240, entretanto o escopo em questão se restringe apenas ao trecho entre as estacas 0+0,000 à 55+6,000.

Assim, temos a seguinte avaliação de campo em função da localização das Pistas e das Faixas de Tráfego:



1. Pista Direita - Faixa Esquerda: Avaliação Funcional;
2. Pista Direita - Faixa Direita: Avaliação Funcional e Estrutural;
3. Pista Esquerda - Faixa Esquerda: Avaliação Funcional e Estrutural;
4. Pista Esquerda - Faixa Direita: Avaliação Funcional.

Assim, apresentamos nas Tabelas abaixo os principais parâmetro funcionais e estruturais para as diversas Faixas de Tráfego e por Pista. Dentre eles podemos citar: a extensão dos segmentos homogêneos, o tipo de revestimento existente, o IGG, a deflexão de projeto (D_p), o raio de curvatura (R), o número N de projeto (N_p) e a deflexão admissível (D_{adm}).

Tabela 17: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Direita – Faixa Esquerda

PARÂMETROS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS								
LOTE:				PISTA: DIREITA				
RODOVIA: DF 001				FAIXA: ESQUERDA				
TRECHO: 2				SUBTRECHO: 240				
SEGMENTO HOMOGÊNEO			PARÂMETROS					
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	REVESTIMENTO EXISTENTE	IGG	N _p	D _{adm} -PRO 11 (0,01 mm)	D _{adm} -PRO 269 (0,01 mm)
	INICIAL	FINAL						
1	0	6	600	CBUQ	37	9,96E+07	40,02	44,09
2	6	17	1.100	CBUQ	129	9,96E+07	40,02	44,09
3	17	34	1.700	CBUQ	195	9,96E+07	40,02	44,09
4	34	36	200	CBUQ	122	9,96E+07	40,02	44,09
5	36	42	600	CBUQ	191	9,96E+07	40,02	44,09
6	42	44	200	CBUQ	172	9,96E+07	40,02	44,09
7	44	47	300	CBUQ	194	9,96E+07	40,02	44,09
8	47	60	1.300	CBUQ	152	9,96E+07	40,02	44,09
9	60	62	200	CBUQ	195	9,96E+07	40,02	44,09
10	62	65	300	CBUQ	40	9,96E+07	40,02	44,09



Tabela 18: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Direita – Faixa Direita

PARÂMETROS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS										
LOTE:					PISTA: DIREITA					
RODOVIA: DF 001					FAIXA: DIREITA					
TRECHO: 2					SUBTRECHO: 240					
SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS						
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	REVESTIMENTO EXISTENTE	IGG	Dp (0,01 mm)	R	Np	Dadm-PRO 11 (0,01 mm)	Dadm-PRO 269 (0,01 mm)
	INICIAL	FINAL								
1	0	4	400	CBUQ	257	124,78	122,77	9,96E+07	40,02	44,09
2	4	17	1.300	CBUQ	233	133,74	132,07	9,96E+07	40,02	44,09
3	17	20	300	CBUQ	247	143,75	146,33	9,96E+07	40,02	44,09
4	20	25	500	CBUQ	210	102,73	196,43	9,96E+07	40,02	44,09
5	25	49	2.400	CBUQ	290	126,67	141,98	9,96E+07	40,02	44,09
6	49	62	1.300	CBUQ	334	147,76	104,17	9,96E+07	40,02	44,09
7	62	65	300	CBUQ	211	112,77	126,87	9,96E+07	40,02	44,09

Tabela 19: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Esquerda – Faixa Direita

PARÂMETROS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS										
LOTE:					PISTA: ESQUERDA					
RODOVIA: DF 001					FAIXA: DIREITA					
TRECHO: 2					SUBTRECHO: 240					
SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS						
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	REVESTIMENTO EXISTENTE	IGG	Np	Dadm-PRO 11 (0,01 mm)	Dadm-PRO 269 (0,01 mm)		
	INICIAL	FINAL								
1	0	32	3.200	CBUQ	131	9,96E+07	40,02	44,09		
2	32	37	400	CBUQ	185	9,96E+07	40,02	44,09		
3	37	39	200	CBUQ	150	9,96E+07	40,02	44,09		
4	39	41	200	CBUQ	145	9,96E+07	40,02	44,09		
5	41	46	500	CBUQ	184	9,96E+07	40,02	44,09		
6	46	55	900	CBUQ	160	9,96E+07	40,02	44,09		
7	55	63	800	CBUQ	58	9,96E+07	40,02	44,09		
8	63	65	200	CBUQ	52	9,96E+07	40,02	44,09		



Tabela 20: Parâmetros estruturais dos pavimentos flexíveis – Pista Esquerda – Faixa Esquerda

PARÂMETROS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS										
LOTE:					PISTA: ESQUERDA					
RODOVIA: DF 001					FAIXA: ESQUERDA					
TRECHO: 2					SUBTRECHO: 240					
SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS						
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	REVESTIMENTO EXISTENTE	IGG	Dp (0,01 mm)	R	Np	Dadm-PRO 11 (0,01 mm)	Dadm-PRO 269 (0,01 mm)
	INICIAL	FINAL								
1	0	5	500	CBUQ	179	83,17	147,57	9,96E+07	40,02	44,09
2	5	17	1.200	CBUQ	199	103,55	144,23	9,96E+07	40,02	44,09
3	17	34	1.700	CBUQ	236	86,51	134,59	9,96E+07	40,02	44,09
4	34	47	1.300	CBUQ	246	113,44	125,68	9,96E+07	40,02	44,09
5	47	65	1.800	CBUQ	194	77,20	149,98	9,96E+07	40,02	44,09

3.2 Dimensionamento do Reforço pelo Método PRO-269/94

O procedimento de análise dos pavimentos usado nessa norma fundamenta-se, basicamente, na comparação entre as deformações solicitantes e as admissíveis pelos materiais, de forma a não ocorrer a “ruptura” dos materiais constituintes.

Assim as medidas de intervenção dimensionadas, com base na norma DNER PRO 011/79 e DNER PRO 269/94, estão calçadas nos conceitos básicos da Mecânica dos Pavimentos, de forma a promover à estrutura em questão características resilientes compatíveis com o tráfego previsto ao longo do período do projeto.

- **Cálculo da Deflexão Admissível**

A deflexão admissível é aquela que, imposta ao pavimento, acarretará a ruptura do revestimento betuminoso por processo de fadiga, representada pelo número “N” acumulado e calculada através do seguinte modelo:

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log N_p$$

Onde:

D_{adm} = Deflexão admissível;



N = Número "N" acumulado de projeto.

- **Cálculo da Espessura Efetiva do Revestimento**

Um parâmetro importante de avaliação dos pavimentos é a espessura efetiva do revestimento existente.

Conceitualmente, a espessura efetiva representa a condição estrutural da camada betuminosa de revestimento, tendo em vista a estrutura de referência do modelo, quando comparada com uma camada nova em concreto asfáltico (CBUQ).

Deste modo, um pavimento cujo revestimento encontra-se consideravelmente deteriorado (excesso de trincamento), não possui capacidade estrutural compatível com as condições a que foi inicialmente proposto e, por isso, deve ter sua espessura reduzida, para efeito de modelagem estrutural, à semelhança de uma camada nova do mesmo material.

Portanto, a espessura efetiva do revestimento é calculada pela seguinte equação:

$$h_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972.I_1 + 4,101.I_2$$
$$0 \leq h_{ef} \leq h_e$$

Onde:

h_{ef} = Espessura efetiva (cm);

D_c = Deflexão característica ($\times 10^{-2}$ mm);

h_e = Espessura existente (cm);

I_1, I_2 = Parâmetros que dependem do tipo de solo.

Para identificação do tipo de solo e conhecer os percentuais de silte e de argila, para este Trecho foram realizadas duas granulometrias por peneiramento e por sedimentação, conforme consta do caderno de estudo geotécnico. Verificando os resultados, constatamos que se tratam de solos do tipo II.



