



APLICAÇÃO DO NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS A TRECHOS DE UMA RODOVIA FEDERAL

José Geraldo de Souza Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Laura Maria Goretti da Motta

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

APLICAÇÃO DO NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS A TRECHOS DE UMA RODOVIA FEDERAL

José Geraldo de Souza Júnior

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof.^a. Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.

Prof. Deividi da Silva Pereira, D.Sc.

Dr. Rafael Cerqueira Silva, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2018

Souza Júnior, José Geraldo de

Aplicação do Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos a Trechos de Uma Rodovia Federal/
José Geraldo de Souza Júnior. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XVIII, 218 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Laura Maria Goretti da Motta

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 153-160.

1. MeDiNa. 2. Retroanálise. 3. Dimensionamento de reforço. I. Motta, Laura Maria Goretti da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

“Rendam graças ao Senhor,
pois Ele é bom;
e o seu amor dura para sempre.”
1 Crônicas 16:34

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Noêmia e José Geraldo, por serem meu porto seguro, meus maiores motivadores, por terem me dado todo o suporte e amor necessário, pela compreensão, pela educação e pela pessoa que me tornei. Meu amor por vocês é incondicional.

A minha irmã, Ana Lídia, pela amizade, compreensão e companheirismo.

A minha orientadora, Prof.^a Dra. Laura Maria Goretti da Motta, pelo indiscutível exemplo profissional e pessoal. Agradeço imensamente por ter me aceitado como seu orientado. Exemplo de humildade, competência e simplicidade.

Ao Professor Deividi da Silva Pereira pela participação na banca examinadora, contribuindo para o desenvolvimento dessa dissertação.

Ao D.Sc. Rafael Cerqueira Silva pela participação na banca examinadora, pela amizade e incentivo.

A Concessionária Via040 e ENGGEOTECH por disponibilizar os dados utilizados nesta pesquisa.

Ao D.Sc. Marcos Fritzen, pela participação na banca de qualificação, por seus comentários, sugestões e incentivo.

Ao D.Sc. Filipe Franco, por disponibilizar os softwares utilizados nesta pesquisa, e estar sempre disponível a sanar as dúvidas e questionamentos.

Aos queridos amigos que fiz durante o curso e levarei para toda a vida, vocês são incríveis.

Aos amigos do convívio diário, Nielsen, Lucas, Regina, Mateus e Magno. E aos companheiros de trabalho da ENGGEOTECH Ltda.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

APLICAÇÃO DO NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A TRECHOS DE UMA RODOVIA FEDERAL

José Geraldo de Souza Júnior

Setembro/2018

Orientadora: Laura Maria Goretti da Motta

Programa: Engenharia Civil

Na pesquisa verifica-se as vidas úteis de soluções de reforço e de reconstrução de pavimentos flexíveis e semi-rígidos indicadas no Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis do DNIT através do método de dimensionamento mecanístico-empírico MeDiNa. Utilizaram-se 13 trechos de uma rodovia federal com diferentes condições funcionais, estruturais, de tráfego e climáticas. As soluções do Catálogo do DNIT são previstas para 10 anos de vida útil. Os métodos que deram origem ao Catálogo do DNIT, DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, são voltados para deflexão máxima. O MeDiNa realiza o dimensionamento de reforço da estrutura do pavimento com base na deformabilidade dos materiais, curva de fadiga do material do reforço e na previsão de trincamento, sendo os módulos de elasticidade das camadas obtidos por retroanálise das bacias de deflexão (BackMeDiNa). Verificou-se que em 78% dos casos analisados as soluções indicadas pelo Catálogo não atingiram a vida útil de projeto. Destes, 84% não alcançaram condições aceitáveis aos 4 anos, havendo casos de ruptura em menos de 1 ano. Os resultados indicam a importância da consideração das características elásticas dos materiais dos pavimentos frente ao estado de tensões e deformações decorrentes do tráfego e clima.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

APPLICATION OF THE NEW METHOD OF SIZING ASPHALT PAVEMENTS TO
SEGMENTS OF A FEDERAL HIGHWAY

José Geraldo de Souza Júnior

September / 2018

Advisor: Laura Maria Goretti da Motta

Department: Civil Engineering

The research shows the service life of reinforcement and reconstruction solutions for flexible and semi-rigid pavements indicated in the DNIT's Flexible Pavement Maintenance Solutions Catalog through the mechanistic-empirical dimensioning method MeDiNa. We used 13 stretches of a federal highway with different functional, structural, traffic and climatic conditions. The solutions of the DNIT's Catalog are foreseen for 10 years of service life. The methods that gave rise to the DNIT's Catalog, DNER-PRO 11/79 and DNER-PRO 269/94, are focused on maximum deflection. MeDiNa performs the reinforcement design of the pavement structure based on the deformability of the materials, fatigue curve of the reinforcement material and the prediction of cracking, the elasticity modules of the layers being obtained by backcalculation of the deflection basins (BackMeDiNa). It was verified that in 78% of the analyzed cases the solutions indicated by the Catalog didn't reach the project lifetime. Of these, 84% didn't reach acceptable conditions at 4 years, with cases of rupture in less than 1 year. The results indicate the importance of considering the elastic characteristics of pavement materials in the face of the stress and deformation conditions due to traffic and climate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	3
1.2	OBJETIVOS	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	AVALIAÇÃO FUNCIONAL	6
2.1.1	Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI)	6
2.1.2	Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI)	10
2.2	AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	12
2.2.1	Deflectômetro por Impacto (FWD)	14
2.2.2	Parâmetros das Bacias Deflectométricas	16
2.2.2.1	<i>Raio de Curvatura (RC)</i>	17
2.2.2.2	<i>Índice de Curvatura da Superfície (SCI)</i>	18
2.2.2.3	<i>Índice de Dano na Base (BDI)</i>	19
2.2.2.4	<i>Índice de Curvatura da Base (BCI)</i>	19
2.2.3	Fatores que Influenciam nos Valores de Deflexão	20
2.3	RETROANÁLISE DE BACIAS DEFLECTOMÉTRICAS	23
2.3.1	Métodos iterativos	26
2.3.2	Software	28
2.3.2.1	<i>BackMeDiNa</i>	28
2.4	TRÁFEGO.....	30
2.5	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	32
2.5.1	Segmentação	33
2.5.1.1	<i>Método das Diferenças Acumuladas</i>	34
2.5.2	Métodos Empíricos de Dimensionamentos de Reforços	37
2.5.3	Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis para rodovias do DNIT	38
2.5.4	Método Mecânico-Empírico	44
2.5.4.1	<i>MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional</i>	46

3	METODOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA DESTA PESQUISA	52
3.1	MÉTODO	52
3.2	DEFINIÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS DE ESTUDO	53
3.3	CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA	57
3.3.1	Clima.....	58
3.3.2	Geomorfologia.....	60
3.3.3	Tráfego.....	61
4	CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS HOMOGÊNEOS DA RODOVIA EM ESTUDO.....	67
4.1	AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	67
4.1.1	Janelas de Inspeção e Ensaios	67
4.1.2	Levantamento Deflectométrico	70
4.1.3	Parâmetros das Bacias Deflectométricas de Campo	71
4.2	AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO	75
4.2.1	Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI)	75
4.2.2	Área de Trincamento	76
4.3	TRÁFEGO DOS TRECHOS EM ESTUDO.....	78
4.4	ENQUADRAMENTO NO CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DO DNIT	79
5	DIMENSIONAMENTO PELO MEDINA.....	84
5.1	RETROANÁLISE	84
5.1.1	Trecho 1 - km 106,800 ao km 107,200/GO	91
5.1.2	Trecho 2 - km 51,865 ao km 52,265/MG	94
5.1.3	Trecho 3 - km 83,800 ao km 84,200/MG	96
5.1.4	Trecho 4 - km 153,050 ao km 153,450/MG	100
5.1.5	Trecho 5 - km 337,800 ao km 338,200/MG	103
5.1.6	Trecho 6 - km 407,450 ao km 407,850/MG	106
5.1.7	Trecho 7 - km 574,400 ao km 574,800/MG	109
5.1.8	Trecho 8 - km 644,570 ao km 644,970/MG	112

5.1.9	Trecho 9 - km 631,350 ao km 631,750/MG	115
5.1.10	Trecho 10 - km 708,450 ao km 708,850/MG	118
5.1.11	Trecho 11 - km 728,300 ao km 728,700/MG	121
5.1.12	Trecho 12 - km 768,800 ao km 769,200/MG	124
5.1.13	Trecho 13 - km 743,250 ao km 743,650/MG	127
5.1.14	Considerações quanto à Retroanálise	130
5.2	VERIFICAÇÃO DE VIDA ÚTIL E DIMENSIONAMENTO.....	137
5.2.1	Estrutura do Pavimento	141
5.2.2	Resultados	143
5.2.3	Considerações sobre as Análises de Vida Útil e Dimensionamento .	147
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	149
6.1	CONCLUSÕES	149
6.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	151
	ANEXO I – PLANILHAS DO LVCI REFERENTE AOS TREZE TRECHOS DESTA PESQUISA.....	161
	ANEXO II – TELAS DO VÍDEO REGISTRO E INDICAÇÃO DOS DEFEITOS DOS TREZE TRECHOS DESTA DISSERTAÇÃO.....	174
	ANEXO III - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE ANÁLISE DA VIDA ÚTIL DE PROJETO DO PAVIMENTO (MÉTODO MEDINA).....	187

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos pela norma DNIT 006/2003 e DNIT 007/2003 (BERNUCCI <i>et al.</i> , 2008).....	7
Figura 2 – Exemplo de apresentação do LVCI pelo Método da Varredura com uso de vídeo registro e indicação dos defeitos em sincronia com as imagens e plani-altimetria	10
Figura 3 - Esquema de um deflectômetro de impacto, (BERNUCCI <i>et al.</i> 2008)	14
Figura 4 - Deflectômetro de Impacto (DNIT, 2006)	15
Figura 5 - Representação gráfica esquemática da bacia deflectométrica e os respectivos índices de curvatura (adaptado de FERRI, 2013).....	17
Figura 6 – Raio de curvatura de deflexões resilientes (MACEDO, 2003)	18
Figura 7 – Modelo de planilha para entrada dos dados no software BackMeDiNa	29
Figura 8 – Exemplo de uma tela do software de retroanálise BackMeDiNa	30
Figura 9 – Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas da AASHTO (BERNUCCI <i>et al.</i> , 2008).....	36
Figura 10 – Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas utilizando em conjunto 2 parâmetros para segmentação.....	36
Figura 11 – Fluxograma do método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos (MOTTA, 1991).....	45
Figura 12 – Tela inicial software MeDiNa, (FRANCO, 2018).....	47
Figura 13 – Eixo padrão rodoviário assumido no software MeDiNa, (FRANCO, 2018)	48
Figura 14 – Exemplo de alerta mostrado pelo software MeDiNa	51
Figura 15 – Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa.....	53
Figura 16 – Mapa de localização BR-040, Via040 trecho Brasília/DF a Juiz de Fora/MG (SOUZA <i>et al.</i> , 2015)	58
Figura 17 - Zonas climáticas na região em estudo (IBGE, 2002) ao longo do eixo da Via040, com indicação dos quilômetros limítrofes (RDT VIA040, 2016)	60
Figura 18 - Eixo da Via040 sobre mapa geomorfológico do Brasil na região em estudo (RDT VIA040, 2016)	61
Figura 19 - Identificação das espessuras (cm) e materiais das camadas do pavimento referente as treze UAs em estudo nesta pesquisa	68
Figura 20 – Valores médios do RC referente a cada trecho estudado nesta pesquisa....	72

Figura 21 – Valores médios do SCI referente a cada trecho estudado nesta pesquisa ...	72
Figura 22 – Valores médios do BDI referente a cada trecho estudado nesta pesquisa ..	73
Figura 23 – Valores médios do BCI referente a cada trecho estudado nesta pesquisa...	73
Figura 24 – Exemplo de apresentação do LVCI pelo Método da Varredura com uso de vídeo registro e indicação dos defeitos em sincronia com as imagens e plani-altimetria do trecho 13 desta pesquisa	76
Figura 25 – Correlação linear entre porcentagem de trincas e SCI.....	78
Figura 26 – Modelo de planilha para entrada dos dados no software BackMeDiNa, exemplo referente ao trecho 1 da desta pesquisa.....	86
Figura 27 – Software de retroanálise BackMeDiNa, exemplo do trecho 4 desta pesquisa	87
Figura 28 – Sistema de coordenadas assumido no método MeDiNa	88
Figura 29 – Tela do software AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas), exemplo do trecho 6 da presente dissertação	89
Figura 30 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 1 desta pesquisa	91
Figura 31 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 1 desta pesquisa	93
Figura 32 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 1 desta pesquisa.	93
Figura 33 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 2 desta pesquisa	94
Figura 34 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 2 desta pesquisa	95
Figura 35 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 2 desta pesquisa	96
Figura 36 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 3 desta pesquisa	97
Figura 37 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 3 desta pesquisa	99

Figura 38 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 3 desta pesquisa	99
Figura 39 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 4 desta pesquisa	100
Figura 40 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 4 desta pesquisa	102
Figura 41 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 4 desta pesquisa	102
Figura 42 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 5 desta pesquisa	103
Figura 43 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 5 desta pesquisa	105
Figura 44 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 5 desta pesquisa	105
Figura 45 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 6 desta pesquisa	106
Figura 46 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 6 desta pesquisa	108
Figura 47 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 6 desta pesquisa	108
Figura 48 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 7 desta pesquisa	109
Figura 49 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 7 desta pesquisa	111
Figura 50 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 7 desta pesquisa	111
Figura 51 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 8 desta pesquisa	112

Figura 52 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 8 desta pesquisa	114
Figura 53 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 8 desta pesquisa	114
Figura 54 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 9 desta pesquisa	115
Figura 55 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 9 desta pesquisa	117
Figura 56 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 9 desta pesquisa	117
Figura 57 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 10 desta pesquisa	118
Figura 58 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 10 desta pesquisa	120
Figura 59 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 10 desta pesquisa	120
Figura 60 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 11 desta pesquisa	121
Figura 61 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 11 desta pesquisa	123
Figura 62 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 11 desta pesquisa	123
Figura 63 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 12 desta pesquisa	124
Figura 64 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 12 desta pesquisa	126
Figura 65 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 12 desta pesquisa	126

Figura 66 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 13 desta pesquisa	127
Figura 67 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 13 desta pesquisa	129
Figura 68 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 13 desta pesquisa	129
Figura 69 – Deflexão característica média x porcentagem total de área trincada referente a cada um dos trechos em estudo.....	134
Figura 70 – Módulos de Resiliência do revestimento x porcentagem total de área trincada referente a cada um dos trechos em estudo	134
Figura 71 – Exemplo da tela de entrada de dados de caracterização da estrutura referente ao Trecho 1 desta pesquisa, com a camada de reforço adicionada, e as análises do reforço do pavimento (MeDiNa).....	143
Figura 72 – Exemplo da tela do software MeDiNa após tentativa de dimensionamento do Trecho 1 desta pesquisa, sendo informado a necessidade de verificação da estrutura. 146	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos defeitos – Codificação e classificação (Anexo A da Norma DNIT 005/2003-TER).....	8
Tabela 2 – Catálogo de soluções de pavimentação do CREMA 2ª ETAPA - Concreto Betuminoso (DNIT, 2008).....	42
Tabela 3 – Catálogo de soluções do DNIT (CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP, 2015).....	43
Tabela 4 – Critérios de parada e confiabilidade das análises realizadas pelo MeDiNa, (FRANCO, 2018)	49
Tabela 5 - Classes de deflexão (VIA040, 2016).....	54
Tabela 6 - Classes de trincamento (VIA040, 2016)	54
Tabela 7 - Classes de irregularidade longitudinal (VIA040, 2016).....	54
Tabela 8 - Classes de afundamento em trilhas de roda (VIA040, 2016).....	55
Tabela 9 - Classes referente a espessuras da camada asfáltica (VIA040, 2016).....	55
Tabela 10 - Relação do número total de segmentos homogêneos e UAs obtidos por Unidade de Federação (VIA040, 2016).....	55
Tabela 11 – UAs selecionadas para o estudo nesta dissertação	56
Tabela 12 - Precipitação ao longo da extensão da Via040 (INMET, 2016).....	59
Tabela 13 - Temperatura do ar ao longo da extensão da Via040 (INMET, 2016).....	59
Tabela 14 – Postos de contagem e pesagem da BR-040, trecho Brasília/DF – Juiz de Fora/MG (VIA040, 2017).....	62
Tabela 15 – Classes utilizadas na contagem de trafego e valores bidirecionais de VMDa comercial do Posto de contagem 1 – km97,5/GO da BR-040, trecho Brasília/DF – Juiz de Fora/MG (VIA040, 2017).....	62
Tabela 16 – Tipo de veículo e seu respectivo número de eixos considerados nas pesagens (VIA040, 2017)	64
Tabela 17 – Classes e fatores de veículo – Posto de pesagem do km 47/GO (VIA040, 2017).....	64
Tabela 18 – Fatores USACE, Trecho 1, contagem km 97,5/GO e pesagem km 47/GO (VIA040, 2017)	65
Tabela 19 – Fatores AASHTO, Trecho 1, contagem km 97,5/GO e pesagem km 47/GO (VIA040, 2017)	65
Tabela 20 – Porcentagem de veículos por faixa (DNIT, 2006).....	65

Tabela 21 – Número “N”, parâmetros e resultados (Via040, 2017).....	66
Tabela 22 – Resultados dos ensaios realizados com os materiais da camada de base dos trechos desta pesquisa (Via040, 2016)	69
Tabela 23 – Resumo das medidas de deflexão com FWD dos trechos analisados nesta pesquisa	70
Tabela 24 – Resumo da classificação da condição estrutural dos pavimentos em função dos parâmetros de interpretação da bacia de deflexão	74
Tabela 25 – Resumo das medidas de irregularidade longitudinal dos trechos analisados nesta pesquisa	75
Tabela 26 – Resumo das medidas de área trincada dos trechos analisados nesta pesquisa	77
Tabela 27 – Relação dos trechos da presente pesquisa com seu respectivo VDM comercial e o “N” pelo método USACE.....	79
Tabela 28 – Solução proposta pelo catálogo do DNIT para os segmentos homogêneos desta pesquisa	80
Tabela 29 - Coeficiente de Poisson usuais para materiais de pavimentação (DER-SP, 2006).....	84
Tabela 30 – Módulos de resiliência ou elasticidade usuais para materiais de pavimentação (DER-SP, 2006).....	85
Tabela 31 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 1 desta pesquisa	91
Tabela 32 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 2 desta pesquisa	94
Tabela 33 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 3 desta pesquisa	97
Tabela 34 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 4 desta pesquisa	100
Tabela 35 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 5 desta pesquisa	103
Tabela 36 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 6 desta pesquisa	106
Tabela 37 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 7 desta pesquisa	109
Tabela 38 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 8 desta pesquisa	112
Tabela 39 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 9 desta pesquisa	115
Tabela 40 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 10 desta pesquisa	118
Tabela 41 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 11 desta pesquisa	121
Tabela 42 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 12 desta pesquisa	124
Tabela 43 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 13 desta pesquisa	127
Tabela 44 – MR médios apresentados por trecho	132
Tabela 45 – Correlação entre os parâmetros dos 13 trechos em estudo nesta pesquisa	136

Tabela 46 – Resumo das soluções propostas pelo catálogo de soluções do DNIT e considerações usadas para as análises no MeDiNa referente aos trechos desta pesquisa	139
Tabela 47 – Resumo das soluções de reconstrução indicadas pelo catálogo de soluções do DNIT, a estrutura atual e a estrutura a ser considerada na análise de vida útil pelo método MeDiNa referente aos trechos 9 e 13 desta pesquisa	140
Tabela 48 – Resumo das soluções propostas pelo catálogo de soluções do DNIT e considerações usadas para as análises no MeDiNa referente aos trechos desta pesquisa	145
Tabela 49 – Resumo das análises do MeDiNa referente aos dimensionamentos de reforço	146

1 INTRODUÇÃO

Construídos com o objetivo de proporcionar conforto e segurança aos que por ele trafegam, os pavimentos rodoviários são geralmente dimensionados para uma vida útil de 10 a 20 anos. Porém, com o grande crescimento do tráfego e das cargas que esses veículos transportam, somados às condições ambientais, o que se observa com frequência é uma redução do desempenho cada vez mais precoce dos pavimentos rodoviários.

Os pavimentos são constituídos por um sistema em camadas que se apoiam sobre o subleito. Podem ser classificados em rígidos e flexíveis pela forma como cada um distribui os esforços sobre si aplicados no solo da fundação (subleito). Uma dada carga atuante sobre um pavimento flexível, impõe nessa estrutura um campo de tensões muito concentrado nas proximidades do ponto de aplicação da carga. Em um pavimento rígido, verifica-se um campo de tensões mais espreado, possuindo o efeito da carga distribuídos de maneira semelhante em toda a dimensão da placa, proporcionando menores magnitudes de esforços verticais sobre o subleito. Para uma mesma carga aplicada, um pavimento com resposta mecânica rígida impõe pressões reduzidas sobre o subleito (BALBO, 2007).

As rodovias, e em especial o pavimento, têm forte importância no âmbito das atividades socioeconômicas do país, visto que o Brasil é um país com proporções continentais, e grande parte do transporte de cargas e passageiros se dá através do transporte rodoviário. Assim, é necessário garantir a qualidade da infraestrutura de transportes mantendo os pavimentos permanentemente com um desempenho satisfatório para proporcionar uma redução nos custos de transporte.

Os pavimentos rodoviários representam um valioso patrimônio cuja conservação e restaurações oportunas são essenciais para a sua preservação e para o tráfego de veículos necessários à economia e ao desenvolvimento do país. A Gerência de Pavimentos constitui-se em uma importante ferramenta de administração, para determinar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garanta a melhor relação Custo x Benefício (IPR-745, 2011).

O dimensionamento de um pavimento tem como objetivo calcular e/ou verificar

espessuras e compatibilizar os materiais de forma que a vida útil do mesmo corresponda a um certo número projetado de solicitações de carga.

O reforço estrutural por meio de camada asfáltica adicional ou recapeamento é o procedimento mais utilizado na reabilitação de pavimentos, podendo ser utilizado como intervenção para correção de defeitos existentes, tanto funcionais quanto estruturais. Atualmente, tem-se classificado os enfoques de dimensionamento de reforço nas abordagens empírica e mecanístico-empírica. Em um projeto de reforço, é importante avaliar as condições do pavimento existente e subdividi-lo em um ou mais segmentos homogêneos para análise, baseada no tráfego, condições do pavimento e sua estrutura (PINTO e PREUSSLER, 2010).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é uma autarquia federal que tem por objetivo implementar a política de infraestrutura do Sistema Federal de Viação (SFV), compreendendo sua operação, manutenção, restauração ou reposição, adequação de capacidade e ampliação mediante construção de novas vias e terminais no subsistema rodoviário. Em abril de 2015 foi aprovado pela diretoria do DNIT um catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis, a ser empregado no âmbito do planejamento rodoviário (COSTA e MORAES, 2015). Este catálogo foi elaborado de acordo com o método empírico de dimensionamento que se dá pela norma DNER-PRO 11/79 “Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - Procedimento “B” e com o Manual de Soluções Técnico-Gerenciais para Rodovias Federais. Também foram realizadas análises contemplando a norma DNER-PRO 269/94 “Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV”, para verificação da sensibilidade a outro método de dimensionamento de reforço estrutural – em complementação ao PRO 11/79, sendo elaborado um catálogo para reforços e/ou reconstruções de pavimentos, com uma vida útil estipulada em 10 anos.

A proposta de enquadramento das intervenções associadas aos segmentos homogêneos do novo catálogo de soluções gerenciais do DNIT para a manutenção dos trechos pavimentados está fundamentada em parâmetros de tráfego (volume médio diário comercial - VMDc), na condição estrutural (deflexão característica – Dc e deflexão admissível - Dadm) e na condição funcional (índice de irregularidade internacional – IRI e porcentagem da área trincada) dos pavimentos.

Em contrapartida, a análise e o dimensionamento por meio do método mecanístico-

empírico traz algumas vantagens frente às metodologias empíricas de dimensionamento de reforço asfáltico. O método mecanístico-empírico, possibilita um dimensionamento a partir de modelos de previsão da vida útil dos materiais empregados, ao analisar o conjunto dos materiais constituintes e considerar um conjunto de variáveis, tais como as características elásticas de cada material (FRANCO, 2000; FONSECA, 2013).

Esse tipo de análise permite ainda a avaliação qualitativa do uso de novos materiais, carregamentos diferentes dos normalmente utilizados, configuração diferente de rodas e outros fatores que influenciam o desempenho dos pavimentos (BEZERRA NETO, 2004).

Para a utilização da teoria da elasticidade nos procedimentos mecanísticos é necessário conhecer o módulo de elasticidade (MR) e o coeficiente de Poisson (ν) dos materiais que compõem a estrutura do pavimento.

Hoje, com parte das rodovias brasileiras geridas por concessões, responsáveis por conservar e reabilitar os trechos das rodovias, propõe-se no presente trabalho a aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos (MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional) a trechos selecionados da concessão Via040 (BR-040, Brasília/DF a Juiz de Fora/MG). Estes trechos passaram a ser Unidades de Amostragem (UAs) objeto de pesquisa, que visa compreender o comportamento dos pavimentos. Busca-se garantir as condições de segurança e conforto aos usuários e um aumento do tempo de vida útil dos pavimentos pelas intervenções de reforço que serão necessários em alguns trechos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A densidade da malha rodoviária pavimentada do Brasil é ainda muito pequena quando comparada a de outros países de dimensão territorial semelhante. Com um crescimento de frota de 110,4% de julho de 2006 a junho de 2016, neste mesmo período, houve apenas 11,7% de crescimento da extensão da malha rodoviária. Constata-se que a expansão da malha rodoviária pavimentada não acompanha o ritmo de crescimento da frota de veículos (CNT, 2016).

Assim, eleva-se a importância da manutenção das infraestruturas existentes, as quais se apresentam por muitas vezes com níveis de deterioração avançados, ultrapassando o tempo de vida útil previsto sem que o reforço estrutural tenha ocorrido. Com isso, o Brasil ocupa a 111ª posição no ranking de competitividade global do Fórum

Econômico Mundial, no quesito de qualidade da infraestrutura rodoviária (CNT, 2016).

Com a alta dependência, apresentada pelo país, do setor rodoviário, o reforço surge como uma medida de reabilitação estrutural e/ou funcional que visa responder às necessidades dos usuários da rodovia, proporcionando maior conforto, segurança e baixos custos operacionais dos veículos.

No momento atual em que está sendo proposto um novo método de dimensionamento de pavimentos novos e restaurados, o método de dimensionamento nacional, MeDiNa, é importante verificar suas premissas em comparação aos métodos tradicionais de projeto de reforço normalizados pelo DNIT. Assim, a motivação desta pesquisa foi contribuir para a verificação das alternativas apresentadas por esta nova ferramenta, aplicada a segmentos de trechos reais de uma rodovia que estão em fase de avaliação sobre suas condições estruturais atuais.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação centra-se em delinear todos os passos de um projeto de reforço a partir da aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos, desde a análise estrutural até o cálculo de reforço, consolidando os conceitos, análises e concepção de um projeto de reforço com a aplicação do Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), para segmentos de uma rodovia federal sob concessão.

Para atender as premissas do estudo apresentado no objetivo geral, os seguintes passos foram seguidos:

- a) Aquisição, organização e apresentação do panorama atual dos trechos em estudo que estão inseridos na rodovia BR-040, trecho concedido a Via040, empresa do grupo Invepar;
- b) Aplicação do catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), enquadrando as soluções recomendadas para cada trecho em estudo.
- c) Determinação dos módulos de elasticidade (MR) das camadas do pavimento por meio de retroanálise das bacias deflectométricas pelo software BackMeDiNa, módulo de retroanálise integrante do MeDiNa.
- d) Verificação da vida útil de projeto das soluções indicadas pelo catálogo do DNIT

e dimensionamento de reforço e reconstruções dos pavimentos asfálticos usando o novo método de dimensionamento MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional).

e) Análise das estruturas dimensionadas.

Além do presente capítulo, esta dissertação é composta dos seguintes capítulos:

- Capítulo 2
Apresenta-se neste capítulo uma revisão bibliográfica do assunto a ser desenvolvido na dissertação.
- Capítulo 3
Neste capítulo expõe-se a metodologia empregada na parte experimental do trabalho com sua dinâmica de desenvolvimento, e a apresentação da rodovia objeto do estudo, pelos seus dados de clima, geomorfologia e tráfego.
- Capítulo 4
Neste capítulo são apresentados os trechos homogêneos que constituem o estudo e seus critérios de definição, condições estruturais e funcionais, tráfego e o enquadramento de cada um no catálogo de soluções do DNIT.
- Capítulo 5
No capítulo 5 são apresentadas inicialmente as retroanálises e os MR obtidos, sendo então apresentados as análises de vida útil e dimensionamento das espessuras da camada de reforço pelo método MeDiNa.
- Capítulo 6
Este capítulo apresenta as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

A superfície do pavimento onde está aplicado o revestimento é a camada principal para se verificar a serventia que proporciona conforto ao rolamento e segurança para seus usuários. Os defeitos ou irregularidades na superfície do revestimento são percebidos e prejudicam o conforto. Os defeitos surgem principalmente pelas solicitações do tráfego comprometendo a capacidade estrutural e pelas ações climáticas, desgastando a superfície. A qualificação dos defeitos e sua classificação podem ser feitas por diferentes métodos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Diversos são os procedimentos normalizados que avaliam a condição funcional do pavimento, prescritos em normas. O DNIT especifica e apresenta, no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), os seguintes procedimentos:

- DNIT 006/2003-PRO – Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos;
- DNIT 007/2003-PRO – Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos;
- DNIT 008/2003-PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos; e
- DNIT 009/2003-PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

2.1.1 Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI)

Os levantamentos dos defeitos realizados pelas normas do DNIT 006/2003-PRO, DNIT 007/2003-PRO ou DNIT 008/2003-PRO, contemplam apenas um percentual da área do pavimento, visto que é feito por amostragem, como pode ser visto na Figura 1.

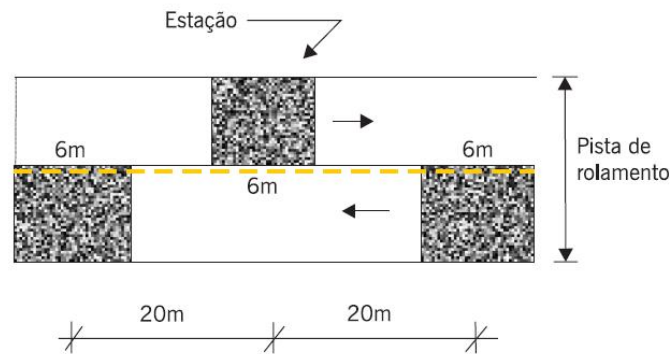


Figura 1 – Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos pela norma DNIT 006/2003 e DNIT 007/2003 (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Porém, é possível realizar o levantamento para avaliação da condição de superfície através da qualificação e quantificação dos defeitos existentes em toda área do pavimento, por um método ainda não normatizado pelo DNIT, que se define como Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura, o qual quantifica todos os defeitos da superfície do pavimento, sem necessidade de trabalhar por amostragem.

A modernização do procedimento de LVC aumenta a precisão do inventário de defeitos dos pavimentos, pois não são realizados por amostragem. REIS (2007) e REIS e MOTTA (2008) apresentam as bases do sistema de LVC com vídeo registro, discutindo os elementos que deve apresentar e os programas de análise de dados necessários. Mostram as vantagens deste tipo de levantamento e faz comparação com as medidas convencionais de levantamentos pelos métodos do DNIT em alguns trechos. Dez anos depois, muito já se evoluiu em termos de instrumentação e de captação de dados e de processamento neste campo.

Os defeitos objeto do cadastro realizado pelo LVCI são aqueles previstos na Norma DNIT 005/2003-TER (Tabela 1). Uma proposta de norma está no Anexo 1 desta dissertação, tendo sido este o método usado na coleta de dados desta pesquisa. Esta proposta bem como o método de levantamento foi desenvolvido na empresa ENGGEOTECH Consultores de Engenharia Ltda. pelo engenheiro D.Sc. Rafael Cerqueira Silva responsável pela empresa (ENGGEOTECH, 2003/2004 e ENGGEOTECH, 2006/2007/2008).

O LVCI pelo Método da Varredura é realizado com auxílio de um veículo equipado com computador de bordo, um sistema Global Position System (GPS), câmera

digital, teclado padronizado com os tipos de defeitos preconizados, e um odômetro digital de alta precisão (erro máximo admissível de 1 m/km). Todos os equipamentos são conectados ao computador por um Sistema de Automação, Aquisição e Processamento de Dados (SAPD) instalado.

Os instrumentos são monitorados pelo SAPD, que deve garantir que todos os defeitos qualificados e quantificados em campo ou em escritório sejam apresentados em sincronia com as medições dos equipamentos.

Tabela 1 – Resumo dos defeitos – Codificação e classificação (Anexo A da Norma DNIT 005/2003-TER)

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
	OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO		
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP			
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP			
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC			
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC			
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O			
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E			
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX			
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D			
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P			
Remendos			Remendo Superficial		RS		
			Remendo Profundo		RP		

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

O SAPD também deve permitir que outras informações sejam digitadas, sendo o registro destas, vinculado ao local em que foi acionado o comando para entrada da informação digitada. Como todos os marcos quilométricos devem ser registrados é aconselhável que exista uma tecla de atalho para ser acionada quando a referência do veículo estiver alinhada com a placa do km.

Em outro sistema, ou no próprio SAPD, os dados levantados, a filmagem, a planimetria obtida pelo GPS e a legenda dos defeitos devem ser visualizados em sincronia. O sistema de visualização deve permitir ao usuário o recurso de pausar, avançar ou retroceder as imagens, conforme interesse. A visualização das imagens e dos demais dados em sincronia é importante para a validação do LVC e para que a equipe de escritório possa avaliar melhor o segmento levantado, para outras finalidades (por exemplo, elaboração de diagnósticos, estudos, projetos e outros). Na Figura 2 vê-se um exemplo de apresentação dos resultados por um sistema de visualização que faz parte do LVCI pelo método da varredura.

Como o objetivo do levantamento é obter uma “radiografia” de toda a superfície do pavimento, em que os defeitos são materializados (posição em relação ao km da rodovia e ao sistema de coordenadas global), qualificados e quantificados com unidades representativas (área, extensão e quantidade), os resultados devem ser apresentados em espaçamentos pré-definidos (a cada 20m, por exemplo) em uma planilha eletrônica. Nessa planilha as linhas referem-se ao espaçamento de levantamento. As colunas da planilha referem-se ao início e fim de cada linha da planilha (km inicial, km final, Longitude, Latitude e Altitude do km inicial) e, depois destas cinco colunas, são referidos os defeitos dos pavimentos.

Condições de Campo

O levantamento não deve ser realizado em dias chuvosos, com muita neblina, ou com pouca luz natural (início ou final do dia).

Operação do Veículo

O veículo é operado a uma velocidade média máxima de 60 km/h, percorrendo o centro da faixa de rolamento.

Apresentação dos Resultados

Os resultados da avaliação do estado da superfície dos pavimentos são

apresentados de forma contínua em segmentos com espaçamentos pré-definidos em uma planilha eletrônica. Cada linha da planilha corresponde a um segmento com a extensão pré-definida. As colunas da planilha indicam os dados da rodovia e os parâmetros levantados com suas respectivas quantidades. Deve-se também apresentar o vídeo registro em sincronia com os dados levantados por um sistema de visualização, que servirá para validação do levantamento.

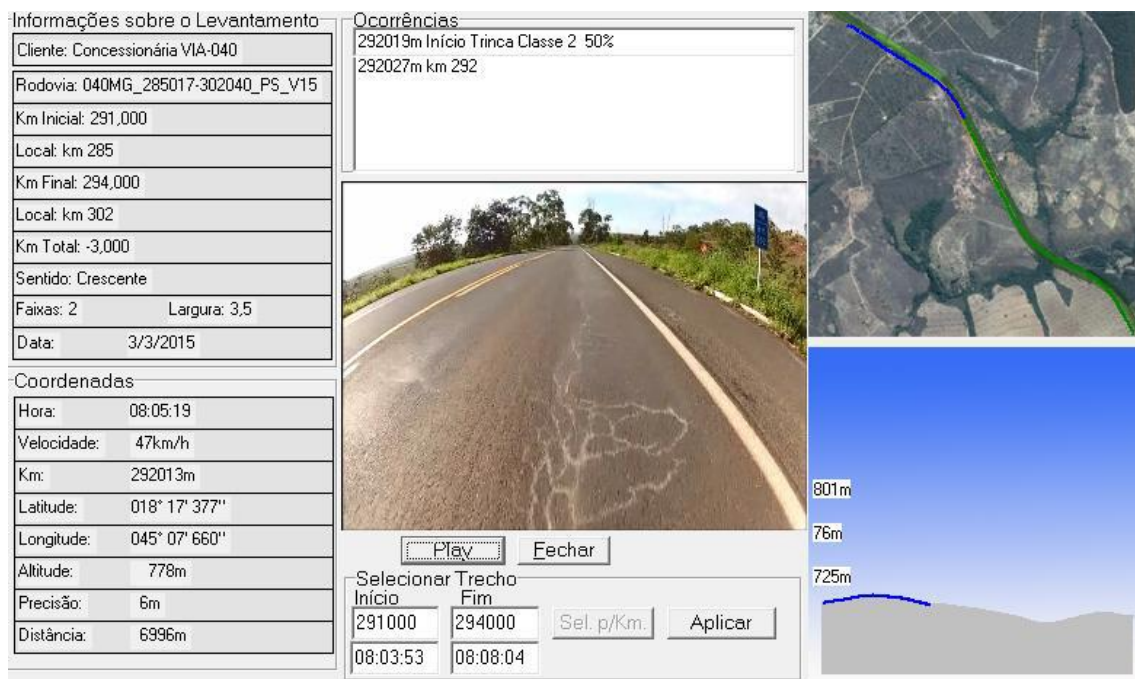


Figura 2 – Exemplo de apresentação do LVCi pelo Método da Varredura com uso de vídeo registro e indicação dos defeitos em sincronia com as imagens e plani-altimetria

2.1.2 Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI)

Os defeitos ou irregularidades na superfície do revestimento são notados pelos usuários da rodovia, uma vez que afetam seu conforto ao rolamento e a segurança. Modelos empíricos de desempenho mostram claramente a correlação entre as irregularidades e os custos operacionais (GEIPOT, 1981). Conforme explica BERNUCCI *et al.* (2008), a irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico. Essa irregularidade afeta a dinâmica do veículo, o efeito das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial. Como a irregularidade longitudinal afeta o efeito dinâmico das cargas, o aumento do número de solicitações reduz a qualidade ao rolamento no pavimento. Assim, a partir de uma determinada condição, o aumento de um parâmetro aumenta o efeito do outro e vice-versa.

O índice para a medida da irregularidade que mais se usa atualmente denomina-se IRI (índice de irregularidade internacional). Este é um índice estatístico que quantifica os desvios da superfície real do pavimento em relação à superfície de projeto, sendo expresso em m/km. Segundo BERNUCCI *et al.* (2008), o IRI tem sido empregado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços de pavimentação em alguns países e também no Brasil.

Conforme BENEVIDES (2006), alguns possíveis causadores de irregularidades no pavimento são: os fatores climáticos, a influência do meio ambiente, a solicitação pela ação do tráfego e defeitos causados por problemas construtivos. Podem ser várias as causas, isoladas ou em conjunto, tais como: projetos com dimensionamento inadequado, defeitos construtivos ou de materiais, deficiência de manutenção e/ou gerenciamento da via, falta de controle de excesso de carga, e as intempéries. Fazer o levantamento quanto a esses defeitos é de muita importância, já que a irregularidade incide de forma substancial nos custos operacionais (manutenção e consumo de combustíveis), emissão de gases poluentes e na segurança e conforto do usuário.

De acordo com BENEVIDES (2006), as pesquisas para desenvolvimento de equipamentos para leitura de irregularidades do pavimento têm seus primeiros registros no início do século XX.

A irregularidade pode ser levantada através de medidas topográficas ou por meio de equipamentos medidores do perfil longitudinal, ou ainda avaliada indiretamente com o auxílio de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta. Estes equipamentos fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. BERNUCCI *et al.* (2008) explicam que o termo “tipo resposta” é decorrente do fato desses equipamentos medirem mais o efeito da irregularidade nos veículos do que propriamente a irregularidade. Segundo SAYERS e KARAMIHAS (1998), os equipamentos podem ser classificados da seguinte forma:

- Avaliação direta: por meio de equipamentos de classe I (nível e mira; Dipstick, perfilômetro do TRL, etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês, etc.);
- Avaliação indireta: equipamentos de classe III do tipo resposta (TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin, etc.).

Segundo FONSECA (2013), o IRI é um dos parâmetros de avaliação funcional do pavimento que tem sido utilizado para controle de aceitação de obras, e principalmente como um dos parâmetros de avaliação dos padrões de desempenho, nos contratos de obra que abrangem essa metodologia.

Conforme DNIT (2011) o IRI é considerado bom para valores abaixo de 3m/km, regular entre 3 e 4m/km, ruim entre 4 e 5,5m/km, e péssimo acima de 5,5m/km.

2.2 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

De acordo com MARTINS *et al.* (2018) convencionou-se o controle em campo da deformabilidade elástica frente à ação do carregamento do tráfego, representada pelo deslocamento vertical na superfície dos pavimentos como deflexão, constituído de uma medida da ordem de centésimo de milímetros, a deflexão é uma avaliação estrutural dependente da rigidez das camadas do pavimento.

A avaliação estrutural possibilita uma caracterização completa e uma descrição objetiva dos elementos e variáveis estruturais dos pavimentos, completada pela determinação dos materiais e espessuras constituinte de cada camada do pavimento e do solo de subleito, além de proporcionar o conhecimento de seu comportamento e sua condição de integridade, defronte às ações ambientais e do tráfego (BALBO, 2007).