- **Cálculo da Espessura de Reforço em CBUQ**

A equação de definição da espessura de reforço em CBUQ proposta pela norma DNER PRO 269/94 é baseada no conceito de deflexão admissível, ou seja, a espessura de reforço calculada visa reduzir a deflexão medida no pavimento até um nível considerado aceitável, como segue:

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{D_{adm}}} - 1,357 \cdot h_{ef} + 1,016 \cdot I_1 + 3,893 \cdot I_2$$

As tabelas com os dimensionamentos realizados seguindo a metodologia das normas DNER PRO 011/79 e DNER PRO 269/94 são apresentadas a seguir para a Pista Direita – Faixa Direita, sentido Balão do Recanto das Emas/Balão do Periquito, em que foi realizada a avaliação funcional e estrutura desta faixa mais carregada em termos fluxo de veículos pesados, Subtrecho 240. Para as demais faixas, de menor intensidade de tráfego pesado, as soluções foram definidas com base na análise funcional, tendo como parâmetro o IGG e também a norma PRO 011/79. Considerando também uma visita de campo no mês de agosto de 2020, para uma avaliação *in loco* das severidades das patologias ao longo do trecho.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

Tabela 21: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – PRO 011/79 – Pista Direita-Faixa Direita.

DNER-PRO 11/79 - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS																	
RODOVIA: DF 001												PISTA: DIREITA					
SENTIDO: BALÃO DO RECANTO DAS EMAS / BALÃO DO PERIQUITO												FAIXA: DIREITA					
TRECHO: 2												SUBTRECHO: 240					
SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS						CRITÉRIOS ESTABELECIDOS-AVALIAÇÃO ESTRUTURAL				DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO			
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	REVESTIMENTO EXISTENTE	IGG - Subtrecho	Dp-Subtrecho (0,01 mm)	R	Np	Dadm (0,01 mm)	HIPÓTESE	QUALIDADE ESTRUTURAL	CRITÉRIOS PARA CÁLCULO DE REFORÇO	MEDIDAS CORRETIVAS	K	hCB (cm)	hCBUQ (cm)	REVESTIMENTO DO REFORÇO
	INICIAL	FINAL															
1	0	4	400	CBUQ	257	124,78	122,77	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
2	4	17	1.300	CBUQ	233	133,74	132,07	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
3	17	20	300	CBUQ	247	143,75	146,33	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
4	20	25	500	CBUQ	210	102,73	196,43	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
5	25	49	2.400	CBUQ	290	126,67	141,98	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
6	49	62	1.300	CBUQ	334	147,76	104,17	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
7	62	65	300	CBUQ	211	112,77	126,87	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ

Tabela 22: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – PRO 269/94 – Pista Direita-Faixa Direita.

DNER-PRO 269/94 - PROJETO DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS																					
RODOVIA: DF 001												PISTA: DIREITA									
SENTIDO: BALÃO DO RECANTO DAS EMAS / BALÃO DO PERIQUITO												FAIXA: DIREITA									
TRECHO: 2												SUBTRECHO: 240									
SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS DO PROJETO DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE										DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO DO PAVIMENTO EXISTENTE							
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	Dp (0,01 mm)	ESTRUTURA DE REFERÊNCIA			PERÍODO DE ANÁLISE	Np	FC-2 (%)	FC-3 (%)	FC-2 + FC-3 (%)	TIPO DE SOLO DO SUBLEITO	CONSTANTES RESILIENTES		hef (cm)	Dadm (0,01 mm)	cálculo HR (cm)	SOLUÇÃO DE RECAPEAMENTO	REFORÇO ADOTADO	
	INICIAL	FINAL			he	REVEST.	Hcg							I ₁	I ₂					REVESTIMENTO	ESPESSURA
1	0	4	400	124,78	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	30,00	21,00	51,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + FM	CBUQ	18,00
2	4	17	1.300	133,74	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	30,00	36,00	66,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + FM	CBUQ	18,00
3	17	20	300	143,75	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	30,00	45,00	75,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + FM	CBUQ	18,00
4	20	25	500	102,73	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	30,00	45,00	75,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + FM	CBUQ	18,00
5	25	49	2.400	126,67	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	30,00	35,00	65,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + FM	CBUQ	18,00
6	49	62	1.300	147,76	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	25,00	36,00	61,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + FM	CBUQ	18,00
7	62	65	300	112,77	4,00	CBUQ	35,00	10 anos	9,96E-07	22,00	20,00	42,00	II	1	0	2,40	44,09	14,61	CBUQ + FM	CBUQ	15,00

Comparando as soluções apresentadas acima pelos métodos PRO 011/79 e PRO 269/94, para a Faixa Direita-Pista Direita no sentido Balão do Recanto das Emas / Balão do Periquito, optamos pelas medidas corretivas apresentadas pelo método PRO 011/79, sendo especificada a solução de reconstrução para esta Faixa.

A título de ilustração, a seguir, nas figuras abaixo são apresentadas algumas fotos que mostram o nível de severidade das patologias no pavimento do Subtrecho 240, para a Pista da Direita.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste



Figura 24: Patologias na Pista Direita – Estaca 4 a 16



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste



Figura 25: Patologias na Pista Direita – Estaca 16 a 42





Figura 26: Patologias na Pista Direita – Estaca 42 a 64

As tabelas com os dimensionamentos realizados seguindo a metodologia das normas DNER PRO 011/79 e DNER PRO 269/94 são apresentadas a seguir para a Pista Esquerda – Faixa Esquerda, em que foi realizada a avaliação funcional e estrutura desta faixa mais carregada em termos de fluxo de veículos pesados, Subtrecho 240. Para as demais faixas, de menor



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento

Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

intensidade de tráfego pesado, as soluções foram definidas com base na análise funcional, tendo como parâmetro o IGG e também a norma PRO 011/79. Considerando também uma visita de campo no mês de agosto de 2020, para uma avaliação *in loco* das severidades das patologias ao longo do trecho.

Tabela 23: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – PRO 011/79 – Pista Esquerda-Faixa Esquerda.

DNER-PRO 11/79 - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS																	
RODOVIA:		DF 001										PISTA:				ESQUERDA	
SENTIDO:		BALÃO DO RECANTO DAS EMAS / BALÃO DO PERIQUITO										FAIXA:				ESQUERDA	
TRECHO:		2										SUBTRECHO:				240	
SEGMENTO HOMOGÊNEO			PARÂMETROS							CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PARA A AVALIAÇÃO ESTRUTURAL				DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO			
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	REVESTIMENTO EXISTENTE	IGG - Subtrecho	Dp - Subtrecho (0,01 mm)	R	Np	Dadm (0,01 mm)	HIPÓTESE	QUALIDADE ESTRUTURAL	CRITÉRIOS PARA CÁLCULO DE REFORÇO	MEDIDAS CORRETIVAS	K	hCB (cm)	hCBUQ (cm)	REVESTIMENTO DO REFORÇO
	INICIAL	FINAL															
1	0	5	500	CBUQ	179	83,17	147,57	9,96E+07	40,02	II	Regular	Deflectométrico	Reforço	40	12,71	13,00	CBUQ
2	5	17	1.200	CBUQ	199	103,55	144,23	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
3	17	34	1.700	CBUQ	236	86,51	134,59	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
4	34	47	1.300	CBUQ	246	113,44	125,68	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ
5	47	65	1.800	CBUQ	194	77,20	149,98	9,96E+07	40,02	V	Má	Resistência	Reconstrução	40	12,50	12,50	CBUQ

Tabela 24: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – PRO 269/94 – Pista Esquerda-Faixa Esquerda.

DNER-PRO 269/94 - PROJETO DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS																					
RODOVIA:		DF 001										PISTA:								ESQUERDA	
SENTIDO:		BALÃO DO RECANTO DAS EMAS / BALÃO DO PERIQUITO										FAIXA:								ESQUERDA	
TRECHO:		2										SUBTRECHO:								240	
SEGMENTO HOMOGÊNEO				PARÂMETROS DO PROJETO DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE												DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO DO PAVIMENTO EXISTENTE					
Nº	ESTACA		EXTENSÃO (m)	Dp (0,01 mm)	ESTRUTURA DE REFERÊNCIA		PERÍODO DE ANÁLISE	Np	FC-2 (%)	FC-3 (%)	FC-2 + FC-3 (%)	TIPO DE SOLO DO SUBLEITO	CONSTANTES			hef (cm)	Dadm (0,01 mm)	cálculo HR (cm)	SOLUÇÃO DE RECAPEAMENTO	REFORÇO ADOTADO	
	INICIAL	FINAL			he	REVEST.							Hcg	i ₁	i ₂					i ₃	REVESTIMENTO
1	0	5	500	83,17	6,00	CBUQ	33,00	10 anos	9,96E+07	25,00	33,00	58,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + PM	CBUQ	18,00
2	5	17	1.200	103,55	6,00	CBUQ	33,00	10 anos	9,96E+07	28,00	34,00	62,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + PM	CBUQ	18,00
3	17	34	1.700	86,51	6,00	CBUQ	33,00	10 anos	9,96E+07	28,00	44,00	72,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + PM	CBUQ	18,00
4	34	47	1.300	113,44	6,00	CBUQ	33,00	10 anos	9,96E+07	28,00	43,00	71,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + PM	CBUQ	18,00
5	47	65	1.800	77,20	6,00	CBUQ	33,00	10 anos	9,96E+07	25,00	34,00	59,00	II	1	0	0,00	44,09	17,87	CBUQ + PM	CBUQ	18,00

Comparando as soluções apresentadas acima pelos métodos PRO 011/79 e PRO 269/94, para a Faixa Esquerda-Pista Esquerda no sentido Balão do Recanto das Emas / Balão do Periquito, optamos pelas medidas corretivas apresentadas pelo método PRO 011/79, sendo especificada a solução de reconstrução para esta Faixa, haja visto o lapso temporal para o processo de licitação e contratação das obras, e também pela proximidade de mais um período chuvoso.