Avaliar estruturalmente o pavimento possibilita diagnosticar a ocorrência de defeitos e suas causas, e definir soluções adequadas para reduzir a ação dos agentes causadores, com o objetivo de garantir a vida de projeto, além de propiciar a seleção e dimensionamento da alternativa de restauração mais apropriada (DNIT, 2006; FONSECA, 2013).

BERNUCCI *et al.* (2008) afirmam que os defeitos estruturais derivam da repetição das cargas e que resultam das deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes.

As deformações elásticas são aquelas que deixam de existir no momento após a retirada da carga. Estas deformações são resultantes da flexão alternada e repetida do revestimento asfáltico devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento dinâmico e podem levar o revestimento asfáltico à ruptura por fadiga (DNIT, 2006).

As deformações plásticas ou permanentes apresentam um carácter acumulativo

durante a vida do pavimento e são responsáveis pela formação de flechas nas trilhas de roda, interferindo nas condições de conforto e segurança do tráfego (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A deformação vertical reversível ou deflexão representa a resposta das camadas do pavimento e do subleito frente à aplicação do carregamento, e serve como parâmetro para diferenciar os pavimentos em bom estado estrutural dos debilitados (DNIT, 2006).

De acordo com BRANCO *et al.* (2005) os resultados da avaliação da capacidade estrutural de um pavimento são utilizados com o objetivo de servir como base no dimensionamento das camadas de reforço. Após a realização desse reforço, aumenta a rigidez do pavimento o que pode ser avaliado pela redução da deflexão medida, considerada, em seu conjunto, como o melhor indicador de qualidade estrutural do pavimento e da capacidade de suporte do subleito.

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser realizada por métodos destrutivo, semidestruutivo ou não destrutivo. Estas designações referem-se ao modo como são obtidas as avaliações da capacidade de carga do pavimento. O método não destrutivo, é o mais adequado para grandes extensões de pista, visto que preserva a área onde foi realizada a avaliação e permite inúmeras repetições de ensaio no mesmo local (BERNUCCI *et al.*, 2008; FONSECA, 2013).

A determinação da capacidade estrutural por meio de provas de cargas é fundamental na avaliação estrutural do pavimento e na obtenção de parâmetros para o dimensionamento de reforço do pavimento.

Segundo BERNUCCI *et al.* (2008) os equipamentos utilizados em avaliações não destrutivas, podem ser divididas de acordo com o tipo de carregamento aplicado, que são:

- Carregamento quase-estático: ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo;
- Carregamento vibratório: dynaflect, por exemplo;
- Carregamento por impacto: deflectômetro de peso batente - *falling weight Deflectometer* (FWD).

Os dois tipos de equipamentos amplamente utilizados no Brasil e no exterior com a finalidade de medir a deflexão são a viga Benkelman (VB) e o deflectômetro de impacto (FWD) (BALBO, 2007).

2.2.1 Deflectômetro por Impacto (FWD)

O deflectômetro de impacto (Figura 3) é um equipamento totalmente automatizado, rebocado por um veículo que carrega parte do sistema de aquisição de dados em um computador, conectado aos sensores instalados no deflectômetro. O ensaio consiste na aplicação de uma carga de impacto, dinâmica, e nas leituras dos deslocamentos registrada por um conjunto de sensores acoplados e posicionados longitudinalmente a partir do centro da placa de dimensões conhecidas, possibilitando o conhecimento da deformada (BERNUCCI *et al.* 2008).

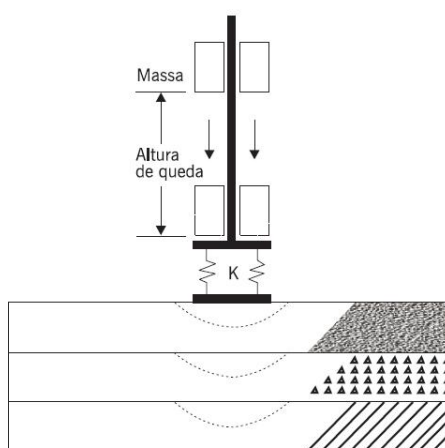


Figura 3 - Esquema de um deflectômetro de impacto, (BERNUCCI *et al.* 2008)

Segundo MORAES (2015), o impacto causado pela carga no pavimento (Figura 4) simula a passagem de uma carga de roda a uma velocidade entre 60 e 80 km/h com uma duração de 25 a 33 milissegundos.

De acordo com MACEDO e RODRIGUES (2003), os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento são medidos por sensores instalados ao longo de uma barra metálica e um na própria placa circular, gerando a medida da bacia de deflexões.

O primeiro deflectômetro FWD introduzido no país foi um modelo Dynatest, em 1988. Foi determinante para o avanço das análises mecânicas dos pavimentos em uso, por permitirem medidas automáticas, rápidas e precisas das bacias deflectométricas. Desde então dois modelos principais têm sido utilizados no país: Dynatest e Kuab (MORAES, 2015).

Segundo FONSECA (2013), até 2003, haviam nove equipamentos FWD disponíveis no Brasil. Entretanto, após 2005, com a contratação de várias empresas para

realização de projetos do CREMA 1ª e 2ª ETAPAS, em especial após 2009, quando foram contratados mais de 40.000 quilômetros de projetos de rodovias do tipo CREMA 2ª ETAPA, várias empresas adquiriram equipamentos FWD, porque houve remuneração diferenciada nestes contratos, baseada no prazo menor para realização dos levantamentos de campo. É possível que existam operando no país cerca de 30 equipamentos deste tipo atualmente.

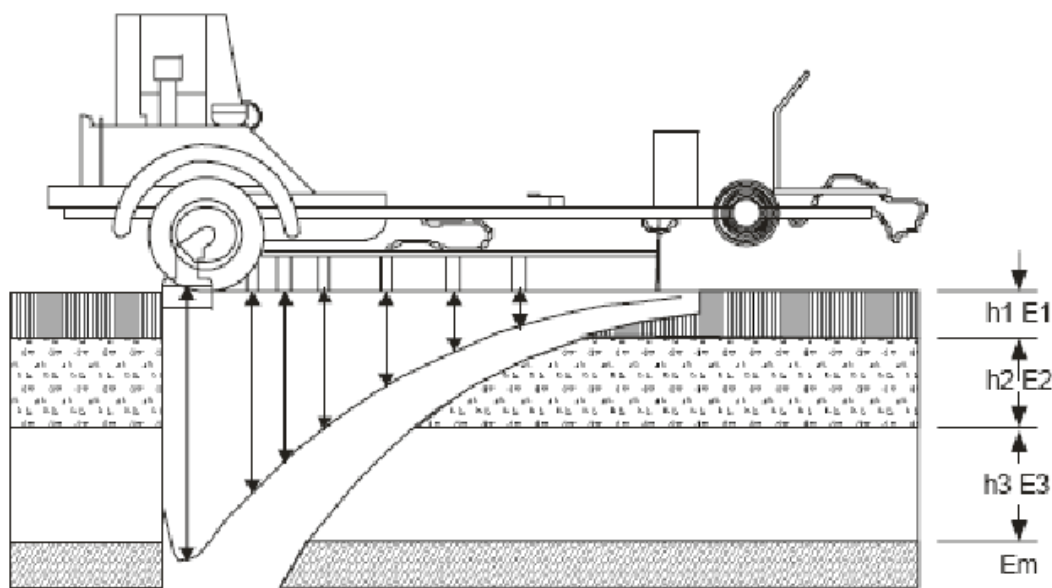


Figura 4 - Deflectômetro de Impacto (DNIT, 2006)

Em 2010 a Norma DNIT 132/2010 - PRO foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias e estabelece a sistemática a ser empregada na calibração e controle de deflectômetro do tipo “Falling Weight Deflectometer” (FWD). Foi elaborada tomando como base a norma AASHTO-R32-03 (2008/1): Standard recommended practice for calibrating the load cell and deflection sensor for a “Falling Weight Deflectometer”.

De acordo com MACEDO (2003), o FWD apresenta aspectos positivos que são:

- As deflexões por ele produzidas são as que mais se aproximam das produzidas por um caminhão em movimento, medidas a partir de acelerômetros instalados no pavimento;
- Acurácia;
- Permite avaliar a não linearidade dos materiais constituintes do pavimento, através da variação da carga aplicada;
- Apresentam acurácia e repetibilidade em qualquer tipo de estrutura de pavimento;

- Registro automático da temperatura (ambiente e superfície do revestimento) e da distância do ponto medido.

Em relação as limitações podem ser citadas:

A presença de uma camada rígida pode alterar a bacia de deflexões, embora também possa influenciar os resultados de quaisquer outros ensaios não destrutivos de medida de deflexões;

- A aceleração produzida pela carga do FWD é maior que a de uma carga de roda em movimento, podendo a inércia da massa do pavimento desempenhar um papel importante para o FWD, sendo desprezível para uma roda em movimento embora aparentemente este fato não pareça influenciar a boa concordância das deflexões medidas;
- Necessidade de calibração frequente;
- Custo de aquisição.

2.2.2 Parâmetros das Bacias Deflectométricas

Segundo HVEEM (1955), a partir do ano de 1938, estudos realizados na Califórnia determinaram uma série de medidas de deslocamentos verticais em pavimentos sujeitos à ação de uma carga de rodas. Ao cessar a solicitação, a parcela das deformações que se recuperou de forma elástica foi chamada de resiliente, enquanto a outra, não recuperável, foi denominada plástica. A parcela elástica é também denominada deflexão quando medida com carga padrão. Esta é a de avaliação não destrutiva mais difundida, podendo ser feita com vários equipamentos.

Através do ensaio de avaliação estrutural não destrutivo, é possível determinar os seguintes parâmetros (BERNUCCI *et al.*, 2008):

- Deflexão máxima (D_0): Trata-se do deslocamento vertical sob o centro das rodas duplas de um eixo simples no caso da viga Benkelman ou sob o centro da carga no FWD, expressas em 0,01mm;
- Deformada, bacia de deformação: Trata-se das medidas dos deslocamentos elásticos em determinados pontos a partir do centro do carregamento (D_0 , D_{25} , D_{50} , etc.). Permite a representação da resposta do comportamento estrutural do pavimento, através da aplicação de um carregamento no pavimento, traduzido numa flexão, que diminui com a profundidade e com a distância do ponto de

aplicação de carga e depende também do módulo de elasticidade das camadas.

Os ensaios defletoométricos apresentaram evoluções em suas análises com o avanço dos estudos da estrutura do pavimento no decorrer do tempo. A partir da observação de pavimentos com a mesma deflexão máxima e comportamentos distintos adicionaram-se análises de indicadores de capacidade estrutural, como o Raio de Curvatura (RC) que pode ser obtido do arco de parábola que passa por dois pontos da deformada, normalmente sob a carga e a 25cm do centro da mesma (D0 e D25). (WITCZAK, 1989).

Há, na literatura, diferentes parâmetros da bacia que complementam o já consagrado RC adotado pelo DNER-PRO/11-79. Foram desenvolvidos de forma a obter uma melhor indicação das propriedades das camadas dos pavimentos: os indicadores *Structural Curvature Index* (SCI - Índice de Curvatura da Superfície), *Base Damage Index* (BDI - Índice de Danos na Base), e o *Base Curvature Index* (BCI - Índice de Curvatura da Base) (SAPEM, 2014).

Estes parâmetros SCI, BDI e BCI podem ser observados na Figura 5, de acordo com FERRI (2013).

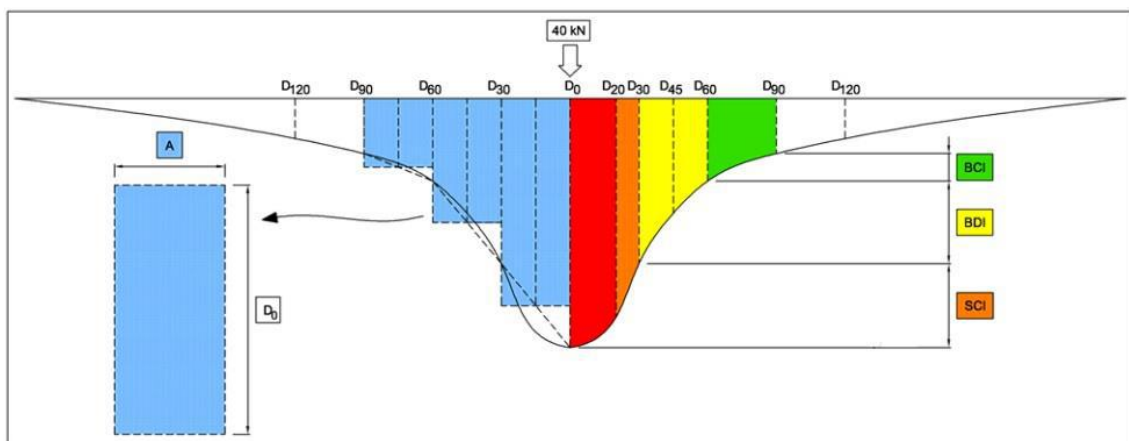


Figura 5 - Representação gráfica esquemática da bacia defletoométrica e os respectivos índices de curvatura (adaptado de FERRI, 2013)

2.2.2.1 Raio de Curvatura (RC)

O RC (Figura 6) é definido como o ponto de arqueamento da bacia de deflexão, que em geral, em pavimentos flexíveis, é um ponto crítico. No Brasil, este é o único parâmetro, além da deflexão máxima, adotado para verificação da integridade estrutural dos pavimentos flexíveis, presente explicitamente na norma DNER-PRO/11-79.

O RC está intimamente ligado à rigidez do pavimento, vindo a complementar a deflexão máxima (D_0) na análise da capacidade estrutural do pavimento. O D_0 e o RC são grandezas inversamente proporcionais, isto é, quanto mais rígido o pavimento, mais baixo será o valor de D_0 encontrado, e maior será o RC obtido. Ao entrar na fase de fadiga, o pavimento perde rapidamente sua rigidez, tendo como consequência aumento do D_0 e diminuição do RC (MACEDO, 2003).

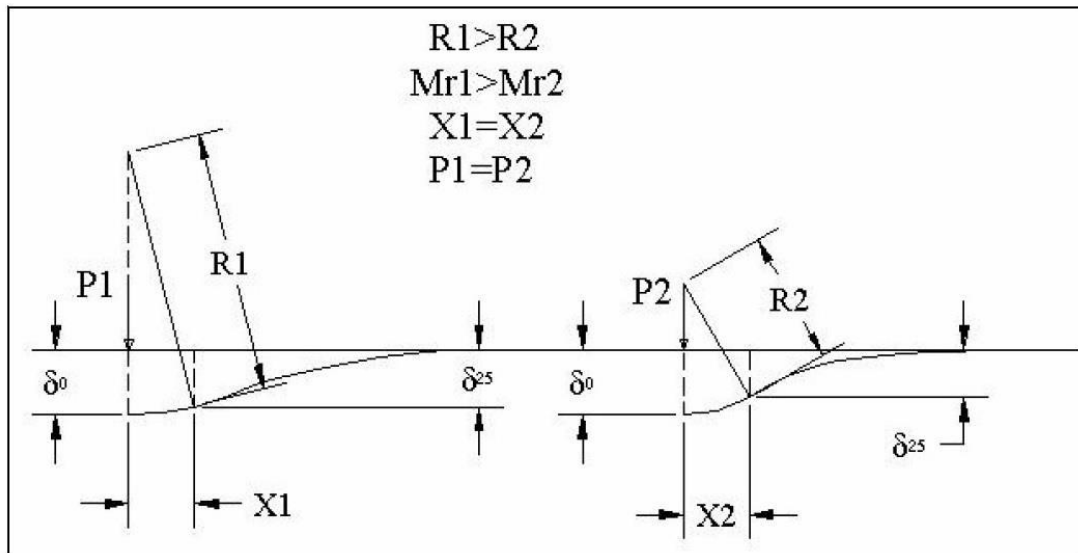


Figura 6 – Raio de curvatura de deflexões resilientes (MACEDO, 2003)

O RC é determinado pela Equação 1, que é definida na norma DNER 024/94, que define a execução do ensaio de Viga Benkelman. Considera que o ponto de arqueamento ocorre a uma distância de 25cm do ponto de aplicação da carga.

$$RC = \frac{6250}{2x(D_0 - D_{25})} \quad (1)$$

Onde:

RC: raio de curvatura (m);

D_0 : deflexão máxima (0,01mm); e

D_{25} : deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm).

A norma DNER-PRO 011/79 estabelece que, para pavimentos flexíveis, raios menores que 100m, indicam pavimentos com baixa capacidade estrutural.

2.2.2.2 Índice de Curvatura da Superfície (SCI)

De acordo com KIM e RANJITHAN (2002), o Índice de Curvatura da Superfície

(SCI do inglês *Surface Curvature Index*) é o indicador mais sensível para evidenciar a situação da rigidez da camada de revestimento asfáltico, sendo definido como a diferença entre D_0 e D_{30} (Equação 2), considerando a bacia deflectométrica obtida por FWD, com aplicação de uma carga de roda de aproximadamente 4.100 kgf. Os valores de SCI superiores a $25 \times 10^{-2} mm$, indicam que a camada de revestimento é pouco resistente ou é de pequena espessura, sendo muito deformável.

$$SCI = D_0 - D_{30} \quad (2)$$

Onde:

SCI: é o valor do parâmetro (0,01 mm);

D_0 : deflexão máxima (0,01mm);

D_{30} : deflexão a 30cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm);

2.2.2.3 Índice de Dano na Base (BDI)

Conforme KIM e RANJITHAN (2002), o Índice de Dano na Base (BDI do inglês *Base Damage Index*) indica a condição da base, sendo definido como a diferença entre D_{30} e D_{60} (Equação 3), considerando a bacia deflectométrica obtida por FWD, com aplicação de uma carga de roda de aproximadamente 4.100 kgf. Valores de BDI superiores a $40 \times 10^{-2} mm$ indicam pavimentos pouco resistentes ou pavimentos com problemas estruturais.

$$BDI = D_{30} - D_{60} \quad (3)$$

Onde:

BDI: é o valor do parâmetro (0,01 mm);

D_{30} : deflexão a 30cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm);

D_{60} : deflexão a 60cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm);

2.2.2.4 Índice de Curvatura da Base (BCI)

Segundo KIM e RANJITHAN (2002), o Índice de Curvatura da Base (BCI do inglês *Base Curvature Index*) pode ser usado como o indicador para verificar a condição do subleito, sendo definido como a diferença entre D_{60} e D_{90} (Equação 4), considerando a bacia deflectométrica obtida por FWD, com aplicação de uma carga de roda de aproximadamente 4.100 kgf. Os valores médios dos resultados de BCI superiores a $10 \times 10^{-2} mm$ indicam problemas estruturais no subleito.

$$BCI = D_{60} - D_{90} \quad (4)$$

Onde:

BCI: é o valor do parâmetro (0,01 mm);

D₆₀: deflexão a 60cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm);

D₉₀: deflexão a 90cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm);

2.2.3 Fatores que Influenciam nos Valores de Deflexão

Os fatores que influenciam nas respostas deflectométricas do pavimento são: os efeitos sazonais de umidade, a temperatura no momento da medição, o carregamento e o posicionamento dos sensores. Comentam-se a seguir cada um deles.

Efeitos Sazonais de Umidade

Durante a estação chuvosa o teor de umidade do subleito pode aumentar, diminuindo assim sua capacidade de suporte. Como esses períodos variam ao longo do ano, o valor da deflexão medida no pavimento não será constante, sendo dependente da época em que forem realizados os levantamentos.

De acordo com NÓBREGA (2003), uma dúvida que os engenheiros e projetistas tinham desde a década de 1960 na área de pavimentação era a seguinte: Qual a época do ano mais favorável às medições de deflexões no pavimento, considerando que seus valores são função das condições meteorológicas? Já naquela época, o meio técnico, de maneira geral, estava de acordo que a época mais adequada para realização de tais medições era após a estação chuvosa, em que o subleito apresentava o pior desempenho em relação à sua capacidade de suporte. Entretanto, se esta linha de raciocínio fosse empregada como regra, o uso da viga Benkelman ficaria restrito a um pequeno período de tempo durante o ano, não sendo utilizado nas demais épocas.

Pesquisas posteriores realizadas no Brasil, tais como a pesquisa ICR e PAEP, mostraram que esta sazonalidade é baixa, além da ausência do ciclo de gelo-degelo, comum em países de clima frio a temperado (MEDINA, 1997). Nestas pesquisas chegou-se a variações sazonais da ordem de 20 a 40% entre a estação seca e a estação chuvosa. No caso dos EUA esta variação pode chegar a 400%, ou seja, cinco vezes entre a medida do inverno e da primavera (NÓBREGA, 2003).

De acordo com o DNER-PRO 10 (1979), a época do ano mais indicada para

realização de levantamentos deflectométricos é imediatamente após a estação chuvosa, onde o subleito se encontra na condição mais desfavorável. Mas ainda assim, as eventuais diferenças não são tão grandes.

Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes nas medidas de deflexão, uma vez que afeta diretamente o comportamento do concreto asfáltico devido à variação da viscosidade do ligante betuminoso. De acordo com MOTTA (1991), com a variação da temperatura, há variação dos módulos de elasticidade do revestimento, o que se reflete no estado de tensões de toda a estrutura termossensível.

De acordo com MOTTA e MEDINA (1986), as misturas asfálticas têm um comportamento visco-elastoplástico, com sua rigidez sendo fortemente influenciada pela temperatura: quando esta diminui, o ligante betuminoso torna-se mais viscoso e o revestimento, mais rígido, aumentando, em consequência, a capacidade de distribuição de carga na estrutura do pavimento, diminuindo a magnitude das deflexões. Nos pavimentos flexíveis, a temperatura afeta, principalmente, a deflexão sob o ponto de aplicação da carga (D_0) devido ao comportamento reológico da camada asfáltica. Nestes pavimentos, o efeito da temperatura nas deflexões é tanto maior quanto mais espessa for a camada asfáltica. Por isso, é fundamental a medida das temperaturas do ar e do pavimento no exato momento da realização dos ensaios.

Correções dos valores de deflexão em função de uma temperatura de referência são previstos no Guia de Gerência de Pavimentos do DNER (1983), no guia da AASHTO (1993) e pelo DER/SP (2006). BUENO (2016) conclui que correções em valores de deflexão medidos em temperaturas de superfície próximas a temperatura de referência (25°C) usada para correções são dispensáveis, pois não acarretaram em modificações significativas nos módulos de elasticidade das camadas do conjunto.

BUENO (2016) propõe procedimento integrado para obtenção dos módulos, partindo da retroanálise sem nenhum ajuste nas medidas de campo. Determinados os módulos das camadas granulares e subleito, verifica-se a necessidade de correção da rigidez do revestimento mediante interpretação da temperatura da superfície do pavimento no momento do ensaio. Em caso positivo, corrige-se as medidas de deflexão de campo e repete-se o processo iterativo, objetivando modificar apenas o módulo de

elasticidade do revestimento. Finalizada a nova retroanálise, é identificado o módulo da camada termossuscetível (revestimento) à 25°C.

MOTTA (1979) e MORAES (2015) chamam atenção para o gradiente de temperatura de acordo com a espessura do concreto asfáltico e o horário das determinações das deflexões. Dependendo da hora do dia, o gradiente de temperatura pode ser positivo ou negativo, resultando em incertezas quando as correções são realizadas a partir da temperatura medida na superfície, não sendo um procedimento trivial de ser aplicado. Segundo MOTTA e MEDINA (1988) a correção em função da temperatura deve ser variável em relação ao tipo de estrutura do pavimento e ao clima da região, não sendo considerada de grande relevância para casos como o Brasil com clima tropical característico e com estruturas com revestimento em geral de pequena espessura.

Carregamento

Conforme ROCHA FILHO (1996), nas avaliações estruturais de pavimento a magnitude das deflexões é extremamente afetada pelo modo de carregamento utilizado. A influência do modo de carregamento sobre as deflexões pode ser melhor evidenciada quando é analisado o perfil de deflexões obtidas pelo emprego de equipamentos que utilizam modos diferentes de aplicação de carregamento, tais como medidas com a viga Benkelman (eixo com duas rodas e carga quase estática) ou com FWD (carga de impacto sobre uma placa).

Posicionamento dos sensores

De acordo com NÓBREGA (2003), como as deflexões são medidas em 0,01mm, pequenos erros nas leituras deste parâmetro podem gerar grandes efeitos nos resultados de uma avaliação estrutural. Tem também importância saber a que distância do centro da área carregada estão posicionados os sensores que vão medir as deflexões ao longo da bacia de deformação.

ROCHA FILHO e RODRIGUES (1998) observaram que o posicionamento dos sensores tem grande influência na obtenção dos módulos de elasticidade calculados por retroanálise. Os sensores registram os deslocamentos verticais referentes à contribuição das camadas que estão sob o estado de tensões provocado pelo carregamento aplicado, ao longo da vertical que passa pelo sensor. Assim, a escolha mais adequada para as distâncias entre sensores deve ser função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento que

será avaliado.

Segundo PINTO e DOMINGUES (2001), geralmente são empregados os seguintes posicionamentos dos sensores nos FWD:

- Pavimentos flexíveis: 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 120cm;
- Pavimentos rígidos: 0, 20, 30, 80, 100, 160 e 200cm.

Os valores das deflexões máximas comumente são utilizados para estudos de definição de segmentos homogêneos de uma rodovia. Entretanto, não retratam a forma como o pavimento responde à ação do carregamento. Destaca-se ainda, que nem sempre um pavimento com deflexão máxima alta apresenta trincamento excessivo na camada de revestimento. Ao contrário, por vezes pode-se verificar um percentual de trincamento significativo em um pavimento com baixos valores de deflexão máxima. Tal fato se deve à compatibilização de rigidez dos materiais do pavimento. Como as camadas trabalham em conjunto, é importante que haja compatibilidade de rigidez dos materiais, evitando-se gradientes elevados de módulos de elasticidade (MR) entre camadas.

2.3 RETROANÁLISE DE BACIAS DEFLECTOMÉTRICAS

Retroanálise é o recurso em que são testados analiticamente valores de módulos de elasticidade das camadas do pavimento de maneira que, também analiticamente, as respostas das deflexões simuladas se aproximem o máximo possível das medidas de deflexões obtidas em campo, para um carregamento conhecido (BALBO, 2007).

Sobre a retroanálise, MEDINA e MOTTA (2015) dizem:

A mecânica de pavimentos está baseada em cálculo de tensões e deformações de sistemas de camadas, em geral utilizando a teoria da elasticidade sendo necessário se conhecer os módulos de elasticidade e o coeficiente de Poisson de cada um dos materiais que compõem o pavimento e o subleito. Ora, ao se fazer uma medida de deflexão num certo ponto do pavimento, sabe-se que esta deflexão resulta da contribuição de todas as camadas, e, portanto, está vinculada aos módulos de elasticidade das mesmas. Assim a retroanálise, nada mais é do que se resolver o problema inverso em relação ao dimensionamento de um pavimento novo, ou seja, têm-se as deformações resultantes de um carregamento conhecido e deseja-se conhecer os módulos que conduziram àquelas deformações elásticas.

A retroanálise caracteriza-se pela determinação analítica dos módulos elásticos (de rigidez/resiliência) de todas as camadas do pavimento e do subleito a partir das bacias deflectométricas (FRITZEN, 2005).

De acordo com NÓBREGA (2003) a retroanálise é realizada com os seguintes objetivos:

- Estimar os módulos de resiliência dos materiais na condição em que se encontram no campo;
- Minimizar o número de sondagens para determinação das espessuras e coletas de amostras para determinação dos parâmetros desejados, que são de difícil reprodução em laboratório, além de serem onerosas, perigosas e demoradas.

A metodologia para avaliação estrutural de um pavimento, por retroanálise, permite calcular as tensões, deformações elásticas (deslocamento) em uma estrutura de pavimento, a partir do conhecimento da geometria do pavimento, da configuração do carregamento e dos parâmetros mecânicos dos materiais, tais como o coeficiente de Poisson e o módulo de deformabilidade (BERNUCCI *et al.*,2008).

A retroanálise permite verificar, por meio da obtenção dos valores dos módulos de deformabilidade dos materiais, a integridade de cada camada e estimar a vida útil remanescente do pavimento.

Na prática, a retroanálise consiste na identificação de uma bacia de deformação o mais similar possível àquela medida em campo, desde que conhecidas as camadas (materiais) e suas espessuras, bem como a carga e as pressões aplicadas no teste em campo. Segundo MEDINA e MOTTA (2015), a bacia de deflexão traz outras informações: no ponto de maior deflexão sob a área carregada a influência conjunta de todas as camadas se faz sentir, e nos pontos mais afastados, tem-se refletida a influência maior do subleito. A curvatura da bacia de deflexão indica a maior ou menor rigidez da estrutura, para uma mesma deflexão máxima.

É importante ressaltar que as propriedades resilientes em uma mesma camada sofrem variações, sendo essa uma limitação nas retroanálises que precisa ser superada. Segundo BALBO (2007), as variações em propriedades resilientes em uma mesma camada estão relacionadas às seguintes condições:

- As tensões e deformações ocorrentes nas camadas dos pavimentos são dependentes do módulo de resiliência desses materiais.
- Nos revestimentos asfálticos, o módulo de resiliência varia com a temperatura de operação, e esta, varia com a profundidade, na camada.

- Nas bases granulares, o módulo de resiliência é normalmente dependente da tensão de confinamento. Sabe-se que essa tensão de confinamento diminui tanto em termos residuais (de compactação), em posições mais profundas das camadas, quanto em termos de operação, também quanto mais profunda a posição do material.
- O módulo de resiliência dos materiais altera-se em função de condições climáticas distintas, ao longo de um ciclo anual (umidade, temperatura, etc.). Além disso, o módulo de resiliência vai, pouco a pouco, alterando-se na superfície do revestimento, em função de sua oxidação.

De acordo com MACÊDO (1996), a maioria dos procedimentos de retroanálise adota o seguinte roteiro:

1. Estimativa dos módulos iniciais (*seed values*) via alguma técnica de aproximação ou banco de dados;
2. Cálculo da bacia de deflexões utilizando os módulos estimados no passo anterior;
3. Comparação das deflexões medidas e calculadas;
4. Ajuste dos módulos através de técnica que reduza as diferenças entre as deflexões medidas e calculadas;
5. Repetição dos passos 2 e 4 até que o erro verificado entre as bacias medidas e calculadas obedeça ao critério de tolerância preestabelecido.

De forma geral, a retroanálise apresenta as seguintes vantagens (ALBERNAZ, 1997):

- Permite a análise comparativa do comportamento estrutural de segmentos de uma mesma ou de diferentes rodovias;
- Possibilita a elaboração de projetos mais confiáveis evitando restaurações prematuras e de altos custos de manutenção e ou restauração;
- Fornecem dados para projetos de drenagem, indicando a presença de possíveis camadas rígidas no subleito;
- Proporciona a elaboração de projetos mais racionais, de custo mais baixo e pavimentos mais duráveis.

2.3.1 Métodos iterativos

Os métodos iterativos buscam obter os módulos de resiliência de todas as camadas do pavimento real, utilizando processos de convergência, demandando muitos processos de formulação matemática complexa, sendo necessário o uso de programas computacionais para resolução satisfatória das iterações.

Um tipo de método iterativo consiste em comparar bacias que constam em um banco de dados, para as quais foram realizadas medidas da bacia e foram conhecidos os módulos de resiliência por ensaios laboratoriais, com a bacia deflectométrica levantada em campo, na estrutura que se deseja inferir os módulos de resiliência. A comparação é por tentativas, até a obtenção de um determinado critério de convergência, que apresente um erro percentual mínimo na comparação entre a bacia teórica e de campo (PREUSSLER *et. al.*, 2000).

Este percentual de erro calculado pela comparação das bacias teórica e de campo pode ser estabelecido através da apuração do erro relativo em cada sensor do equipamento de leitura de deflexões, pela soma dos valores absolutos das diferenças entre as deflexões medidas e calculadas em cada sensor, pela soma das diferenças ao quadrado, ou pela raiz média quadrática (MEDINA *et. al.*, 1994).

Alguns métodos iterativos podem calcular, durante o processamento, os parâmetros elásticos de estruturas teóricas, cujas bacias deflectométricas são comparadas às bacias medidas em campo; podem fazer uso de banco de dados das características elásticas e geométricas de estruturas teóricas; e podem utilizar equação de regressão estatística (ALBERNAZ *et al.*, 1995).

Em métodos que calculam os parâmetros elásticos durante o processamento, os parâmetros da estrutura teórica são calculados por sub-rotinas que usam programas de análise de tensões e deformações como CHEVRON, FEPAVE, ELSYM5, JULEA, KENLAYER, entre outros, e por iterações sucessivas são determinados os módulos correspondentes àqueles que conduzem a bacia de deformação mais próxima da bacia levantada em campo (NÓBREGA, 2003).

Os métodos que fazem uso de banco de dados partem do mesmo princípio do método anterior, entretanto os parâmetros são previamente calculados, e incorporados ao banco de dados do programa, desta forma tornando seu processamento muito mais rápido,

a exemplo do REPAV, desenvolvido por FONSECA (2002).

Os métodos que utilizam equações de regressão estatística, segundo NÓBREGA (2003), são métodos que determinam deflexões teóricas em função das características do carregamento, das espessuras e das propriedades elásticas do pavimento, agrupadas em fórmulas obtidas por regressões estatísticas, utilizando parâmetros obtidos através de programas de análise mecânica.

Como desvantagem dos métodos iterativos de retroanálise cita-se a possibilidade de se obter diversas soluções para uma mesma bacia analisada, visto que uma bacia pode corresponder a diversas estruturas com configurações distintas. Para minorar este problema é muito importante que o programa permita a entrada de um módulo inicial, ou faixa de aceitação de módulo de resiliência para cada camada, pois os valores informados limitam ou direcionam a tendência dos valores modulares obtidos na retroanálise para mais próximos da estrutura real.

As ferramentas computacionais são importantes no processo da retroanálise, visto que proporcionam a análise de estruturas de pavimentos compostas por diversas camadas. Em geral, tais programas comparam as deflexões medidas e calculadas, apresentando como resultado final os módulos e espessuras de cada camada, além de apresentar a avaliação de erro através do somatório de erros percentuais (FONSECA, 2002).

O programa REPAV (FONSECA, 2002) foi baseado nos estudos de PEREIRA (1969) no LNEC cujo título é "Determinação das características estruturais de pavimento, a partir da linha de influência obtida em ensaios de carga com pneus". Permite analisar bacias deflectométricas obtidas por viga Benkelman ou FWD, comparando-as com bacias teóricas calculadas por meio do programa ELSYM5. Este programa necessita que a estrutura de entrada seja de três camadas equivalentes ao pavimento real, considerando o sistema como elástico linear e adotando por simplificação o coeficiente de Poisson de 0,5.

Cada fabricante de FWD fornece um programa de retroanálise, por exemplo o da Dynatest chama-se Elmod, o do Kuab, chama-se Kuab. Existe também o programa RETROANA, desenvolvido pelos engenheiros da empresa Dynatest Engenharia Ltda., com base no programa ELASTMCF (RODRIGUES, 1991) que considera o método das camadas finitas.

Existem ainda programas públicos na Internet tais como o BAKFAA

(www.faa.gov) ou o Evercalc entre outros. Comparações entre vários programas podem ser vistos em MACÊDO (1996), NÓBREGA (2003), CAVALCANTE (2005), entre outros autores.

2.3.2 Software

Atualmente encontram-se disponíveis inúmeros softwares de retroanálise para pavimentos asfálticos. No Brasil os mais usuais são: ELMOD, KUAB, EVERCALC, RETRAN2C, RETRAN5L, REPAV e BAKFAA. Atualmente o software de retroanálise que integra o novo método de dimensionamento a ser implantado no Brasil, é denominado BackMeDiNa.

Cada programa tem suas hipóteses e procedimentos de ajuste das soluções, que os diferencia de outros programas. Em consequência obtêm-se diferentes módulos de elasticidade equivalentes das camadas para o mesmo conjunto de dados deflectométricos. Afim de minimizar erros, é preciso usar no dimensionamento de reforço com base em módulos obtidos por retroanálise os mesmos princípios e modelagem usados na retroanálise, sendo o ideal que o método mecanístico-empírico utilizado no projeto de reforço fixe o programa de retroanálise a ser utilizado e o programa posterior de cálculo de tensões e deformações para a determinação da espessura de reforço (MEDINA e MOTTA, 2015).

Como o método mecanístico-empírico utilizado na presente dissertação foi o MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional), o software de retroanálise utilizado foi o BackMeDiNa, módulo de retroanálise integrante ao método, apresentado a seguir.

2.3.2.1 BackMeDiNa

O software BackMeDiNa é uma ferramenta de rotina do método MeDiNa, que se deu da evolução do SisPav desenvolvido na tese de doutorado de FRANCO (2007). O programa permite retroanalisar bacias deflectométricas obtidas por FWD com objetivo de inferir o módulo de resiliência *in situ* das camadas do pavimento.

De acordo com FRANCO (2018), o cálculo para se achar os módulos de resiliência é feito de forma iterativa, utilizando o módulo AEMC para a análise elástica linear, a partir da variação dos valores dos módulos em torno de um valor central, até se obter uma bacia teórica próxima da bacia de deflexões de campo medida pelo FWD. Para

isso, o programa compara a raiz do valor quadrático médio das diferenças entre as medidas de deflexões de campo e as calculadas.

No atual módulo de retroanálise do método MeDiNa (BackMeDiNa v.1.1.0 de abril de 2018), pode-se importar arquivos com informações referentes à seção sobre a qual foi realizado o levantamento de campo, além dos dados coletados no levantamento deflectométrico.

Os dados necessários para realizar a retroanálise (bacias deflectométricas, carregamento aplicado, temperatura do ar e pavimento, localização da rodovia, faixa e trilha referente aos ensaios deflectométricos, espessura das camadas, e parâmetros de partida fundamentados nas condições do pavimento), são inseridos no programa por meio de um arquivo de dados do Excel® em formato.xls (Figura 7).

1	BACKMEDINA														
2	SEÇÃO: Trecho 3/MG														
3	RAIO (cm): 15														
4	Data de Execução	Temp. Do	Temp. Do	Carga	Estaca – N	Estaca – D	Estaca – F	Estaca – Tr	d0	d20	d30	d45	d60	d90	d120
5	01/06/2017	30	29	4121	83	800	1 Sul	Externa	401	347	223	126	81	62	51
6	01/06/2017	31	30	4186	83	900	1 Sul	Externa	364	301	202	123	80	56	45
7	01/06/2017	31	29	4099	84	0	1 Sul	Externa	531	408	286	188	113	74	56
8	01/06/2017	31	30	4128	84	100	1 Sul	Externa	490	396	276	172	115	84	63
9	01/06/2017	31	31	4150	84	200	1 Sul	Externa	505	392	276	174	102	72	53
10															
11															

Figura 7 – Modelo de planilha para entrada dos dados no software BackMeDiNa

A Figura 8 apresenta o software BackMeDiNa, depois de importado o arquivo com as bacias deflectométricas, no próprio software é determinado o número de camadas, sua espessura e parâmetros da interface. O software também indica um valor de módulo de resiliência e coeficiente de Poisson pelo tipo de material informado, podendo ser alterado pelo usuário.

O software inicia o cálculo com os módulos de resiliência indicados na estrutura do pavimento, variando este módulo em uma faixa que depende do erro da retroanálise. Para erros elevados, a faixa de cada módulo é de 80% do valor indicado (para maior e menor) na estrutura, a fim de abranger um maior nível de soluções. Para erros menores, a faixa de valores de módulo diminui para 25%. O número de intervalos de cada faixa também varia com erro. Para erros elevados, são apenas 9 intervalos. Para erros menores,

são 15 intervalos, que objetiva melhorar a precisão da retroanálise. A cada clique no botão, o programa testa todos os intervalos possíveis de módulos de todas as camadas e, ao final, apresenta a bacia calculada que melhor se aproxima da bacia medida, ou seja, a de menor erro (RMS). Sendo assim, para uma boa retroanálise, o projetista deve clicar no botão retroanálise várias vezes, até o erro (RMS) não variar mais (FRANCO, 2018).

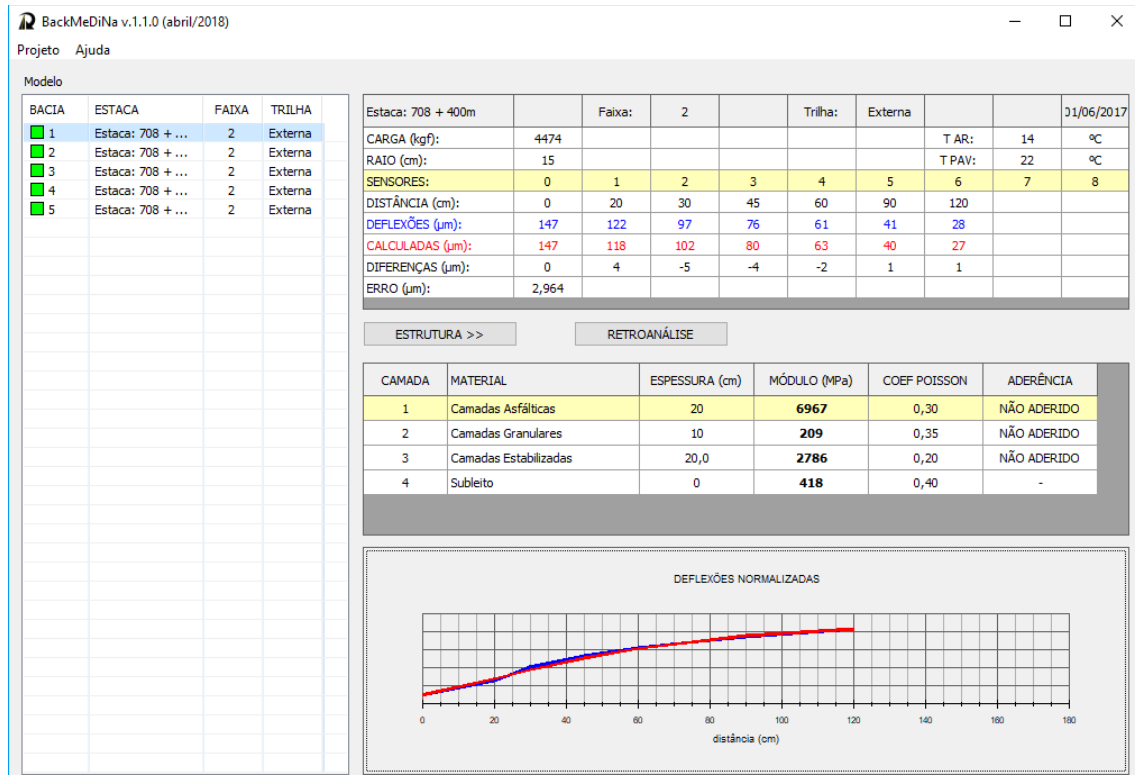


Figura 8 – Exemplo de uma tela do software de retroanálise BackMeDiNa

2.4 TRÁFEGO

O tráfego de uma rodovia é fator de suma importância a ser observado no dimensionamento de um pavimento, rígido ou flexível, seja por método empírico ou mecânico, visto que representa a principal solicitação a qual está sujeito o pavimento (SOARES e MOTTA, 2001).