A título de ilustração, a seguir, nas figuras abaixo são apresentadas algumas fotos que mostram o nível de severidade das patologias no pavimento do Subtrecho 240, para a Pista da Esquerda.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste



Figura 27: Patologias na Pista Esquerda – Estaca 30 a 4





Figura 28: Patologias na Pista Esquerda – Estaca 64 a 30

Portanto, com base nas tabelas de dimensionamento do pavimento de restauração foi adotada a solução mais arrojada, quando comparamos as soluções apresentadas pelos métodos PRO 011/79 e PRO 269/94. De modo geral, a solução apontada pelo método PRO 011/79 foi a que apresentou uma solução mais adequada, considerando os níveis das patologias neste pavimento e também que este pavimento irá danificar ainda mais até o

53



momento das correções. Principalmente pelo lapso temporal entre o processo de tramitação para a licitação e execução das obras, e pelo fato de já estarmos no início de outro intervalo chuvoso. Em anexo, tais soluções são apresentadas no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções, para a Faixa Direita-Pista Direita e para a Faixa Esquerda-Pista Esquerda, sentido Balão do Recanto das Emas / Balão do Periquito.

Para as demais faixas, de menor intensidade de tráfego pesado, as soluções foram definidas com base na análise funcional, tendo como parâmetro o IGG e também a norma PRO 011/79. Considerando também uma visita de campo no mês de agosto de 2020, para uma avaliação *in loco* das severidades das patologias ao longo do trecho. Em anexo, tais soluções são apresentadas no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções, para a Faixa Esquerda-Pista Direita e para a Faixa Direita-Pista Esquerda, sentido Balão do Recanto das Emas / Balão do Periquito. Assim, para os segmentos homogêneos que apresentaram IGG maior que 180, foi especificado a solução em reconstrução e para os trechos em que o IGG é menor que 180 e já apresentam patologias que atingem a camada de base, foi especificado a fresagem do revestimento e na sequência a reciclagem da camada de base. Para os pontos de pequenas extensão e que requerem soluções mais pontuais, foi adotado a fresagem do revestimento com sua recomposição e reforço, conforme especificado no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções, anexo.

Em resumo, foram determinadas algumas soluções e apresentadas em anexo no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções:

- RLS – Reparo localizado superficial – com fresagem do revestimento de 3,5cm, recomposição e reforço;
- RLS – Reparo localizado superficial – com fresagem do revestimento de 7,0cm, recomposição e reforço;
- RLP – Reparo localizado profundo – com fresagem do revestimento, reciclagem da base, recomposição e reforço;
- RECICLAGEM – com fresagem do revestimento, reciclagem da base, recomposição e reforço;
- RECONSTRUÇÃO.



3.3 Dimensionamento Reconstrução

O dimensionamento da estrutura para os segmentos que terão como solução final reconstrução ou reparo profundo foi realizado, inicialmente, a partir do método de dimensionamento do DNIT, e a seguir procedeu-se a verificação e adaptação desta estrutura pelos critérios mecânicos.

3.3.1 Método do DNIT

O Método do DNIT tem sua metodologia bastante difundida e é de domínio geral, tendo como premissa básica a proteção das camadas quanto à ruptura por cisalhamento. Nele, definem-se as espessuras equivalentes de pavimento necessárias para a proteção das camadas subjacentes em função do índice de Suporte Califórnia. Já as espessuras de cada camada são dadas em função de seus coeficientes de equivalência estrutural.

No que diz respeito às camadas betuminosas, recomenda-se a adoção de uma espessura mínima no intuito de se proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego e evitar a ruptura do revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. Os valores mínimos recomendados pelo DNIT são apresentados a seguir:

Tabela 25: Camadas betuminosas, espessura mínima

Parâmetro de Tráfego	Tipo e Espessura
$N \leq 1 \times 10^6$	Tratamentos Superficiais Betuminosos duplos e triplos
$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Concreto Betuminoso (5,0 cm)
$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$	Concreto Betuminoso (7,5 cm)
$1 \times 10^7 < N \leq 5,0 \times 10^7$	Concreto Betuminoso (10 cm)
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso (12,5 cm)



Dessa forma, o dimensionamento baseia-se nos seguintes parâmetros:

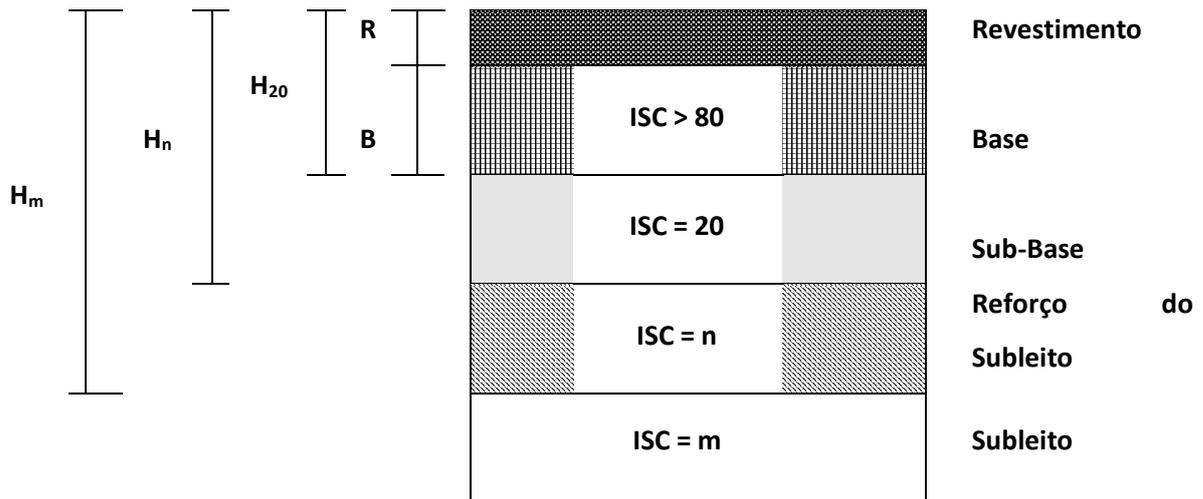
- Índice de Suporte Califórnia do subleito (ISC)
- Número de operações do eixo padrão de 8,2 tf (N)
- Coeficientes de equivalência estrutural das camadas do pavimento (K)

A partir do número N e da capacidade de suporte da camada em análise é possível definir a espessura equivalente em material granular (H) necessária para a proteção da mesma, conforme equação abaixo:

$$H = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

A definição das espessuras equivalentes para a proteção de cada camada separadamente é realizada para o subleito (Hm), o reforço do subleito (Hn) e a sub-base (H20), conforme a figura apresentada na sequência.





As espessuras individuais das camadas constituintes do pavimento são calculadas com base nos critérios a seguir:

$$R K_R + B K_B \geq H_{20}$$

$$R K_R + B K_B + S K_S \geq H_n$$

$$R K_R + B K_B + S K_S + Ref K_{Ref} \geq H_m$$

Onde:

R, B, S e Ref = espessuras do revestimento, base, sub-base e reforço, respectivamente;

K = coeficientes estruturais:

- Revestimento em CBUQ, coeficiente estrutural $K_R = 2,0$;
- Base ou sub-base granular, coeficiente estrutural K_B ou $K_S = 1,0$;
- Reforço, coeficiente estrutural $K_{ref} = 0,7$.

Verificando os dados do Raio de Curvatura e as Deflexões, percebemos que estas são muito elevadas e aqueles de valores reduzidos, tais fatos nos leva a interpretar que o material da camada de subleito já está comprometido. Sendo também necessária a estabilização da



camada subjacente ao subleito. Nesse sentido será exigido que o material de subleito apresente CBR maior ou igual a 9,0%.

Para a verificação do pavimento pelo método do DNIT adotou-se CBR mínimo de 9,0% para o subleito. Os resultados são apresentados a seguir.

Para o referido Projeto apresentaremos abaixo 02 (duas) alternativas de dimensionamento de pavimento flexível novos e 02 (duas) em pavimento semi-rígido com base em BGTC para os locais da pista dupla do Trecho 02, Subtrecho 240, quando a solução apontada é de reconstrução.

Alternativa 01 – Revestimento em CBUQ Convencional e base em BGS (RECONSTRUÇÃO).

Método do DNIT - Pavimento Flexível							
RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 01							
Dados de Entrada				Parâmetros de Verificação			
CBR Subleito (%)		9		H _m (cm)		50,7	
CBR Sub-base (%)		20		H ₂₀ (cm)		31,5	
Número N (USACE)		9,96E+07					
Camada	Material	k	H _{proj} (cm)	H _{equiv} (cm)	H _{acum} (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ	2,0	12,5	25,0	-	-	-
Base	BGS	1,0	15,0	15,0	40,0	> H ₂₀ (cm) = 31,5	SIM
Sub-base	CASCALHO	1,0	15,0	15,0	55,0	> H _m (cm) = 50,7	SIM
<p>OBS.:</p> <p>O Fator de Equivalência (k) de cada material é proposto no Método do DNIT.</p> <p>A espessura mínima do revestimento é proposta no Método do DNIT em função do número N.</p> <p>O H_{equiv} indica a espessura equivalente da camada para a proteção da camada inferior.</p> <p>O H_{acum} indica a espessura equivalente acumulada a ser comparada com os parâmetros de verificação.</p>							



Alternativa 02 – Revestimento em CBUQ com Polímero e base em BGS (RECONSTRUÇÃO).

Método do DNIT - Pavimento Flexível							
RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 02							
Dados de Entrada				Parâmetros de Verificação			
CBR Subleito (%)	9			H _m (cm)	50,7		
CBR Sub-base (%)	20			H ₂₀ (cm)	31,5		
Número N (USACE)	9,96E+07						
Camada	Material	k	H _{proj} (cm)	H _{equiv} (cm)	H _{acum} (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ c/ Polímero	2,0	12,5	25,0	-	-	-
Base	BGS	1,0	15,0	15,0	40,0	> H ₂₀ (cm) = 31,5	SIM
Sub-base	CASCALHO	1,0	15,0	15,0	55,0	> H _m (cm) = 50,7	SIM

OBS.:
 O Fator de Equivalência (k) de cada material é proposto no Método do DNIT.
 A espessura mínima do revestimento é proposta no Método do DNIT em função do número N.
 O H_{equiv} indica a espessura equivalente da camada para a proteção da camada inferior.
 O H_{acum} indica a espessura equivalente acumulada a ser comparada com os parâmetros de verificação.

Alternativa 03 – Revestimento em CBUQ Convencional e base em BGTC (RECONSTRUÇÃO).

Método do DNIT - Pavimento Flexível							
RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 03							
Dados de Entrada				Parâmetros de Verificação			
CBR Subleito (%)	9			H _m (cm)	50,7		
CBR Sub-base (%)	20			H ₂₀ (cm)	31,5		
Número N (USACE)	9,96E+07						
Camada	Material	k	H _{proj} (cm)	H _{equiv} (cm)	H _{acum} (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ	2,0	12,5	25,0	-	-	-
Base	BGTC	1,7	15,0	25,5	50,5	> H ₂₀ (cm) = 31,5	SIM
Sub-base	CASCALHO	1,0	10,0	10,0	60,5	> H _m (cm) = 50,7	SIM

OBS.:
 O Fator de Equivalência (k) de cada material é proposto no Método do DNIT e para a BGTC, IP 05 - PMSP.
 A espessura mínima do revestimento é proposta no Método do DNIT em função do número N.
 O H_{equiv} indica a espessura equivalente da camada para a proteção da camada inferior.
 O H_{acum} indica a espessura equivalente acumulada a ser comparada com os parâmetros de verificação.



Alternativa 04 – Revestimento em CBUQ com Polímero e base em BGTC (RECONSTRUÇÃO).

Método do DNIT - Pavimento Flexível							
RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 04							
Dados de Entrada				Parâmetros de Verificação			
CBR Subleito (%)	9			H _m (cm)	50,7		
CBR Sub-base (%)	20			H ₂₀ (cm)	31,5		
Número N (USACE)	9,96E+07						
Camada	Material	k	H _{proj} (cm)	H _{equiv} (cm)	H _{acum} (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ c/ Polímero	2,0	12,5	25,0	-	-	-
Base	BGTC	1,7	15,0	25,5	50,5	> H ₂₀ (cm) = 31,5	SIM
Sub-base	CASCALHO	1,0	10,0	10,0	60,5	> H _m (cm) = 50,7	SIM
OBS.:							
O Fator de Equivalência (k) de cada material é proposto no Método do DNIT e para a BGTC, IP 05 - PMSP.							
A espessura mínima do revestimento é proposta no Método do DNIT em função do número N.							
O H _{equiv} indica a espessura equivalente da camada para a proteção da camada inferior.							
O H _{acum} indica a espessura equivalente acumulada a ser comparada com os parâmetros de verificação.							

Para as alternativas 3 e 4, acima, será inserida entre o revestimento e a BGTC uma camada anti-reflexão de trincas em Tratamento Superficial Duplo-TSD.

Para as alternativas 2 e 4, em que o revestimento é Concreto Betuminoso Usinado à Quente-CBUQ com polímero, é indicado o CAP 60/85-E, tipo SBS e com porcentagem de 6,0%. Quando da execução da obra, será pago o percentual de CAP determinado pelo controle tecnológico e em atendimento ao intervalo de CAP indicado o Traço de CBUQ.



3.3.2 Método Mecanístico

Adicionalmente foram empregados modelos mecanísticos para a análise de deformações e deslocamentos das camadas asfálticas e deformações no subleito.

A fadiga e a deformação são as condições fundamentais da avaliação estrutural de pavimentos. Assim, procurou-se determinar diversos indicadores estruturais representados pelas deformações verticais reversíveis (deflexões) na superfície (D), deformações horizontais de tração (ξ_t) no revestimento e pela deformação vertical no topo do subleito (ξ_v).

A análise de desempenho das estruturas é feita através da verificação da compatibilidade entre esforços solicitantes (devidos à aplicação de cargas de tráfego) e os esforços resistentes, intrínsecos de cada material, traduzidos pelas equações de fadiga apresentadas no item a seguir.

Quando as estruturas inicialmente testadas em simulações computacionais não atendem aos parâmetros admissíveis (ou desejados) de cada material devem ser realizadas adequações nas espessuras das camadas de forma a se obter um pavimento equilibrado para atender o período de projeto desejado.

Os modelos ou critérios mecanísticos empregados neste estudo são apresentados a seguir.

a) Deslocamentos verticais reversíveis (deflexões) na superfície do pavimento (d_0):

Os deslocamentos verticais máximos no topo do revestimento ocorrem devido às tensões e deformações das camadas estruturais constituintes do pavimento e do subleito em resposta ao carregamento na superfície do pavimento. Portanto, é necessário verificar os valores de deslocamentos verticais recuperáveis máximos no topo do pavimento de modo a garantir deformações inferiores às deformações de projeto.

Como critério comparativo, utilizou-se, para este parâmetro, a equação tradicionalmente aceita e proposta por Preussler e Pinto:

$$N_{ADMISÍVEL(USACE)} = 5,55 \times 10^{16} \times d_{adm}^{-5,32}$$



Onde:

$N_{ADMISSÍVEL(USACE)}$: número de operações para a ruptura do pavimento (método USACE);

d_{adm} : deflexão admissível (deslocamento vertical máximo da superfície do pavimento).

- b) Deformações específicas horizontais de tração (ε_t) nas fibras inferiores do revestimento asfáltico:

As deformações específicas horizontais de tração (ε_t) nas faces inferiores das camadas betuminosas, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, se forem excessivas, poderão causar ruptura por fadiga dessas camadas.

Desta forma, existe um número muito grande de procedimentos analíticos de projeto que consideram a deformação específica de tração na face inferior da camada betuminosa como o fator determinante da fadiga. No caso em estudo foi utilizada a equação definida por Federal Highway Administration (FHWA, 1976):

$$N_{ADMISSÍVEL(AASHTO)} = 1,09 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\xi_t}\right)^{3,512}$$

Onde:

$N_{ADMISSÍVEL(AASHTO)}$: número de operações para a ruptura do pavimento por fadiga (método AASHTO);

ξ_t : deformação específica horizontal de tração.