Um dos fatores que influem no dimensionamento dos pavimentos flexíveis é o tráfego que solicitará determinada via durante sua vida útil de serviço. As cargas que solicitam a estrutura do pavimento ao longo de um período “P” para o qual é projetado o pavimento são representadas pela ação do ciclo de carregamento e descarregamento em

um determinado ponto fixo da superfície de rolamento quando da passagem das rodas dos veículos. O dano causado pela passagem de cada veículo é, usualmente, de pequena magnitude, mas o efeito acumulativo deste dano é que determina a vida de fadiga dos pavimentos. O fator preponderante que leva os pavimentos ao final de sua vida útil é este efeito acumulado.

Um pavimento dificilmente sofre ruptura súbita ou catastrófica e a sua degradação se dá de forma contínua, ao longo do tempo. A causa da ocorrência dos defeitos estruturais (trincamento e afundamento em trilhas de roda) é devida à ação das cargas do tráfego sobre a superfície dos pavimentos que gera uma deformação total na estrutura. Esta deformação total é composta pelas parcelas de deformação resiliente ou reversível e deformação permanente, ou plástica.

A modelagem do tráfego é complexa, sendo necessário obter os dados do volume do tráfego e do carregamento a partir da contagem e da pesagem de veículos. Nos métodos de projeto nacionais, todo o tráfego previsto ao longo do horizonte de projeto é convertido em termos de solicitações equivalentes do eixo padrão rodoviário, um eixo simples de rodagem dupla com carga de 8,2t, denominado Número “N”.

Na determinação do Número “N” são considerados certos fatores relacionados com a composição do tráfego e referidos a cada categoria de veículo, definida em função da carga transportada e do número de eixos dos veículos.

Tem-se, portanto, que o número “N” tem influência direta do volume de tráfego atuante, determinado a partir do Volume Médio Diário (VMD), e do perfil da frota e das cargas por eixo, representado pelo fator de veículo (F_v).

O fator de veículos (F_v) 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. Este fator pode ser calculado pelo produto do fator de eixo pelo fator de carga. O fator de veículo depende, portanto, do tipo de eixo e de sua respectiva carga.

Assim, para poder se definir um número “N” para cada segmento da via, a ser analisado no âmbito do dimensionamento e da gerência de pavimentos, deve-se conhecer tanto o volume de tráfego, especialmente o tráfego comercial – visto que a operação de veículos de passeio gera um carregamento cujo dano é desprezível, de acordo com os

citados manuais do DNIT.

O número “N” pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$N = V_t \times F_v \times F_r \quad (5)$$

Onde:

V_t : é o volume total de veículos num determinado sentido para determinado período “P”;

F_v : é o fator de veículo, número que converte o dano causado por todos tipos de veículos em danos do eixo padrão;

F_r : é um fator climático regional relacionado ao regime de chuvas de determinado local.

De acordo com MEDINA e MOTTA (2015), a tendência mundial é passar a dimensionar o pavimento asfáltico considerando o tráfego explicitamente pela ação de diferentes cargas de eixo, considerando sua incidência variável diária e sazonal, como proposto em FRANCO (2007).

2.5 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

A estrutura de um pavimento é composta por camadas sobrepostas de diferentes tipos de materiais, para atender de modo estrutural e operacional ao tráfego, de maneira durável e com um menor custo possível. O reforço por meio de uma camada asfáltica adicional ou recapeamento é o procedimento mais utilizado na reabilitação de pavimentos, sendo este tipo de intervenção utilizada para correção de defeitos estruturais e funcionais do pavimento (BALBO, 2007; PINTO e PREUSSLER, 2010).

De acordo com PINTO e PREUSSLER (2010), até 1960 a abordagem para dimensionamento do reforço de um pavimento considerava a experiência regional e o critério da resistência (deformações permanentes). Era utilizado a sensibilidade de engenheiros experientes para determinar o tipo e espessura do reforço do pavimento. A partir da década de 60, os métodos baseados em ensaios deflectométricos foram amplamente difundidos, obtendo grande aceitação.

Com o desenvolvimento de equipamentos e programas que fornecem informações sobre as características elásticas dos materiais que constituem o pavimento, nos meados

da década de 1970 iniciou-se a introdução dos métodos mecânicos ou analíticos fundamentados na análise de tensões e deformações das camadas. Com o desenvolvimento dos sistemas de gerência de pavimentos nos anos 1980, começaram as metodologias de reforço que se fundamentam em modelos de previsão de desempenho e que procuram analisar diversas estratégias de intervenção visando diminuir o custo de ciclo de vida do pavimento (PINTO e PREUSSLER, 2010).

Segundo SANTOS (2009), um pavimento rodoviário, no início de sua vida, apresenta um determinado nível de serviço, que engloba condições de segurança e conforto. No entanto, com o passar do tempo, o pavimento vai se degradando devido às ações do tráfego e dos agentes de intemperismo, até atingir um estado onde os critérios estruturais e funcionais não mais satisfazem os usuários. Esse período corresponde à vida útil do pavimento.

Alguns trechos podem eventualmente apresentar níveis de deterioração elevados muito antes do final de sua vida útil determinada em projeto, sendo necessário recorrer a medidas de reabilitação, tanto funcionais quanto estruturais, devido principalmente ao aumento significativo do tráfego pesado e das cargas transportadas.

A definição do fim da vida útil de um pavimento depende dos critérios limites adotados e da classe da rodovia. Após a aplicação de um grande número de cargas, os defeitos apresentados na superfície do pavimento comprometem o desempenho funcional (segurança e conforto) e estrutural. Caso ocorra a intervenção corretiva em determinado estágio de degradação, pode-se restabelecer a capacidade de carga do pavimento pela superposição de uma nova camada de revestimento (MEDINA e MOTTA, 2015).

2.5.1 Segmentação

Com o propósito de elaborar um diagnóstico das condições estruturais e funcionais de uma rodovia e assim fornecer subsídios para o projeto de reabilitação quando necessário, é importante dividir cada trecho da rodovia avaliada em subtrechos homogêneos. A divisão do trecho em estudo em subtrechos estatisticamente homogêneos é indispensável na avaliação da capacidade de carga de um pavimento (PINELO, 1993).

A técnica de segmentação facilita a delimitação de trechos com características homogêneas e conseqüentemente a indicação de soluções ou intervenções na reabilitação do pavimento, partindo de uma melhor avaliação de parâmetros de análise que

representem realmente homogeneidade da condição da via.

Como parâmetros de análise podem ser considerados vários aspectos tais como a capacidade de suporte do subleito, o estado da superfície do pavimento existente, o volume de tráfego, as deflexões, entre outros.

O tratamento dos resultados obtidos, em particular as deflexões obtidas pelo deflectômetro de impacto, visa a obtenção das zonas com comportamento homogêneo e uniforme ao longo do trecho em estudo e permite uma análise estrutural e de alternativas de restauração mais racionais (SANTOS, 2009).

Para a determinação de segmentos homogêneos, é comum a utilização do método preconizado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO,1993), apresentado no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), denominado método das diferenças acumuladas. Este método pode ser aplicado para os vários parâmetros: deflexão, IRI, área trincada, etc. Também existem outros métodos empíricos, que se baseiam na análise visual da representação linear das características do trecho, por exemplo a DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94.

2.5.1.1 Método das Diferenças Acumuladas

O "Método das Diferenças Acumuladas" (*Analysis Unit Delineation by Cumulative Differences*), recomendado pela AASHTO (1993), é descrito a seguir:

1. Calcula-se o valor médio da deflexão para todo o trecho (D).
2. Calcula-se a diferença entre cada valor individual e o valor médio.
3. Calculam-se os valores acumulados destas diferenças.
4. Plota-se em um gráfico, nas abscissas as distâncias e nas ordenadas os valores acumulados das diferenças.

Cada variação de coeficiente angular da curva obtida indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, delimitando assim as extremidades dos segmentos homogêneos. Analiticamente considera-se:

Parâmetro médio (\overline{D}_i):

$$\overline{D}_i = \frac{D(i-1) + D_i}{2} \quad (6)$$

Área entre parâmetros levantados (A_i): Se caracteriza pela multiplicação do valor médio entre dois pontos levantados, de um determinado parâmetro em análise ($\overline{D_i}$), pela distância entre os dois pontos de levantamento do parâmetro (Δl_i).

$$A_i = \overline{D_i} \times \Delta l_i \quad (7)$$

Onde:

D_i = Parâmetro no ponto de levantamento i ;

Δl_i = distância entre dois pontos levantados.

Área acumulada (A_c):

$$A_c = \sum_{i=1}^n A_i \quad (8)$$

Distância acumulada (L_c):

$$L_c = \sum_{i=1}^n \Delta l_i \quad (9)$$

Diferença acumulada (Z_i):

$$Z_i = \sum A_i - \tan \alpha \sum \Delta l_i \quad (10)$$

Onde:

$$\tan \alpha = \frac{A_c}{L_c} \quad (11)$$

Plotam-se as diferenças acumuladas entre cada uma das leituras. Enquanto essas diferenças tem o mesmo sentido, sejam decrescentes ou crescentes, considera-se que aqueles pontos levantados fazem parte do mesmo subtrechos homogêneo. Quando há mudança de sinal destas diferenças, este ponto delimita o próximo subtrechos homogêneo, e assim sucessivamente, conforme ilustrado na Figura 9.

Como o trincamento obtido pelo LVCI é apresentado de forma contínua, em espaçamentos pré-determinados (normalmente de 20 m), o método da AASHTO (1993) também pode ser aplicado para obtenção de segmentos homogêneos. Isso é importante visto que podem ocorrer segmentos com diferentes graus de trincamento em um trecho

homogêneo em termos de deflexão. Sem a subdivisão, o trincamento médio seria resultante da fusão de um trecho pouco trincado com outro muito trincado, por exemplo. Assim, há um melhor refinamento da segmentação (Figura 10) e, por consequência, das soluções.

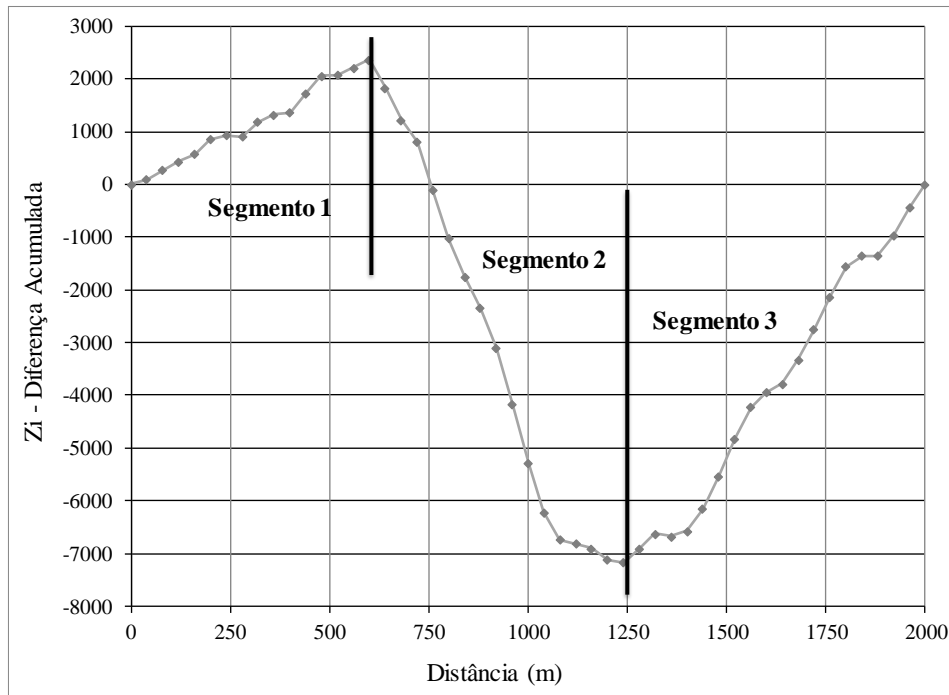


Figura 9 – Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas da AASHTO (BERNUCCI *et al.*, 2008)

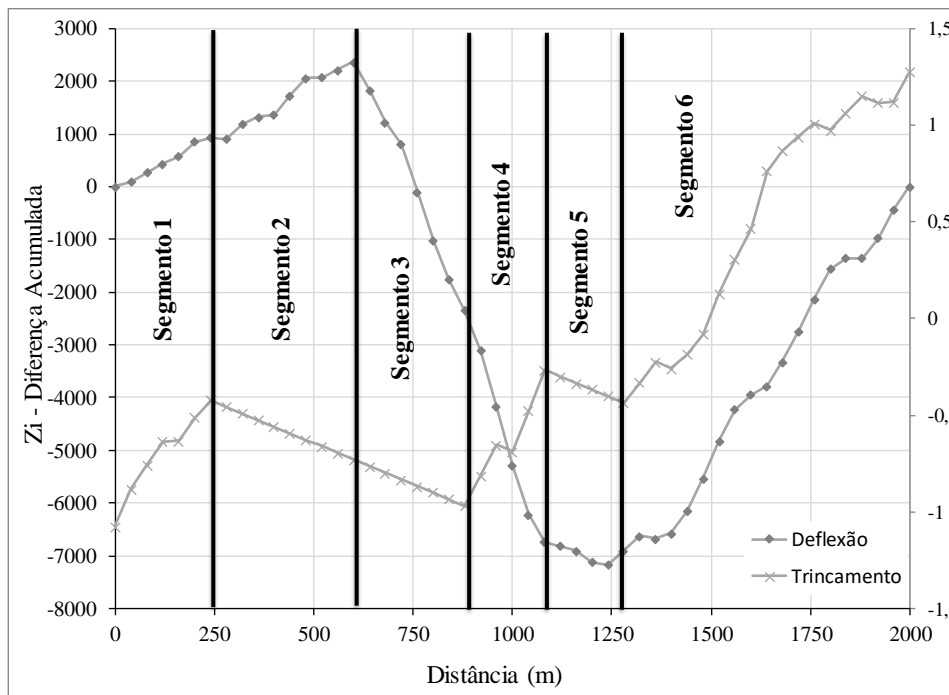


Figura 10 – Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas utilizando em conjunto 2 parâmetros para segmentação

2.5.2 Métodos Empíricos de Dimensionamentos de Reforços

De acordo com MEDINA e MOTTA (2015), dois métodos tiveram grande popularidade desde os anos 1960, embora tenham sido definitivamente normatizados somente no final dos anos 1970, que são:

- PRO 10/79 – procedimento A, elaborado pelo engenheiro Armando Martins Pereira; baseia-se no método do DER da Califórnia.
- PRO 11/79 – procedimento B, elaborado pelo engenheiro Francisco Bolivar Lobo Carneiro e equipe; baseia-se no método de Celestino Ruiz, pesquisador argentino que o apresentou no Brasil em 1964.

O dimensionamento em si é precedido de deflectometria, inventário dos defeitos, sondagens, retirada de amostras e ensaios. Faz-se o tratamento estatístico das deflexões do trecho homogêneo; toma-se a deflexão característica como igual à média aritmética mais um desvio padrão. Calcula-se o número previsto de repetições de carga do eixo padrão de 8,2 tf e verifica-se qual a parcela da espessura do atual revestimento pode ser incorporada à espessura de reforço calculada; leva-se em conta a natureza e extensão das trincas (MEDINA e MOTTA, 2015).

No PRO 159/85 (DNER, 1994c) apresentam-se alternativas de restauração em concreto asfáltico, tratamento superficial e lama asfáltica. Calcula-se o número estrutural do pavimento, que é o somatório dos produtos das espessuras das camadas por respectivos coeficientes de equivalência estrutural. Introduce-se o módulo resiliente do revestimento de concreto asfáltico a 30°C na determinação do seu coeficiente (na falta do valor do ensaio, adota-se o módulo de 30000 kgf/cm²). As camadas granulares e os solos do subleito têm seus coeficientes determinados em função do índice suporte CBR. O tráfego é representado pelo número de repetições de eixos de 8,2 tf convertendo os eixos por fator de equivalência próprios. O quociente de irregularidade, a deflexão e as áreas trincadas e desgastadas atuais são utilizados na previsão da evolução futura pelas curvas de desempenho em função do tráfego (MEDINA e MOTTA, 2015).

A PRO 269/94 (DNER, 1994) consiste de um método de cálculo de espessura de reforço estrutural que trata do dimensionamento de pavimento em função das características do subleito em termos de CBR e porcentagem de silte, espessura da camada granular e da deflexão medida pela Viga Benkelman. O método estabelece o

procedimento para determinação do diagnóstico preliminar do pavimento visando à determinação dos parâmetros de projeto, análise da condição do pavimento existente e dimensionamento do reforço do pavimento pelo critério de fadiga, limitando os solos de subleito a três grupos em função do CBR e da porcentagem de silte.

Pode-se concluir que os métodos PRO 10/79 – procedimento A e PRO 11/79 – procedimento B, utilizam uma análise deflectométrica, a PRO 159/85 tem seu processo através de uma análise da deficiência estrutural e funcional e a PRO 269/94 consiste em um procedimento para projeto de reforço de pavimentos flexíveis que leva em conta as características resilientes das camadas de pavimentos flexíveis e dos subleitos.

2.5.3 Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis para rodovias do DNIT

No ano de 2005 foi criado por Instrução de Serviço (IS), um programa que consolida todas as atividades de recuperação e manutenção de rodovias, como obras de recuperação estrutural e funcional dos pavimentos, serviços de manutenção de pistas e acostamentos e de conservação de faixa de domínio. Prevê-se seu tratamento por um período de sete anos, divididos em contrato de dois tipos: CREMA 1ª ETAPA, e CREMA 2ª ETAPA. Entretanto, somente em 2008 através da portaria nº 7 do Ministério dos Transportes foi criado o PROCREMA, consolidando os programas anteriores, adotando a modalidade de contratação sob o regime de empreitada global, vedando a realização de termos aditivos para alteração quantitativa ou qualitativa do projeto, e por fim prevendo a realização dos pagamentos mediante avaliação de desempenho. Todavia em 2011, por meio do Acórdão nº 3260/2011 em sessão plenária do Tribunal de Contas da União, foram alteradas as condições do programa, em especial a vedação de termos aditivos foi retirada da portaria (FONSECA e MOTTA, 2013).

As características básicas que diferenciam os dois tipos de contratos previstos no PROCREMA, são os prazos e as intervenções: de caráter funcional ou estrutural. No CREMA 1ª ETAPA corresponde a intervenções leves nos serviços de restauração no período de um ano, sendo o segundo ano para serviços de conservação. No CREMA 2ª ETAPA são intervenções de caráter funcional e também recuperação estrutural, fazendo uso de um catálogo de soluções de pavimentação elaborado pelo DNIT. O programa CREMA 2ª ETAPA estipula, em seu catálogo de soluções, uma vida útil de 10 anos para as soluções estruturais, considerando métodos de projetos de reforço tradicionais,

especialmente o DNER-PRO 11/79. Todavia solicita ao projetista que realize a comparação com o dimensionamento feito com o método DNER-PRO 269/94. Os principais parâmetros de dimensionamento são o índice de suporte Califórnia, quando se indica reconstrução e a deflexão máxima do pavimento quando é reforço. Os critérios de enquadramento dos segmentos neste catálogo levam em conta: faixas de Irregularidade Longitudinal (IRI); medidas de deflexão recuperável para o segmento homogêneo, avaliando a condição atual como abaixo ou acima da deflexão admissível de projeto (D_{adm}) em função do tráfego; faixas de índice de gravidade global (IGG); o volume médio diário (VMD) do tráfego e o número "N".

O CREMA 2ª ETAPA tem dois catálogos de soluções: um para revestimento em concreto asfáltico e outro para tratamentos superficiais. O catálogo (Tabela 2) consistia de uma matriz com 80 células para as quais eram previstos conjuntos de soluções, e não apresenta um histórico claro da sua configuração, sendo baseado no Catálogo SWAP fornecido pelo Banco Mundial. Este catálogo foi concebido com objetivo de fornecer ao órgão uma estimativa do nível de investimento necessário para restauração de sua rede, para o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) em nível de rede. A aplicação em nível de projeto não se sabe como foi decidida. Dos conjuntos de soluções de pista, seis conjuntos apresentam ainda a espessura do reforço variável, devendo ser aplicado cálculo de reforço do pavimento previsto na norma DNER-PRO 11/79 (FONSECA e MOTTA, 2013).

Conforme DNIT (2018), há sob administração e responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) 51.993,0 km de rodovias federais pavimentadas, sendo constante a cobrança por um planejamento dinâmico capaz de garantir a trafegabilidade continuada e a expansão necessária ao atendimento das demandas de transporte. Visando esta demanda, o DNIT tem em operação um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) para atender às necessidades do órgão em nível de planejamento rodoviário. O SGP foi idealizado visando à obtenção de um banco de dados que, ao ser periodicamente atualizado, permita a análise das condições da Malha Rodoviária Federal. O Banco de Dados do SGP é basicamente alimentado com os dados de tráfego, estrutura, deflexão, irregularidade e defeitos do pavimento de rodovias pavimentadas que estão sob a administração do DNIT. Tais informações subsidiam os dados de entrada de um catálogo de soluções que visa indicar a solução proposta (COSTA e MORAES, 2015).

Conforme COSTA e MORAES (2015), em abril de 2015 foi aprovado pela diretoria colegiada do DNIT um Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis para rodovias do DNIT, a ser empregado no âmbito do planejamento rodoviário. A conceituação de um novo catálogo de soluções, em substituição ao de Soluções Técnicas do ano de 2001/2002 se fez necessário devido a fatores como o crescimento do volume de tráfego, a utilização de novas técnicas construtivas e a necessidade de adequar os padrões de conforto e rolamento aos critérios atuais de projeto e recebimento de obra.

O catálogo foi elaborado de acordo com a norma DNER-PRO 11/79 “Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - Procedimento B e com o Manual de Soluções Técnico-Gerenciais para Rodovias Federais. Também foram realizadas análises contemplando a norma DNER-PRO 269/94 “Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV”, para verificação da sensibilidade a outro método de dimensionamento de reforço estrutural – em complementação à PRO 11/79, bem como o critério de correção de irregularidade da norma DNER-PRO 159/85 “Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semirrígidos” (CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP, 2015).

O catálogo de soluções gerenciais para a manutenção dos trechos pavimentados está fundamentado em parâmetros de tráfego (VM_{Dc}), na condição estrutural (D_c e D_{adm}) e na condição funcional dos pavimentos (IRI e Área Trincada).

Segundo COSTA e MORAES (2015), o levantamento de campo para determinação do índice de irregularidade longitudinal (IRI) e do valor do afundamento da trilha de roda (ATR) é executado conforme procedimento da Classe II (sem contato), seguindo a classificação do “HPMS Field Manual” por meio de sensores a laser. Simultaneamente, são registradas imagens de alta resolução, a uma velocidade máxima de 60 km/h, com tolerância de 10%. A partir das imagens adquiridas em campo tem-se o inventário informatizado da superfície do pavimento e então é possível a realização, com uma equipe treinada em escritório, do levantamento visual contínuo de defeitos (LVC).

De acordo com o CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP (2015), a matriz de solução deve ser analisada a partir da correspondência entre os parâmetros de tráfego, os parâmetros deflectométricos e os parâmetros funcionais. A elaboração da matriz com as faixas escolhidas para cada tipo de parâmetro tem o objetivo da obtenção da solução mais compatível e adequada para cada cenário ou segmento estudado. Na Tabela 3 é

apresentada a matriz de soluções, sendo as siglas referentes às seguintes soluções:

- Mi: Micro revestimento asfáltico a frio;
- H"X": Reforço estrutural em concreto asfáltico com "X" cm de espessura;
- Hpol"X": Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com "X"cm de espessura;
- REP: Reperfilagem com aplicação de concreto asfáltico com 2cm de espessura;
- FS: Fresagem contínua e 5cm de espessura com reposição em 5cm em concreto asfáltico;
- FSp: Fresagem parcial - descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico;
- TSD: Tratamento superficial duplo;
- TSDpol: Tratamento superficial duplo com emulsão modificada por polímero;
- REC"X": Reconstrução, em que "X" varia de 1 a 5, ou seja, em cinco cenários distintos das soluções de reconstrução - em conformidade com o catálogo sugerido para pavimentos novos.

Tabela 2 – Catálogo de soluções de pavimentação do CREMA 2ª ETAPA - Concreto Betuminoso (DNIT, 2008)

IRI	N (USACE)	IRI<=3				3 < IRI <= 4				4 < IRI <= 5,5				IRI > 5,5			
		IGG <= 20	IGG > 20	IGG <= 20	IGG > 20	IGG <= 60	IGG > 60	IGG <= 60	IGG > 60	IGG <= 100	IGG > 100	IGG <= 100	IGG > 100	IGG <= 150	IGG > 150	IGG <= 150	IGG > 150
VMD < 1000	< 6,9E+06	Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm	
		LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + Micro(1,5)	F5(20%) + Micro(1,5)	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + Micro(1,5)	F5(30%) + REP + Micro(1,5)	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC5
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+ TSD	
1000 ≤ VMD < 2000	≥ 6,9E+06 < 1,43E+07	Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm	
		LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + Micro(1,5)	F5(20%) + Micro(1,5)	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + Micro(1,5)	F5(30%) + REP + Micro(1,5)	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC7
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+ TSD	
2000 ≤ VMD < 3000	≥ 1,43E+07 < 2,14E+07	Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm	
		LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + H3	F5(20%) + H3	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + H3	F5(30%) + REP + H3	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC8
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+ TSD	
3000 ≤ VMD < 5000	≥ 2,14E+07 < 3,57E+07	Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm	
		LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + H3	F5(20%) + H3	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + H3	F5(30%) + REP + H3	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC9
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+ TSD	
VMD ≥ 5000	≥ 3,57E+07	Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm		Defi<=Dadm		Defi>Dadm	
		LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + H3	F5(20%) + H3	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + H3	F5(30%) + REP + H3	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC10
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+ TSD	

Nota:

- FR5 = fresagem de 5cm
- F5 = fresagem + reposição de 5cm
- REP = reperfilagem com massa fina de CBUQ e= 2cm
- LG = lama asfáltica grossa
- Micro = micro revestimento asfáltico em duas camadas (1,5cm)
- TSDpol = tratamento superficial duplo c/ polímero
- REC e = reconstrução através de reciclagem de Base+ revestimento com espessura de CBUQ = e
- Reest. de base = reestabilização de base com adição de 10cm de material
- TSD = tratamento superficial duplo
- Hx = camada de CBUQ com espessura x, onde x = 40 log DP/Dadm

Tabela 3 – Catálogo de soluções do DNIT (CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP, 2015)

Tráfego		VMDe ≤ 800		800 < VMDe ≤ 1600			1600 < VMDe ≤ 2400				2400 < VMDe ≤ 3200				VMD > 3200			
Estrutura		Dc/Dadm ≤ 1,1	Dc/Dadm > 1,1	Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	Dc/Dadm > 1,5	Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2	Dc/Dadm > 2
IRI ≤ 2,5 m/km	TR ≤ 10	Mi	H4	Mi	H4	H7	Mi	H4	H9	H10	Mi	H4	Hpol8	Hpol10	Mi	Hpol4	Hpol8	Hpol10
	TR > 10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H7	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H9	FSp+H10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10	FSp+Hpol4	FSp+Hpol4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10
2,5 m/km < IRI ≤ 4m/km	TR ≤ 10	REP+TSD	H4	H4	H4	H7	H4	H4	H9	H12	H4	H4	Hpol8	Hpol10	Hpol4	Hpol4	Hpol8	Hpol10
	TR > 10	FSp+REP+TSD	FSp+REP+H4	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H7	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H9	REC4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+Hpol8	REC4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol8	REC6
IRI > 4 m/km	TR ≤ 10	REP+H4	REP+H4	REP+H5	REP+H6	REP+H8	REP+H5	REP+H6	REP+H10	REC4	REP+H5	REP+H6	REC4	REC4	REP+Hpol5	REP+Hpol6	REC5	REC6
	TR > 10	FS3+TSD+H4	FS5+TSD+H6	FS5+TSD+H5	FS5+TSD+H6	REC3	FS5+TSDpol+H5	FS5+TSDpol+H6	REC4	REC4	FS5+TSDpol+H5	FS5+TSDpol+H6	REC4	REC4	FS5+TSDpol+Hpol4	REC5	REC5	REC6

2.5.4 Método Mecanístico-Empírico

Por um longo período de tempo, desde os anos 1950, o critério de deflexão máxima que atua sob a carga das rodas foi o principal parâmetro para a avaliação estrutural e o dimensionamento de reforço dos pavimentos (MEDINA e MOTTA, 2015).

MOTTA (1991) apresentou em sua tese de doutorado um método mecanístico de dimensionamento de pavimentos flexíveis, com o procedimento seguinte: adota-se uma estrutura inicial, define-se a variabilidade dos dados e o nível de confiabilidade a ser utilizado no projeto. A análise mecanística é efetuada utilizando-se um programa computacional, usando um modelo elástico linear para o revestimento asfáltico e elástico não-linear para as camadas subjacentes, verificando-se as tensões e deformações e comparando-as com critérios de aceitação pré-estabelecidos. Caso algum critério não seja satisfeito, as espessuras e/ou camadas são alteradas e os cálculos refeitos. Os critérios que podem ser adotados são os seguintes: deflexão máxima admissível na superfície; diferença de tensões no revestimento; tensão vertical admissível no topo do subleito; tensão e deformação de tração na fibra inferior do revestimento.

Na Figura 11 é apresentado o fluxograma com os passos do dimensionamento mecanístico-empírico apresentado por MOTTA (1991), sendo comum a vários métodos.

O fluxograma mostra como dados de entrada (fatores ambientais, tráfego, materiais e técnicas construtivas), o processamento por via mecanística e os critérios de decisão que são as formas de se evitar que a degradação por qualquer um dos mecanismos de ruptura atinja valores maiores que os estabelecidos para determinado trecho da rodovia, antes que o número “N” de projeto seja alcançado. No dimensionamento parte-se de espessuras admitidas e calcula-se o estado de tensões e deformações que se comparam a valores limites estabelecidos (MEDINA e MOTTA, 2015).

Como dado de entrada para os softwares de dimensionamento mecanístico-empírico, é necessário obter o módulo de elasticidade de cada camada do pavimento, que governa a característica elástica dos materiais. O módulo pode ser obtido por ensaios ou por programas de retroanálise de bacias deflectométricas (FONSECA, 2013).

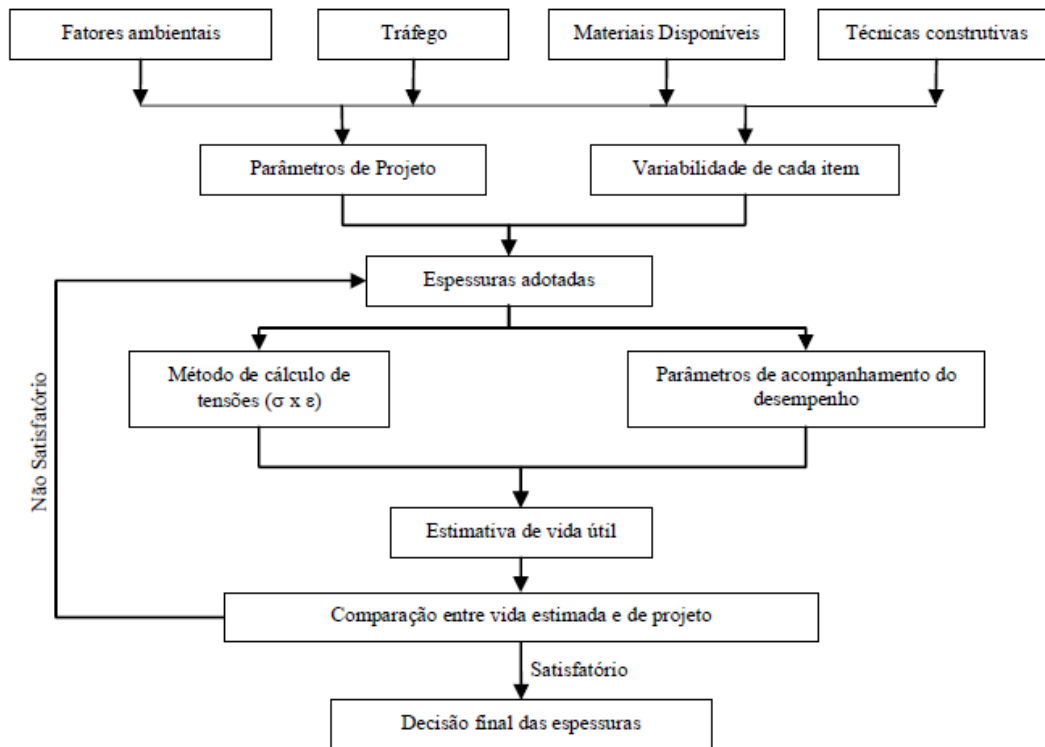


Figura 11 – Fluxograma do método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos (MOTTA, 1991)

De acordo com MEDINA e MOTTA (2015), um método mecânico completo de dimensionamento de reforço de pavimentos asfálticos, segue os seguintes passos:

- determinar no trecho a ser restaurado, as bacias de deflexão, com frequência adequada para representar convenientemente a situação estrutural do segmento homogêneo, usando medidas com precisão adequada, por Falling Weight Deflectometer (FWD) ou viga Benkelman automatizada;
- utilizar um programa confiável para retroanálise das bacias deflectométrica, do qual se conheçam os princípios e métodos de cálculo, para inferir os módulos de trabalho das camadas e do subleito;
- utilizar um programa de cálculo de tensões e deformações no qual serão usados os módulos retroanalizados e as espessuras das camadas para calcular as tensões e deformações críticas na camada de reforço;
- comparar as tensões e deformações calculadas com valores admissíveis em função do tráfego de projeto, e estabelecer a espessura de reforço necessária;
- pode-se simular também processos de reciclagem, com ou sem adição de novos materiais e espessura adicional.

2.5.4.1 MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

FRANCO (2007) em sua tese de doutorado, desenvolveu um método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos, na COPPE/UFRJ, utilizando análise elástico-linear e a elástico não linear, sendo os danos estimados por modelos de previsão de fadiga, deformação permanente e deformação máxima admissível no topo do subleito. Para permitir a calibração, validação e, posteriormente, seu uso, o método foi consolidado em um software computacional denominado SisPav. Em 2013, uma versão atualizada foi denominada de SisPavBR, e através do Termo de Execução Descentralizada celebrado de 2015 a 2018 entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, foi denominado Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). O método recebeu o acrônimo de MeDiNa em uma bela e merecida homenagem ao professor titular aposentado da COPPE/UFRJ Jacques de Medina.

O MeDiNa é um software que realiza a verificação e o dimensionamento mecanístico-empírico de estruturas de pavimentos, por meio da rotina AEMC “Análise Elástica de Múltiplas Camadas”. Esta rotina calcula tensões e deformações em estruturas de pavimentos sob carregamento de rodas do tipo eixo padrão rodoviário e aplica modelos de fadiga e deformação permanente para ajustar as espessuras das camadas (FRANCO, 2018).

A análise de uma estrutura de pavimento ou mesmo o seu dimensionamento requer um conjunto amplo de informações para que os resultados obtidos sejam confiáveis. As informações passam pelo conhecimento do subleito, como seu módulo e curva de deformação permanente. Outra informação que é chave para o correto funcionamento do software MeDiNa é a definição do Número Equivalente de Eixos, o número N. Os modelos utilizados no programa MeDiNa mostram-se sensíveis a pequenas variações do Número N, e, portanto, uma estimativa apurada é de grande importância para o sucesso do projeto (FRANCO, 2018).

O software MeDiNa tem sua interface dividida em abas, sendo denominadas: estrutura; modelagem e resultados. Ao iniciar o software, o mesmo sempre se apresenta na aba estrutura, onde são inseridas as informações de identificação do projeto; estrutura do pavimento; tráfego e painel onde o software registra o resumo dos resultados das

análises ou dos dimensionamentos. Antes de preencher os dados do projeto, define-se em qual modo o programa irá tratar os dados. Na versão utilizada apenas dois modos estão disponíveis:

- Pavimento Novo (Nível 1): Modo para elaboração de projetos de pavimentos novos no nível de projeto 1, onde as propriedades das camadas são obtidas por ensaios de laboratório.
- Projeto de Reforço: Modo para elaboração de projeto de reforço, onde as propriedades das camadas existentes são obtidas por meio de retroanálise de bacias deflectométricas.

O modo reforço exige do projetista a entrada dos valores retroanalizados de bacias de campo obtidas com equipamento tipo FWD, pode-se importar as bacias retroanalizadas do BackMeDiNa na opção Importar Retroanálise ou preencher os dados manualmente. Após a importação, o projetista deverá concluir o preenchimento dos dados da camada asfáltica existente, com os dados de percentual de área trincada, IRI, e idade do pavimento, para permitir o programa rodar as análises ou o dimensionamento.

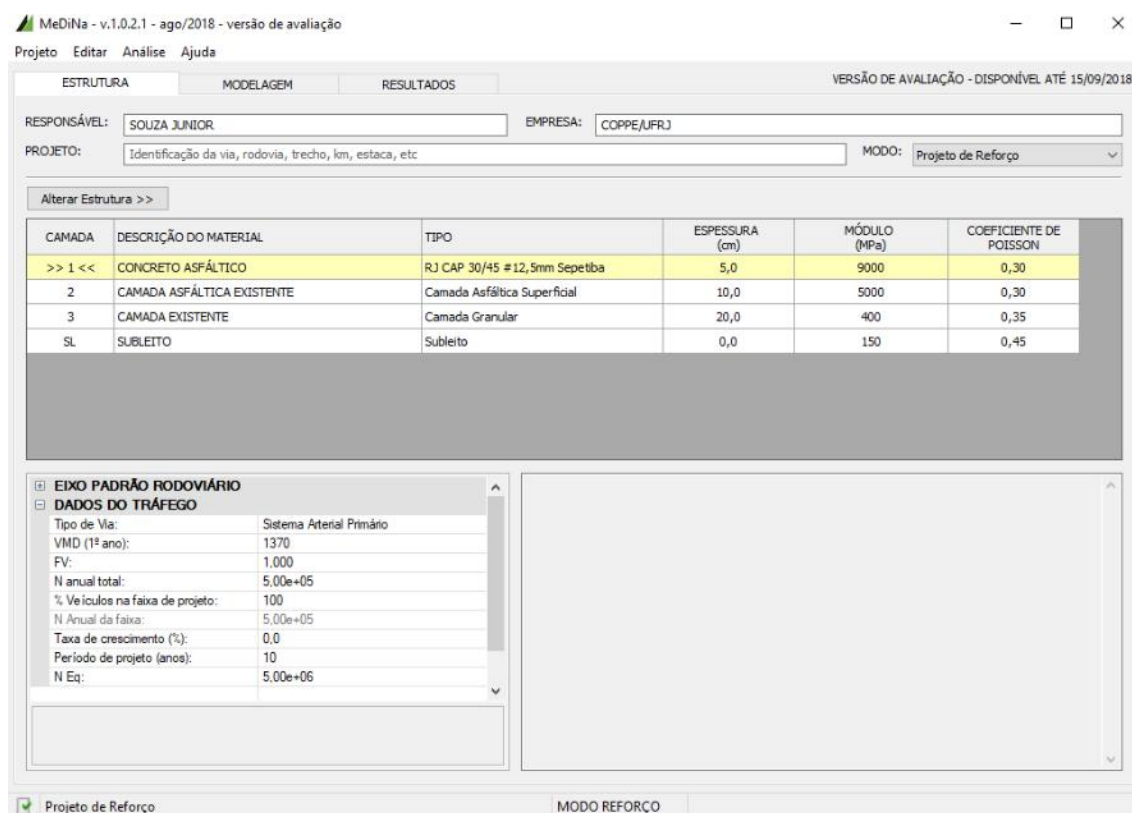


Figura 12 – Tela inicial software MeDiNa, (FRANCO, 2018)

A tela inicial do software pode ser visualizada na Figura 12, apresentando uma

estrutura inicial composta por quatro camadas, incluído o subleito, podendo ser adicionadas ou retiradas camadas da estrutura (são permitidas, no mínimo três e, no máximo, oito camadas, contando com o subleito), bem como alterar o tipo de material que a camada é constituída. Na tabela que exibe a estrutura do pavimento são apresentadas informações resumidas das propriedades de cada uma das camadas da estrutura do pavimento, como: material constituinte e o tipo selecionado, espessura, módulo de resiliência (se linear ou sigmoidal), e coeficiente de Poisson.

Segundo FRANCO (2018), o eixo padrão rodoviário (Figura 13) é o eixo utilizado nas análises e no dimensionamento das estruturas de pavimento. Essa consideração foi definida em função da calibração dos modelos de fadiga, que se baseou na comparação da evolução da área trincada com o número estimado de passagens do eixo padrão. O software pode ser utilizado para calcular automaticamente o número equivalente de passagens do eixo padrão rodoviário. Este pode ser obtido a partir do volume médio diário (VMD) em conjunto com o fator de veículo (FV). A partir destes dois valores, o software MeDiNa calcula o número anual equivalente de eixos (N anual) automaticamente. Caso o projetista já tenha o N anual, ele pode entrar direto com o valor na caixa correspondente.



Figura 13 – Eixo padrão rodoviário assumido no software MeDiNa, (FRANCO, 2018)

De acordo com FRANCO (2018), há a necessidade de se informar o tipo de via a ser analisado ou dimensionado. A cada tipo incide um critério de parada do dimensionamento, bem como os graus de confiabilidade das análises realizadas pelo MeDiNa. Os diferentes tipos de vias foram definidos em conformidade com a hierarquia dos sistemas funcionais publicada pelo DNIT. A Tabela 4 resume os critérios e a confiabilidade de cada tipo de via.

Tabela 4 – Critérios de parada e confiabilidade das análises realizadas pelo MeDiNa, (FRANCO, 2018)

Tipo de Via	Confiabilidade	Área Trincada	Deformação Permanente
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Local	65%	30%	20mm

A análise ou dimensionamento dos pavimentos pode ser realizada após inserido todos os dados da estrutura e do tráfego. Para se realizar uma análise pura do comportamento da estrutura com o tráfego, basta clicar a tecla de atalho F3, ou ir no menu *Análise* e clicar na função *Analizar Estrutura*. A análise realiza os cálculos e verifica os critérios de área trincada e/ou deformação permanente, sem alterar a espessura da camada selecionada. No final, apresenta um resumo que pode ser avaliado pelo projetista. Para realizar o dimensionamento da estrutura, basta clicar a tecla de atalho F2, ou ir no menu *Análise* e clicar na função *Dimensionar*, após selecionar a camada que se deseja dimensionar.

No modo *Reforço* apenas a camada asfáltica nova poderá ser dimensionada. Nesta opção, o programa irá realizar diversas análises, alterando a espessura da camada marcada, de forma a atender primeiramente o critério da fadiga. Nesse estágio o software irá aumentar ou diminuir as espessuras determinando a melhor espessura para atender o critério máximo permitido de Área Trincada. A análise de fadiga ocorre nos dois modos do software. No *Reforço* a área trincada é o único critério considerado. No modo *Projeto Novo*, o MeDiNa continua o dimensionamento verificando a estrutura pelo critério da deformação permanente total. Caso o critério da deformação permanente não seja atendido, o software MeDiNa aumenta gradativamente a espessura da camada marcada, em intervalos fixos (0,5cm em camadas asfálticas e 1cm nas demais camadas), até que o critério em questão ser atendido (FRANCO, 2018).

Conforme FRANCO (2018), sendo realizada a análise da estrutura ou o

dimensionamento, a aba resultados fica disponível e os relatórios ficam disponíveis para consulta, podendo ser explorado três tipos de relatórios, sendo eles: Evolução Mensal de Danos; Resumo da Deformação Permanente e Bacias de Deflexão e Relatório Completo de Análise, descritos a seguir.

- Evolução Mensal de Danos: apresenta os resultados do comportamento da área trincada, da deformação permanente total e do Módulo Sigmoidal quando houver camadas cimentadas na estrutura;
- Resumo da Deformação Permanente e Bacias de Deflexão: apresenta um resumo da deformação permanente na estrutura ao fim do período de análise, com a contribuição de cada camada na deformação permanente total;
- Relatório Completo de Análise: apresenta todas as informações utilizadas no dimensionamento ou na análise da estrutura.

É possível que o programa não consiga dimensionar a estrutura, nestes casos o software emite alguns alertas ao projetista, indicando as situações (Figura 14):

Em relação ao modo Projeto Novo:

1. a espessura atingiu o máximo permitido para a análise (15cm para as camadas asfálticas e 40cm para as demais);
2. a camada apresentou deformação permanente acima do limite de 5% da sua espessura;
3. o Subleito apresentou deformação permanente acima do limite de 5mm; e
4. a camada abaixo da camada estabilizada possui uma deflexão superior a 70 (0,01mm).

Em relação ao modo Reforço:

1. a espessura atingiu o máximo permitido para a análise (15cm para as camadas asfálticas).

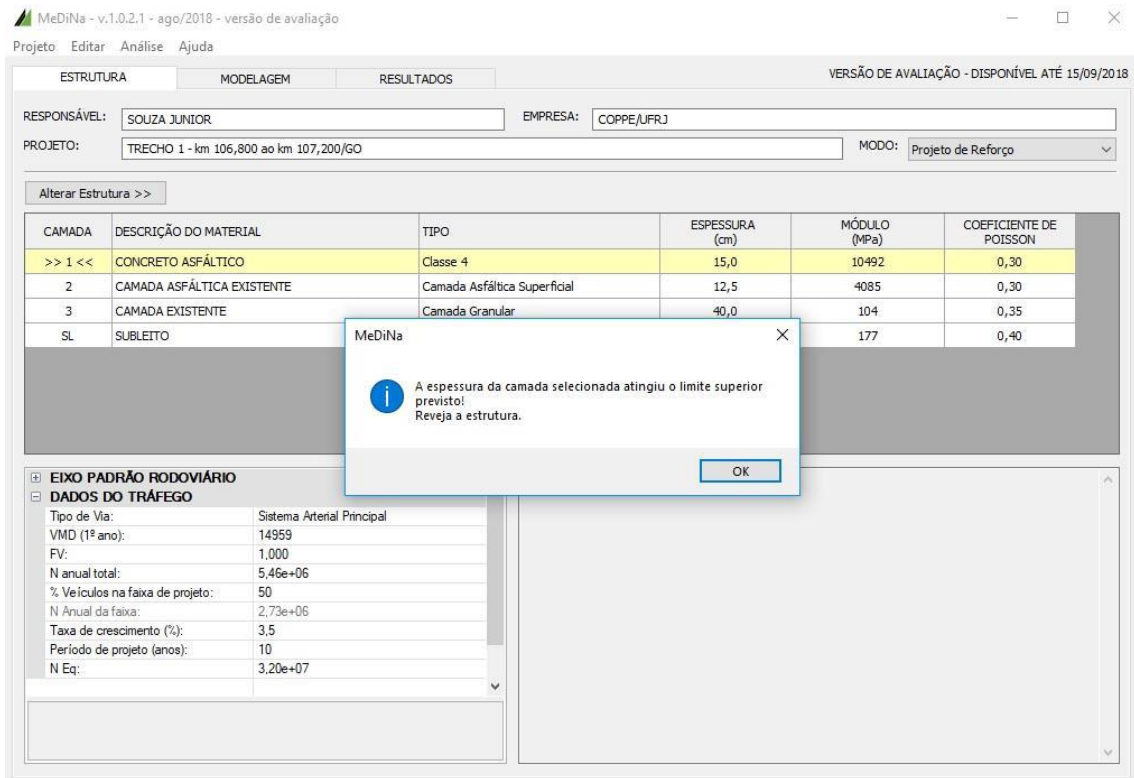


Figura 14 – Exemplo de alerta mostrado pelo software MeDiNa

3 METODOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA DESTA PESQUISA

3.1 MÉTODO

Visando o estudo dos pavimentos que compõem sua malha rodoviária, a concessionária responsável pela BR-040, trecho que vai de Brasília/DF a Juiz de Fora/MG, implantou ao longo de sua extensão vinte trechos para estudo detalhado de seus pavimentos, denominados Unidades de Amostragem (UAs).

Para este objetivo, vem sendo realizado o acompanhamento dos trechos, através de ensaios para verificação das condições funcionais e estruturais, bem como aderência dos pavimentos, onde a cada campanha realizada os novos dados são inseridos no banco de dados da rodovia.

O autor da presente pesquisa presta serviços em uma empresa de consultoria em geotecnia de pavimentos e encostas, que desenvolveu trabalhos junto à concessionária Via040, que gentilmente cedeu os dados de levantamentos realizados em treze segmentos estudados em seu trecho rodoviário. Com esses dados, foi aplicado o novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional), em projetos de reforço de pavimentos de segmentos desta rodovia federal de alto tráfego.

A Figura 15 apresenta o fluxograma da metodologia adotada no trabalho, através dos seguintes procedimentos:

- a) Coleta e organização dos dados referentes aos trechos em estudo, a partir do banco de dados da concessionária responsável pela rodovia, sendo esses dados: avaliação da condição de superfície e inventário do estado de superfície do pavimento; condição estrutural (deflexão) – FWD; índice da irregularidade longitudinal – IRI; contagem classificatória e direcional de tráfego; janelas de inspeção e ensaios;
- b) Enquadramento dos trechos analisados no catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis do DNIT (Tabela 3), verificando as soluções sugeridas;

- c) Pré-análise da condição das camadas do pavimento através de parâmetros empíricos indicadores da condição da estrutura do pavimento (RC), e das camadas de revestimento (SCI), base (BDI) e subleito (BCI);
- d) Obtenção dos módulos de elasticidade (MR) dos materiais existentes nos pavimentos analisados por retroanálise, através do software BackMeDiNa;
- e) Verificação da vida útil das soluções indicadas pelo catálogo do DNIT através do método mecanístico-empírico MeDiNa, onde a estrutura é analisada através de critérios de fadiga e deformação permanente;
- f) Verificando que a solução indicada pelo catálogo do DNIT não atendeu a vida útil de projeto de 10 anos, foi realizado o dimensionamento do reforço e das reconstruções pelo método MeDiNa.

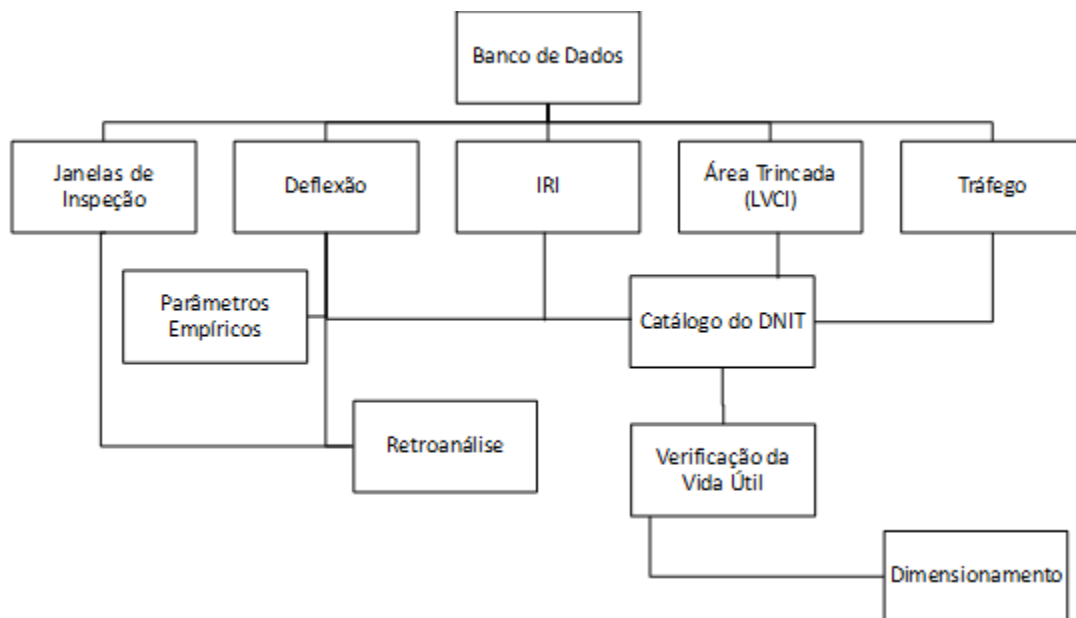


Figura 15 – Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa

3.2 DEFINIÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS DE ESTUDO

Os estudos de definição dos segmentos homogêneos (SH) foram realizados utilizando o procedimento do Método das Diferenças Acumuladas da AASHTO (1993), seguindo o descrito em KOHLER *et al.* (2006) e ALBUQUERQUE (2007), fazendo hierarquização das características e condições da rodovia. A definição dos SH foi realizada pela aplicação do critério de hierarquia (SILVA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016) na seguinte ordem: Unidade de Federação → Região Climática → Geomorfologia →

Tráfego → Deflexão → Trincamento → Estrutura do Pavimento → Afundamento de Trilha de Roda → Irregularidade Longitudinal (IRI).

Para tanto foram estabelecidas classes para os parâmetros que refletem os mecanismos de deterioração dos pavimentos – Deflexão, Trincamento, Afundamentos em Trilha de Roda, Irregularidade Longitudinal e espessura da camada de revestimento (Tabela 5 a Tabela 9). As classes foram definidas em conformidade com o recomendado pelos manuais do HDM-4 e do DNIT (IPR-745, 2011).

A segmentação homogênea da rodovia foi desenvolvida usando os dados referentes à faixa mais solicitada, sempre no sentido crescente da quilometragem considerando o sentido sul da rodovia, Brasília/DF – Rio de Janeiro/RJ.

Tabela 5 - Classes de deflexão (VIA040, 2016)

Deflexão Máxima (D₀) (0,01 mm)
D ₀ ≤ 50 - Ótimo
50 < D ₀ ≤ 70 - Bom
70 < D ₀ ≤ 100 - Regular
D ₀ > 100 - Ruim

Tabela 6 - Classes de trincamento (VIA040, 2016)

Porcentagem Total de Área Trincada (%)
TR=0% - Ótimo
0 < TR < 5% - Bom
5% ≤ TR < 25% - Regular
25% ≤ TR < 35% - Ruim
TR ≥ 35% - Péssimo

Tabela 7 - Classes de irregularidade longitudinal (VIA040, 2016)

IRI (m/km)
IRI < 3 - Bom
3 ≤ IRI < 4 - Regular
4 ≤ IRI < 5,5 - Ruim
IRI ≥ 5,5 - Péssimo

Tabela 8 - Classes de afundamento em trilhas de roda (VIA040, 2016)

ATR (mm)
$0 \leq \text{ATR} < 2$ - Ótimo
$2 \leq \text{ATR} < 5$ - Bom
$5 \leq \text{ATR} < 15$ - Regular
$15 \leq \text{ATR} < 25$ - Ruim
$\text{ATR} \geq 25$ - Péssimo

Tabela 9 - Classes referente a espessuras da camada asfáltica (VIA040, 2016)

Espessura da Camada Asfáltica (cm)
$\text{CA} \leq 10$
$10 < \text{CA} \leq 15$
$15 < \text{CA} \leq 20$
$\text{CA} > 20$

Com a segmentação homogênea levando em conta todos os parâmetros, chegou-se a segmentação final de todo o trecho da rodovia, encontrando 634 segmentos homogêneos, podendo na Tabela 10 verificar quantos segmentos foram obtidos por unidade de federação. Visando o estudo dos pavimentos que compõem sua malha rodoviária, a concessionária responsável pela BR-040, trecho que vai de Brasília/DF a Juiz de Fora/MG, implantou vinte trechos para estudo detalhado, denominados Unidades de Amostragem (UAs), sendo 2 UAs implantadas no estado de Goiás e 18 no estado de Minas Gerais.

Tabela 10 - Relação do número total de segmentos homogêneos e UAs obtidos por Unidade de Federação (VIA040, 2016)

UF	Extensão (km)	Segmentos Homogêneos (Unidade)	Unidades de Amostragem (UAs)
DF	8,40	11	0
GO	157,30	138	2
MG	771,10	485	18
Total	936,80	634	20

As UAs são trechos considerados representativos das características e condições de um conjunto de segmentos homogêneos, que, estudados em detalhes, servem para melhorar o nível de compreensão do comportamento do pavimento. Em cada UA é possível acompanhar a evolução de suas condições funcionais e estruturais ao longo do tempo e melhorar a avaliação dos comportamentos e do desempenho dos pavimentos.

As UAs foram implantadas na faixa mais solicitada, sempre no sentido crescente da quilometragem da rodovia. O critério de escolha dos segmentos homogêneos onde foram materializadas as UAs na rodovia, foi o de representar através das características das UAs o máximo de segmentos homogêneos da rodovia. Para a materialização das UAs na rodovia, e foi utilizado um critério de que cada uma tivesse uma extensão de 400 metros, em tangente, com boa visibilidade, visando garantir segurança à equipe técnica participante dos estudos realizados e dos usuários da rodovia.

Na presente dissertação, das vinte UAs definidas pela concessionária, foram selecionadas treze para os estudos do dimensionamento de reforço. Essas treze UAs estão listadas na Tabela 11 e foram escolhidas por apresentarem todos os dados necessários, como deflexão, IRI e estrutura do pavimento por poços de sondagem.

Tabela 11 – UAs selecionadas para o estudo nesta dissertação

Trecho	Segmento Homogêneo			L (m)	UF
	km inicial	km	final		
1	106,800	107,200	400	GO	
2	51,865	52,265	400	MG	
3	83,800	84,200	400	MG	
4	153,050	153,450	400	MG	
5	337,800	338,200	400	MG	
6	407,450	407,850	400	MG	
7	574,400	574,800	400	MG	
8	644,570	644,970	400	MG	
9	631,350	631,750	400	MG	
10	708,450	708,850	400	MG	
11	728,300	728,700	400	MG	
12	768,800	769,200	400	MG	
13	743,250	743,650	400	MG	

3.3 CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA

A atual BR-040 foi efetivada pelo Plano Nacional de Viação em 1973. A redação inicial do Plano, em 1964, estabelecia a rodovia entre Brasília (DF) e São João da Barra (RJ). Após uma revisão, o trecho entre Belo Horizonte e São João da Barra passou a fazer parte da BR-356, sendo incluído na BR-040 o trecho até o Rio de Janeiro, inicialmente parte da BR-135, totalizando uma extensão de 1175,5 quilômetros. Em 1 de fevereiro de 1957 foi inaugurada a pavimentação do trecho entre Juiz de Fora e Belo Horizonte, este trecho corresponde aproximadamente ao traçado do Caminho Novo aberto no século XVIII, sendo na década de 1930 retificado até Belo Horizonte. Já o trecho de Belo Horizonte a Brasília teve sua inauguração no ano de 1959 (BR-3 PROJETOS, 2011).

Em 1982 a rodovia foi duplicada de Belo Horizonte até o trevo da BR-356 (para Ouro Preto), de Alfredo Vasconcelos até Serra da Mantiqueira, próximo à cidade de Santos Dumont, passando por todo território de Barbacena, e alargada até Juiz de Fora, exceto trechos em pontes e viadutos, sendo que desde meados da década de 1990 diversos trechos estão sendo duplicados. Foram lançadas pelo Governo Federal em janeiro de 2007 as obras de duplicação do trecho entre Sete Lagoas e o entroncamento da BR-135, ao todo foram 48 km duplicados com duas faixas de cada lado e separação por canteiros.

Em dezembro de 2013, o trecho da BR-040 entre Brasília/DF e Juiz de Fora/MG foi concedido à Concessionária BR-040 S/A, mais conhecida como Via040, que tem controle acionário pertencente ao grupo Invepar (Investimentos e Participações em Infraestrutura S.A.), que será responsável, pelo período de 30 anos, pela recuperação, operação, manutenção, conservação, implantação de melhorias e ampliação da rodovia.

Com uma extensão de 936,8 km, o trecho da BR-040, entre Brasília/DF e Juiz de Fora/MG (Figura 16), interliga duas importantes regiões do país, o Centro Oeste ao Sudeste, e se destaca pela relevância estratégica para o desenvolvimento da economia brasileira. Inúmeras empresas nacionais e estrangeiras instaladas às margens da rodovia, ou em cidades próximas, vêm fazendo altos investimentos na ampliação de suas unidades, com geração de empregos diretos e indiretos. A rodovia também faz ligação com outros importantes eixos produtores. Ao elevado volume de tráfego de caminhões, soma-se a movimentação de ônibus e veículos de passeio resultante de transportes que vão de negócios a turismo.

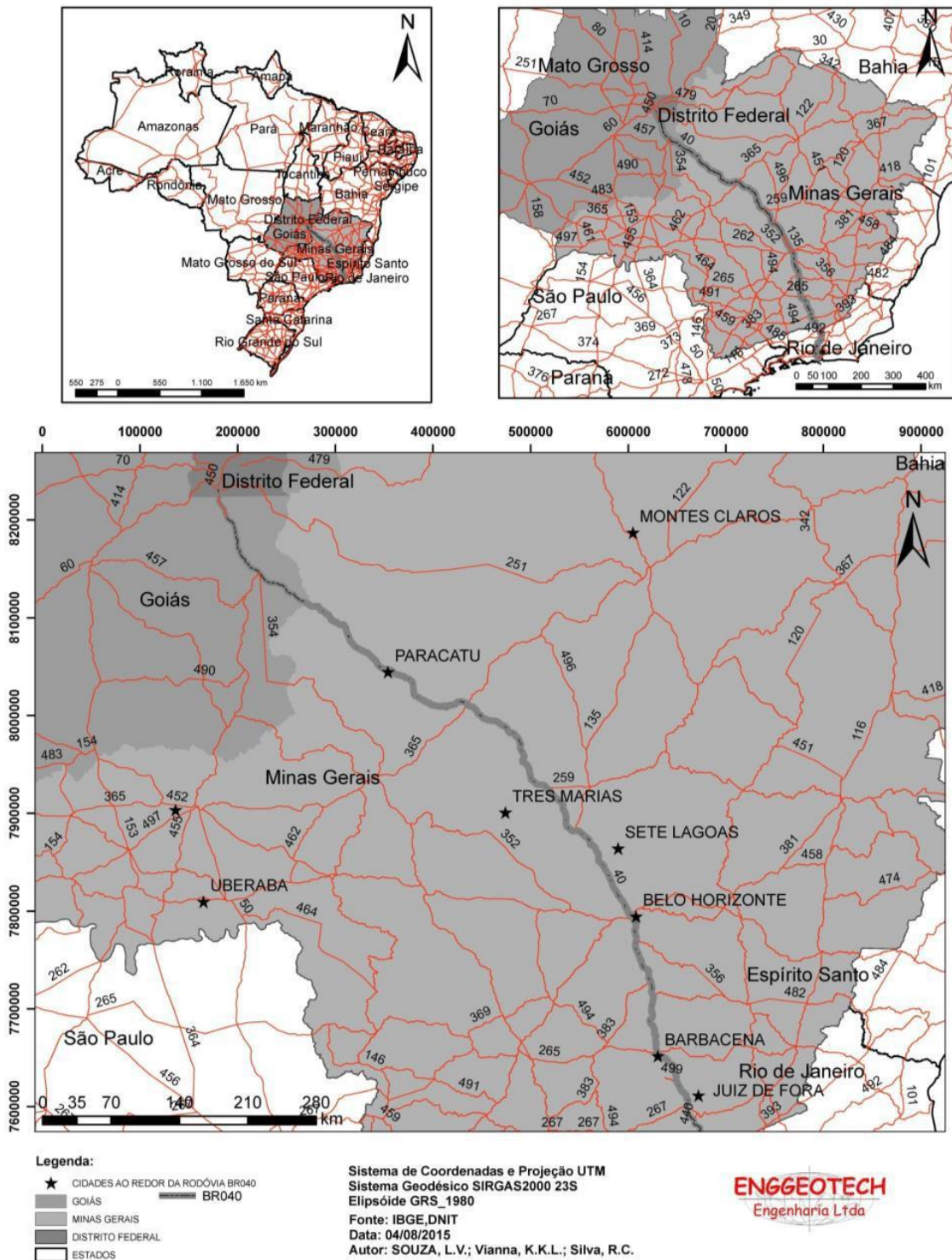


Figura 16 – Mapa de localização BR-040, Via040 trecho Brasília/DF a Juiz de Fora/MG (SOUZA *et al.*, 2015)

3.3.1 Clima

Por se tratar de uma rodovia de grande extensão, a Via040 intercepta áreas de diferentes regiões climáticas. Nas Tabela 12 e Tabela 13 é possível verificar os dados de precipitação e temperatura do ar ao longo dos meses do ano nas diferentes regiões

percorridas. A Figura 17 apresenta o eixo da Via040 sobre o mapa de clima do Brasil (IBGE, 2002), com indicação dos quilômetros das divisas de zonas climáticas. A Via040 intercepta 14 zonas climáticas.

Tabela 12 - Precipitação ao longo da extensão da Via040 (INMET, 2016)

Localidade	Precipitação (mm)																
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd Anual	Máx Prec	Mín Prec	Mês	
Juiz de Fora/MG	300	217	198	107	65	34	27	16	50	112	191	327	137	327	Dez	16	Ago
Barbacena/MG	264	187	142	67	39	24	21	23	64	124	220	262	120	264	Jan	21	Jul
Belo Horizonte/MG	296	188	163	61	28	14	16	14	40	123	228	319	124	319	Dez	14	Ago
Sete Lagoas/MG	289	161	133	53	26	10	14	10	33	116	217	266	111	289	Jan	10	Ago
Três Marias/MG	104	72	116	1	42	1	0	23	5	22	73	188	54	188	Dez	0	Jul
João Pinheiro/MG	272	193	159	68	21	5	10	7	34	159	231	280	120	280	Dez	5	Jun
Paracatu/MG	260	179	149	67	29	7	15	16	36	133	224	324	120	324	Dez	7	Jun
Cristalina/MG	243	211	227	101	31	5	7	16	46	129	232	275	127	275	Dez	5	Jun
Luziânia/GO	251	198	203	81	36	11	8	15	56	110	213	310	124	310	Dez	8	Jul
Brasília/DF	241	215	189	124	39	9	12	13	52	172	238	249	129	249	Dez	9	Jun

Os maiores volumes de precipitação aconteceram no verão, nos meses de dezembro e janeiro, já os menores volumes foram registrados no inverno, entre os meses de junho a agosto.

Tabela 13 - Temperatura do ar ao longo da extensão da Via040 (INMET, 2016)

Localidade	Temperatura do Ar (°C)															
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Máx Temp	Mín Temp	Mês	Mês
Juiz de Fora/MG	22,3	22,5	21,1	19,8	18,2	17,1	16,4	17,5	17,3	18,5	19,6	20,9	22,5	Fev	16,4	Jul
Barbacena/MG	20,3	20,6	20	18,3	16,4	15,2	14,7	16	17,1	18,3	19	19,5	20,6	Fev	14,7	Jul
Belo Horizonte/MG	22,8	23,2	23	21,1	19,8	18,5	18,1	19	21	21,9	22,2	22,2	23,2	Fev	18,1	Jul
Sete Lagoas/MG	22,9	23	22,8	21,2	19,3	17,9	17,5	19,3	20,9	22,1	22,1	22,3	23	Fev	17,5	Jul
Três Marias/MG	31,3	33,1	30,9	31,3	28,3	27,4	28,4	28,4	30,3	30,4	30,5	30,1	33,1	Fev	27,4	Jun
João Pinheiro/MG	23,1	23,6	23,4	22,7	22	20,3	19,9	21,8	23,2	23,8	23,6	22,8	23,8	Out	19,9	Jul
Paracatu/MG	23,7	24	24	23,2	21,2	19,4	19,2	21,4	23,5	24,2	23,7	23,2	24,2	Out	19,2	Jul
Cristalina/MG	18,8	18,6	18	16,8	14,7	12,8	12,2	14	16,4	18,4	18,4	18,9	18,9	Dez	12,2	Jul
Luziânia/GO	24,4	24,6	24,6	23,3	20,9	20,4	20,7	22,4	23,7	24,7	24,2	24,4	24,7	Out	20,4	Jun
Brasília/DF	21,6	21,8	22	21,4	20,2	19,1	19,1	21,1	22,5	22,1	21,7	21,5	22,5	Set	19,1	Jul

As maiores temperaturas do ar registradas nos trechos da rodovia em estudo aconteceram nos meses de setembro a fevereiro, as menores temperaturas registradas foram nos meses de junho e julho. Os dados de precipitação e temperatura do ar são condizentes com a clima tropical, predominante em toda região da rodovia desta pesquisa.



Legenda:

Quente (média > 18° C em todos os meses do ano)	Mesotérmico brando (média entre 10° e 15° C)	Subquente (média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
Superúmido sem seca	Superúmido sem seca	Superúmido sem seca
Superúmido com subseca	Superúmido com subseca	Superúmido com subseca
Úmido com 1 a 2 meses secos	Úmido com 1 a 2 meses secos	Úmido com 1 a 2 meses secos
Úmido com 3 meses secos	Úmido com 3 meses secos	Úmido com 3 meses secos
Semiúmido com 4 a 5 meses secos	Semiúmido com 4 a 5 meses secos	Semiúmido com 4 a 5 meses secos

Figura 17 - Zonas climáticas na região em estudo (IBGE, 2002) ao longo do eixo da Via040, com indicação dos quilômetros limítrofes (RDT VIA040, 2016)

3.3.2 Geomorfologia

Para um país com características topográficas e geológicas bastantes diversificadas como ocorre no Brasil, a definição de segmentos homogêneos para um estudo deve levar em consideração os compartimentos geomorfológicos da rodovia. A Figura 18 apresenta as características geomorfológicas da Via040, representadas pelas unidades de relevo, como planaltos, serras e depressões.

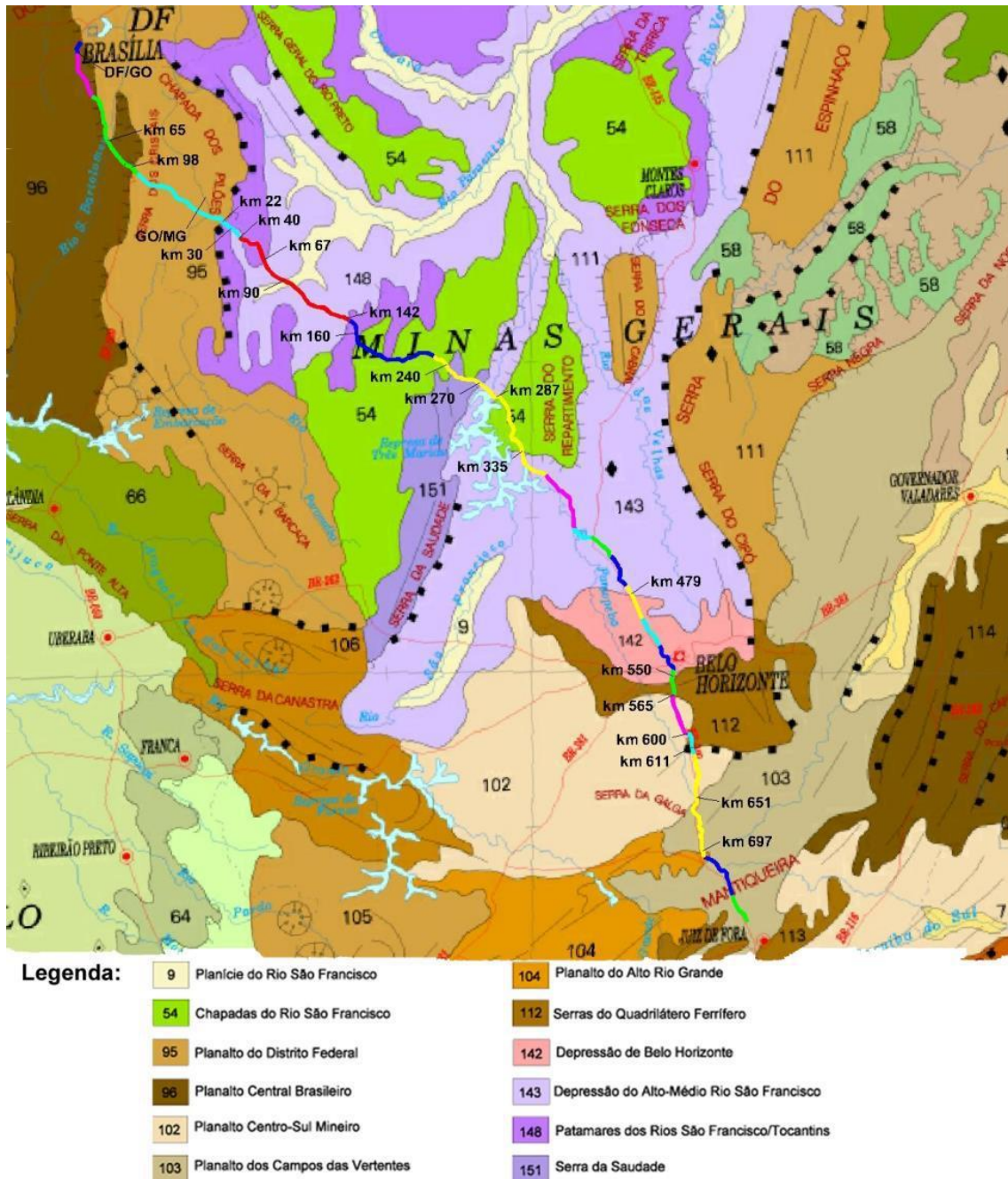


Figura 18 - Eixo da Via040 sobre mapa geomorfológico do Brasil na região em estudo (RDT VIA040, 2016)

3.3.3 Tráfego

Muitos fatores afetam o desempenho de um determinado pavimento, dentre estes se destacam o número e a magnitude das cargas do tráfego. As ações do clima e do tráfego em conjunto constituem os principais fatores que impõem uma vida útil limitada aos pavimentos (MEDINA, 1997).

Visto a importância do conhecimento do tráfego atuante nos pavimentos da

Via040 foram realizadas contagens volumétricas e classificatórias, e pesagem, nos meses de maio e junho de 2017, afim de caracterizar seu tráfego. Os postos de pesagem e contagem são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Postos de contagem e pesagem da BR-040, trecho Brasília/DF – Juiz de Fora/MG (VIA040, 2017)

Postos	Contagem		Pesagem	
	km	UF	km	UF
1	97,5	GO	47	GO
2	52,1	MG	86	MG
3	153,25	MG	145	MG
4	260,47	MG	284	MG
5	352,53	MG	422	MG
6	407,65	MG	422	MG
7	574,6	MG	554	MG
8	644,77	MG	607	MG
9	708,65	MG	767	MG
10	769	MG	767	MG

Para a realização do estudo citado, a Via040 utilizou a metodologia preconizada no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006). Foram apresentadas as informações básicas sobre a avaliação da solicitação do tráfego, definidos os seguintes elementos:

- Volume médio diário anual (VDMa) - número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, 24h por dia, no período de um ano. As categorias utilizadas nas contagens volumétricas classificadas realizadas na rodovia de estudo foram: Ônibus, 2 eixos, 3 eixos, 4 eixos, 5 eixos, 6 eixos, 7 eixos e 9 eixos. No estudo de trafego disponibilizado pela concessionaria Via040, o VDMa Comercial é apresentado para cada posto de contagem como exemplificado na Tabela 15.

Tabela 15 – Classes utilizadas na contagem de trafego e valores bidirecionais de VMDa comercial do Posto de contagem 1 – km97,5/GO da BR-040, trecho Brasília/DF – Juiz de Fora/MG (VIA040, 2017)

Classes	VDMa (Comerciais)
Ônibus	112
Carga 2 Eixos	163
Carga 3 Eixos	242
Carga 4 Eixos	95
Carga 5 Eixos	122
Carga 6 Eixos	364
Carga 7 Eixos	132
Carga 8 Eixos	0
Carga 9 Eixos	107
Total	1.336

- Classificação da frota - a classificação mínima útil à avaliação do tráfego compreende as seguintes subclasses de veículos de carga: caminhão leve, caminhão médio, caminhão pesado, reboque/semirreboque. Devido às expressivas variações na capacidade de carga de uma determinada subclasse, em função do tipo de veículo e de sua rodagem, foi utilizada uma classificação mais detalhada. Devido ao grande número de categorias, se fez necessário a criação do resumo onde são apresentados os resultados dos cálculos por categoria para cada um dos postos de pesagem. Da classificação por categoria de veículos foi feito o cálculo dos fatores, através da ponderação, fazendo a adequação dos resultados das pesagens às categorias utilizadas nas contagens volumétricas classificadas (Ônibus, 2 eixos, 3 eixos, 4 eixos, 5 eixos, 6 eixos, 7 eixos e 9 eixos).
- Carregamento da frota - o peso por eixo de cada um dos tipos de veículos de carga é importante, e, se a distribuição da carga por eixo não for adequadamente considerada, as previsões da solicitação futura do tráfego serão provavelmente imprecisas. Foram utilizados para os cálculos dos fatores de veículos (FV) o método da AASHTO e o método do Corpo dos Engenheiros (USACE). Na Tabela 16 são exemplificados os tipos de veículos e seu respectivo número de eixos considerados nas pesagens, e na Tabela 17 é apresentada o resumo com adequação dos resultados das pesagens às categorias utilizadas nas contagens volumétricas correspondente ao posto de pesagem do km 47, a metodologia foi a mesma utilizada em todos os 8 postos de pesagem.
- Número equivalente “N” - a partir do conhecimento dos volumes de tráfego, da classificação da frota e das cargas atuantes por eixo, foram definidos os parâmetros de tráfego correspondente ao período de análise. Na Tabela 18 e Tabela 19 são demonstrados a obtenção do FV, respectivamente, pelos métodos USACE e AASHTO do Trecho 1, contagem km 97,5/GO e pesagem km 47/GO.

Nesta pesquisa, para os cálculos do número “N” futuro, foi considerado como tempo de projeto o período de 10 anos, com início em 2017. A taxa de crescimento utilizada foi a mesma admitida no Plano de Exploração Rodoviária (PER) da Via040, de 3,5% ao ano.

Tabela 16 – Tipo de veículo e seu respectivo número de eixos considerados nas pesagens (VIA040, 2017)

TIPO DE VEÍCULOS	EIXOS
Ônibus	2
Tribus	3
Quadribus	4
2C	2
2S1	3
3C	3
2C2	4
2I2	4
2S2	4
3S1	4
4C	4
4CD	4
4DT	4
2C3	5
2I1	5
2I3	5
2S3	5
3C2	5
3I2	5
3S2	5
2R4	6
3C3	6
3D3L	6
3I1	6
3I3	6
3S3	6
4R2	6
3D4	7
3Q4	7
3T4	7
4R3	7
3D5P	8
3D5V	8
3M5	8
3M6	9
3T6	9

Tabela 17 – Classes e fatores de veículo – Posto de pesagem do km 47/GO (VIA040, 2017)

Classes	Quantidade Pesada	%	FV Médio USACE	FV Médio AASHTO
Onibus	103	2,62%	0,362	0,266
Carga 2 Eixos	1045	26,62%	0,594	0,502
Carga 3 Eixos	656	16,71%	5,361	1,079
Carga 4 Eixos	686	17,47%	9,81	1,813
Carga 5 Eixos	343	8,74%	5,914	2,069
Carga 6 Eixos	688	17,52%	16,403	4,337
Carga 7 Eixos	287	7,31%	21,118	4,162
Carga 8 Eixos	1	0,03%	696,649	56,373
Carga 9 Eixos	117	2,98%	29,13	5,481
Total	3926	100%		

Tabela 18 – Fatores USACE, Trecho 1, contagem km 97,5/GO e pesagem km 47/GO (VIA040, 2017)

Valores	Ônibus	Carga 2Eixos	Carga 3Eixos	Carga 4Eixos	Carga 5Eixos	Carga 6Eixos	Carga 7Eixos	Carga 8Eixos	Carga 9Eixos
FV Médio USACE	0,362	0,594	5,361	9,81	5,914	16,403	21,118	696,649	29,13
VDMa	112	163	242	95	122	364	132	0	107
FV médio/VDMa	0,030	0,072	0,970	0,701	0,538	4,468	2,093	0,000	2,325
FV USACE					11,197				

Tabela 19 – Fatores AASHTO, Trecho 1, contagem km 97,5/GO e pesagem km 47/GO (VIA040, 2017)

Valores	Ônibus	Carga 2Eixos	Carga 3Eixos	Carga 4Eixos	Carga 5Eixos	Carga 6Eixos	Carga 7Eixos	Carga 8Eixos	Carga 9Eixos
FV Médio AASHTO	0,266	0,502	1,079	1,813	2,069	4,337	4,162	56,373	5,481
VDMa	112	163	242	95	122	364	132	0	107
FV médio/VDMa	0,022	0,061	0,195	0,130	0,188	1,181	0,412	0,000	0,437
FV AASHTO					2,628				

O tráfego considerado para efeito de projeto é o da faixa mais solicitada da rodovia. Na falta de dados mais precisos, foi utilizado os percentuais de veículos por faixa adotados em DNIT (2006). Na Tabela 20 são fornecidas indicações quanto às percentagens de veículos comerciais (em relação ao tráfego comercial nos dois sentidos) na faixa de trânsito selecionada para o projeto. Desprezam-se os carros de passeio e os utilitários, por terem fatores de veículo muito baixos. Dos dez trechos onde foram realizadas contagens de tráfego, seis estavam localizados em pontos de pista simples e quatro em pontos de pista dupla.

Tabela 20 – Percentagem de veículos por faixa (DNIT, 2006)

Número de Faixas de Tráfego na Rodovia	Percentual de Veículos Comerciais na Faixa de Projeto
2 (pista simples)	50%
4 (pista dupla)	35 a 48%

Na Tabela 21 são apresentados os parâmetros utilizados para os cálculos e os resultados do cálculo do Número N (método USACE e AASHTO) para cada um dos 10 postos de contagem.

Tabela 21 – Número “N”, parâmetros e resultados (Via040, 2017)

km	UF	Tipo de Pista	% Veículos na faixa de projeto	Fator Regional Climático	VDMa Comercial	VDMa Comercial (10 anos)	Taxa de crescimento	FV USACE	FV AASHTO	N USACE (10 anos)	N AASHTO (10 anos)
97,5	GO	Simples	50%	1	1336	1821	3,5%	11,197	2,628	3,20E+07	7,51E+06
52,1	MG	Simples	50%	1	1766	2407	3,5%	12,24	2,63	4,63E+07	9,95E+06
153,25	MG	Simples	50%	1	1596	2175	3,5%	9,225	2,211	3,15E+07	7,56E+06
260,47	MG	Simples	50%	1	1446	1971	3,5%	10,715	2,591	3,32E+07	8,02E+06
352,53	MG	Simples	50%	1	1588	2164	3,5%	12,381	2,876	4,21E+07	9,78E+06
407,65	MG	Simples	50%	1	1572	2142	3,5%	12,283	2,863	4,13E+07	9,63E+06
574,6	MG	Dupla	40%	1	5157	7029	3,5%	3,897	1,17	3,87E+07	1,16E+07
644,77	MG	Dupla	40%	1	3347	4562	3,5%	5,216	1,754	2,99E+07	1,01E+07
708,65	MG	Dupla	40%	1	3897	5311	3,5%	3,909	1,105	2,61E+07	7,37E+06
769	MG	Dupla	40%	1	3105	4232	3,5%	3,762	1,085	2,00E+07	5,77E+06

4 CARACTERIZAÇÃO DOS TRECHOS HOMOGÊNEOS DA RODOVIA EM ESTUDO

4.1 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

4.1.1 Janelas de Inspeção e Ensaios

As sondagens realizadas nas pistas e acostamentos visam o conhecimento da natureza, tipo e características dos materiais constituintes das camadas do pavimento, de modo a permitir a caracterização da capacidade de suporte da estrutura, a determinação das espessuras que constituem cada camada do pavimento, bem como a verificação da integridade das mesmas.