As deformações horizontais de tração (ε_t) nas faces inferiores das camadas betuminosas, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, se forem excessivas, poderão causar ruptura por fadiga dessas camadas.

c) Deformação específica vertical de compressão no topo do subleito (ε_v):

O solo de fundação é normalmente o material menos resistente da estrutura, portanto é por ele que se inicia a verificação estrutural. Entretanto, uma vez confirmado o seu desempenho, é importante efetuar-se também a análise global para assegurar eventuais problemas devido ao fenômeno da deformação permanente.

A análise é feita comparando-se a máxima deformação específica vertical de compressão (ε_v) atuante no topo do subleito, considerando-se um sistema de camadas elásticas, comparando-as com os valores admissíveis correspondentes ao material utilizado.

Nos pavimentos rodoviários onde o tráfego é canalizado, a deformação permanente em geral se manifesta nas chamadas trilhas de roda. Essa deformação devida ao cisalhamento é um dos fatores que precisa ser levado em conta no projeto racional de pavimentos, objetivando-se minimizar as deformações totais dos mesmos.

O critério da fadiga para deformações verticais de compressão do subleito é idêntico aos modelos adotados para a fadiga de misturas betuminosas e expresso neste trabalho por uma equação da seguinte forma (Dormon & Metcalf, 1965):

$$N_{ADMIS\acute{S}IVEL(USACE)} = 6,069 \times 10^{-10} \times \xi_v^{-4,762}$$

Onde:

$N_{ADMIS\acute{S}IVEL(USACE)}$: número de operações para a ruptura do pavimento por fadiga (método USACE);

ξ_v : deformação específica vertical de tração.

d) Fadiga de Misturas Cimentadas:



Para modelar o comportamento à fadiga da camada de brita graduada tratada com cimento (BGTC), utilizou-se o modelo desenvolvido por Balbo (1993) para camadas deste tipo, a saber:

$$N_{ADMISSÍVEL(USACE)} = 10^{(17,137 - 19,608 \times SR)} \text{ em que } SR = \sigma_a / \sigma_{rup}$$

Onde:

$N_{ADMISSÍVEL(USACE)}$: número de operações para a ruptura do pavimento por fadiga (método USACE);

σ_a : tensão atuante admissível;

σ_{rup} : tensão de tração na flexão de ruptura do material.

Para o estudo em questão, utilizou-se uma tensão de tração na flexão de 10 kgf/cm².

Pode-se observar na Figura 29 uma ilustração da localização das verificações efetuadas.



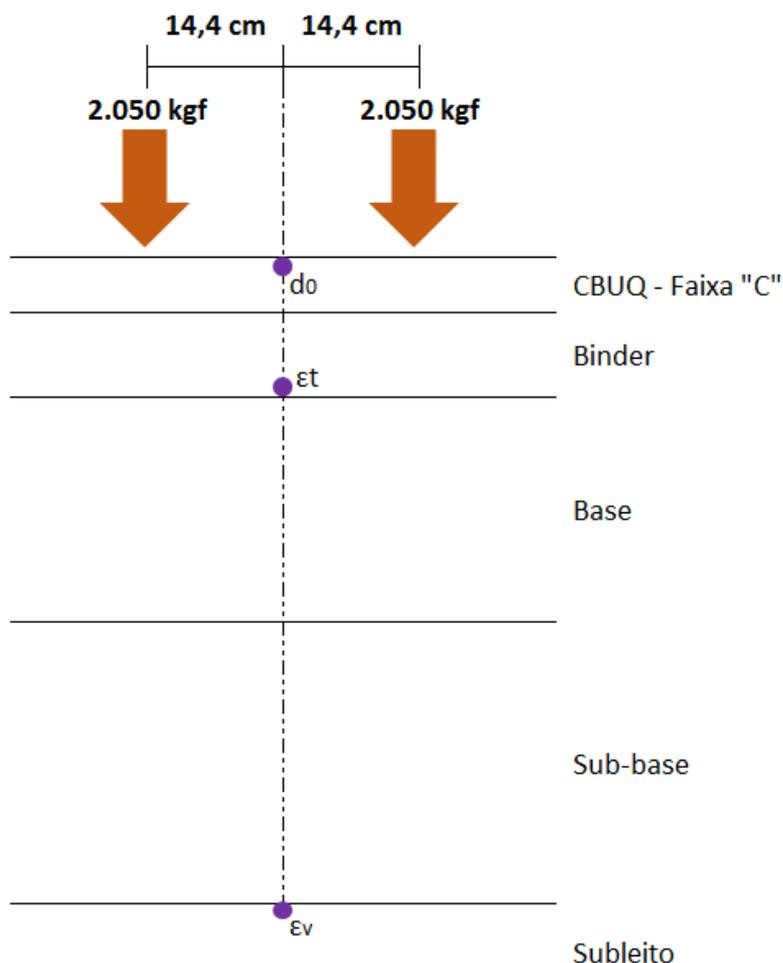


Figura 29: Exemplificação dos pontos de obtenção dos dados de interesse

e) Resultado da análise mecânica:

A partir dos dados do estudo de tráfego e das características do subleito local foram realizados sucessivos dimensionamentos de quatro alternativas de estruturas de pavimento até que todos os critérios mencionados anteriormente fossem atingidos. Inicialmente, foi determinada uma estrutura de pavimento a partir do método de dimensionamento IP-04 PMSP para um período de análise de 10 anos, seguindo-se a adequação da mesma pelos critérios mecânicos.



No desenvolvimento deste estudo, utilizou-se a teoria das camadas elásticas para o cálculo dos deslocamentos e das deformações nas estruturas simuladas. Nesta tarefa, fez-se uso do programa do ELSYM5 – Elastic Layered System, que aplica o método das diferenças finitas no cálculo destes parâmetros, produzidos por um eixo de cargas, em qualquer ponto da estrutura do pavimento.

A Instrução de Projeto “IP-DE-P00/001 - Projeto de Pavimentação”, do DER-SP, de janeiro de 2006, preconiza: “A critério da fiscalização, pode ser solicitada a verificação mecanicista da estrutura de pavimento dimensionada pelos métodos do DER/SP e do DNER através do emprego de programa computacional. Na utilização de programas computacionais para verificação mecanicista, devem ser fornecidas a descrição sucinta do programa computacional, as hipóteses de cálculo utilizadas e simplificações adotadas, dados de entrada e resultados obtidos.” Deste forma, apresentaremos a seguir os dados de entrada e valores obtidos com o uso do software ELSYM5.

Para o correto funcionamento, o software exige a entrada dos seguintes dados:

- Dados das camadas do pavimento (espessura, Módulo de Resiliência e coeficiente de Poisson);
- Dados do carregamento (carga, pressão na superfície penu-pavimento, raio da superfície pneu-pavimento, número de pontos de carga e coordenadas do pontos de carga);
- Dados dos pontos de avaliação (número e coordenadas dos pontos de avaliação do plano XY e número e coordenadas dos pontos de avaliação no eixo Z).

Os dados de entrada das camadas do pavimento utilizados no programa podem ser observados na Tabela abaixo.



Tabela 26: Estrutura do pavimento e valores usuais de Módulo de Resiliência e Poisson

Camada	Coeficiente de Poisson	Módulo de Resiliência		
		Estimativa em Mpa	Fonte	Estimativa em kgf/cm ²
Revestimento – CBUQ	0,30	3.000 < E < 5.000	IP-08/2004	40.000
		2.000 < E < 5.000	IP-DE-P00/001	
Revestimento – CBUQ c/ Polímero	0,30	3.000 < E < 5.000	IP-08/2004	50.000
		2.000 < E < 5.000	IP-DE-P00/001	
Base – BGS	0,35	100 < E _B < 500	IP-08/2004	2.600
		150 < E _B < 300	IP-DE-P00/001	
Base – BGTC	0,20	5.000 < E _B < 15.000	IP-08/2004	70.000
Sub-base	0,40	$E_{REF} = 18,0(CBR_{SB})^{0,64} \times \sqrt{\frac{3CBR_{SL}}{CBR_{SB}}}$	IP-08/2004	1.650
		200 < E _{SB} < 400	IP-DE-P00/001	
Reforço	0,40	$E_{SL} = 22,0 (CBR)^{0,8}$	IP-08/2004	1.450
Subleito	0,40	$E_{SL} = 22,0 (CBR)^{0,8}$	IP-08/2004	1.250
		25 < E _{SL} < 75	IP-DE-P00/001	

Para o material de subleito do local objeto deste estudo, Trecho 02, Subtrecho 240, quando analisamos o Mapa Pedológico simplificado do Distrito Federal, verificamos que se trata de um Latossolo Vermelho-Amarelo, indicando assim ter características de um solo latérito. Sendo adotada a formulação da IP-08/2004 para a estimativa do Módulo de Resiliência.