A abertura de janelas de inspeção permite recolher amostras dos materiais constituintes das camadas do pavimento para a realização de ensaios *in situ*, tais como de densidade e umidade, e ensaios em laboratório, tais como a granulometria, índices físicos, densidade, umidade, capacidade suporte (ISC), expansão e ensaios triaxiais de carga repetida. Foram abertas janelas de inspeção nos trechos em estudo, e, com isso pôde-se determinar as espessuras de cada camada constituinte do pavimento (em cm), assim como a classificação expedita de campo dos materiais (Figura 19). Foram recolhidos materiais da camada de base para ensaios laboratoriais. Na Tabela 22 são apresentados os resultados de ensaios realizados nos materiais da camada de base.

Para realização dos ensaios de laboratório, corpos de prova foram moldados na umidade ótima com os materiais recolhidos em campo das janelas de inspeção. Observa-se que o valor do ISC dos trechos 3, 5, 6, 7 da camada de base ficou abaixo do mínimo estabelecido nas especificações de serviço de base granular do DNIT que é de 80% para tráfego médio a pesado.

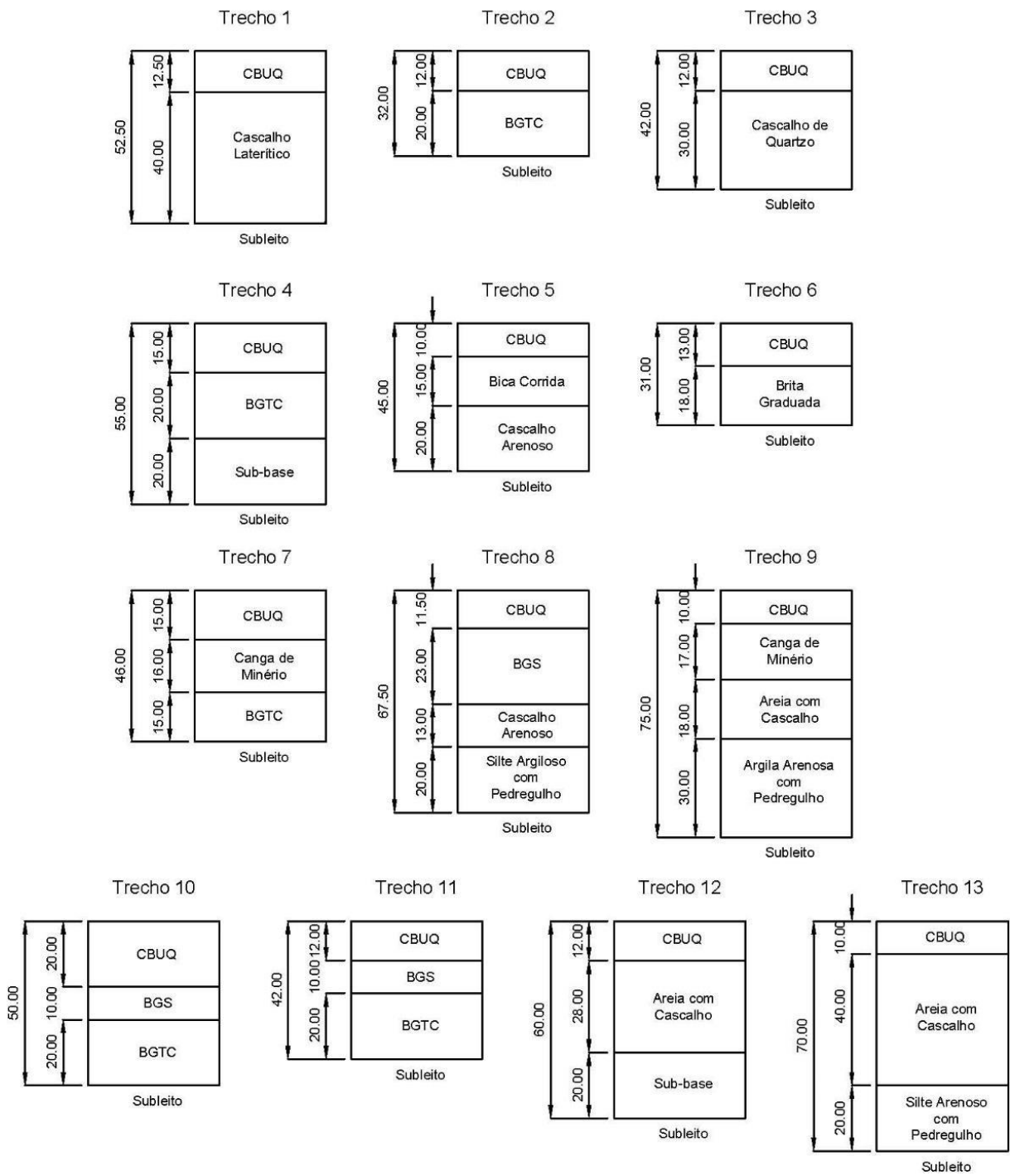


Figura 19 - Identificação das espessuras (cm) e materiais das camadas do pavimento referente as treze UAs em estudo nesta pesquisa

Tabela 22 – Resultados dos ensaios realizados com os materiais da camada de base dos trechos desta pesquisa (Via040, 2016)

Trecho		1	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
km		107,000	84,000	338,000	407,650	574,600	644,770	631,550	708,650	728,500	769,000	743,450	
Granulometria	Peneiras	1 1/2 "	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
		1 "	92,91	100,00	95,86	100,00	100,00	100,00	94,29	100,00	94,72	97,56	100,00
		3/4 "	90,61	99,09	90,64	94,84	96,54	86,93	92,25	89,79	90,18	94,88	100,00
		1/2 "	83,93	93,35	75,13	89,84	93,41	69,91	86,64	76,88	78,49	94,88	100,00
		3/8 "	80,82	86,94	66,53	78,37	88,41	61,59	81,48	64,34	71,65	91,30	98,91
		n° 4	70,93	71,25	58,19	56,59	71,61	48,47	67,65	37,72	51,75	90,39	95,09
		n° 8	69,93	68,24	51,99	43,29	53,70	38,06	55,55	29,86	37,67	79,26	84,60
		n° 10	67,80	67,97	51,11	41,13	50,56	36,62	53,99	29,05	35,90	74,93	81,52
		n° 16	67,67	67,42	47,81	33,85	42,67	32,00	48,88	27,19	29,76	63,66	71,15
		n° 30	63,84	66,54	43,29	26,46	37,06	27,53	42,90	21,80	22,26	46,98	52,63
		n° 40	62,06	65,99	40,13	23,39	34,71	24,85	39,31	17,17	17,88	38,44	42,60
		n° 50	60,33	65,37	37,09	20,95	32,76	21,90	36,08	13,36	13,48	31,81	34,29
		n° 80	58,94	64,46	34,16	18,89	30,23	17,93	31,98	10,68	5,67	31,81	27,93
n° 100	57,52	62,32	30,53	17,30	28,74	15,15	29,01	8,92	2,85	22,67	23,39		
n° 200	54,49	53,11	27,11	14,73	24,09	11,12	22,49	6,72	0,03	18,47	19,61		
	Material (Sondagem)	Cascalho Laterítico	Cascalho de Quartzo	Bica Corrida	Brita Graduada	Canga de Minério	Brita Graduada	Canga de Minério	Brita Graduada	Brita Graduada	Areia com Cascalho	Areia com Cascalho	
Limites Físicos	LL	50,00%	NL	22,00%	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL	
	IP	18,81%	NP	6,57%	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	
	LP	31,19%	NP	15,43%	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	
	I.G.	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H.R.B.	A-7-5	A-4	A-2-4	A-1-a	A-1-b	A-1-a	A-2-4	A-1-a	A-1-b	A-1-b	A-1-b	
Compactação	Lab	Dens. seca máx (g/cm³)	2,022	2,180	2,163	2,080	3,060	2,275	2,433	2,262	2,141	2,120	2,139
		Umidade ótima (%)	17,45%	6,82%	7,02%	7,90%	6,00%	6,00%	8,90%	5,10%	6,10%	7,60%	7,07%
	Campo	Umidade natural (%)	12,70%	6,67%	6,91%	5,80%	7,90%	6,12%	5,80%	2,83%	5,47%	6,13%	6,29%
		Dens. seca máx (g/cm³)	2,010	2,120	2,164	2,117	3,007	2,240	2,433	2,217	2,132	2,136	2,132
		Grau de Compac. (%)	99,44%	97,12%	100,00%	101,76%	98,30%	98,00%	93,00%	98,00%	99,60%	100,70%	100,00%
I.S.C.	Umidade ótima (%)	17,45%	6,82%	7,02%	7,90%	6,00%	6,00%	8,90%	5,10%	6,10%	7,60%	7,07%	
	Dens. seca máx (g/cm³)	2,022	2,180	2,163	2,080	3,060	2,275	2,433	2,262	2,141	2,120	2,139	
	I.S.C. (%)	121%	26%	76%	30%	75%	90%	105%	213%	133%	90%	93%	
	Expansão (%)	0,00%	0,01%	0,04%	0,06%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	

4.1.2 Levantamento Deflectométrico

O levantamento deflectométrico foi realizado com o emprego do Falling Weight Deflectometer Dynatest 8000 (FWD), que é um deflectômetro de impacto projetado para simular o efeito de cargas de roda em movimento. As medidas de deflexão foram realizadas conforme orienta a norma DNER-PRO 273/96.

O mapeamento da condição deflectométrica ocorreu em junho de 2017 da seguinte forma: em cada um dos treze trechos selecionados para esta pesquisa, foram realizados cinco pontos de ensaio com o FWD, equidistantes em 100 m, um ponto no centro do trecho e dois antes e dois depois do ponto central, nas trilhas de roda externas, com aplicação de uma carga com valores próximos a 4100 kgf ou 40,2 kN distribuídos em uma placa de carga com 15 cm de raio e pressão média de 56 kPa. Ocorreu de, em alguns trechos, serem descartadas algumas leituras das bacias deflectométricas devido a problemas no levantamento. As medidas de deflexão para cada trecho desta pesquisa estão na Tabela 23, onde são apresentadas a deflexão máxima média, o desvio padrão e a deflexão característica. Optou-se pela não utilização do fator multiplicador do desvio padrão indicado pela PRO-11/79, visto a utilização de poucas bacias por trecho estudado e a não correção das deflexões pela temperatura, por não ser um processo trivial e as temperaturas do pavimento estarem todas em uma faixa razoavelmente estreita, e relativamente próxima de 25°C.

Tabela 23 – Resumo das medidas de deflexão com FWD dos trechos analisados nesta pesquisa

Trecho	Segmento Homogêneo		UF	Temperatura (°C)		Deflexão (0,01 mm)		
	km inicial	km final		Ar	Pavimento	Média	Desvio	Dc
1	106,800	107,200	GO	26	20	50,8	2,8	53,6
2	51,865	52,265	MG	30	28	6,9	0,2	7,1
3	83,800	84,200	MG	31	30	45,8	7,2	53,0
4	153,050	153,450	MG	29	25	18,9	9,9	28,8
5	337,800	338,200	MG	20	25	76,9	3,2	80,0
6	407,450	407,850	MG	30	25	51,3	11,4	62,7
7	574,400	574,800	MG	22	29	37,7	9,4	47,1
8	644,570	644,970	MG	18	25	58,9	13,8	72,7
9	631,350	631,750	MG	32	38	128,6	22,5	151,2
10	708,450	708,850	MG	14	21	17,2	2,5	19,7
11	728,300	728,700	MG	14	22	25,9	4,5	30,4
12	768,800	769,200	MG	11	19	110,0	26,9	136,9
13	743,250	743,650	MG	19	26	103,2	19,3	122,5

Ressalta-se que as deflexões de todos os trechos foram avaliadas em relação as obtidas em campanhas de levantamento anteriores (2015 e 2016). Note que a deflexão no Trecho 2 apresenta um valor muito baixo, a princípio questionável. Entretanto, o valor foi confirmado através dos levantamentos anteriores, que também apresentaram deflexão com a mesma ordem de grandeza.

4.1.3 Parâmetros das Bacias Deflectométricas de Campo

Com a média das bacias deflectométricas, foi realizada análises dos parâmetros de capacidade estrutural de cada trecho, de forma a obter uma melhor indicação das propriedades das camadas dos pavimentos na condição de campo à época dos levantamentos.

Para o raio de curvatura (RC), a norma DNER-PRO 011/79 estabelece que, para pavimentos flexíveis, raios menores que 100,0 m indicam pavimentos com baixa capacidade estrutural.

Na Figura 20 pode-se observar os raios de curvatura (RC) médios de cada trecho em estudo. Para melhor visualização limitou-se o eixo das ordenadas a um RC máximo de 1000 m, visto que o único trecho que extrapola esse valor é trecho 2, que possui RC de 2121 m, devido a sua base estabilizada com cimento. O valor do D_{25} foi obtido através de interpolação linear entre os valores de D_{20} e D_{30} , considerando que a interpolação, que é a capacidade de deduzir um valor entre dois valores explicitamente anunciados, seja válida neste caso.

Dos 13 trechos em estudo, 3 trechos (9, 12 e 13) obtiveram valores de RC menores que 100 m, indicando pavimentos com baixa capacidade estrutural. ANDRADE *et al.* (2017) concluíram que o RC reflete a natureza das bases. No presente trabalho, o trecho 2 apresentou RC maior que 2000 m, os trechos 4 e 10 apresentaram RC maiores que 700 m e os trechos 7 e 11 RC maiores de 300 m, nestes cinco trechos, foram identificadas pelas janelas de inspeção, uma estrutura de pavimento semirrígido, com base ou sub-base estabilizada com cimento. A partir disto, pelos dados desta pesquisa, acredita-se que o RC seja capaz de indicar uma estrutura semirrígida, constituída por base ou sub-base estabilizada quimicamente.

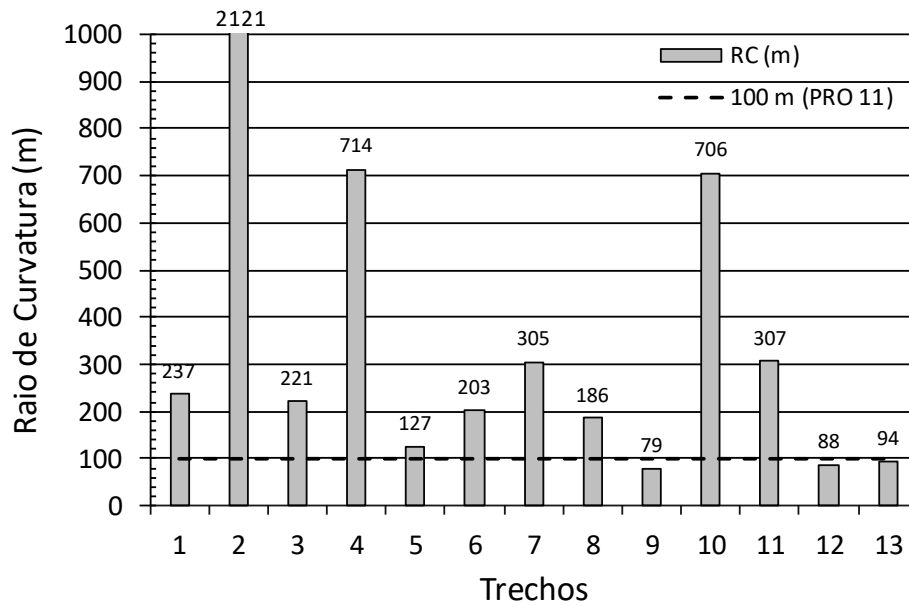


Figura 20 – Valores médios do RC referente a cada trecho estudado nesta pesquisa

Os trechos 1, 3, 5, 6 e 8, apresentaram RC entre 127 m e 237 m, que de acordo com ANDRADE *et al.* (2017), refletem camadas de base granular, com estruturas com boa capacidade em distribuir os esforços solicitantes para as camadas subjacentes.

Para o índice de curvatura da superfície (SCI), valores superiores a 25×10^{-2} mm indicam que a camada de revestimento é pouco resistente ou é de pequena espessura, sendo muito deformável, relativamente a outras misturas asfálticas ou condições de integridade (sem trincas ou com muito poucas). Na Figura 21 pode-se ver os resultados médios dos cálculos do SCI por trecho deste estudo.

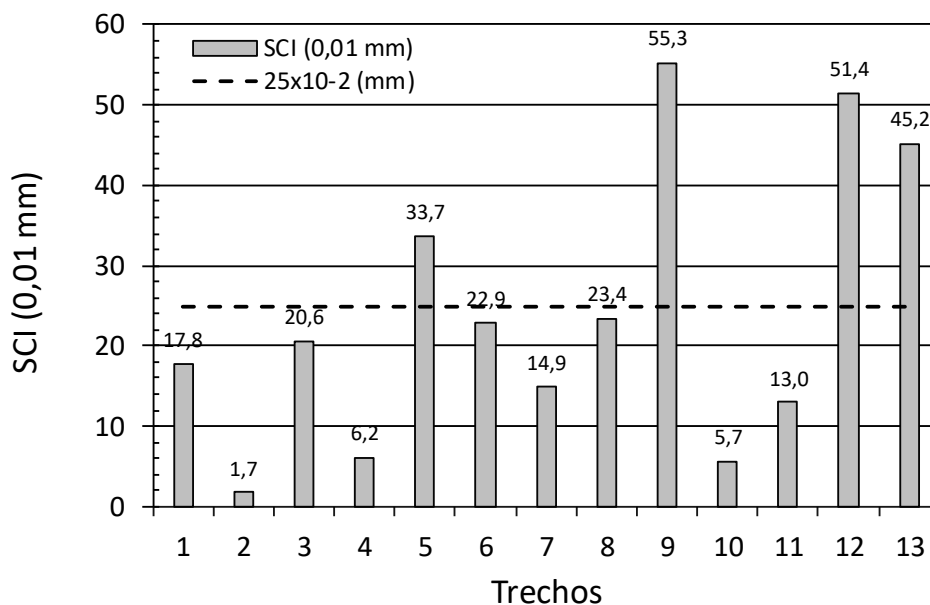


Figura 21 – Valores médios do SCI referente a cada trecho estudado nesta pesquisa

Analisando a Figura 21, verifica-se que dos 13 trechos estudados, 4 trechos (5, 9, 12 e 13) apresentaram valores de SCI maiores que 25×10^{-2} mm, o que indica camadas de revestimento asfáltico pouco resistentes. Destacam-se também 3 trechos (2, 4 e 10) com valores de SCI abaixo de 10×10^{-2} mm, sendo esses os mesmos trechos que apresentaram valores de RC maiores que 700 m.

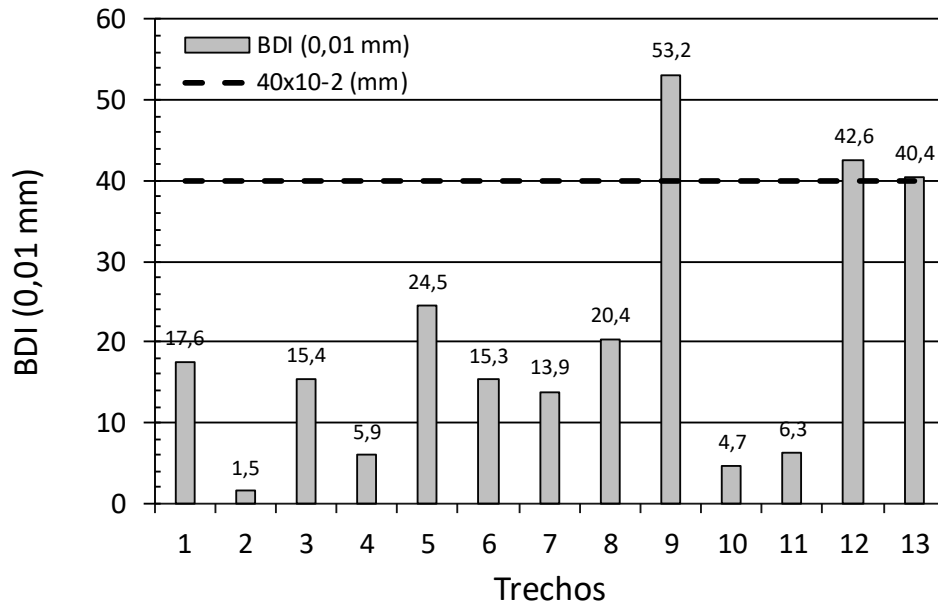


Figura 22 – Valores médios do BDI referente a cada trecho estudado nesta pesquisa

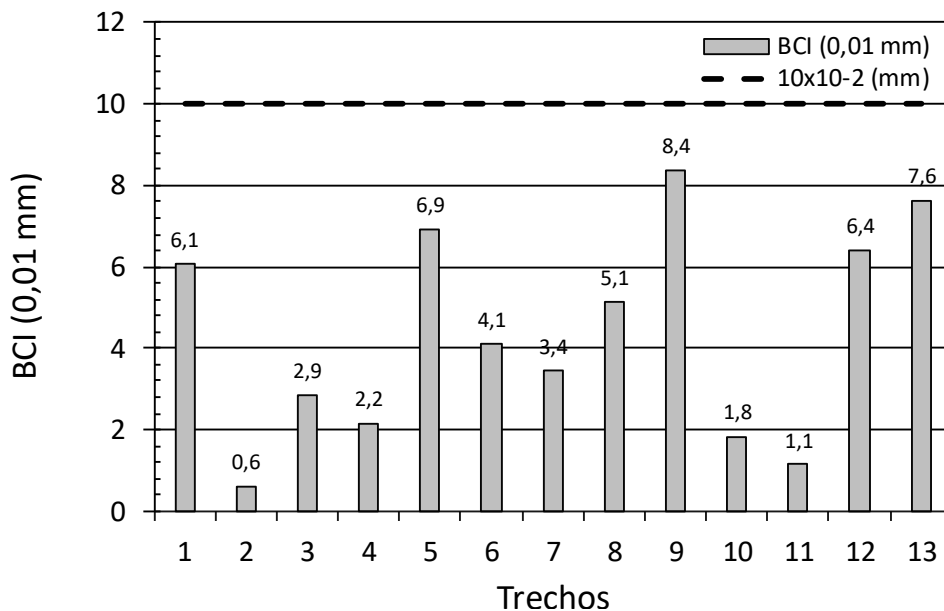


Figura 23 – Valores médios do BCI referente a cada trecho estudado nesta pesquisa

Para o índice de danos na base (BDI), valores de BDI superiores a 40×10^{-2} mm indicam pavimentos pouco resistentes ou pavimentos com problemas estruturais. Na Figura 22 pode-se observar os resultados médios do BDI das bacias deflectométricas referentes a cada trecho estudado. Os trechos 9, 12 e 13, mostram-se com valores de BDI superiores a 40×10^{-2} mm, indicando possíveis problemas estruturais.

Para o índice de curvatura da base (BCI), valores superiores a 10×10^{-2} mm indicam subleitos pouco resistentes. Na Figura 23 são apresentados os resultados médios dos BCI para os trechos desta pesquisa. Observa-se que todos os valores são inferiores a 10×10^{-2} mm, o que indica que os subleitos são adequados estruturalmente.

Na Tabela 24 é apresentado o resumo da classificação da condição estrutural dos pavimentos em função dos parâmetros empíricos (RC, SCI, BDI e BCI) de interpretação da bacia de deflexão. O trecho 5 indicou problemas no revestimento asfáltico e nos trechos 9, 12 e 13 é indicado que a deficiência da estrutura se estende pelo menos até a camada de base.

Tabela 24 – Resumo da classificação da condição estrutural dos pavimentos em função dos parâmetros de interpretação da bacia de deflexão

Trecho	Classificação				Observação (Condição da Estrutura)
	RC (Estrutura do Pavimento)	SCI (Revestimento)	BDI (Base)	BCI (Subleito)	
1	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
2	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
3	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
4	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
5	Adequado	Possível Problema no Revestimento	Adequado	Adequado	Reforço
6	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
7	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
8	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
9	Possível Problema Estrutural	Possível Problema no Revestimento	Possível Problema na Base	Adequado	Reforço
10	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
11	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Boa Condição
12	Possível Problema Estrutural	Possível Problema no Revestimento	Possível Problema na Base	Adequado	Reforço
13	Possível Problema Estrutural	Possível Problema no Revestimento	Possível Problema na Base	Adequado	Reforço

4.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

4.2.1 Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI)

Em 25 de abril a 06 de maio de 2017 foram realizados levantamentos das medidas de irregularidade longitudinal pela empresa Pavesys Engenharia, contratada pela Via040. O equipamento utilizado foi um perfilômetro a laser, que foi desenvolvido e montado no Brasil com o uso de componentes importados. O equipamento utilizado tinha 5 sensores laser e é capaz de realizar as medições no período diurno e noturno à frequência de aproximadamente 4000 medidas por segundo. A velocidade de deslocamento do veículo pode variar durante as medições e não há um limite superior. Foram calculadas as médias do IRI por trecho e o IRI característico (IRI_c) é obtido pela soma do IRI médio mais um desvio padrão, apresentados na Tabela 25. As leituras foram realizadas em espaçamentos de 200 m.

Os valores característicos de IRI obtidos para os trechos do presente estudo, apresentou-se como ruim para o trecho 9, regular para os trechos 10, 11 e 13 e bom para os demais trechos de acordo com os critérios apresentados na Tabela 7.

Tabela 25 – Resumo das medidas de irregularidade longitudinal dos trechos analisados nesta pesquisa

Trecho	Segmento Homogêneo		IRI (m/km)			Classificação IRI _c
	km inicial	km final	Média	Desvio	IRI _c	
1	106,800	107,200	2,0	0,5	2,5	Bom
2	51,865	52,265	1,9	0,2	2,1	Bom
3	83,800	84,200	2,3	0,2	2,5	Bom
4	153,050	153,450	1,8	0,3	2,1	Bom
5	337,800	338,200	2,0	0,1	2,1	Bom
6	407,450	407,850	2,1	0,4	2,5	Bom
7	574,400	574,800	2,2	0,6	2,8	Bom
8	644,570	644,970	2,0	0,2	2,2	Bom
9	631,350	631,750	3,5	0,9	4,4	Ruim
10	708,450	708,850	2,6	0,7	3,3	Regular
11	728,300	728,700	2,7	0,6	3,3	Regular
12	768,800	769,200	2,3	0,3	2,6	Bom
13	743,250	743,650	2,6	0,6	3,2	Regular

4.2.2 Área de Trincamento

O conhecimento da área trincada nos pavimentos é importante para elaboração de diagnóstico, dimensionamento por métodos mecanicistas e utilização do catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis do DNIT. No Brasil, até o momento, a área de trincamento é obtida normalmente pela norma DNIT 007/2003-PRO, sendo determinado o trincamento de forma amostral.

No presente estudo o levantamento da área de trincamento dos trechos foi realizado por Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura, procedimento exposto no item 2.1.1. O levantamento foi realizado pela empresa ENGGEO TECH Ltda. Os resultados da avaliação do estado da superfície dos pavimentos são apresentados de forma contínua em segmentos com espaçamentos pré-definidos em uma planilha eletrônica. Cada linha da planilha corresponde a um segmento com a extensão pré-definida. As colunas da planilha indicam os dados da rodovia e os parâmetros levantados com suas respectivas quantidades. As planilhas do LVCI de todos os trechos desta pesquisa são apresentadas no ANEXO I.

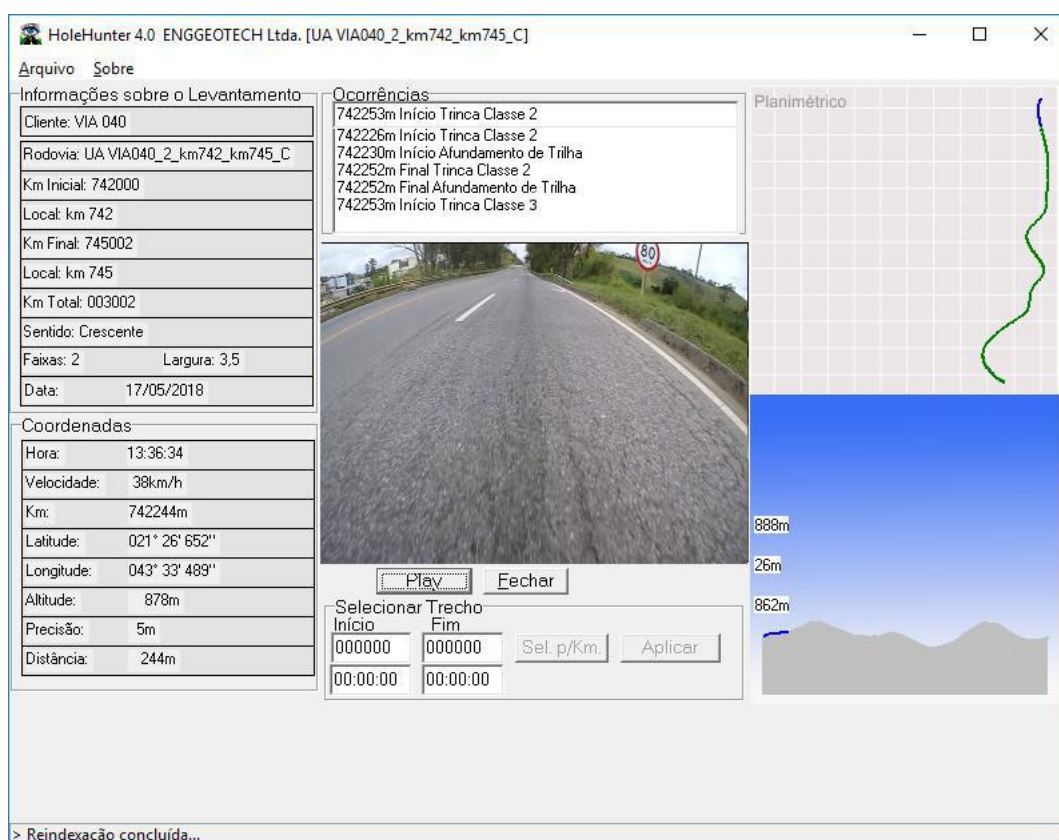


Figura 24 – Exemplo de apresentação do LVCI pelo Método da Varredura com uso de vídeo registro e indicação dos defeitos em sincronia com as imagens e plani-altimetria do trecho 13 desta pesquisa

Deve-se apresentar também o vídeo registro em sincronia com os dados levantados, através de um sistema de visualização. Na Figura 24 é apresentado o LVCI através do software HoleHunter 4.0 desenvolvido pela empresa ENGGEOTECH Ltda., onde são indicados os defeitos em sincronia com as imagens. No ANEXO II são apresentadas as telas do HoleHunter 4.0 juntamente com a imagem característica da condição do pavimento de todos os trechos estudados nesta pesquisa.

Na Tabela 26 apresenta-se um resumo referente à área trincada dos trechos. O levantamento conta as áreas e porcentagens das trincas tipo 2 (TR2) e tipo 3 (TR3), e as trincas totais (TRT), utilizadas nas análises da condição dos trechos, foram obtidas pela soma de TR2 e TR3.

O critério de fadiga admitido pelo método MeDiNa para a presente rodovia, caracterizada como um sistema arterial principal, visto ser uma rodovia interestadual de alto tráfego, é de 30% de área trincada. A partir dos dados da Tabela 26 vê-se que 5 dos 13 trechos apresenta vida útil comprometida pelo critério apresentado e apenas 1 trecho apresenta percentual de trincamento menor que 10%. O percentual de área trincada auxiliou também nos processos de retroanálises, indicando trechos que apresentavam suas camadas de revestimento com rigidez comprometidas.

Tabela 26 – Resumo das medidas de área trincada dos trechos analisados nesta pesquisa

Trecho	Segmento Homogêneo		Trincas Classe 2		Trincas Classe 3		Trincas Totais	
	km inicial	km final	(m ²)	(%)	(m ²)	(%)	(m ²)	(%)
1	106,800	107,200	148,0	10,0%	0,0	0,0%	148,0	10,0%
2	51,865	52,265	265,0	17,9%	0,0	0,0%	265,0	17,9%
3	83,800	84,200	243,3	16,4%	0,0	0,0%	243,3	16,4%
4	153,050	153,450	255,5	17,3%	0,0	0,0%	255,5	17,3%
5	337,800	338,200	551,3	37,2%	0,0	0,0%	551,3	37,2%
6	407,450	407,850	350,0	23,6%	70,0	4,7%	420,0	28,4%
7	574,400	574,800	325,0	22,0%	150,0	10,1%	475,0	32,1%
8	644,570	644,970	305,0	20,6%	24,5	1,7%	329,5	22,3%
9	631,350	631,750	630,0	42,6%	43,8	3,0%	673,8	45,5%
10	708,450	708,850	203,0	13,7%	0,0	0,0%	203,0	13,7%
11	728,300	728,700	47,3	3,2%	0,0	0,0%	47,3	3,2%
12	768,800	769,200	470,0	31,8%	135,0	9,1%	605,0	40,9%
13	743,250	743,650	332,0	22,4%	178,0	12,0%	510,0	34,5%

Através dos resultados das porcentagens de trincas apresentado em cada trecho em estudo nesta pesquisa, verificou-se a existência de uma possível correlação linear existente entre a porcentagem de trincas totais e o parâmetro SCI, que tem sua proposta em refletir as características de rigidez do revestimento. Pela Figura 25 foi determinado bom coeficiente de determinação (R^2) entre os parâmetros analisados.

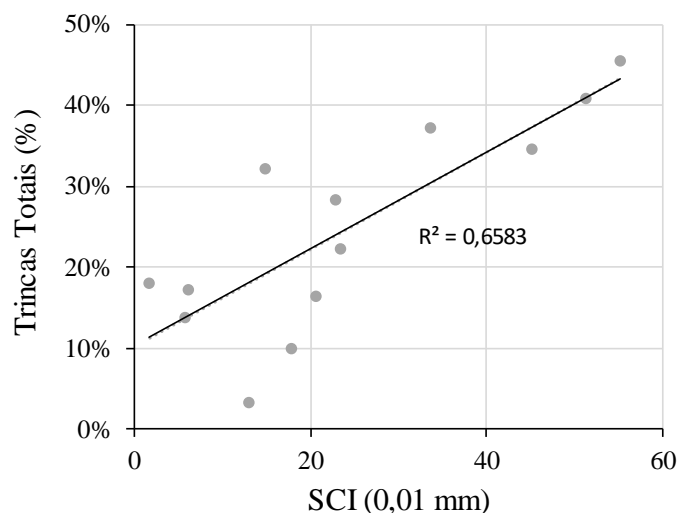


Figura 25 – Correlação linear entre porcentagem de trincas e SCI

4.3 TRÁFEGO DOS TRECHOS EM ESTUDO

A partir do estudo de tráfego realizado pela concessionária Via040, apresentado no item 3.3.3, será relacionado a cada um dos treze trechos da presente pesquisa o número “N” obtido pelo método da USACE, para o período de projeto de 10 anos e taxa de crescimento do tráfego de 3,5% ao ano.

Para enquadrar os trechos em estudo nesta pesquisa, no catálogo de soluções para pavimentos flexíveis do DNIT, descobrindo qual a solução indicada para cada trecho, é necessário que se tenha exclusivamente o volume médio de tráfego comercial atual da rodovia (VDMc), sendo esse um dos parâmetros de entrada no catálogo do DNIT. No VDMc desconsidera-se o volume de tráfego de motos e carros de passeio. Na Tabela 27 são apresentados o VDMc e o número “N” de 2017, bem como o número “N” referente ao período de projeto de 10 anos.

Tabela 27 – Relação dos trechos da presente pesquisa com seu respectivo VDM comercial e o “N” pelo método USACE

Trecho	Segmento Homogêneo		VDMa Comercial (2017)	N USACE (2017)	N USACE (10 anos)
	km inicial	km final			
1	106,800	107,200	1336	2,73E+06	3,20E+07
2	51,865	52,265	1766	3,95E+06	4,63E+07
3	83,800	84,200	1766	3,95E+06	4,63E+07
4	153,050	153,450	1596	2,69E+06	3,15E+07
5	337,800	338,200	1588	3,59E+06	4,21E+07
6	407,450	407,850	1572	3,52E+06	4,13E+07
7	574,400	574,800	5157	3,30E+06	3,87E+07
8	644,570	644,970	3347	2,55E+06	2,99E+07
9	631,350	631,750	3347	2,55E+06	2,99E+07
10	708,450	708,850	3897	2,22E+06	2,61E+07
11	728,300	728,700	3897	2,22E+06	2,61E+07
12	768,800	769,200	3105	1,71E+06	2,00E+07
13	743,250	743,650	3105	1,71E+06	2,00E+07

4.4 ENQUADRAMENTO NO CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DO DNIT

A matriz de soluções do catálogo do DNIT, já apresentada no item 2.5.3 do presente trabalho, deve ser analisada a partir da correspondência entre os parâmetros de tráfego, os parâmetros deflectométricos, e os parâmetros funcionais apresentados pelos trechos deste estudo.

Ao se enquadrar os dados dos trechos desta pesquisa no catálogo de soluções de manutenção para pavimentos flexíveis do DNIT (2015), resultaram as soluções indicadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Solução proposta pelo catálogo do DNIT para os segmentos homogêneos desta pesquisa

Trecho	Segmento Homogêneo		UF	VDMc	Dc/ Dadm	IRI	TR Total	Catálogo DNIT
	km inicial	km final						
1	106,800	107,200	GO	1336	1,1	3,8	11%	H4
2	51,865	52,265	MG	1766	0,2	1,9	18%	FSp + MICRO
3	83,800	84,200	MG	1766	1,2	2,3	16%	FSp + H4
4	153,050	153,450	MG	1596	0,6	1,8	17%	FSp + MICRO
5	337,800	338,200	MG	1588	1,7	2,0	37%	FSp + H7
6	407,450	407,850	MG	1572	1,3	2,1	28%	FSp + H4
7	574,400	574,800	MG	5157	1,0	2,2	32%	FSp + Hpol4
8	644,570	644,970	MG	3347	1,5	2,0	22%	FSp + Hpol4
9	631,350	631,750	MG	3347	3,1	3,5	46%	REC6
10	708,450	708,850	MG	3897	0,4	2,6	14%	FSp + TSDpol + Hpol4
11	728,300	728,700	MG	3897	0,6	2,7	3%	Hpol4
12	768,800	769,200	MG	3105	2,6	2,3	41%	FSp + Hpol10
13	743,250	743,650	MG	3105	2,3	2,6	34%	REC4

As soluções encontradas no catálogo do DNIT são descritas abaixo.

- Trecho 1: Reforço estrutural em concreto asfáltico com 4,0 cm de espessura;
- Trecho 2: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Micro revestimento asfáltico a frio;
- Trecho 3: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico com 4,0 cm de espessura;
- Trecho 4: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Micro revestimento asfáltico a frio;
- Trecho 5: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico com 7,0 cm de espessura;
- Trecho 6: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico com 4,0 cm de espessura;
- Trecho 7: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 4,0 cm de espessura;

- Trecho 8: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 4,0 cm de espessura;
- Trecho 9: Reconstrução, no cenário 6, onde é indicado reforço de subleito com espessura de 20cm em solo, sub-base em BGS com espessura de 20cm, base em BGTC com espessura de 20cm, camada antirreflexo de trincas em tratamento superficial duplo com espessura de 2 cm e revestimento em CBUQ modificado por polímero com espessura de 12,5cm;
- Trecho 10: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Tratamento superficial duplo com emulsão modificada por polímero + Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 4,0 cm de espessura;
- Trecho 11: Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 4,0 cm de espessura;
- Trecho 12: Fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 10,0 cm de espessura;
- Trecho 13: Reconstrução, no cenário 4, onde é indicado reforço de subleito e sub-base em solo com espessuras de 20cm, base em BGS com espessura de 20 cm e revestimento em CBUQ com 10 cm de espessura.

A determinação do catálogo de soluções para pavimentos flexíveis do DNIT usou como base as normas DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 159/85 e DNER-PRO 269/94 e o parâmetro de entrada referente a estrutura do pavimento é a razão entre a deflexão característica e a deflexão admissível obtida conforme a PRO11/79. Assim, acredita-se que a deflexão característica admitida no catálogo seja fruto de medições através da viga Benkelman (VB). Os dados de deflexão obtidos nesta pesquisa foram levantados com equipamento FWD, com determinação da bacia deflectométrica e não apenas a deflexão máxima. Há diversas correlações para “transformação” da deflexão obtida por FWD para VB, porém, não há um consenso de qual correlação usar, pois evidentemente esta varia com o nível das deflexões, ou seja, varia com a própria estrutura do pavimento. A correção indicada em algumas referências diz respeito somente à deflexão máxima, como foi utilizada a bacia deflectométrica completa para retroanálise, preferiu-se não utilizar nenhuma correlação para transformação das deflexões obtidas por FWD para VB, visto

que a utilização do catálogo se limitou a um enquadramento das decisões de soluções a serem verificadas a cada trecho estudado.