Os valores de espessura das camadas variam de acordo com a análise realizada no pavimento.

Os dados de entrada dos carregamentos utilizados no programa podem ser observados na Tabela a seguir.



Tabela 27: Dados do carregamento imposto ao pavimento

Carga	2.050 kgf	
Pressão da Superfície Pneu-Pavimento	5,6 kgf/cm ²	
Raio da Superfície Pneu-Pavimento	10,8 cm	
Número de Pontos de Cargas (Pneus)	2	
Coordenadas	Ponto 01	0,0 cm / 0,0 cm
	Ponto 02	28,8 cm / 0,0 cm

Os dados de entrada dos pontos de avaliação utilizados no programa podem ser observados na Tabela abaixo.

Tabela 28: Dados dos pontos de avaliação no pavimento

Avaliações no plano XY		Avaliações no eixo Z	
Pontos	Coordenadas	Pontos	Profundidade
1	14,4 cm / 0,0 cm	1	Infinitesimal abaixo da carga (0,01 cm)
		2	Infinitesimal acima da interface revestimento-base
		3	Infinitesimal abaixo da sub-base

A seguir, nas Tabelas a seguir, são apresentadas a sequências dos resultados obtidos nas análises mecânicas para as alternativas de estruturas. Nesta etapa já foi realizada a comparação dos resultados de saída do ELSYM5 com os valores de deslocamento e deformações calculados com base no número N de projeto. Quando os dados de deslocamentos e deformações obtidos no ELSYM5 são maiores que os admissíveis para os valores de N do projeto, parte-se para uma nova análise mecânica com novos valores de espessuras das camadas.



Tabela 29: Análise Mecânica – Pavimento Flexível

Alternativa 01 – Revestimento em CBUQ Convencional e base em BGS (RECONSTRUÇÃO).

RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 1										
Camada	Espessura (cm)	Parâmetro de Avaliação	Número N	Modelo	Máximo Valor Admissível		Valor Calculado (ELSYMS)		Aceito	
Revestimento (CBUQ)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	34,5	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,93E-04	mm/mm	NÃO
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	3,27E-04	mm/mm	NÃO
Revestimento (CBUQ)	15	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	30,8	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,63E-04	mm/mm	NÃO
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	2,75E-04	mm/mm	NÃO
Revestimento (CBUQ)	15	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	30,4	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,62E-04	mm/mm	NÃO
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reforço	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,99E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ)	17,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	27,8	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,39E-04	mm/mm	NÃO
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	2,34E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ)	18	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	27,3	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,34E-04	mm/mm	SIM
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	2,27E-04	mm/mm	SIM

Informamos que para a análise inicial do pavimento tipo flexível, a estrutura do pavimento a ser analisada é aquela determinada pelo método DNIT da resistência. Observando as análises da Tabela acima, verificamos que a deformação na camada de revestimento e de subleito não atende aos valores admissíveis pelo método mecanicista. A partir daí foram feitos novos incrementos de espessura para a camada de revestimento e a que atendeu os parâmetros mecanicistas para uma menor espessura de revestimento foi a Análise 5.



Tabela 30: Análise Mecânica – Pavimento Flexível

Alternativa 02 – Revestimento em CBUQ com Polímero e base em BGS (RECONSTRUÇÃO).

RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 2										
Camada	Espessura (cm)	Parâmetro de Avaliação	Número N		Modelo	Máximo Valor Admissível		Valor Calculado (ELSYM5)		Aceito
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	33,1	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,72E-04	mm/mm	NÃO
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	3,08E-04	mm/mm	NÃO
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	15	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	29,4	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,44E-04	mm/mm	NÃO
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	2,56E-04	mm/mm	NÃO
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	17	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	26,9	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,26E-04	mm/mm	SIM
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	2,23E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	16	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	28,1	x 10 ⁻² mm	SIM
		ε _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	1,34E-04	mm/mm	SIM
Base (BGS)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-base (Cascalho)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	ε _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	2,39E-04	mm/mm	SIM

Tabela 31: Análise Mecânica – Pavimento Semi-Rígido em BGTC

Alternativa 03 – Revestimento em CBUQ Convencional e base em BGTC (RECONSTRUÇÃO).

RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 3										
Camada	Espessura (cm)	Parâmetro de Avaliação	Número N		Modelo	Máximo Valor Admissível		Valor Calculado (ELSYM5)		Aceito
Revestimento (CBUQ)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	19,3	x 10 ⁻² mm	SIM
		E _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	-1,76E-05	mm/mm	SIM
Base (BGTC)	15	E _t	USACE	9,96E+07	Balbo, 1993	4,661	kgf/cm ²	5,33	kgf/cm ²	NÃO
Sub-base (Cascalho)	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	E _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,58E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	17,4	x 10 ⁻² mm	SIM
		E _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	-1,89E-05	mm/mm	SIM
Base (BGTC)	18	E _t	USACE	9,96E+07	Balbo, 1993	4,661	kgf/cm ²	4,47	kgf/cm ²	SIM
Sub-base (Cascalho)	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	E _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,17E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	17,6	x 10 ⁻² mm	SIM
		E _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	-1,90E-05	mm/mm	SIM
Base (BGTC)	18	E _t	USACE	9,96E+07	Balbo, 1993	4,661	kgf/cm ²	4,52	kgf/cm ²	SIM
Sub-base (Cascalho)	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	E _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,32E-04	mm/mm	SIM



Tabela 32: Análise Mecânica – Pavimento Semi-Rígido em BGTC

Alternativa 04 – Revestimento em CBUQ com Polímero e base em BGTC (RECONSTRUÇÃO).

RESTAURAÇÃO - ALTERNATIVA 4										
Camada	Espessura (cm)	Parâmetro de Avaliação	Número N	Modelo	Máximo Valor Admissível		Valor Calculado (ELSYMS)		Aceito	
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	18,6	x 10 ⁻² mm	SIM
		E _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	-1,37E-05	mm/mm	SIM
Base (BGTC)	15	E _t	USACE	9,96E+07	Balbo, 1993	4,661	kgf/cm ²	5,1	kgf/cm ²	NÃO
Sub-base (Cascalho)	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	E _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,48E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10-2 mm	18,0	x 10-2 mm	SIM
		E _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	-1,45E-05	mm/mm	SIM
Base (BGTC)	16	E _t	USACE	9,96E+07	Balbo, 1993	4,661	kgf/cm ²	4,83	kgf/cm ²	NÃO
Sub-base (Cascalho)	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	E _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,40E-04	mm/mm	SIM
Revestimento (CBUQ c/ Polímero)	12,5	d ₀	USACE	9,96E+07	Preussler e Pinto	44,05	x 10 ⁻² mm	17,5	x 10 ⁻² mm	SIM
		E _t	AASHTO	4,20E+07	FHWA, 1976	1,35E-04	mm/mm	-1,51E-05	mm/mm	SIM
Base (BGTC)	17	E _t	USACE	9,96E+07	Balbo, 1993	4,661	kgf/cm ²	4,57	kgf/cm ²	SIM
Sub-base (Cascalho)	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	-	E _v	USACE	9,96E+07	Dormon & Metcalf, 1965	2,43E-04	mm/mm	1,32E-04	mm/mm	SIM

3.4 Soluções Propostas

Portanto, com base nas tabelas de dimensionamento do pavimento de restauração foi adotada a solução mais arrojada, quando comparamos as soluções apresentadas pelos métodos PRO 011/79 e PRO 269/94. De modo geral, a solução apontada pelo método PRO 011/79 foi a que apresentou uma solução mais adequada, reconstrução, considerando os níveis das patologias neste pavimento. Em anexo, tais soluções são apresentadas no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções, para a Faixa Direita-Pista Direita e para a Faixa Esquerda-Pista Esquerda, sentido Balão do Recanto das Emas / Balão do Periquito.