Apesar da decisão da não utilização de correlações FWD x VB, houve a preocupação de verificar se as soluções indicadas pelo catálogo do DNIT mudariam a ponto de serem enquadradas soluções que atenderiam a vida útil de 10 anos indicada. Foi verificado quais as soluções seriam indicadas pelo catálogo do DNIT utilizando a deflexão característica obtida através dos dados do levantamento FWD “transformada” para VB, no entanto, foi visto que apenas 3 trechos (Trechos 1, 6 e 8) teriam sua solução alterada devido a modificação da deflexão característica. Em 10 trechos, a solução indicada pelo catálogo do DNIT ao utilizar a deflexão característica “transformada” de FWD para VB não foi diferente da obtida ao se utilizar a deflexão característica do levantamento FWD. Isso se deu devido a faixa de valores abrangido pela razão entre a deflexão característica pela deflexão admissível admitida para determinação das soluções indicadas no catálogo. Assim, utilizou-se a correlação indicada em PINTO (1991) para a carga média do FWD de 38,4 kN (valor aproximado da soma das cargas por roda do semi-eixo de rodas duplas), como indicado na Equação 12 para verificar o enquadramento no catálogo.

$$D_{VB} = -5,73 + 1,396D_{FWD} \quad (12)$$

O trecho 1, teve sua solução alterada de reforço estrutural em concreto asfáltico com 4 cm de espessura (H4) para, fresagem parcial descontínua de 5 cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5 cm em concreto asfáltico + Tratamento superficial duplo (camada antirreflexo de trincas) + Reforço estrutural em concreto asfáltico com 5 cm de espessura (FSp+TSD+H5).

O trecho 6 teve a solução alterada de fresagem parcial descontínua, de 5 cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5 cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico com 4 cm de espessura (FSp + H4) para, fresagem parcial descontínua de 5 cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5 cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico com 7 cm de espessura (FSp + H7).

Já no trecho 8, a solução foi alterada de fresagem parcial descontínua de 5 cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5 cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 4 cm de espessura

(FSp+Hpol4) para, fresagem parcial descontínua de 5 cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5 cm em concreto asfáltico + Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 8 cm de espessura (FSp+Hpol8).

Todos os 3 trechos tiveram sua espessura do reforço aumentada, porém mesmo assim, as soluções indicadas não atingiram a vida útil de 10 anos indicada pelo catálogo, sendo isto mostrado na tentativa de dimensionamento da camada de reforço, onde nos 3 trechos foi atingido a espessura máxima de reforço de 15 cm, espessura maior que as indicadas, sem que se atingisse a vida útil de projeto.

Com a determinação das soluções de manutenção indicadas pelo catálogo de soluções do DNIT, a cada um dos treze trechos em estudo nesta pesquisa apresentados na Tabela 28, foram determinados por retroanálise os módulos de elasticidade de cada camada da estrutura do pavimento, e posteriormente, munidos dos módulos, será verificada a vida útil de projeto para cada solução indicada, verificando se a solução admitida realmente atende a vida útil indicada.

5 DIMENSIONAMENTO PELO MEDINA

5.1 RETROANÁLISE

Uma questão de grande relevância a ser considerada na metodologia de projeto de reforço com uso de retroanálise é a escolha da bacia de deflexão para a determinação dos módulos das camadas no segmento homogêneo que se analisa. É fato que existe certa variabilidade das deflexões medidas, mesmo em bacias do mesmo segmento homogêneo, e os fatores que proporcionam essa variabilidade são: a heterogeneidade do material da camada e de sua espessura, os decorrentes do procedimento de ensaio (contato da placa de carga do deflectômetro com a superfície do pavimento, por exemplo) e da acurácia decorrente do equipamento (MEDINA e MOTTA, 2015).

A retroanálise se caracteriza pelo melhor ajuste entre a bacia medida em campo e a calculada com o auxílio de um programa computacional, e como critério de aceitação dos resultados obtidos buscou-se o menor erro possível entre as comparações destas duas condições (campo e cálculo).

Basicamente, os dados de entrada do processo de retroanálise são: a carga aplicada no pavimento, a bacia deflectométrica medida em campo, as temperaturas do ar e pavimento durante o ensaio, seção-tipo do pavimento, coeficientes de Poisson e valores modulares iniciais para cada camada da estrutura.

Os coeficientes de Poisson (Tabela 29) e os valores iniciais de módulos de elasticidade (Tabela 30) adotados para os materiais utilizados nas camadas dos pavimentos seguiram as recomendações da instrução de projeto de pavimentação do DER-SP (2006).

Tabela 29 - Coeficiente de Poisson usuais para materiais de pavimentação (DER-SP, 2006)

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento <i>Portland</i>	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,40

Tabela 30 – Módulos de resiliência ou elasticidade usuais para materiais de pavimentação (DER-SP, 2006)

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos Asfálticos:	
- revestimento (CAP 50-70)	2000 – 5000
- revestimento (CAP 30-45)	2500 – 4500
- binder (CAP 50-70)	2000 – 3000
- binder (CAP 30-45)	2500 – 4000
Materiais granulares	
- brita graduada	150 – 300
- macadame hidráulico	250 – 450
Materiais estabilizados quimicamente	
- solo-cimento	5000 – 10000
- brita graduada tratada com cimento	7000 – 18000
- concreto compactado com rolo	7000 – 22000
Concreto de cimento <i>Portland</i>	30000 – 35000
Solos finos em base e sub-base	150 – 300
Solos finos em subleito e reforço do subleito	
- solos de comportamento laterítico LA, LA', LG'	100 – 200
- solos de comportamento não laterítico	25 – 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200 – 400
Concreto de cimento <i>Portland</i>	28000 – 45000

O software de retroanálise BackMeDiNa apresenta uma interface bastante simples. Os dados são inseridos no programa por um arquivo (Excel®). Na Figura 26 é exemplificado o modelo da planilha que deve ser salva com extensão CSV. Na linha 1 é sinalizado ao programa que o arquivo é do BackMeDiNa - módulo retroanálise, na linha 2 é inserido o nome da seção homogênea para identificar os dados dos ensaios, na linha 3 entra-se com o raio do carregamento aplicado pelo equipamento no pavimento, já na linha 4 estão os títulos dos dados a ser inseridos e a partir da linha 5 são inseridos dados de até 100 bacias de um mesmo segmento homogêneo.

A partir da linha 5 as colunas são preenchidas com as seguintes informações:

- coluna A, data do ensaio,
- coluna B, temperatura do ar no instante do ensaio,
- coluna C, temperatura do pavimento no instante do ensaio,
- coluna D, carga aplicada no pavimento pelo impacto do FWD no ensaio,
- coluna E, estaca localizando o ponto do ensaio,

- coluna F, complemento da estaca em metros,
- coluna G, faixa do pavimento que ocorreu o ensaio,
- coluna H, trilha do pavimento que ocorreu o ensaio, e
- colunas I a Q, dados da bacia levantados por FWD.

The screenshot shows the BackMeDiNa software interface with an Excel spreadsheet. The spreadsheet contains the following data:

1	BACKMEDINA														
2	SEÇÃO: BR040 Trecho 1 - GO														
3	RAIO (cm): 15														
4	Data de Execução	Temp. Do	Temp. Do	Carga	Estaca - N	Estaca - D	Estaca - F	Estaca - Tr	d0	d20	d30	d45	d60	d90	d120
5	01/06/2017	26	20	4099	106	800	1	Externa	507	420	325	238	149	92	60
6	01/06/2017	26	20	4099	106	900	1	Externa	524	441	348	261	162	102	65
7	01/06/2017	26	20	4070	107	0	1	Externa	545	438	352	259	168	103	62
8	01/06/2017	26	20	4150	107	100	1	Externa	472	389	315	242	159	97	59
9	01/06/2017	26	20	4150	107	200	1	Externa	492	415	312	228	136	77	51

Figura 26 – Modelo de planilha para entrada dos dados no software BackMeDiNa, exemplo referente ao trecho 1 da desta pesquisa

Após importação do arquivo Excel para o software BackMeDiNa, informa-se a estrutura do pavimento, o módulo de elasticidade inicial para cada camada, o coeficiente de Poisson e escolhe-se a aderência das camadas da estrutura (aderido e não aderido). A seguir, de forma iterativa, a partir de análise elástica linear, o programa varia os valores dos módulos em torno do valor central informado, até a obtenção do melhor ajuste da bacia teórica em relação à bacia de campo, como visto na Figura 27 como exemplo. Ressalta-se que nas análises realizadas na presente dissertação, foi considerado que todas as camadas se encontravam não aderidas, por ser o critério mais crítico.

O software apresenta as diferenças referentes a cada sensor entre as deflexões calculadas e as obtidas pelo levantamento de campo, e calcula com essas diferenças o erro final de retroanálise. Pode-se ver ainda o gráfico com o formato das bacias, sendo a bacia de deflexão medida em campo representada na cor azul e a bacia de deflexão calculada representada pela cor vermelha. Depois de realizada a retroanálise, do lado esquerdo da tela, cada ajuste é caracterizado com uma cor referente a avaliação do erro encontrado no processo de retroanálise, sendo os erros de 0 a 5 μ m representados com a cor verde, erros de 5 a 10 μ m representados pela cor amarela e erros maiores que 10 μ m pela cor vermelha.

No processo de retroanálise, a cada clique no botão, o programa testa todos os intervalos possíveis de módulos de todas as camadas e, ao final, apresenta a bacia calculada que melhor se aproxima da bacia medida, ou seja, a que apresentar o menor erro (RMS). Assim, para uma boa retroanálise, deve-se clicar no botão retroanálise várias vezes, até o erro (RMS) não diminuir mais, sendo este o critério de parada admitido nas determinações de módulos desta pesquisa.

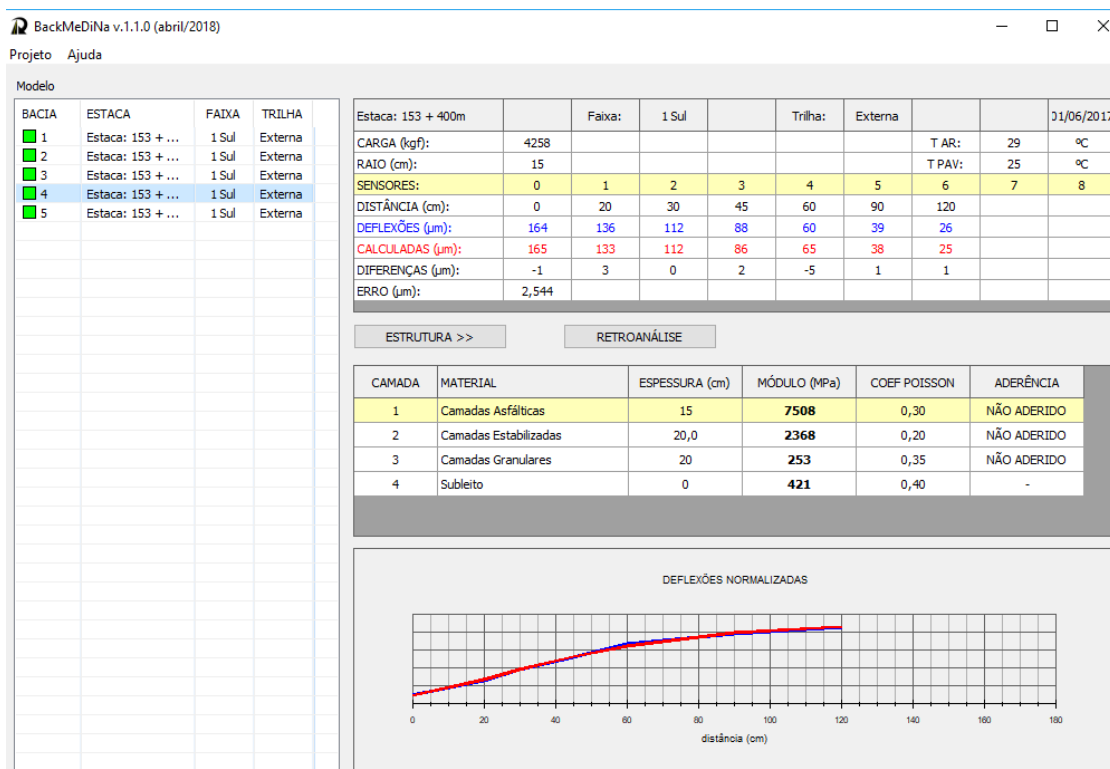


Figura 27 – Software de retroanálise BackMeDiNa, exemplo do trecho 4 desta pesquisa

Buscando conferência dos módulos retroanalizados, utilizou-se o software de análise de tensões, deformações e deslocamentos denominado Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC). O AEMC (ferramenta do método MeDiNa), desenvolvido na tese de doutorado de FRANCO (2007), permite a verificação da retroanálise de forma indireta: usando a combinação de módulos de elasticidade das camadas encontrados nas retroanálises, são encontrados os deslocamentos verticais (deflexões) existentes na superfície, sob ação de um carregamento específico em pontos determinados pelo usuário. O sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no software é o indicado na Figura 28.

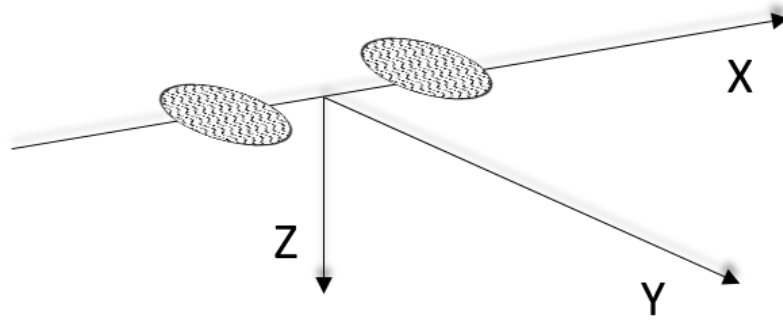


Figura 28 – Sistema de coordenadas assumido no método MeDiNa

Na apresenta-se a tela do software AEMC, onde, na parte superior encontra-se o quadro estrutura do pavimento com a espessura das camadas, módulos de elasticidade, coeficiente de Poisson e aderência das camadas. Nesta pesquisa as camadas em estudo foram classificadas como não aderidas. À esquerda da tela está o tipo de carregamento utilizado para simular o mesmo carregamento aplicado pelo FWD, que foi o eixo simples de 8,2t, sendo a carga da roda de 4,1t com uma pressão do pneu de 0,56MPa. À direita da tela, no quadro pontos de análise e resultados, o eixo Y (sentido do rolamento) foi preenchido com os mesmos pontos do levantamento do FWD (0, 20, 30, 45, 60, 90, 120cm). A seguir foram determinadas as bacias deflectométricas pelo processo indireto de retroanálise, a partir da média dos módulos de elasticidade encontrados no BackMeDiNa, a média mais um desvio padrão e a média menos um desvio padrão, obtendo-se os deslocamentos verticais na coluna U_z (deslocamentos no eixo z), e assim, determinando uma bacia deflectométrica nos mesmos pontos de aplicação do FWD. Fez-se a comparação das bacias determinadas com os módulos de elasticidade retroanalizados, utilizando o AEMC, com as bacias determinadas em campo.

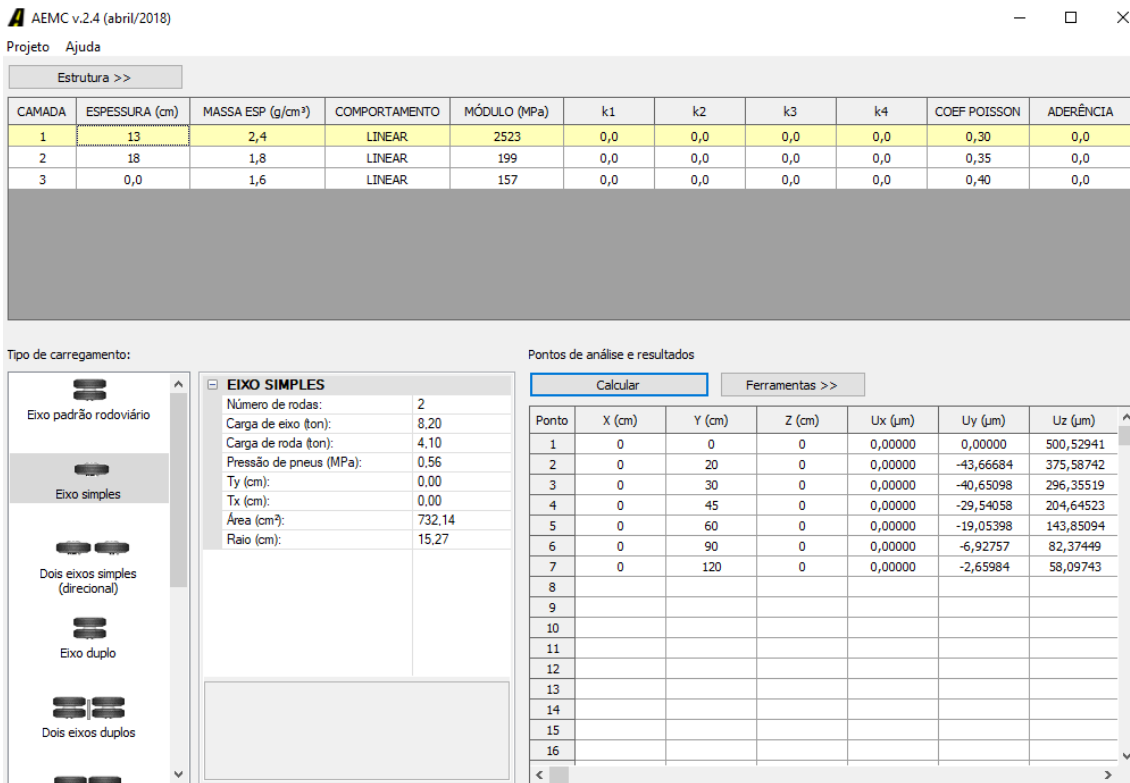


Figura 29 – Tela do software AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas), exemplo do trecho 6 da presente dissertação

Nos itens 5.1.1 a 5.1.13 são apresentadas todas as bacias deflectométricas utilizadas na pesquisa, sendo essas bacias obtidas em campo pelo levantamento FWD, e bacias obtidas nos processos direto de retroanálise pelo software BackMeDiNa e pelo processo indireto de retroanálise através do software AEMC. Apresentam-se também os módulos de elasticidade (MR) obtidos para cada bacia deflectométrica, bem como a média dos MR das bacias do trecho, essa média dos MR foi estabelecida buscando MR que representassem todo o segmento. As análises de desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), tanto das bacias de deflexão levantadas em campo por FWD como dos MR também foram apresentadas para cada um dos treze trechos da pesquisa.

Nos gráficos que apresentam as linhas de deflexão determinadas em campo e pelos processos de retroanálise de cada trecho desta pesquisa, o eixo das ordenadas, que representa os valores de deflexão, foi fixado com limites de $0 \times 10^{-2} mm$ a $160 \times 10^{-2} mm$, abrangendo todos os valores de deflexão deste estudo, buscando uma sensibilidade visual quanto à dispersão das bacias e ordem de grandeza dos seus valores.

O coeficiente de variação (CV) é interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média, e, portanto, quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados. Estatisticamente, os resultados que apresentam valores de CV abaixo de 15% são considerados homogêneos, entre 15 a 30% apresentam média dispersão, e CV acima de 30% apresentam alta dispersão e dados heterogêneos (COSTA *et al.*, 2017).

Visando verificar a coerência dos módulos de elasticidade encontrados, e verificar as diferenças dos MR que possam existir entre uma bacia e outra, é apresentado, para cada trecho, gráficos referentes aos parâmetros das bacias deflectométricas já citados no item 2.2.2 da revisão bibliográfica e item 4.1.3 do capítulo de caracterização dos trechos homogêneos da rodovia.

Com o intuito de verificar os parâmetros empíricos apresentados nesta pesquisa referentes a rigidez da estrutura de pavimento (RC) e condições das camadas de revestimento asfáltico (SCI), base (BDI) e do subleito (BCI), foram determinadas correlações lineares (R) e o coeficiente de determinação (R^2) das relações: deflexão máxima (D_0) e RC; MR da camada de revestimento asfáltico e SCI; MR da camada de base e BDI; e MR do subleito e BCI.

O coeficiente de correlação linear ou coeficiente de Pearson, também chamado de R, permite verificar o grau de associação de 2 variáveis, procurando a existência e intensidade com a qual elas variam em conjunto. A correlação pode ser positiva, neutra ou negativa, sendo o seu valor sempre entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior correlação positiva, isso implica que o aumento de uma variável acarreta o aumento da outra, os fenômenos acontecem em simultâneo. Quanto mais próximo de -1, maior correlação negativa, isso indica que o aumento de uma variável implica na diminuição da outra, indicando fenômenos com ocorrência inversa. E quanto mais próximo de 0 (zero), menor será a correlação linear. Valores a partir de 0,5 consideram-se como uma correlação moderada, já valores de correlações acima de 0,7 indicam que os dois fenômenos acontecem habitualmente em conjunto.

O coeficiente de determinação R^2 é uma medida de ajuste do modelo estatístico em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em porcentagem, o quanto o modelo explica os valores observados. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo, melhor se ajusta à amostra, é medida descritiva da qualidade do ajuste obtido.

5.1.1 Trecho 1 - km 106,800 ao km 107,200/GO

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto pelo BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 1 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 31 e representados graficamente na Figura 30.

Tabela 31 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 1 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 1												
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)			
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Subleito	Erro (µm)
									12,5 cm	40 cm		
B1	Campo	50,7	42,0	32,5	23,8	14,9	9,2	6,0	3757	112	175	9,5
	Retro	51,5	40,5	32,9	23,4	16,5	8,7	5,4				
B2	Campo	52,4	44,1	34,8	26,1	16,2	10,2	6,5	4091	97	164	10,6
	Retro	53,3	42,7	35,1	25,4	18,1	9,6	5,9				
B3	Campo	54,5	43,8	35,2	25,9	16,8	10,3	6,2	3569	107	156	6,1
	Retro	54,8	43,3	35,3	25,3	18,0	9,7	6,1				
B4	Campo	47,2	38,9	31,5	24,2	15,9	9,7	5,9	4918	114	172	6,0
	Retro	47,5	38,4	31,9	23,4	17,0	9,3	5,8				
B5	Campo	49,2	41,5	31,2	22,8	13,6	7,7	5,1	4021	92	218	11,6
	Retro	50,2	39,5	31,9	22,3	15,3	7,4	4,3				
DP		2,5	1,9	1,7	1,3	1,1	0,9	0,5	517	10	24	-
CV		5,0%	4,4%	5,0%	5,1%	7,3%	10,0%	7,9%	12,7%	9,2%	13,6%	-
Média dos Módulos de Elasticidade									4071	104	177	-
AEMC		50,8	40,4	33,1	23,7	16,8	8,8	5,4				
Média + DP	Campo	53,3	43,9	34,7	25,8	16,6	10,4	6,4	3895	106	161	8,2
	Retro	53,8	42,8	35,1	25,3	18,1	9,7	6,1				
	AEMC	53,0	42,3	34,7	25,0	17,9	9,6	6,0				
Média - DP	Campo	48,3	40,2	31,4	23,3	14,4	8,5	5,5	4315	99	194	8,8
	Retro	49,0	38,9	31,8	22,7	15,9	8,1	4,9				
	AEMC	49,0	39,1	32,0	22,8	16,0	8,2	4,9				

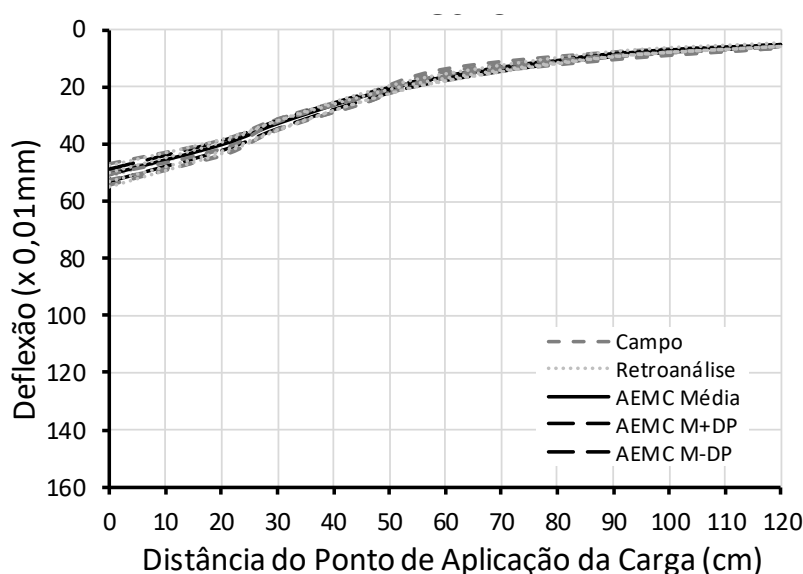


Figura 30 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 1 desta pesquisa

Os CV das bacias deflectométricas do trecho 1 foram menores que 15%, constatando-se homogeneidade do trecho, sendo esta homogeneidade estendida aos MR encontrados na retroanálise, com CV menores que 15% para os MR de cada camada, como visto na Tabela 31. As deflexões máximas de campo variaram entre $47,2 \times 10^{-2}$ mm a $54,5 \times 10^{-2}$ mm. Na Figura 30, observou-se proximidade das linhas deflectométricas do trecho 1 e que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão bem próximas das bacias obtidas em campo. Os MR do revestimento asfáltico variaram entre 3569 MPa a 4918 MPa; os MR da camada de base variaram entre 92 MPa e 114 MPa e os MR encontrados para o subleito variaram entre 156 MPa e 218 MPa.

Na Figura 31 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo referente ao trecho 1 desta pesquisa. Em todos os parâmetros os resultados se mostraram adequados, isso quer dizer, não ultrapassaram o valor limite que indica problema na estrutura do pavimento, no entanto, pelos módulos da camada de base, era de se esperar um BDI com valores bem próximos ou superiores a $40 \times 10^{-2} mm$.

Na Figura 32 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (a) e (b) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (c) e (d) os parâmetros analisados obtiveram baixa correlação.

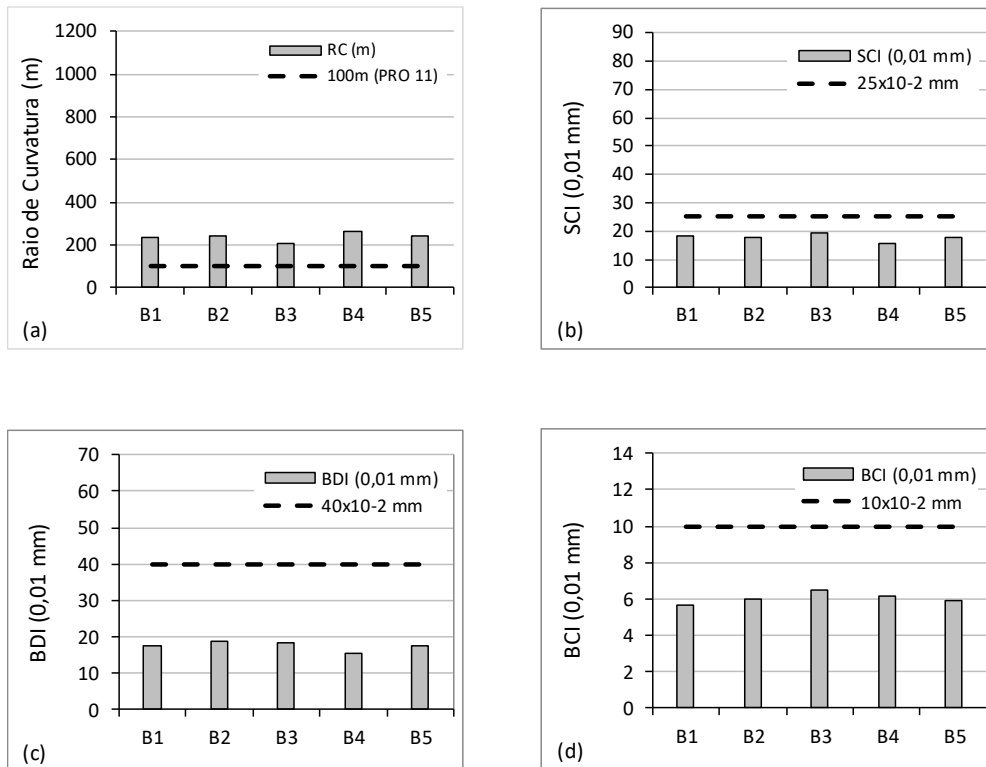


Figura 31 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 1 desta pesquisa

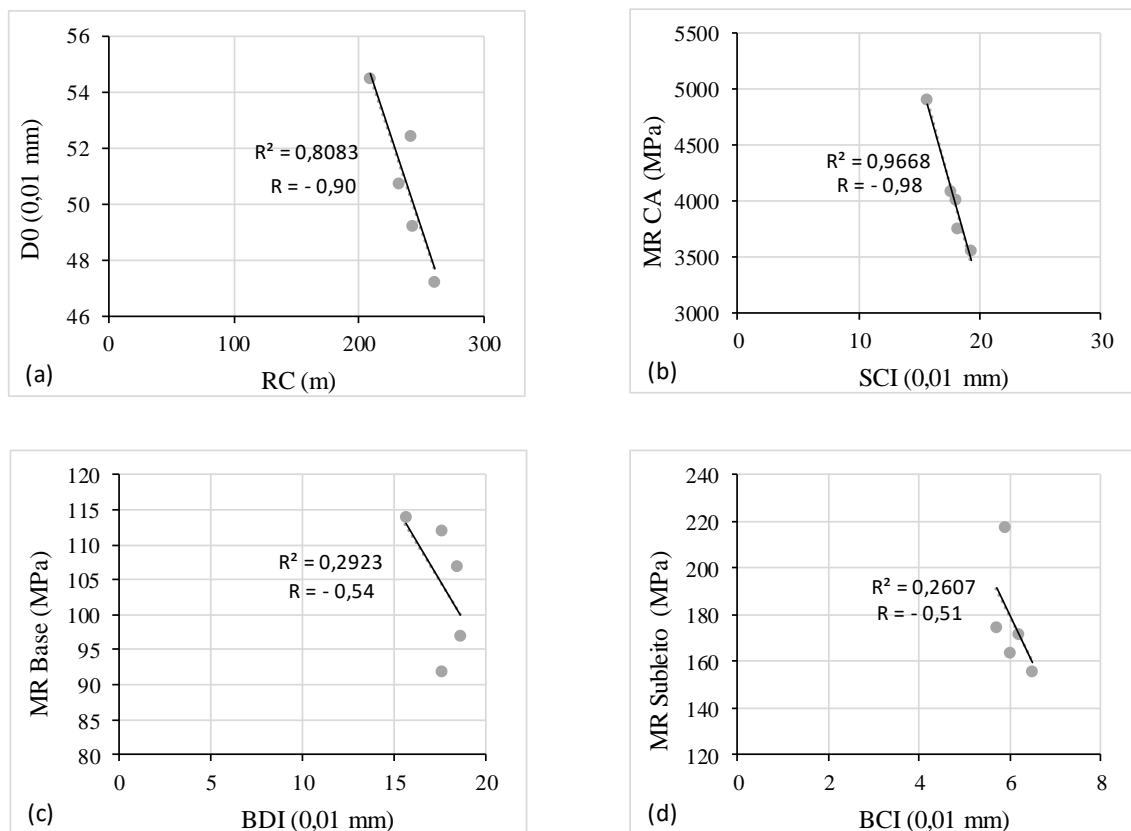


Figura 32 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 1 desta pesquisa.

5.1.2 Trecho 2 - km 51,865 ao km 52,265/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 2 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 32 e representados graficamente na Figura 33.

Tabela 32 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 2 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 2												
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)			
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Subleito	Erro (µm)
									12 cm	20 cm		
B1	Campo	7,1	5,8	5,3	4,6	4,3	3,7	3,1	6009	26729	362	1,3
	Retro	7,1	5,6	5,3	4,8	4,4	3,7	3,0				
B2	Campo	6,7	5,5	5,0	4,6	3,9	3,2	3,1	6979	25838	394	1,9
	Retro	6,7	5,4	5,0	4,6	4,2	3,4	2,8				
B3	Campo	6,8	5,4	5,3	4,1	3,7	3,6	2,5	7313	20146	440	2,7
	Retro	6,8	5,4	5,0	4,5	4,0	3,2	2,5				
	DP	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	677	3571	39	-
	CV	2,5%	3,1%	2,7%	5,3%	6,3%	6,2%	9,8%	10,0%	14,7%	9,8%	-
Média dos Módulos de Elasticidade												
	AEMC	6,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,3	2,7	6767	24238	399	-
Média + DP	Campo	7,0	5,7	5,3	4,7	4,2	3,7	3,2	6790	27414	362	1,3
	Retro	7,0	5,6	5,2	4,8	4,4	3,7	3,0				
	AEMC	6,8	5,5	5,1	4,7	4,3	3,6	2,9				-
Média - DP	Campo	6,7	5,4	5,1	4,2	3,7	3,3	2,6	7718	19910	447	1,7
	Retro	6,7	5,3	4,9	4,4	4,0	3,1	2,5				
	AEMC	6,5	5,3	4,8	4,3	3,9	3,1	2,4				-

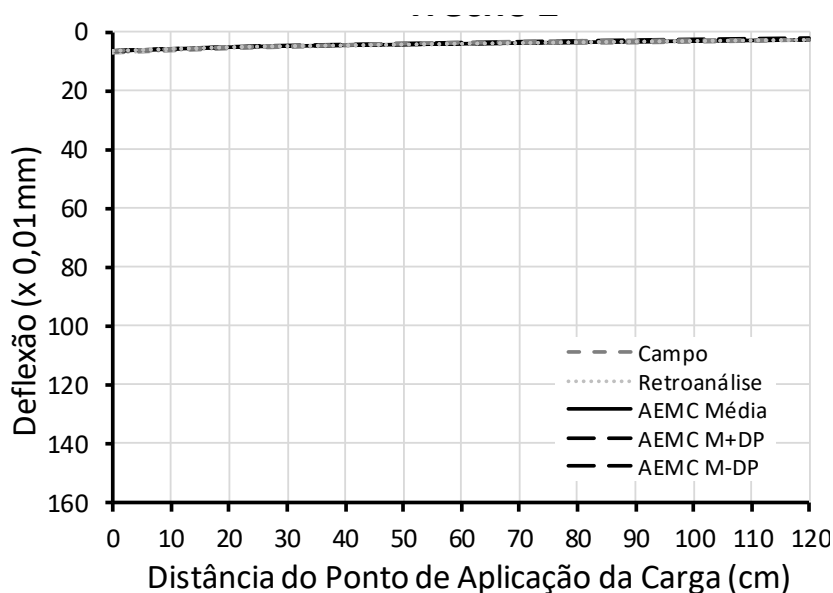


Figura 33 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 2 desta pesquisa

No trecho 2 desta pesquisa, através da Figura 33 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas em campo apresentaram valores muito baixos, com

pouca variação no decorrer do trecho, estando as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC bem próximas das bacias obtidas em campo. O trecho apresentou deflexões máximas de campo com valores entre $6,7 \times 10^{-2} mm$ a $7,1 \times 10^{-2} mm$. Os CV das bacias deflectométricas foram menores que 15%, constatando-se homogeneidade do trecho, sendo esta homogeneidade estendida aos MR encontrados na retroanálise, com CV menores que 15% para os MR de cada camada, como visto na Tabela 32. Os MR do revestimento asfáltico encontrados na retroanálise variaram entre 6009 MPa a 7313 MPa; os MR da camada de base variaram entre 20146 MPa a 26729 MPa e os MR do subleito ficaram entre 362 MPa a 440 MPa.

Na Figura 34 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo referente ao trecho 2 desta pesquisa. Em todos os parâmetros os resultados se mostraram adequados, isso quer dizer, não apresentaram valores que indicam problemas estruturais no pavimento. Os MR encontrados na retroanálise se mostraram coerentes com os parâmetros empíricos.

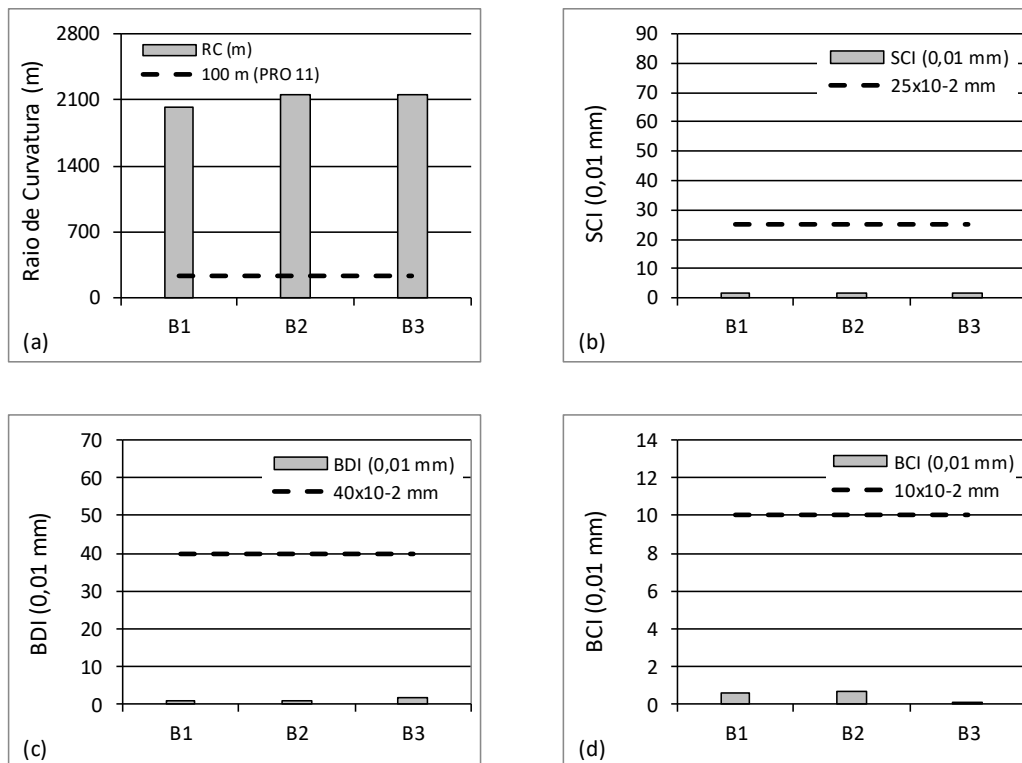


Figura 34 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 2 desta pesquisa

Na Figura 35 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. No trecho 2, houve alta correlação em todas as análises.

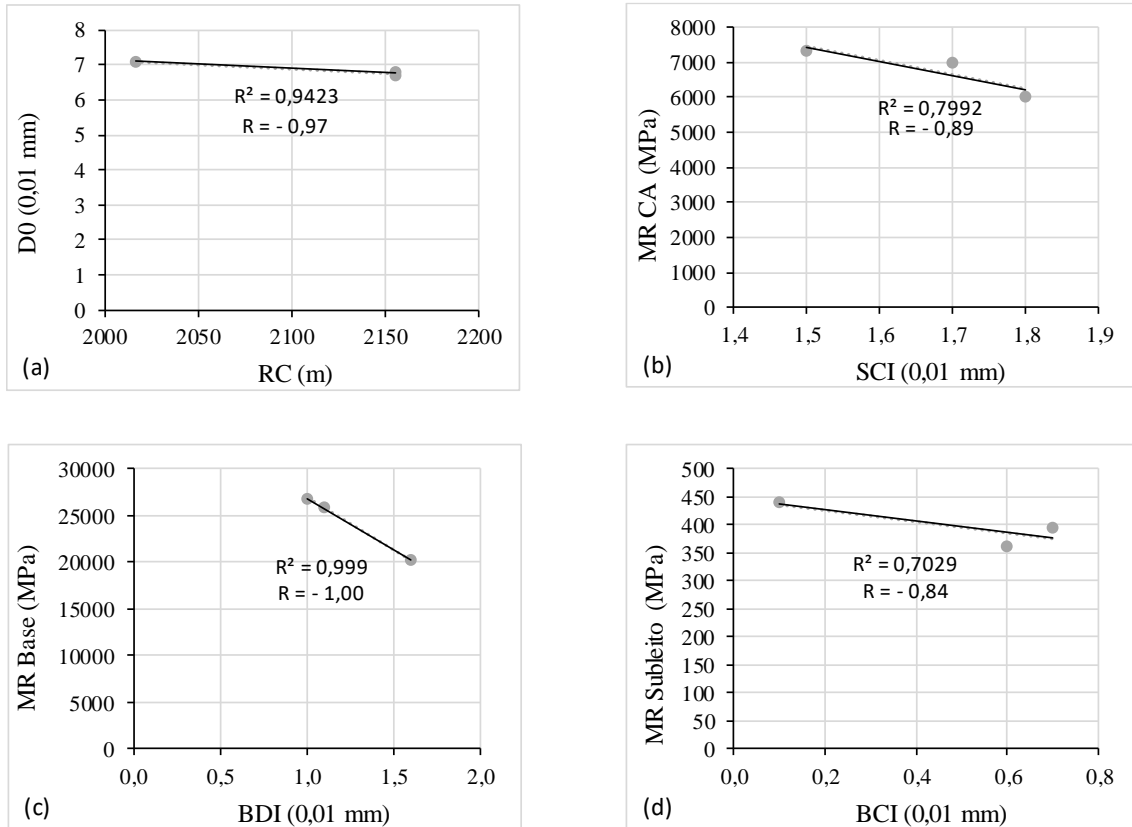


Figura 35 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 2 desta pesquisa

5.1.3 Trecho 3 - km 83,800 ao km 84,200/MG

Os módulos de elasticidade retroanalisados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 3 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 33 e representados graficamente na Figura 36.

Tabela 33 – Módulos retroanalisados referentes ao trecho 3 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 3												
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)			
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Subleito	Erro (µm)
									12 cm	30 cm		
B1	Campo	40,1	34,7	22,3	12,6	8,1	6,2	5,1	3387	150	278	22,3
	Retro	41,9	30,4	23,1	14,8	9,5	4,7	3,2				
B2	Campo	36,4	30,1	20,2	12,3	8,0	5,6	4,5	3785	192	288	14,5
	Retro	37,5	27,3	20,9	13,6	9,0	4,7	3,2				
B3	Campo	53,1	40,8	28,6	18,8	11,3	7,4	5,6	2401	142	197	11,2
	Retro	53,8	38,7	29,4	19,0	12,6	6,6	4,6				
B4	Campo	49,0	39,6	27,6	17,2	11,5	8,4	6,3	2692	171	191	16,5
	Retro	50,2	36,7	28,3	18,9	12,8	7,0	4,8				
B5	Campo	50,5	39,2	27,6	17,4	10,2	7,2	5,3	2602	140	217	12,7
	Retro	51,4	37,0	28,0	18,0	11,8	6,1	4,2				
DP		6,4	4,0	3,4	2,7	1,5	1,0	0,6	500	19	39	-
CV		14,0%	10,8%	13,3%	17,1%	15,4%	14,0%	11,0%	16,8%	11,9%	16,6%	-
Média dos Módulos de Elasticidade												
AEMC		45,2	32,9	25,1	16,3	10,8	5,6	3,8	2973	159	234	-
Média + DP	Campo	52,2	40,9	28,6	18,3	11,3	7,9	6,0	2526	147	198	13,8
	Retro	53,2	38,5	29,3	19,1	12,7	6,7	4,6				
	AEMC	52,0	37,8	28,8	18,8	12,5	6,6	4,5				
Média - DP	Campo	39,4	32,9	21,9	13,0	8,3	6,0	4,8	3409	164	272	17,2
	Retro	40,8	29,6	22,5	14,5	9,5	4,8	3,3				
	AEMC	40,5	29,5	22,5	14,5	9,5	4,8	3,3				

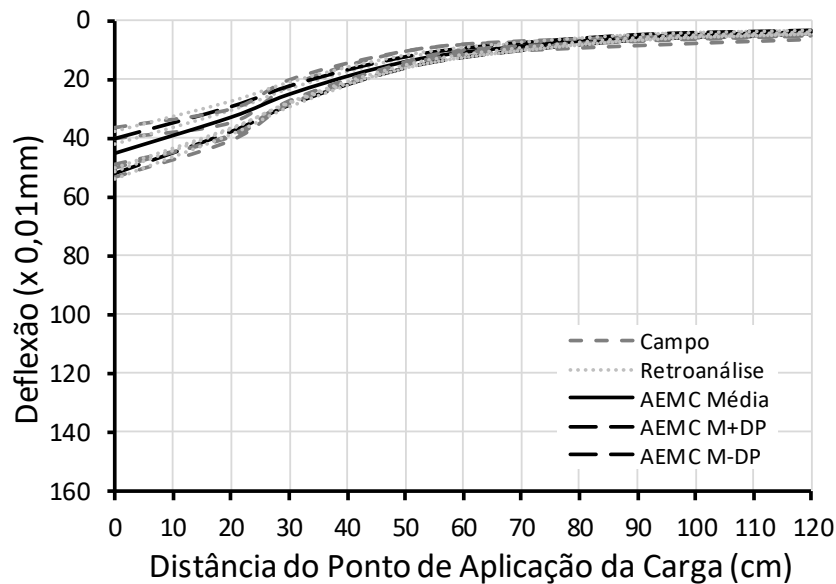


Figura 36 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 3 desta pesquisa

No trecho 3 desta pesquisa, o CV das bacias deflectométricas variam de 10,8% a 17,1%, com apenas 2 geofones apresentando valores maiores que 15%, a distâncias de 45 cm e 60 cm do ponto de aplicação de carga. As deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $36,4 \times 10^{-2} mm$ a $53,1 \times 10^{-2} mm$. Na Figura 36 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de

retroanálise pelo AEMC, estão bem próximas das bacias obtidas em campo. A camada de base apresentou valores homogêneos para os MR variando entre 140 MPa e 192 MPa, os MR do revestimento asfáltico e subleito, apresentaram média dispersão, com valores de MR variando entre 2401 MPa e 3785 MPa para o revestimento e entre 191 MPa e 288 MPa para o subleito.

Na Figura 37 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 3 desta pesquisa. Na Figura 37.a observou-se que todo o trecho apresentou valores de RC acima dos 100m. Na Figura 37.b pode-se observar que os valores de SCI não ultrapassam o critério limite, porém as bacias B3 e B5, que mais se aproximam do limite $25 \times 10^{-2} mm$, possuem os menores valores de MR do revestimento asfáltico. Nas figuras 37.c e 37.d, os parâmetros empíricos BDI e BCI encontrados a partir das bacias deflectométricas ficaram abaixo do critério limite, sugerindo boas condições estruturais para as camadas de base e subleito, porém os MR da base foram menores que do subleito.

Na Figura 38 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. No trecho 3, houve alta correlação em todas as análises.

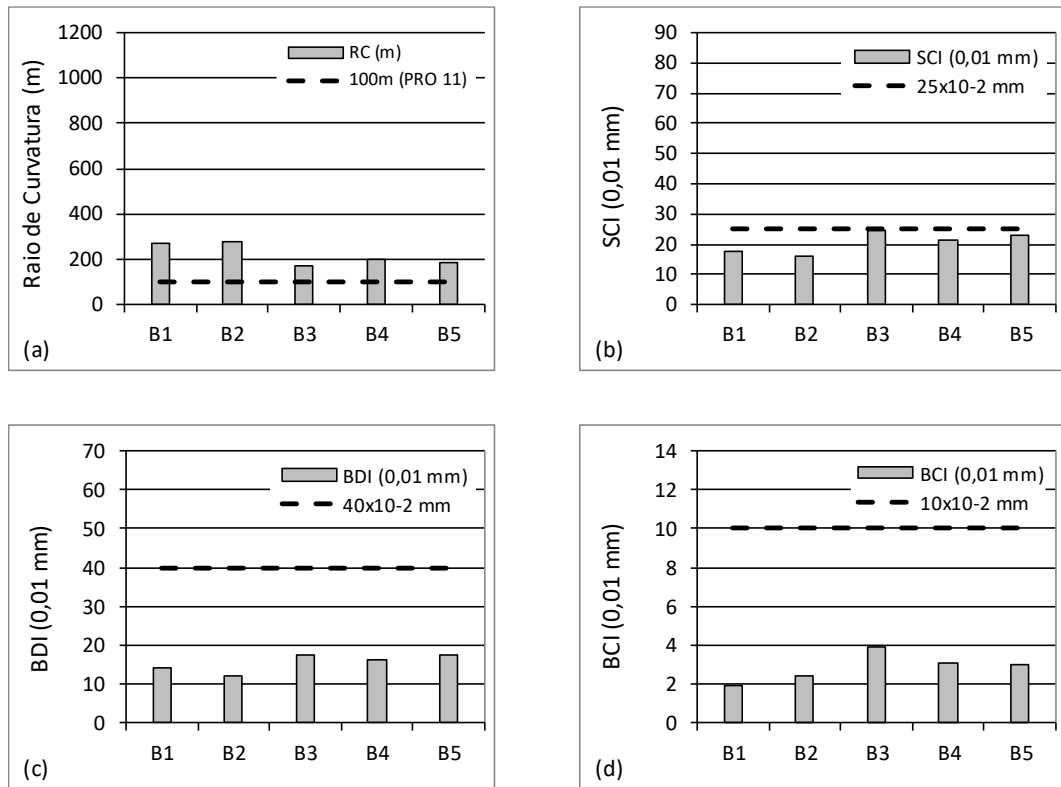


Figura 37 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 3 desta pesquisa

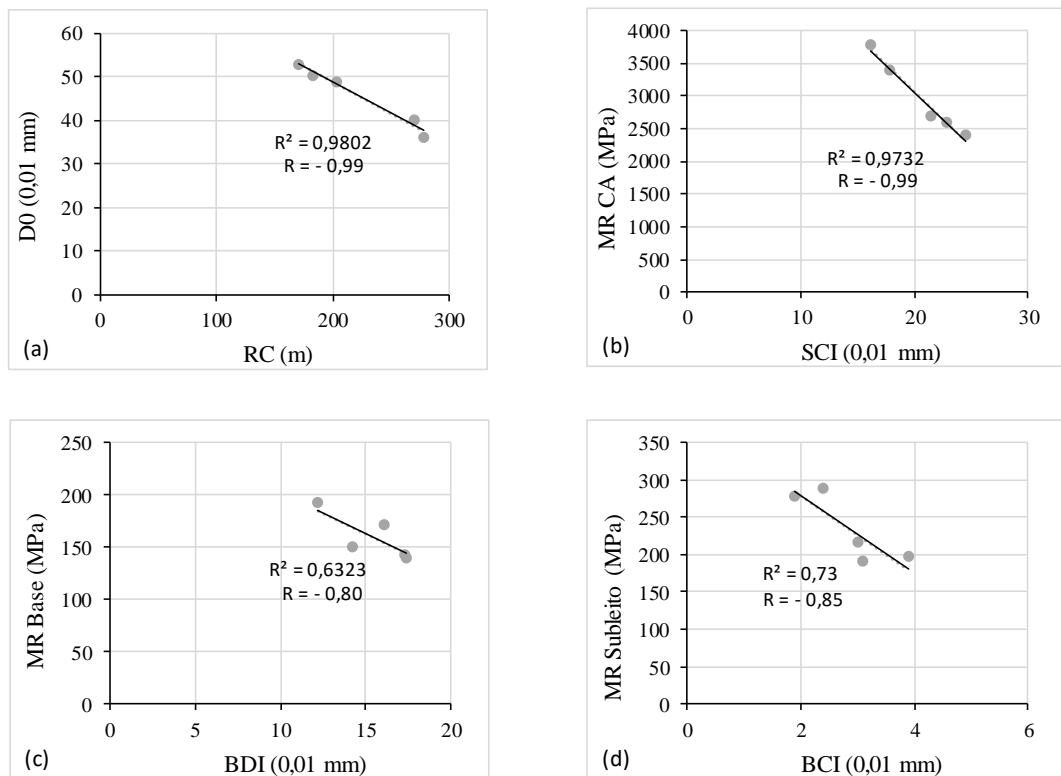


Figura 38 – Correlações: a) D₀ versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 3 desta pesquisa

5.1.4 Trecho 4 - km 153,050 ao km 153,450/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 4 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 34 e representados graficamente na Figura 39.

Tabela 34 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 4 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 4													
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)				Erro (µm)
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base	Subleito	
									15 cm	20 cm	20 cm		
B1	Campo	21,0	17,8	14,1	10,9	7,2	4,5	3,4	6234	1178	203	350	4,8
	Retro	21,4	17,1	14,3	10,7	8,0	4,5	2,9					
B2	Campo	15,7	13,9	11,1	9,1	6,6	5,0	3,6	9685	2948	341	347	4,7
	Retro	15,8	13,2	11,5	9,2	7,2	4,6	3,1					
B3	Campo	16,9	13,7	10,7	8,3	5,7	4,2	2,4	5859	2585	256	443	3,8
	Retro	17,0	13,3	11,1	8,3	6,2	3,5	2,3					
B4	Campo	16,4	13,6	11,2	8,8	6,0	3,9	2,6	7508	2368	253	421	2,5
	Retro	16,5	13,3	11,2	8,6	6,5	3,8	2,5					
B5	Campo	24,7	20,8	16,8	12,9	8,7	5,8	3,9	5690	870	181	288	4,7
	Retro	25,0	20,1	16,9	12,8	9,5	5,5	3,5					
DP		3,4	2,9	2,3	1,7	1,1	0,7	0,6	1419	778	53	53	-
CV		18,1%	18,1%	18,4%	16,9%	15,5%	14,3%	18,3%	20,3%	39,1%	21,3%	14,4%	-
Média dos Módulos de Elasticidade													
AEMC		17,6	14,3	12,1	9,3	7,1	4,2	2,7	6995	1990	247	370	-
Média + DP	Campo	22,4	18,8	15,1	11,7	7,9	5,3	3,8	4981	1811	210	306	4,9
	Retro	22,7	18,1	15,2	11,6	8,8	5,1	3,3					
	AEMC	21,8	17,4	14,7	11,3	8,5	5,0	3,2					
Média - DP	Campo	15,5	13,1	10,4	8,3	5,8	4,0	2,6	5788	4340	224	438	3,6
	Retro	15,8	12,4	10,6	8,2	6,3	3,7	2,4					
	AEMC	15,1	12,0	10,3	8,0	6,2	3,7	2,4					

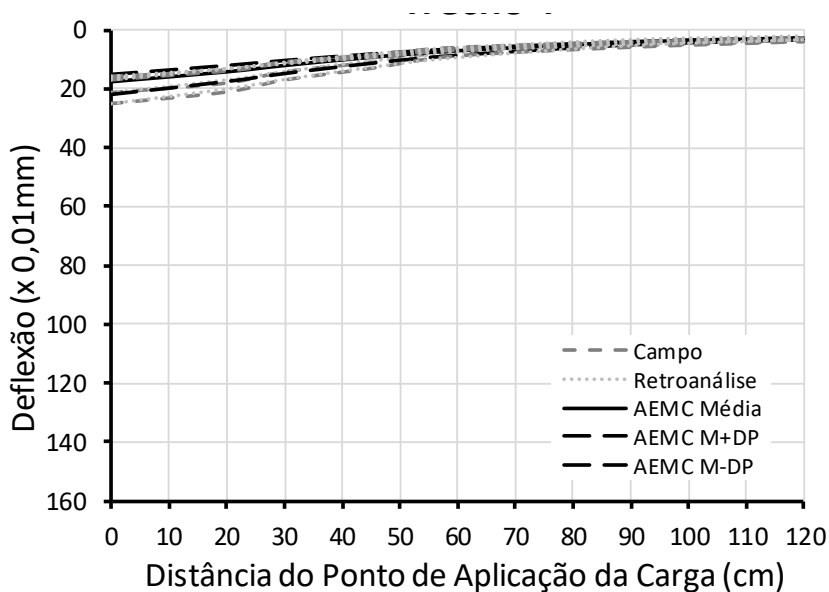


Figura 39 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 4 desta pesquisa

No trecho 4 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $15,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$ a $24,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$ (Tabela 34). Na Figura 39 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão bem próximas das bacias obtidas em campo. O CV das bacias deflectométricas variam de 14,3% a 18,4%, como apenas 1 geofone apresentou valor abaixo de 15%, pode-se definir as bacias deflectométricas do trecho com média dispersão. O subleito apresentou MR determinados na retroanálise com valores considerados homogêneos, variando entre 288 MPa e 443 MPa. Os MR do revestimento asfáltico, base e sub-base apresentaram média dispersão, assim como as deflexões do trecho, com valores de MR variando entre 5690 MPa e 9685 MPa para o revestimento; 870 a 2948 para base e 181 MPa e 341 MPa para a sub-base.

Na Figura 40 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 4 desta pesquisa. Na Figura 40.a observou-se que em todo o trecho foram encontrados valores de RC elevados, muito acima dos 100m. Na Figura 40.b, Figura 40.c e Figura 40.d, os parâmetros empíricos SCI, BDI e BCI encontrados a partir das bacias deflectométricas ficaram bem abaixo do critério limite, sugerindo boas condições estruturais para as camadas de revestimento, base e subleito, apresentando coerente aos valores de MR retroanalísados.

Na Figura 41 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. No trecho 4, houve alta correlação em todas as análises.

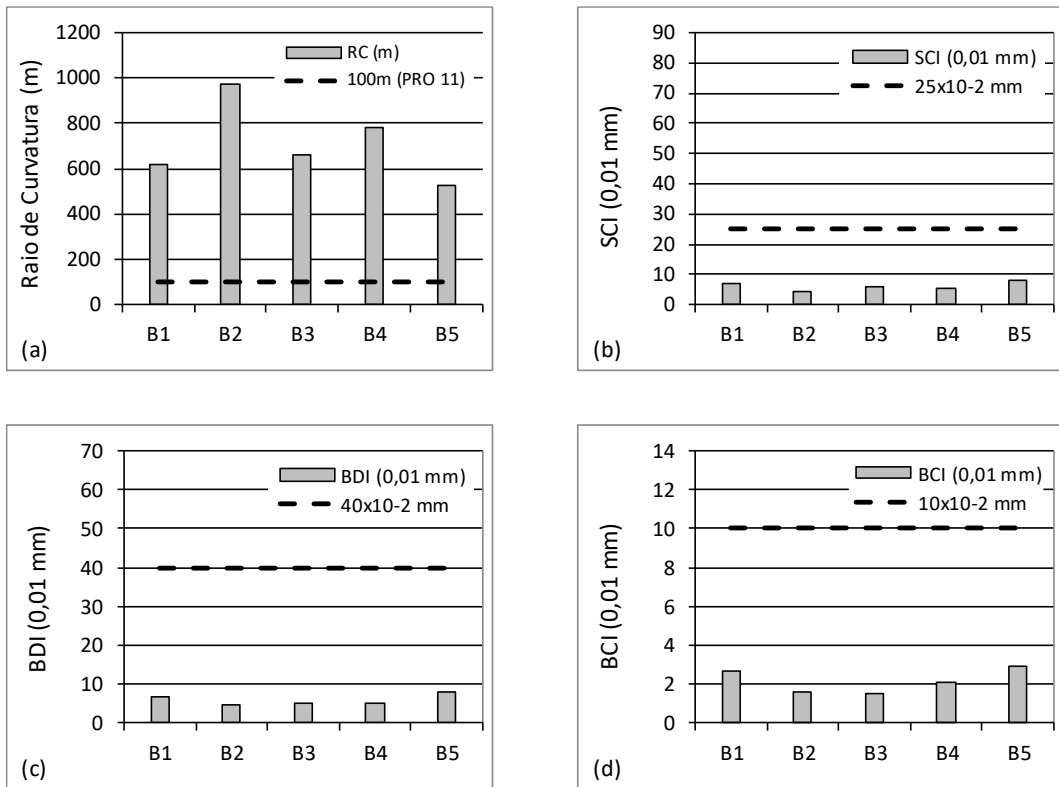


Figura 40 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 4 desta pesquisa

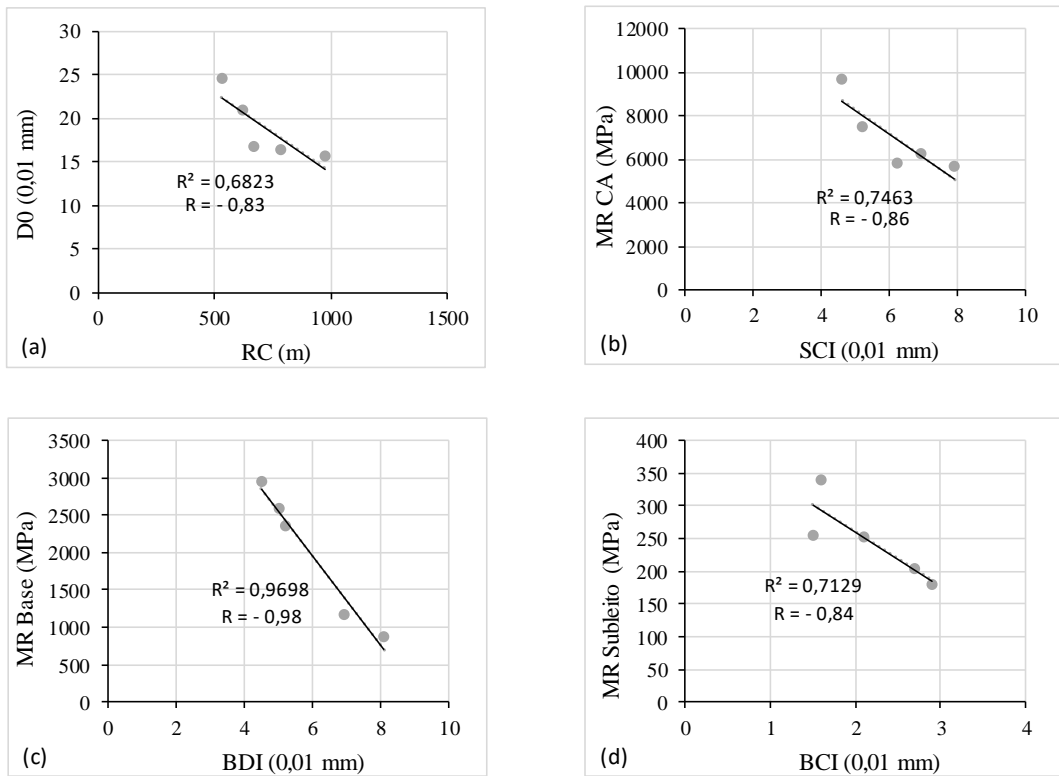


Figura 41 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 4 desta pesquisa

5.1.5 Trecho 5 - km 337,800 ao km 338,200/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 5 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 35 e representados graficamente na Figura 42.

Tabela 35 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 5 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 5													
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)				Erro (µm)
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base	Subleito	
									10 cm	15 cm	20 cm		
B1	Campo	78,6	64,6	52,4	39,8	26,1	15,4	10,3	5235	129	81	98	8,4
	Retro	78,9	64,1	53,0	38,5	27,6	15,1	9,9					
B2	Campo	81,6	62,8	46,7	33,0	21,1	14,4	10,4	2515	210	197	105	12,2
	Retro	82,1	61,2	47,8	32,6	22,7	12,9	9,1					
B3	Campo	75,0	59,7	45,1	32,1	19,8	12,6	9,5	3709	105	210	116	12,0
	Retro	75,7	58,1	45,9	31,4	21,7	11,9	8,2					
B5	Campo	74,0	53,6	38,6	25,2	14,3	9,0	6,9	2545	145	162	157	8,3
	Retro	74,3	52,8	39,1	24,4	15,7	8,4	6,0					
DP		3,0	4,2	4,9	5,2	4,2	2,4	1,4	1047	37	47	22	-
CV		3,9%	6,9%	10,8%	15,9%	20,7%	19,0%	15,3%	29,9%	24,9%	29,1%	18,1%	-
Média dos Módulos de Elasticidade									3501	147	163	119	-
AEMC		71,4	54,6	42,9	29,2	20,1	11,0	7,6	3763	206	149	96	9,4
Média + DP	Campo	80,3	64,4	50,6	37,7	24,5	15,3	10,7					
	Retro	80,7	63,5	51,4	36,6	26,2	14,9	10,2	2760	150	165	136	10,4
AEMC		75,8	59,8	48,5	34,5	24,7	14,0	9,6					
Média - DP	Campo	74,3	56,0	40,8	27,4	16,1	10,4	7,9	2760	150	165	136	10,4
	Retro	74,8	54,6	41,5	26,9	17,8	9,7	6,8					
AEMC		71,8	52,7	40,0	25,9	17,2	9,3	6,6	-	-	-	-	-

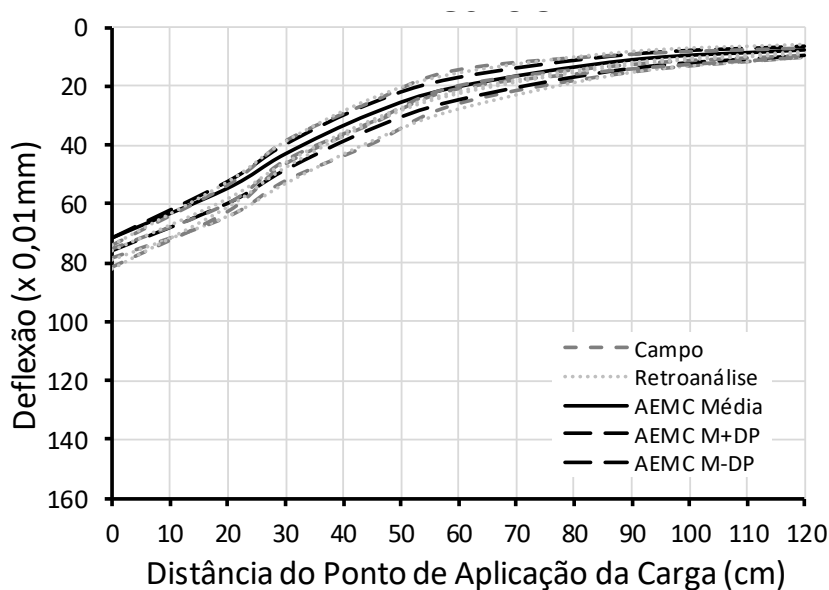


Figura 42 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 5 desta pesquisa

No trecho 5 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $74 \times 10^{-2} mm$ a $81,6 \times 10^{-2} mm$. Na Figura 42 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo. O CV das bacias deflectométricas variam de 3,9% a 20,7%, com os maiores valores sendo verificados nos geofones mais afastados do ponto de aplicação da carga. Os MR retroanalizados apresentaram média dispersão em todas as camadas, com MR do revestimento asfáltico variando entre 2515 MPa a 5235 MPa, 105 a 210 para camada de base, 81 MPa a 210 MPa para camada de sub-base e 98 MPa a 157 MPa para o subleito (Tabela 35).

Na Figura 43 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 5 desta pesquisa. Na Figura 43.a observou-se que todo o trecho apresentou valores de RC maiores que 100m, porém em algumas bacias o RC não foi tão acima do critério, indicando que a estrutura se encaminha para uma baixa capacidade estrutural. Na Figura 43.b foi verificado que os valores de SCI em todo o trecho ultrapassou o critério limite, indicando baixa rigidez da camada de revestimento asfáltico. Na Figura 43.c o parâmetro empírico BDI ficou abaixo do critério limite em todo o trecho, indicando boas condições da camada de base, e pela Figura 43.d, vê-se que uma das bacias deflectométricas apresentou o parâmetro BCI acima do critério limite de $10 \times 10^{-2} mm$, já o parâmetro empírico nas demais bacias deflectométricas ficaram abaixo do critério limite, sugerindo boas condições estruturais para o subleito. Pelos MR encontrados na retroanálise para a camada de base, esperava-se valores de BDI maiores que $40 \times 10^{-2} mm$.

Na Figura 44 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (b) e (d) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (a) e (c) os parâmetros analisados não apresentaram nenhuma correlação.

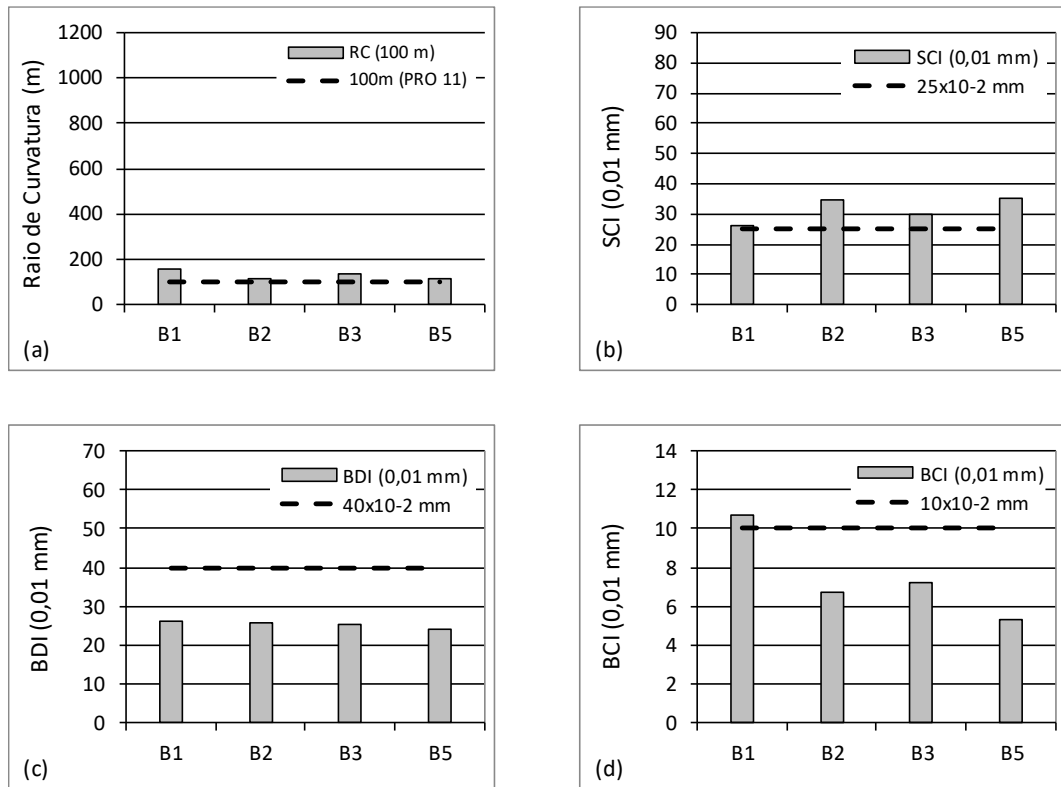


Figura 43 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 5 desta pesquisa

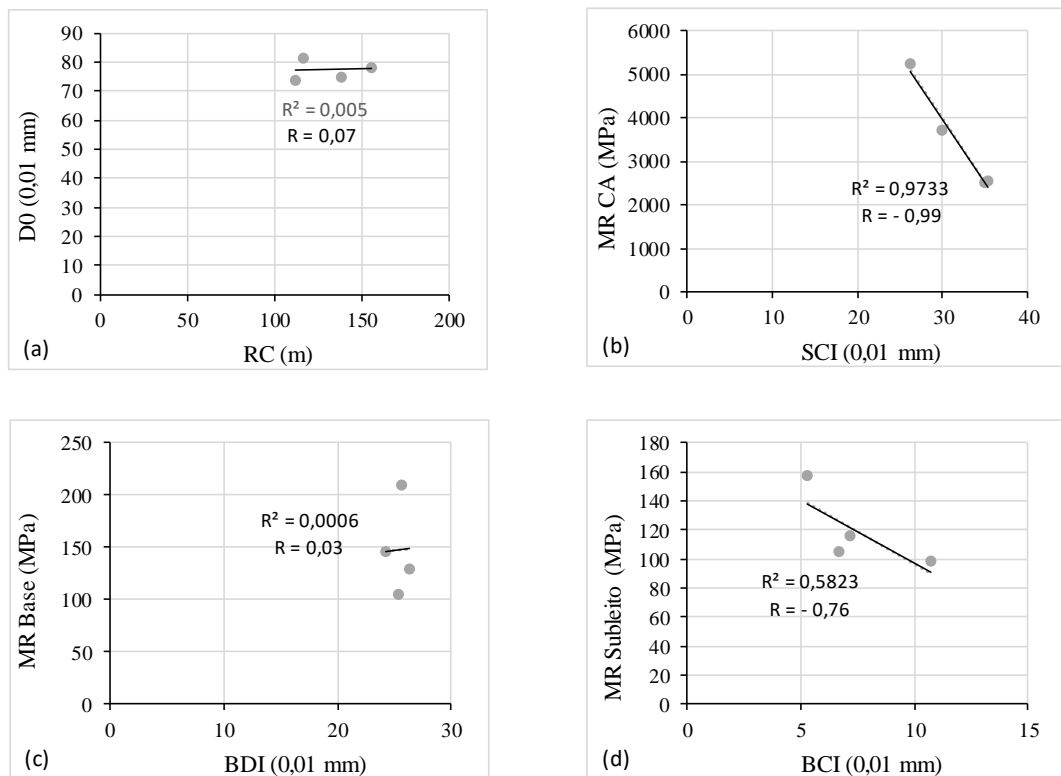


Figura 44 – Correlações: a) D₀ versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 5 desta pesquisa

5.1.6 Trecho 6 - km 407,450 ao km 407,850/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto através do BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 6 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 36 e representados na Figura 45.

Tabela 36 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 6 desta pesquisa

Bacia		Retroanálise Trecho 6							Módulos de Elasticidade (MPa)			
		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							CA 13 cm	Base 18 cm	Subleito	Erro (µm)
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀				
B1	Campo	46,9	34,6	25,1	17,5	11,1	7,6	5,1	2060	249	180	6,2
	Retro	47,2	33,7	25,8	17,2	11,9	6,9	4,9				
B2	Campo	61,2	46,2	35,0	23,7	15,9	10,4	7,4	1785	168	128	6,4
	Retro	61,6	45,2	35,2	24,0	16,7	9,6	6,8				
B3	Campo	42,4	34,7	25,5	18,8	12,4	8,8	6,6	3061	307	159	10,5
	Retro	43,0	32,9	26,5	18,9	13,6	8,0	5,6				
B4	Campo	40,5	34,8	25,3	19,7	13,3	8,2	5,7	4430	137	171	10,8
	Retro	41,3	32,7	26,8	19,4	14,0	7,9	5,3				
B5	Campo	65,7	50,2	31,3	21,2	13,0	10,2	7,8	1279	133	145	22,8
	Retro	67,0	46,1	34,2	21,7	14,4	8,2	6,0				
DP		10,2	6,7	4,0	2,1	1,6	1,1	1,0	1065	65	18	-
CV		19,9%	16,8%	14,1%	10,6%	12,0%	12,2%	15,5%	42,2%	32,8%	11,3%	-
Média dos Módulos de Elasticidade									2523	199	157	-
AEMC		50,1	37,6	29,6	20,5	14,4	8,2	5,8	1579	177	138	12,9
Média + DP	Campo	61,5	46,8	32,5	22,3	14,7	10,1	7,5				
	Retro	62,3	44,5	34,1	22,6	15,6	9,0	6,4				
AEMC		63,2	45,4	34,7	23,1	15,9	9,1	6,6	3213	222	173	9,1
Média - DP	Campo	41,1	33,4	24,4	18,0	11,6	7,9	5,5				
	Retro	41,7	31,8	25,4	17,8	12,6	7,3	5,1				
AEMC		43,3	33,1	26,4	18,5	13,2	7,6	5,3				

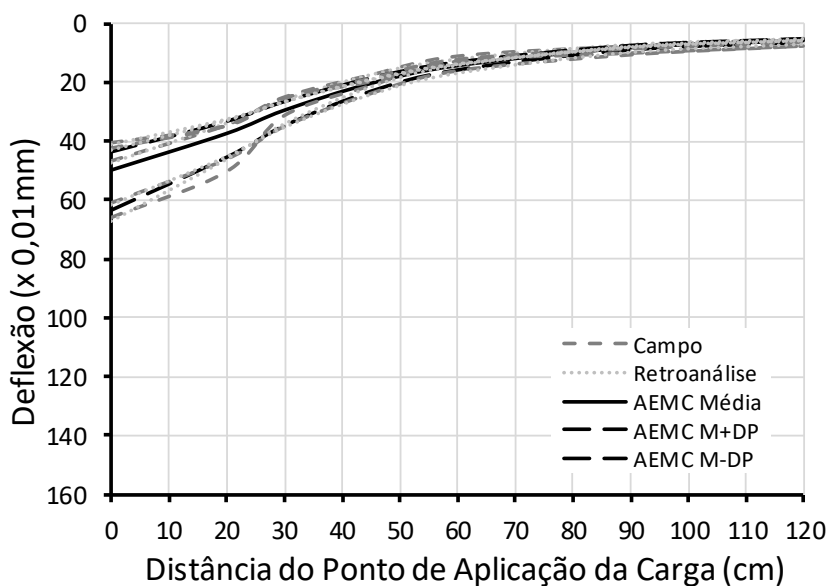


Figura 45 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 6 desta pesquisa

No trecho 6 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $40,5 \times 10^{-2} \text{ mm}$ a $65,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$ (Tabela 36). Na Figura 45 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo, observa-se também que as bacias deflectométricas se dividem em duas faixas de valores, sendo as bacias com D_0 de $40 \times 10^{-2} \text{ mm}$ a $50 \times 10^{-2} \text{ mm}$, e as com D_0 acima de $60 \times 10^{-2} \text{ mm}$. O CV das bacias deflectométricas variam de 10,6% a 19,9%, com os maiores valores sendo verificados nos geofones mais próximos do ponto de aplicação de carga. Os MR retroanalizados apresentaram alta dispersão nas camadas de revestimento asfáltico (1279 MPa a 4430 MPa) e base (133 MPa a 307 MPa), e homogêneos na camada de subleito (128 MPa a 180 MPa), acompanhando as variações observadas das bacias.

Na Figura 46 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 6 desta pesquisa. Na Figura 46.a observou-se que todo o trecho apresentou valores de RC maiores que 100m. Na Figura 46.b foi verificado que as bacias B2 e B5 apresentaram valores de SCI maiores que o critério limite, que foram onde se encontraram os menores MR da camada de revestimento asfáltico. Na Figura 46.c e Figura 46.d todo o trecho apresentou os parâmetros empíricos BDI e BCI abaixo do critério limite, sugerindo boas condições estruturais para a camada de base e para o subleito. Observou-se boa correspondência entre os parâmetros empíricos e os MR encontrados na retroanálise.

Na Figura 47 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (a) e (b) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (c) e (d) os parâmetros analisados obtiveram baixa correlação.

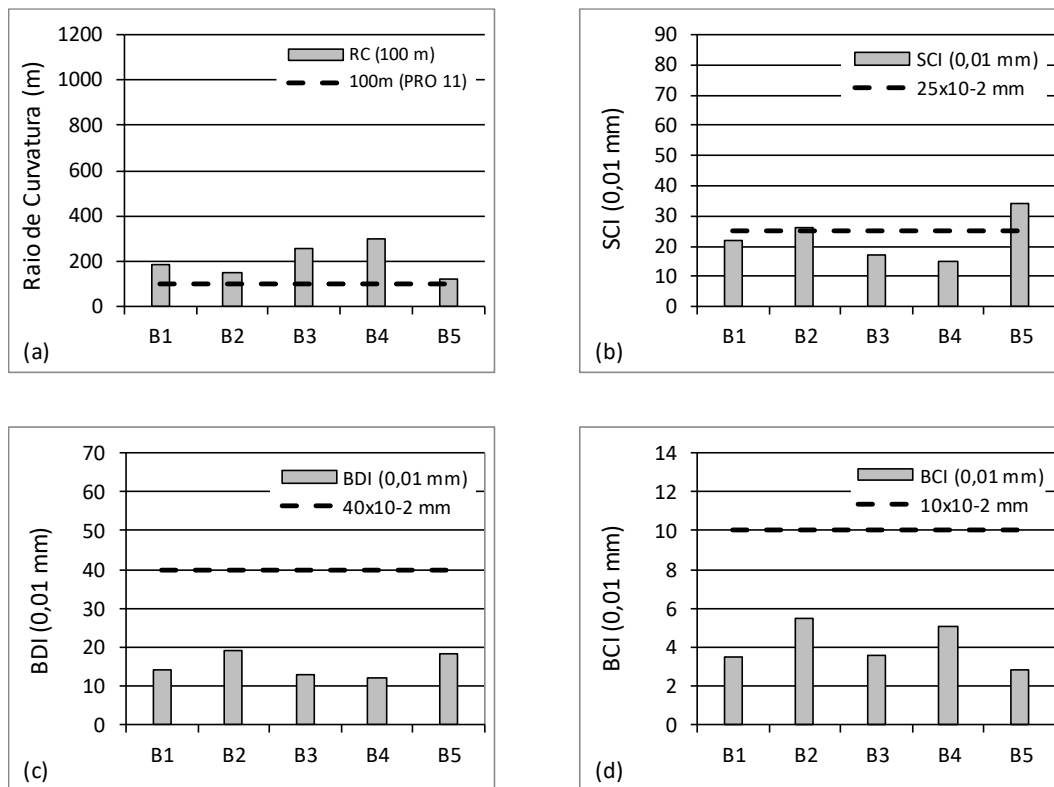


Figura 46 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 6 desta pesquisa

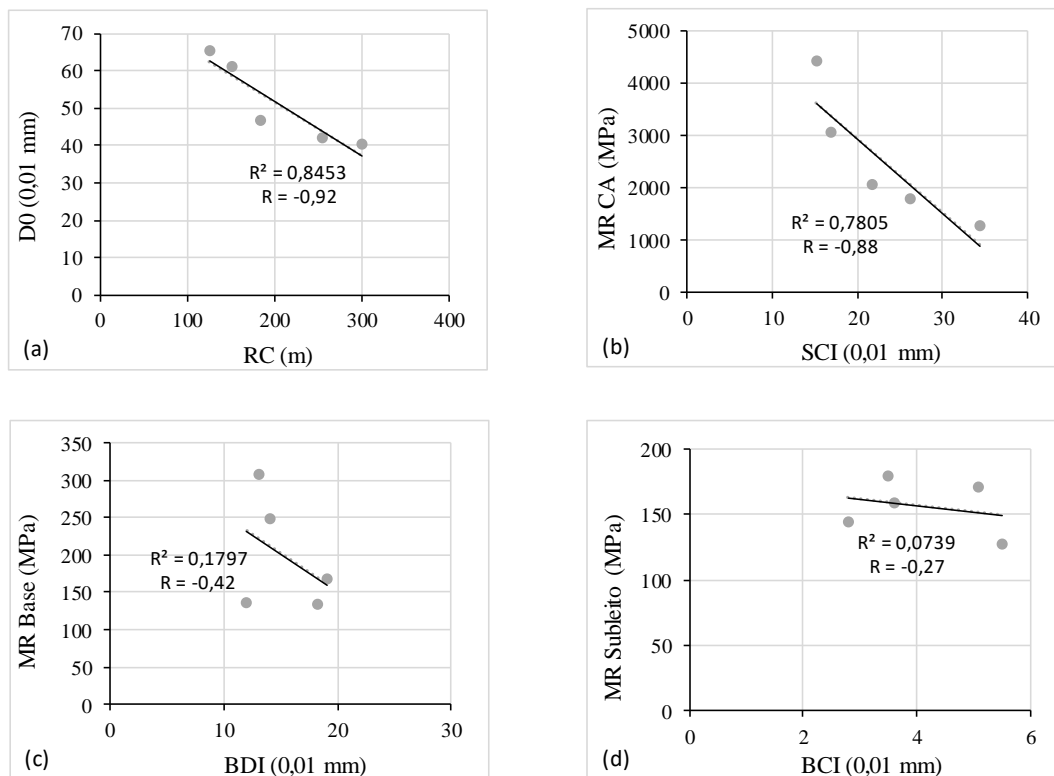


Figura 47 – Correlações: a) D₀ versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 6 desta pesquisa

5.1.7 Trecho 7 - km 574,400 ao km 574,800/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 7 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 37 e representados graficamente na Figura 48.