Para as demais faixas, de menor intensidade de tráfego pesado, as soluções foram definidas com base na análise funcional, tendo como parâmetro o IGG e também a norma PRO 011/79. Considerando também uma visita de campo no mês de agosto de 2020, para uma avaliação *in loco* das severidades das patologias ao longo do trecho. Em anexo, tais soluções são apresentadas no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções, para a Faixa Esquerda-Pista Direita e para a Faixa Direita-Pista Esquerda, sentido Balão do Recanto das Emas / Balão do Periquito. Assim, para os segmentos homogêneos que apresentaram IGG maior que 180,



foi especificado a solução em reconstrução e para os trechos em que o IGG é menor que 180 e já apresentam patologias que atingem a camada de base, foi especificado a fresagem do revestimento e na sequência a reciclagem da camada de base. Para os pontos de pequenas extensão e que requerem soluções mais pontuais, foi adotado a fresagem do revestimento com sua recomposição e reforço, conforme especificado no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções, anexo.

Em resumo, foram determinadas algumas soluções e apresentadas em anexo no Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções:

- RLS – Reparo localizado superficial – com fresagem do revestimento de 3,5cm, recomposição e reforço;
- RLS – Reparo localizado superficial – com fresagem do revestimento de 7,0cm, recomposição e reforço;
- RLP – Reparo localizado profundo – com fresagem do revestimento, reciclagem da base, recomposição e reforço;
- RECICLAGEM – com fresagem do revestimento, reciclagem da base, recomposição e reforço;
- RECONSTRUÇÃO.

A seguir, são apresentadas 4 soluções propostas em reconstrução. Elas foram analisadas pelo critério econômico, numa avaliação de custo por metro quadrado e a seguir apresentamos para cada uma delas a solução e em que classificação econômica esta enquadra-se.

Salientamos que para a solução em reconstrução, será adotada a que apresentar o menor custo por metro quadrado, ou seja, a solução a ser implantada é 1ª ALTERNATIVA ECONÔMICA, apresentada abaixo. Definida a 1ª ALTERNATIVA ECONÔMICA, as demais soluções, Reciclagem(RCG), Reparo Localizado Profundo(RLP) e Reparo Localizado Superficial(RLS), serão ajustas para que ocorra o nivelamento entre as soluções e entre as faixas de tráfego, a seguir apresentadas.



4ª ALTERNATIVA ECONÔMICA - RESTAURAÇÃO EM RECONSTRUÇÃO: PAVIMENTO FLEXÍVEL – CBUQ COM POLÍMERO E BASE EM BGS.

Espessura (cm)	Camada
5,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
5,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
5,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
15,0	Base em Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado.
15,0	Sub-Base em Cascalho, CBR ≥ 30%. GC = 100%, Proctor Intermediário. Removido da pista e estocado no local da obra.
60,0	Compactação do Subleito com incorporação de 1% de cal do tipo CH-I em massa, GC 100%, Proctor Intermediário. Para aplicação da cal, utilizar caminhão distribuidor.
OBSERVAÇÃO:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar inicialmente a Fresagem de 6,0cm do revestimento e estocagem no Pátio do DER. 2. Considerar também Corte do cascalho de 30,0cm e estocagem no local da obra.



**3ª ALTERNATIVA ECONÔMICA - RESTAURAÇÃO EM RECONSTRUÇÃO: PAVIMENTO
FLEXÍVEL – CBUQ SEM POLÍMERO E BASE EM BGS.**

Espessura (cm)	Camada
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
15,0	Base em Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado.
15,0	Sub-Base em Cascalho, CBR ≥ 30%. GC = 100%, Proctor Intermediário. Removido da pista e estocado no local da obra.
60,0	Compactação do Subleito com incorporação de 1% de cal do tipo CH-I em massa, GC 100%, Proctor Intermediário. Para aplicação da cal, utilizar caminhão distribuidor.
OBSERVAÇÃO:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar inicialmente a Fresagem de 6,0cm do revestimento e estocagem no Pátio do DER. 2. Considerar também Corte do cascalho de 30,0cm e estocagem no local da obra.



2ª ALTERNATIVA ECONÔMICA - RESTAURAÇÃO EM RECONSTRUÇÃO: PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO – CBUQ SEM POLÍMERO E BASE EM BGTC.

Espessura (cm)	Camada
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
-	Camada Anti-Reflexão de Trincas em Tratamento Superficial Duplo - TSD. Usar emulsão asfáltica com polímero – RR 1C-E.
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
18,0	Base de Brita Graduada Tratamento com Cimento – BGTC, teor de cimento variando de 4,0% a 5,0%, em massa. Compactada na Energia Intermediária e Grau de Compactação ≥ 100%. Resistências à compressão simples axial de $f_{ck} = 35 \text{ kgf/cm}^2$ aos 7 dias e $f_{ck} = 50 \text{ kgf/cm}^2$ aos 28 dias. Resistência à tração na flexão $f_{ct,f} = 10 \text{ kgf/cm}^2$ aos 28 dias. Como referência a Especificação Técnica do DER-SP – ET-DE-P00/009 – Jul/2005, Rev. A.
10,0	Sub-Base em Cascalho, CBR ≥ 30%. GC = 100%, Proctor Intermediário. Removido da pista e estocado no local da obra.
60,0	Compactação do Subleito com incorporação de 1% de cal do tipo CH-I em massa, GC 100%, Proctor Intermediário. Para aplicação da cal, utilizar caminhão distribuidor.
OBSERVAÇÃO:	1. Considerar inicialmente a Fresagem de 6,0cm do revestimento e estocagem no Pátio do DER.



	2. Considerar também Corte do cascalho de 30,0cm e estocagem no local da obra.
--	--

1ª ALTERNATIVA ECONÔMICA - RESTAURAÇÃO EM RECONSTRUÇÃO: PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO – CBUQ COM POLÍMERO E BASE EM BGTC.

Espessura (cm)	Camada
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
-	Camada Anti-Reflexão de Trincas em Tratamento Superficial Duplo - TSD. Usar emulsão asfáltica com polímero – RR 1C-E.
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
17,0	Base de Brita Graduada Tratamento com Cimento – BGTC, teor de cimento variando de 4,0% a 5,0%, em massa. Compactada na Energia Intermediária e Grau de Compactação ≥ 100%. Resistências à compressão simples axial de $f_{ck} = 35 \text{ kgf/cm}^2$ aos 7 dias e $f_{ck} = 50 \text{ kgf/cm}^2$ aos 28 dias. Resistência à tração na flexão $f_{ct,f} = 10 \text{ kgf/cm}^2$ aos 28 dias. Como referência a Especificação Técnica do DER-SP – ET-DE-P00/009 – Jul/2005, Rev. A.
10,0	Sub-Base em Cascalho, CBR ≥ 30%. GC = 100%, Proctor Intermediário. Removido da pista e estocado no local da obra.
60,0	Compactação do Subleito com incorporação de 1% de cal do tipo CH-I em massa, GC 100%, Proctor Intermediário. Para aplicação da cal, utilizar caminhão distribuidor.



OBSERVAÇÃO:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar inicialmente a Fresagem de 6,0cm do revestimento e estocagem no Pátio do DER. 2. Considerar também Corte do cascalho de 30,0cm e estocagem no local da obra.
-------------	---

Reciclagem (RCG): A seguir apresentamos a alternativa de estrutura do pavimento quando a solução exige reciclagem, com intervenção na base.

Esta solução de Reciclagem – RCG será aplicada nos locais em que o Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções indicar, anexo.

Espessura (cm)	Camada
6,0	Fresagem do revestimento
20,0	Corte do cascalho e estocagem na obra - para reuso como camada de base
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
20,0	Base em Cascalho (Estocado na obra) + 10% Brita 01 com incorporação de 2% de cal em massa, CBR ≥ 80%. GC = 100%, Proctor Modificado. Para aplicação da cal e da Brita 01, utilizar caminhão distribuidor. A utilização de máquina recicladora proporciona uma melhor mistura e homogeneização destes materiais em pista.



Reparo Localizado Profundo (RLP): A seguir apresentamos a alternativa de estrutura do pavimento quando a solução exige reparos profundos, com intervenção na base.

Esta solução de Reparo Localizado Profundo – RLP será aplicada nos locais em que o Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções indicar, anexo.

Espessura (cm)	Camada
6,0	Fresagem do revestimento
20,0	Corte do cascalho e estocagem na obra - para reuso como camada de base
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
20,0	Base em Cascalho (Estocado na obra) + 10% Brita 01 com incorporação de 2% de cal em massa, CBR ≥ 80%. GC = 100%, Proctor Modificado. Para aplicação da cal e da Brita 01, utilizar caminhão distribuidor.

Reparo Localizado Superficial(RLS)-Fresagem e Reforço: Fresagem e recomposição do revestimento do pavimento asfáltico na Faixa B, na espessura de 6,0 cm, na sequência reforço.

Esta solução será aplicada nos locais em que o Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções indicar, anexo.



Espessura (cm)	Camada
3,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
3,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
6,0	Fresagem de 6,0 cm + Recomposição de 6,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA B – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.

Reparo Localizado Superficial(RLS)-Fresagem e Reforço: Fresagem e recomposição do revestimento do pavimento asfáltico na espessura de 3,5 cm, na sequência reforço.

Esta solução será aplicada nos locais em que o Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções indicar, anexo.

Espessura (cm)	Camada
3,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero – RR 1C-E, Taxa residual estimada de 0,4 l/m ² .
3,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.
-	Imprimação – Emulsão Asfáltica do Tipo EAI - Taxa estimada de 0,9 a 1,2 l/m ² .
3,5	Fresagem de 3,5 cm + Recomposição de 3,5 cm de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85-E Modificado por Polímero SBS, 6,0% CAP.

Estas soluções serão aplicadas nos locais em que o Levantamento Unifilar de Tipos de Intervenções indicar, anexo.



3.5 Controle Deflectométrico

Além do controle tecnológico dos parâmetros para as camadas do pavimento de restauração em reconstrução, propomos também o controle deflectométrico complementar por meio da Viga Benkelman para conferir às camadas uma melhor homogeneidade e rigidez das camadas recém construídas do pavimento.

Para a determinação das deflexões de controle, foi utilizado o programa ELSYM5 e também considerados os parâmetros de módulo de resiliência e poisson e do sistema de carregamento e de aplicação de carga em conformidade com o já exposto acima.

A espessura das camadas foram definidas em função dos valores determinados no dimensionamento do projeto de pavimento. Com relação às condições de aderência entre as camadas, consideramos que as camadas estão aderidas uma às outras, para a determinação das deflexões de controle sobre as camadas executadas.

Salientamos que os materiais principalmente de subleito são heterogêneos e que os mesmos podem apresentar comportamento diferente para estes materiais em campo ao longo do trecho. Outro fator que foi considerado para a determinação das deflexões das camadas recém executadas é que o material subleito, localizado abaixo da camada final de terraplenagem de 60cm, tem comportamento diferente da camada final de terraplenagem. Assim, avaliando em conjunto os resultados de CBR do subleito e para considerar a influência do subleito na camada final de terraplenagem de 60cm, foi adotado para o material de subleito o módulo de resiliência de 500kgf/cm² e coeficiente de poisson de 0,45.

A seguir são apresentados os valores de deflexões de controle para as camadas do pavimento recém executadas, para cada uma das alternativas econômicas de soluções apresentadas.



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

Cálculo das Deflexões de Controle por Camada - Proj. Restauração/Reconstrução - 1ª Alternativa Econômica			
Análise	Camada	Espessura (cm)	Deflexão (10 ⁻² mm)
1	Subleito Compactado	60	92
2	Sub-base - Cascalho	10	87
	Subleito Compactado	60	
3	Base - BGTC	17	41
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	
4	Revestimento - CBUQ c/ Polímero - 1 camada	4,5	36
	Base - BGTC	17	
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	
5	Revestimento - CBUQ c/ Polímero - 2 camadas	8,5	32
	Base - BGTC	17	
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	
6	Revestimento - CBUQ c/ Polímero - 3 camadas	12,5	29
	Base - BGTC	17	
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	

Cálculo das Deflexões de Controle por Camada - Proj. Restauração/Reconstrução - 2ª Alternativa Econômica			
Análise	Camada	Espessura (cm)	Deflexão (10 ⁻² mm)
1	Subleito Compactado	60	92
2	Sub-base - Cascalho	10	87
	Subleito Compactado	60	
3	Base - BGTC	18	40
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	
4	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 1 camada	4,5	37
	Base - BGTC	18	
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	
5	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 2 camadas	8,5	33
	Base - BGTC	18	
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	
6	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 3 camadas	12,5	30
	Base - BGTC	18	
	Sub-base - Cascalho	10	
	Subleito Compactado	60	



Relatório do Projeto Executivo de Restauração de Pavimento
Estudos e Projetos para o Sistema de Transporte do Eixo Sudoeste

Cálculo das Deflexões de Controle por Camada - Proj. Restauração/Reconstrução - 3ª Alternativa Econômica			
Análise	Camada	Espessura (cm)	Deflexão (10 ⁻² mm)
1	Subleito Compactado	60	92
2	Sub-base - Cascalho	15	84
	Subleito Compactado	60	
3	Base - BGS	15	73
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
4	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 1 camada	4,5	65
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
5	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 2 camadas	9	55
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
6	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 3 camadas	13,5	46
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
7	Revestimento - CBUQ s/ Polímero - 4 camadas	18	40
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	

Cálculo das Deflexões de Controle por Camada - Proj. Restauração/Reconstrução - 4ª Alternativa Econômica			
Análise	Camada	Espessura (cm)	Deflexão (10 ⁻² mm)
1	Subleito Compactado	60	92
2	Sub-base - Cascalho	15	84
	Subleito Compactado	60	
3	Base - BGS	15	73
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
4	Revestimento - CBUQ c/ Polímero - 1 camada	5,5	62
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
5	Revestimento - CBUQ c/ Polímero - 2 camadas	11	49
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	
6	Revestimento - CBUQ c/ Polímero - 3 camadas	16	41
	Base - BGS	15	
	Sub-base - Cascalho	15	
	Subleito Compactado	60	



Assim, para cada trecho de pavimento analisado, a média das deflexões obtidas em campo não poderá superar as Deflexões de Controle apresentadas nas tabelas acima. Além disso, para pontos individuais a deflexão máxima tolerável em um ponto qualquer será majorada em 15% para o subleito compactado (camada final de terraplenagem de 60cm); em 10% para as camadas de sub-base e base e em 5% para a camada de revestimento. Quando em campo for observado um defeito isolado de qualquer magnitude, este deve ser corrigido imediatamente e na sequência realizar os ensaios do segmento para a análise de conformidade.

Considerar que as deflexões de controle para a camada de BGTC referem-se ao material com idade de 28 dias. Caso o material atinja a resistência especificada (resistência à tração na flexão $\geq 10 \text{ kgf/cm}^2$) antes dos 28 dias, as deflexões podem ser aferidas antecipadamente.

Para o estudo em questão, considerar que as deflexões em campo sejam medidas a cada 10m, alternando entre bordo esquerdo, eixo e bordo direito para o trecho de trabalho. Sendo que duas medidas consecutivas não podem superar 20m de distância entre si para o eixo e de 40m entre si para o mesmo bordo.

4. Especificações

São necessários cuidados e controle na execução da estrutura, especialmente no que se refere à umidade e compactação das camadas granulares e a compactação, usinagem e aplicação das camadas asfálticas.

As alternativas propostas devem atender as especificações de serviço do DNIT. O quadro a seguir ilustra as especificações a serem adotadas:

Especificação	Descrição
DNIT 137/2010-ES	REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO
DNIT 138/2010-ES	REFORÇO DO SUBLEITO
DNIT 139/2010-ES	SUB-BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE
DNIT 141/2010-ES	BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE



DNIT 144/2012-ES	IMPRIMAÇÃO COM LIGANTE ASFÁLTICO
DNIT 145/2012-ES	PINTURA DE LIGAÇÃO COM LIGANTE ASFÁLTICO
DNER-ES 395/99	PINTURA DE LIGAÇÃO COM ASFALTO POLÍMERO
DNIT 159/2011-ES	FRESAGEM A FRIO
DNIT 031/2006- ES	CONCRETO ASFÁLTICO
DNER-ES 385/99	CONCRETO ASFÁLTICO COM ASFALTO POLÍMERO
DNER-ES 309/97	PAVIMENTAÇÃO – TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO
DER-SP-ES-DE-P00/008	SUB-BASE OU BASE DE BRITA GRADUADA
DER-SP-ES-DE-P00/009	SUB-BASE OU BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO – BGTC.

1. O serviço de cura da BGTC deve ser rigoso e com cuidados adicionais quanto ao processo de controle de umidade do concreto para evitar a perda de água e com isso evitar o surgimento de trincas durante o processo construtivo;
2. O consumo de cimento para a BGTC deve ser o mínimo para atender aos critérios de resistência à compressão simples e também ao de resistência à tração na flexão, especificados neste projeto;
3. Para os locais onde a solução é em Reparo Localizado Superficial(RLP)-Fresagem e Reforço e, caso após a limpeza dos locais de fresagem ainda persistam fissuras, estas devem ser eliminadas.



ANEXO I – UNIFILAR SOLUÇÕES – PE



ANEXO II – UNIFILAR SOLUÇÕES - PD