Tabela 37 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 7 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 7													
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)						Módulos de Elasticidade (MPa)				Erro (μ m)	
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base		Subleito
									15 cm	16 cm	15 cm		
B1	Campo	39,2	29,2	22,3	14,1	8,0	4,2	2,1	2800	59	1252	425	4,1
	Retro	39,5	28,8	22,1	14,1	8,8	3,6	2,1					
B3	Campo	45,7	33,6	26,2	18,6	10,8	7,0	4,1	2302	75	1775	236	6,3
	Retro	45,7	33,6	26,3	17,7	12,1	6,4	4,2					
B4	Campo	39,3	30,7	24,5	15,1	8,5	4,9	2,9	3100	57	681	381	8,5
	Retro	40,0	29,9	23,5	15,5	9,9	4,3	2,4					
B5	Campo	42,7	31,8	26,1	18,3	10,2	7,0	4,2	2707	73	1474	244	8,4
	Retro	42,8	32,1	25,5	17,5	12,0	6,2	4,0					
DP		2,7	1,6	1,6	2,0	1,2	1,2	0,9	268,9	7,6	377,5	78,3	-
CV		6,5%	5,1%	6,4%	11,9%	12,4%	21,6%	26,3%	9,9%	11,5%	29,1%	24,3%	-
Média dos Módulos de Elasticidade									2727	66	1296	322	-
AEMC		38,5	28,5	22,2	14,6	9,4	4,3	2,7	2356	90	3135	227	7,8
Média +	Campo	44,4	32,9	26,4	18,5	10,5	7,0	4,2					
	Retro	44,7	32,9	25,8	17,6	12,2	6,6	4,4	2640	78	1361	324	7,1
DP	AEMC	41,0	30,3	23,8	16,3	11,3	6,1	4,1					
Média -	Campo	39,0	29,7	23,2	14,6	8,2	4,5	2,5	2640	78	1361	324	7,1
	DP	Retro	39,7	28,9	22,3	14,6	9,4	4,5					
	AEMC	37,2	27,2	21,0	13,7	8,9	4,2	2,7	-	-	-	-	-

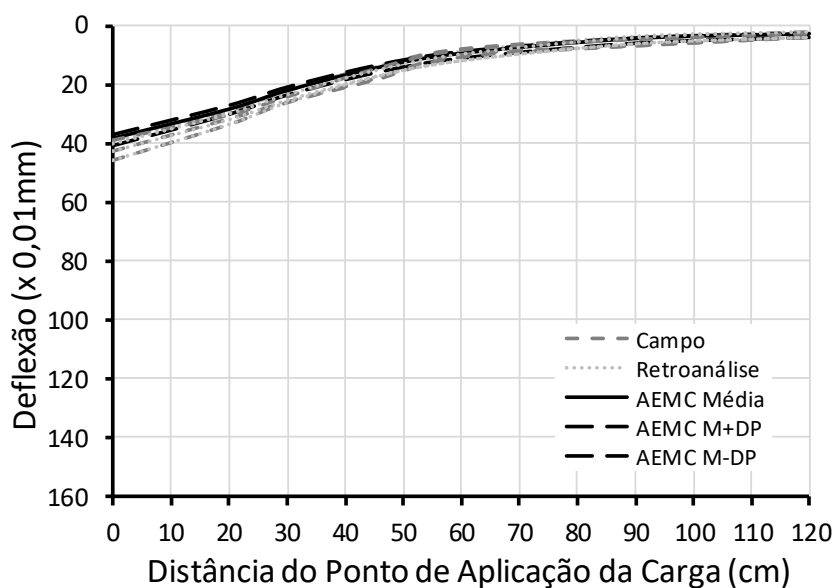


Figura 48 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 7 desta pesquisa

No trecho 7 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $39,2 \times 10^{-2} \text{ mm}$ a $45,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$ (Tabela 37). Na Figura 48 observou-se pelas linhas deflectométricas que bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo. O CV das bacias deflectométricas variaram entre 5,1% a 26,3%, com os maiores valores sendo verificados nos geofones mais afastados do ponto de aplicação de carga. Os MR retroanalizados acompanharam a dispersão vista nas bacias deflectométricas, onde os MR do revestimento asfáltico (2302 MPa a 3100 MPa) e da camada de base (57 MPa a 75 MPa) apresentaram valores com pouca dispersão, já a camada de sub-base (681 MPa a 1775 MPa) e o subleito (236 MPa a 425 MPa) apresentaram valores com média dispersão.

Na Figura 49 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 7 desta pesquisa. Na Figura 49.a observou-se que todo o trecho apresentou valores de RC maiores que 100m. Na Figura 49.b, Figura 49.c e Figura 49.d, foi verificado que todo o trecho apresentou os parâmetros empíricos SCI, BDI e BCI abaixo do critério limite, sugerindo boas condições estruturais para as camadas de revestimento asfáltico, base e para o subleito. O que pôde ser observado, foi que mesmo o BCI indicando valores abaixo do critério limite e com isso boas condições estruturais da camada de base, o mesmo não foi indicado pelos MR encontrados na retroanálise.

Na Figura 50 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (a) e (b) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (c) e (d) os parâmetros analisados obtiveram baixa correlação.

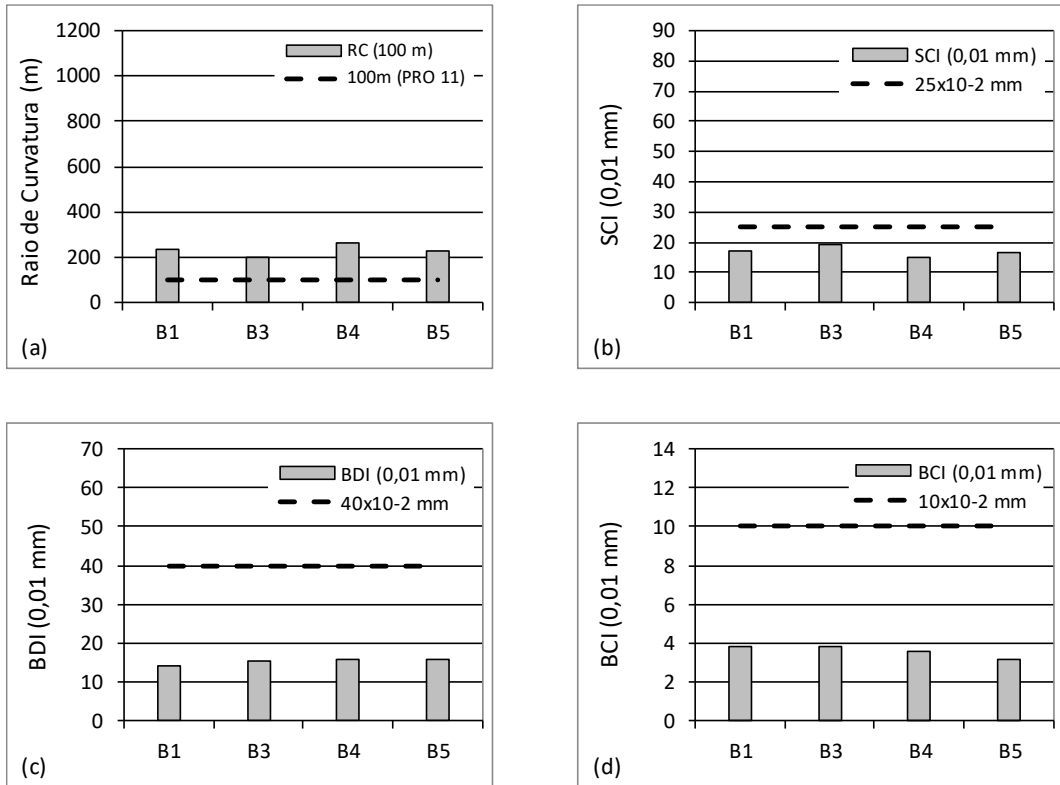


Figura 49 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 7 desta pesquisa

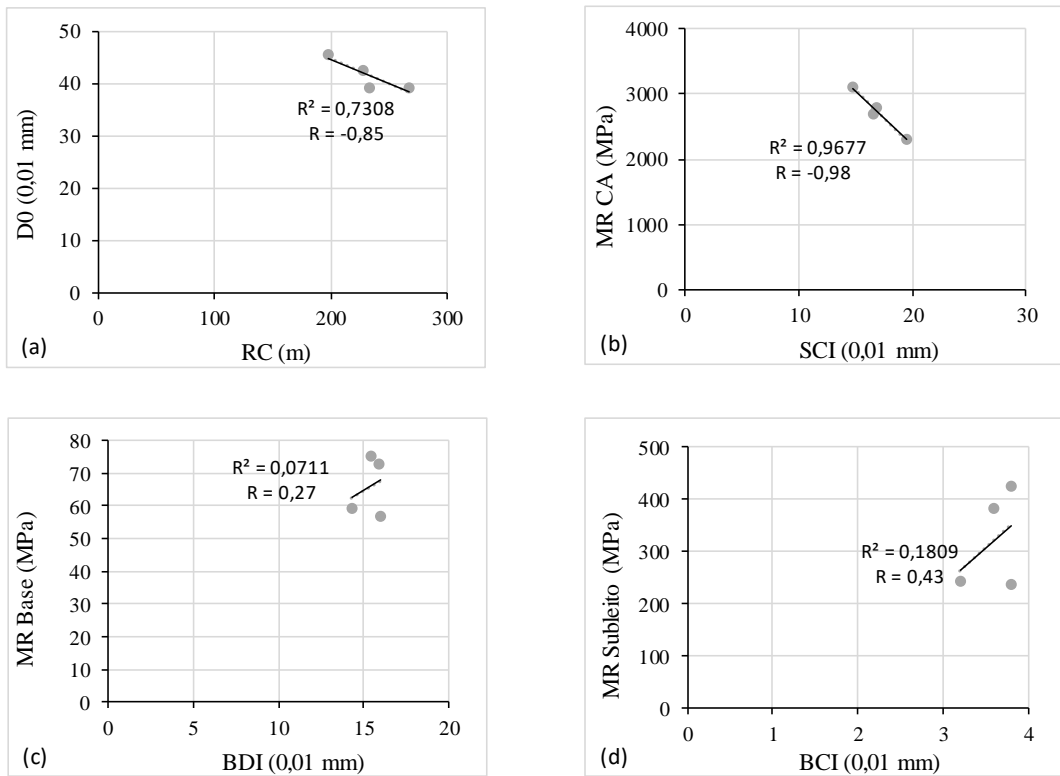


Figura 50 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 7 desta pesquisa

5.1.8 Trecho 8 - km 644,570 ao km 644,970/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto pelo processo direto com o BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 8 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 38 e representados graficamente na Figura 51.

Tabela 38 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 8 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 8														
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)					Erro (µm)
									CA	Base	Sub-base	Reforço Subleito	Subleito	
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	11,5 cm	23 cm	13 cm	20 cm		
B1	Campo	71,6	56,3	41,5	26,3	14,1	9,1	5,4	3483	51	165	365	213	21,2
	Retro	71,5	55,1	43,4	28,7	18,3	7,7	4,3						
B2	Campo	57,2	45,1	37,8	28,8	21,2	14,5	8,5	4813	168	101	190	127	44,5
	Retro	63,7	51,9	43,4	32,2	23,5	13,0	8,3						
B3	Campo	71,5	58,9	43,8	26,7	19,3	12,9	8,0	3077	72	230	508	153	21,6
	Retro	72,9	55,8	44,1	29,8	20,0	10,0	6,4						
B4	Campo	38,2	30,1	23,2	15,5	10,0	6,6	4,2	6258	140	325	627	299	7,5
	Retro	38,4	29,7	23,6	16,0	10,7	5,2	3,3						
B5	Campo	55,8	43,1	30,8	18,3	10,7	6,6	4,2	3083	95	363	614	263	11,3
	Retro	56,8	41,2	30,9	19,3	11,9	5,5	3,6						
DP		12,3	10,3	7,5	5,2	4,5	3,2	1,8	1177	41	93	157	62	-
CV		21,0%	22,1%	21,3%	22,6%	29,9%	32,6%	30,5%	28,4%	39,1%	39,2%	34,1%	29,2%	-
Média dos Módulos de Elasticidade														
AEMC		50,0	38,4	30,3	20,5	13,7	6,7	4,3	4143	105	237	461	211	-
Média + DP	Campo	71,2	57,0	43,0	28,3	19,6	13,2	7,9	2734	104	327	529	135	13,6
	Retro	72,3	54,8	43,2	29,6	20,6	11,2	7,5						
Média - DP	AEMC	66,0	50,2	39,6	27,2	18,9	10,3	6,9	4382	128	289	670	249	8,0
	Campo	46,5	36,4	27,9	17,9	10,6	6,7	4,2						
	Retro	46,9	35,4	27,6	18,4	12,2	6,0	3,9						
AEMC		43,2	32,7	25,5	17,0	11,3	5,6	3,6						

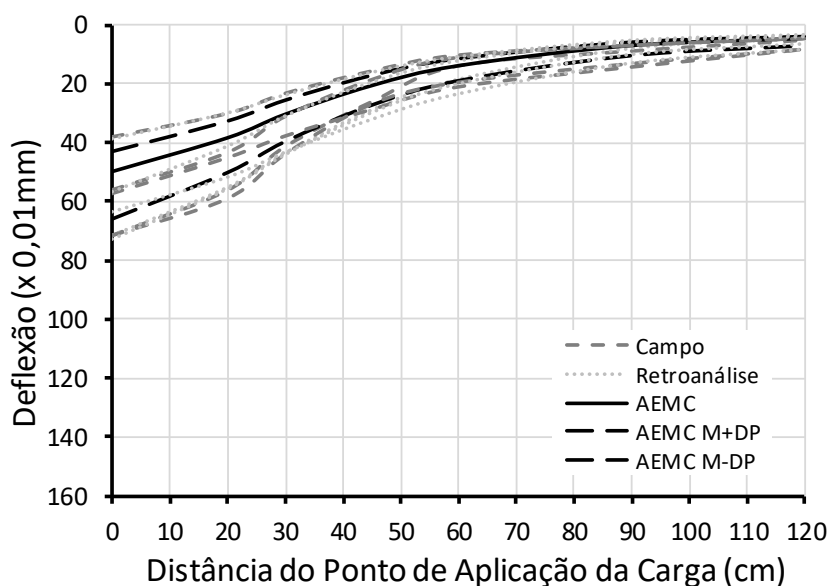


Figura 51 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 8 desta pesquisa

No trecho 8 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $38,2 \times 10^{-2} mm$ a $71,6 \times 10^{-2} mm$ (Tabela 38). Na Figura 51 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo, podendo observar visualmente a dispersão das bacias. O CV das bacias deflectométricas variaram entre 21,0% a 32,6%, apresentando média dispersão, com os maiores valores sendo verificados nos geofones mais afastados do ponto de aplicação de carga. Os MR retroanalizados, assim como as bacias deflectométricas, apresentaram valores com média a alta dispersão, sendo os MR do revestimento variando seus valores entre 3077 MPa a 6258 MPa; os MR da camada de base entre 51 MPa a 168 MPa; a camada de sub-base teve seus MR entre 101 MPa e 363 MPa; o reforço de subleito apresentou MR entre 190 MPa a 627 MPa e o subleito indicou MR entre 127 MPa a 299 MPa.

Na Figura 52 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 8 desta pesquisa. Na Figura 52.a observou-se que todo o trecho apresentou valores de RC maiores que 100m. Na Figura 52.b foi verificado que as bacias B1, B3 e B5 apresentaram valores do parâmetro SCI iguais ou acima do critério limite de $25 \times 10^{-2} mm$, indicando revestimento pouco resistente, e essas bacias apresentaram os menores MR da camada de revestimento asfáltico; B2 e B4 apresentaram SCI com valores abaixo do limite do critério e MR mais altos. Na Figura 52.c e Figura 52.d, foi verificado que todo o trecho apresentou os parâmetros empíricos BDI e BCI abaixo do critério limite, sugerindo boas condições estruturais para a camada de base e para o subleito, porém os MR encontrados para a base indicam problemas de rigidez para a camada.

Na Figura 53 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. No trecho 8, houve alta correlação em todas as análises destes parâmetros.

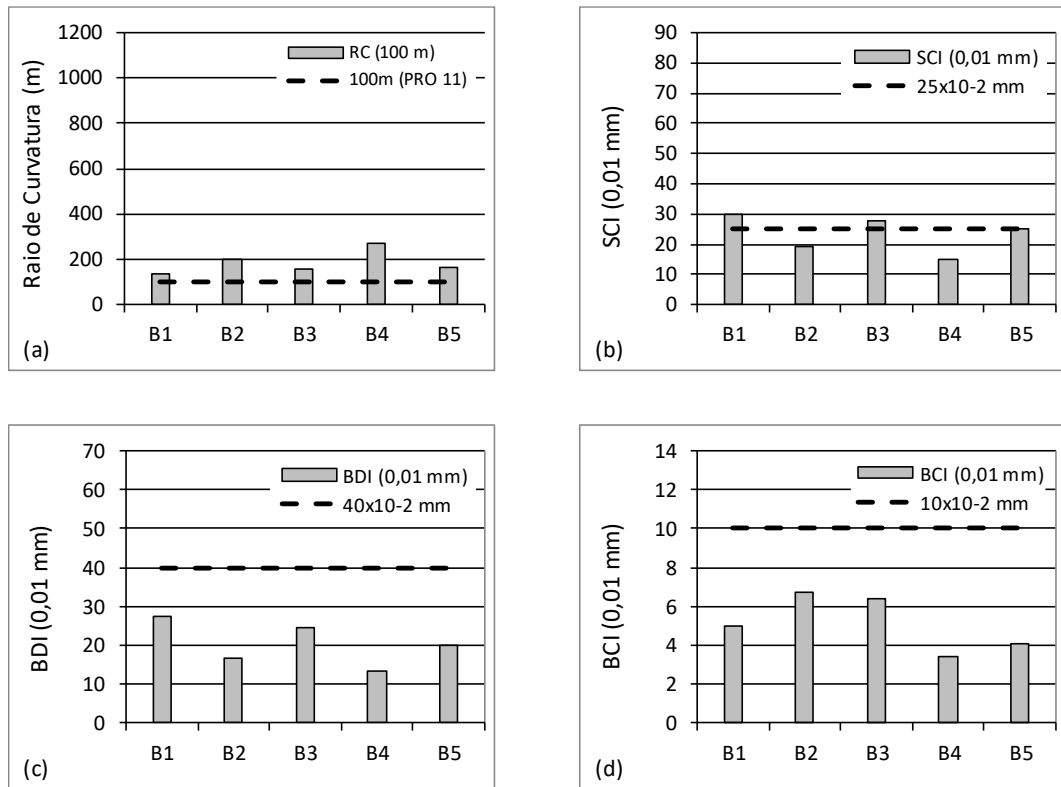


Figura 52 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 8 desta pesquisa

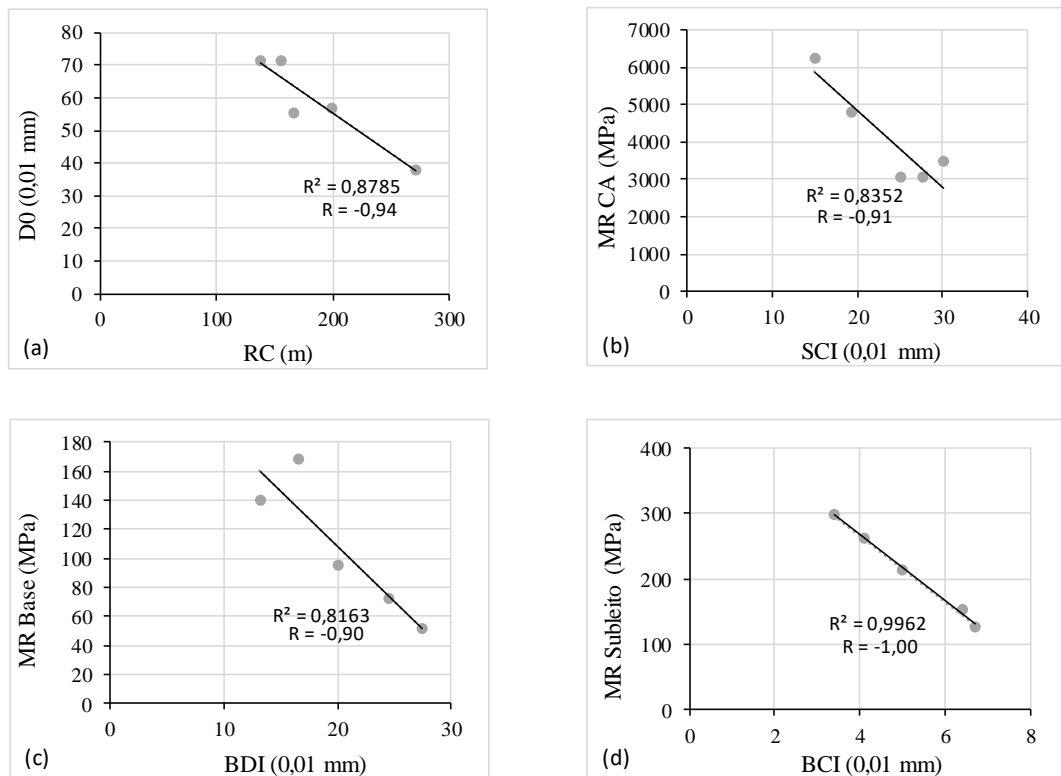


Figura 53 – Correlações: a) D₀ versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 8 desta pesquisa

5.1.9 Trecho 9 - km 631,350 ao km 631,750/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 9 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 39 e representados graficamente na Figura 54.

Tabela 39 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 9 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 9														
Bacia	Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)					Erro (µm)	
								CA	Base	Sub-base	Reforço Subleito	Subleito		
	D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	10 cm	17 cm	18 cm	30 cm			
B1	Campo	141,9	108,8	80,2	43,4	22,8	13,6	7,7	1521	23	52	251	120	29,8
	Retro	144,8	105,0	77,6	46,0	26,4	10,3	6,5						
B2	Campo	154,9	125,3	87,1	49,0	27,4	16,5	8,7	1496	21	44	281	104	44,0
	Retro	159,4	117,0	87,5	53,0	31,2	12,5	7,9						
B3	Campo	131,1	104,2	76,4	42,7	22,6	15,2	9,0	1858	23	81	263	117	35,8
	Retro	134,3	99,3	74,8	46,0	27,5	11,4	7,1						
B4	Campo	119,5	91,4	65,0	35,6	14,2	6,4	4,3	1975	22	69	243	265	25,6
	Retro	121,7	87,8	64,1	36,2	18,7	4,7	2,4						
B5	Campo	95,8	76,9	58,2	30,1	14,0	7,5	5,0	2813	21	100	260	264	30,8
	Retro	98,8	73,4	55,1	32,9	18,3	5,5	2,8						
DP		20,2	16,3	10,4	6,6	5,3	4,1	1,9	456	1	19	202	71	-
CV		15,7%	16,1%	14,2%	16,4%	26,1%	34,7%	27,8%	23,6%	3,9%	27,7%	61,2%	40,6%	-
Média dos Módulos de Elasticidade														
AEMC		128,9	94,3	69,8	41,0	22,8	7,7	4,5	1933	22	69	330	174	-
Média + DP	Campo	148,8	117,7	83,8	46,7	25,5	16,0	8,9						37,7
	Retro	152,8	111,4	82,9	49,9	29,4	12,0	7,7	1549	23	72	190	110	-
Média - DP	AEMC	153,8	112,5	83,7	50,5	29,7	12,2	7,7						-
	Campo	108,5	85,0	62,9	33,6	14,9	7,7	5,0						28,3
	Retro	111,1	81,6	60,5	35,5	19,3	5,6	2,9	2228	22	65	382	230	-
	AEMC	117,2	86,3	64,1	37,5	20,4	6,0	3,1						-

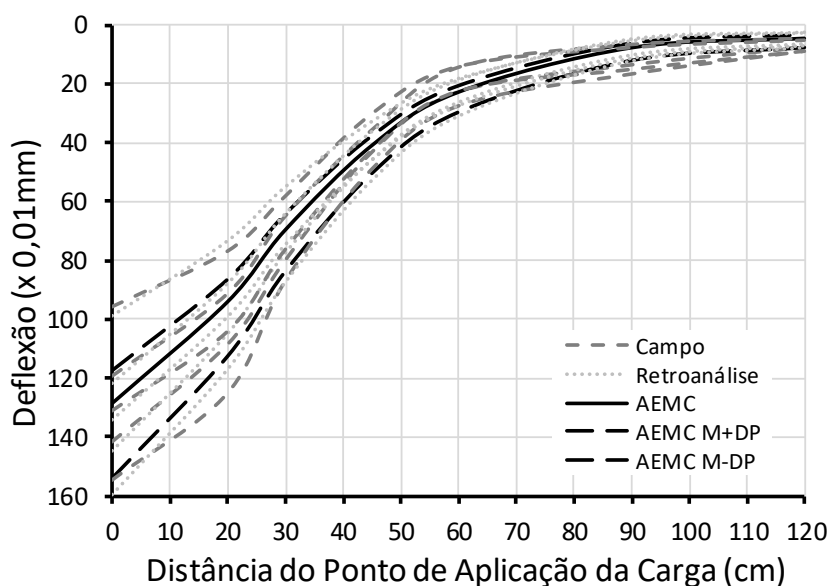


Figura 54 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 9 desta pesquisa

No trecho 9 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $95,8 \times 10^{-2} \text{ mm}$ a $154,9 \times 10^{-2} \text{ mm}$ (Tabela 39). Na Figura 54 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo, pode-se ver também alta dispersão entre as bacias. O CV das bacias deflectométricas variaram entre 14,2% a 34,7%, apresentando média a alta dispersão dos dados, com os maiores valores sendo verificados nos geofones mais afastados do ponto de aplicação de carga. Os MR retroanalizados, assim como as bacias deflectométricas, apresentaram valores com média a alta dispersão, com exceção dos MR da camada de base que se mostraram homogêneos, sendo que os MR do revestimento asfáltico variaram seus valores entre 1496 MPa a 2813 MPa; os MR da camada de base entre 21 MPa a 23 MPa; a camada de sub-base teve seus MR entre 44 MPa e 100 MPa; o reforço de subleito apresentou MR entre 243 MPa a 281 MPa e o subleito indicou MR entre 104 MPa a 265 MPa.

Na Figura 55 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 8 desta pesquisa. Na Figura 55.a observou-se que apenas a bacia deflectométrica B5 não apresentou RC com valores menores que 100m. Na Figura 55.b e Figura 55.c foi verificado que os parâmetros SCI e BDI apresentaram valores maiores que o critério limite em todo o trecho, indicando baixa rigidez das camadas de revestimento asfáltico e de base, os MR obtidos indicam a mesma situação. Na Figura 55.d, foi verificado que a bacia deflectométrica B2 apresentou o parâmetro BCI acima do critério limite, as demais bacias apresentaram tal parâmetro abaixo do critério, mas algumas já com valores próximos do limite, indicando elevado níveis de tensões chegando ao subleito deste trecho.

Na Figura 56 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (a) e (b) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (c) e (d) os parâmetros analisados obtiveram baixa correlação.

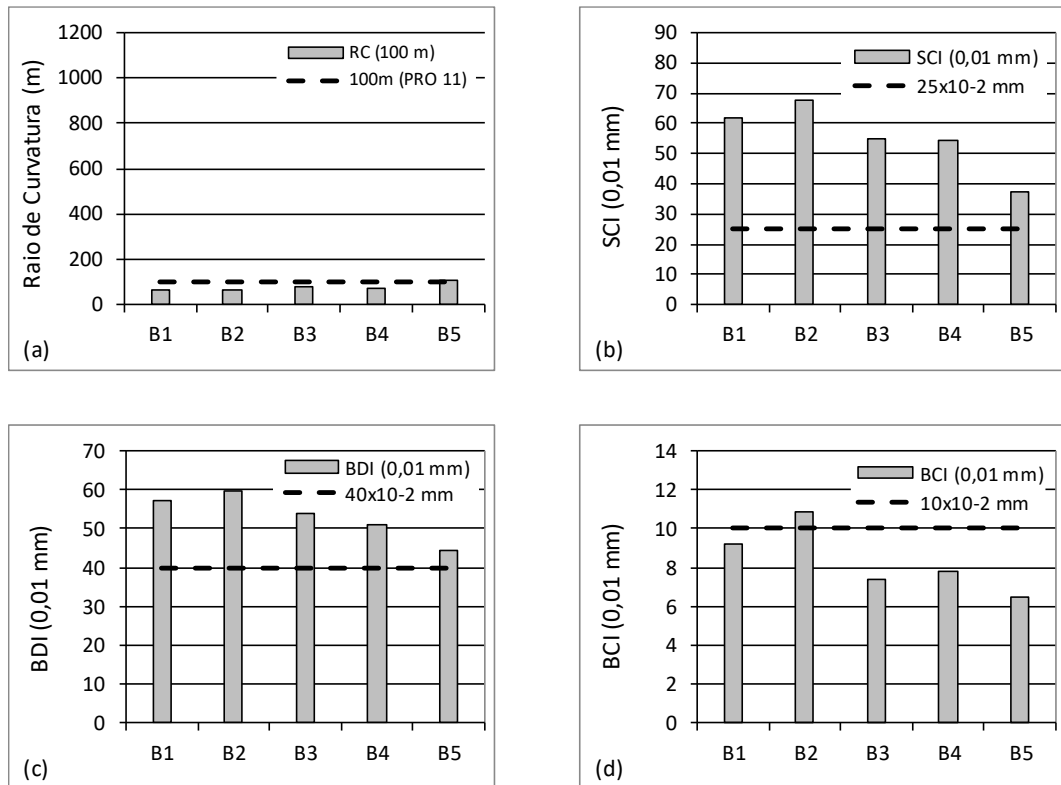


Figura 55 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 9 desta pesquisa

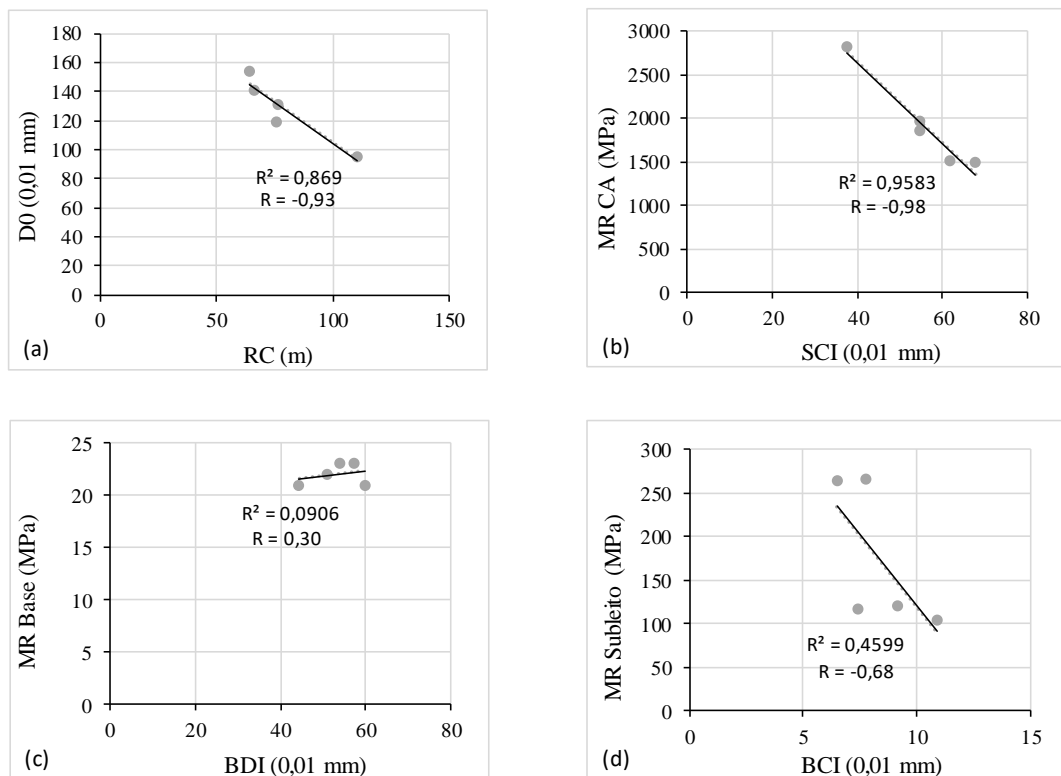


Figura 56 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 9 desta pesquisa

5.1.10 Trecho 10 - km 708,450 ao km 708,850/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 10 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 40 e representados na Figura 57.

Tabela 40 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 10 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 10													
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)				Erro (μ m)
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base	Subleito	
		20 cm	10 cm	20 cm									
B1	Campo	14,7	12,2	9,7	7,6	6,1	4,1	2,8	6967	209	2786	418	3,0
	Retro	14,7	11,8	10,2	8,0	6,3	4,0	2,7					
B2	Campo	17,2	13,7	11,5	9,0	6,8	5,0	3,3	4939	292	3882	344	2,2
	Retro	17,2	13,5	11,5	9,1	7,2	4,6	3,2					
B3	Campo	19,1	15,4	13,1	10,2	7,7	5,5	3,4	4490	265	2786	307	2,3
	Retro	19,3	15,2	13,0	10,2	8,1	5,2	3,6					
B4	Campo	14,6	11,6	9,7	7,4	6,2	5,0	3,5	7080	292	3882	387	4,9
	Retro	14,3	11,6	10,0	8,0	6,4	4,2	2,9					
B5	Campo	20,2	16,3	13,4	10,2	7,3	5,3	3,5	4490	116	2786	344	3,6
	Retro	20,2	15,9	13,4	10,3	7,9	4,8	3,2					
DP		2,3	1,8	1,6	1,2	0,6	0,5	0,3	1125	64	512	37	-
CV		13,2%	13,0%	13,9%	13,6%	9,1%	9,6%	7,9%	20,1%	27,1%	15,9%	10,2%	-
Média dos Módulos de Elasticidade													
AEMC		15,3	12,2	10,5	8,3	6,5	4,1	2,8	5593	235	3224	360	-
Média + DP	Campo	19,4	15,6	13,1	10,1	7,4	5,5	3,6	4667	209	1944	327	3,2
	Retro	19,5	15,4	13,1	10,2	7,9	4,9	3,4					
	AEMC	17,8	14,1	12,0	9,4	7,3	4,5	3,1					
Média - DP	Campo	14,9	12,0	9,9	7,7	6,2	4,5	3,0	6405	292	2708	400	2,7
	Retro	14,8	11,8	10,1	8,0	6,3	4,0	2,7					
	AEMC	13,7	11,0	9,4	7,4	5,9	3,7	2,5					

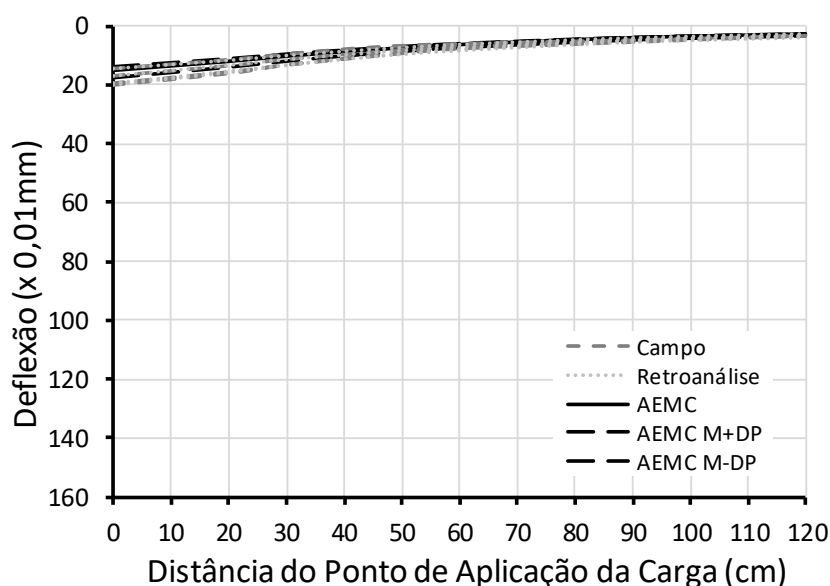


Figura 57 – Bacias defletoométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 10 desta pesquisa

No trecho 10 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $14,6 \times 10^{-2} mm$ a $20,2 \times 10^{-2} mm$ (Tabela 40). Na Figura 57 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão bem próximas das bacias obtidas em campo. O CV das bacias deflectométricas variam de 7,9% a 13,9%, apresentando homogeneidade no trecho, sendo os maiores valores verificados nos geofones mais próximos do ponto de aplicação de carga. Os MR do revestimento asfáltico, base e sub-base apresentaram média dispersão, com valores de MR variando entre 4490 MPa e 7080 MPa para o revestimento; 116 a 292 para base e 2786 MPa e 3882 MPa para o sub-base. O subleito apresentou MR com valores considerados homogêneos, entre 307 MPa e 418 MPa.

Na Figura 58 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 10 desta pesquisa. Na Figura 58.a observou-se que em todo o trecho foram encontrados valores de RC elevados, muito acima dos 100m, indicando alta rigidez da estrutura do pavimento. Na Figura 58.b, 58.c e 58.d, os parâmetros empíricos SCI, BDI e BCI encontrados a partir das bacias deflectométricas ficaram bem abaixo do critério limite, sugerindo boa rigidez do revestimento, base e subleito, apresentando coerência com os MR encontrados na retroanálise.

Na Figura 59 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (a) e (b) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (c) e (d) os parâmetros analisados obtiveram baixa correlação.

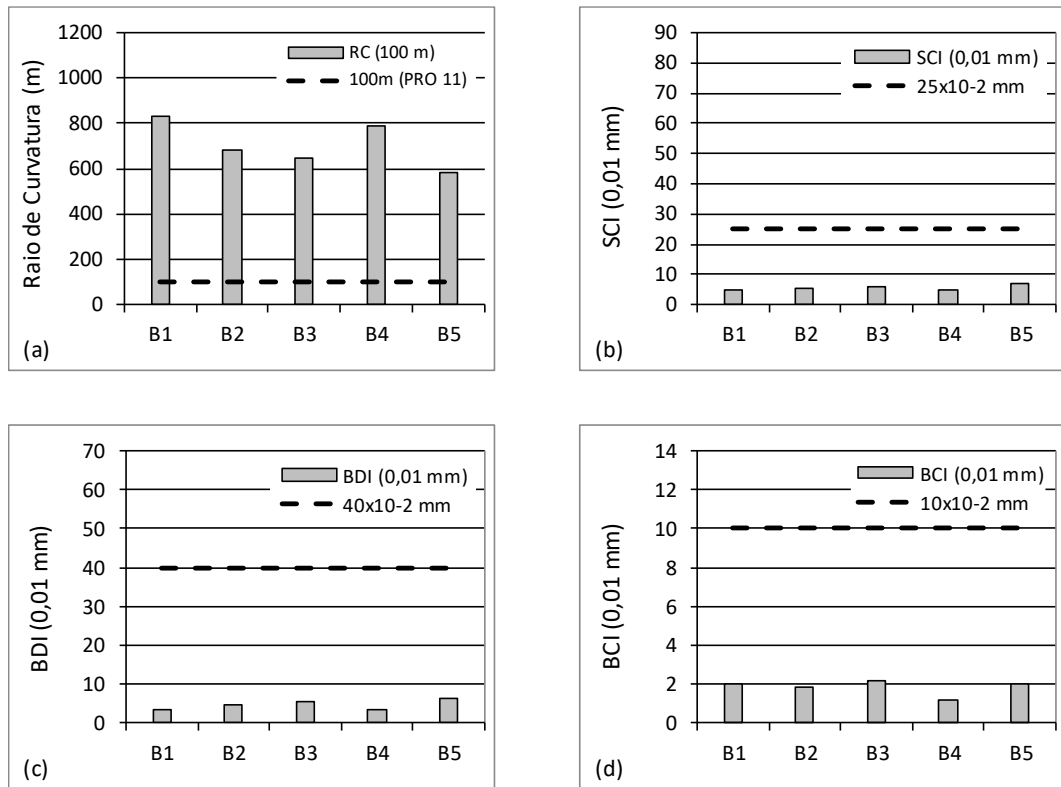


Figura 58 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 10 desta pesquisa

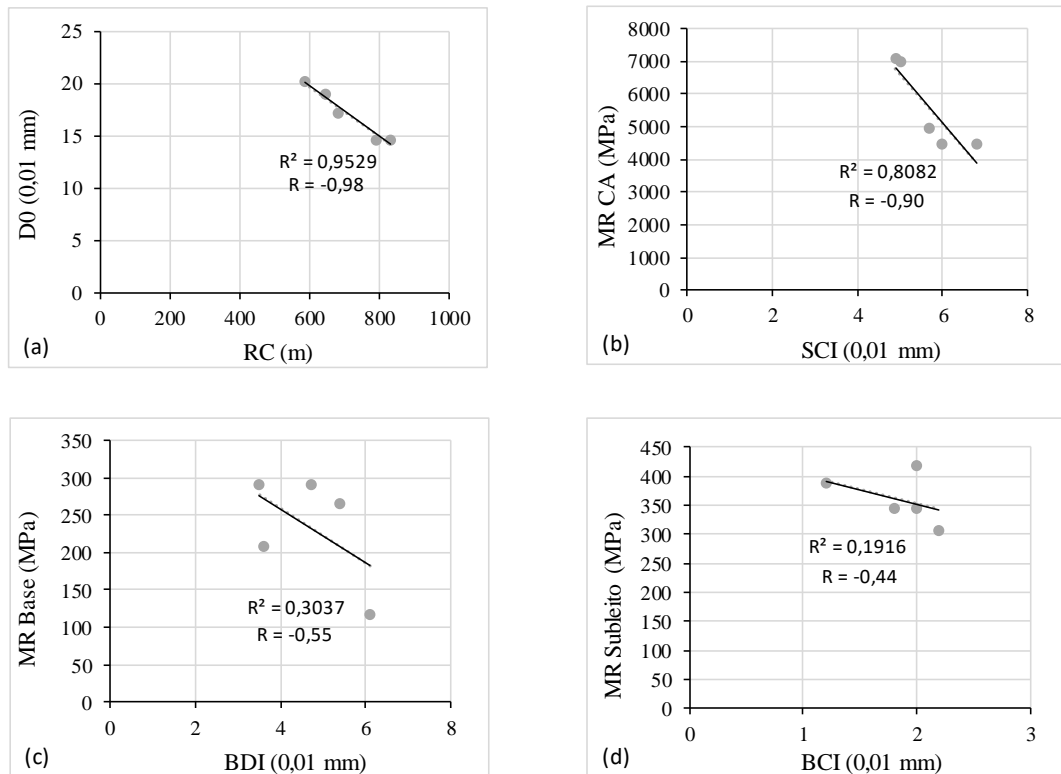


Figura 59 – Correlações: a) D₀ versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 10 desta pesquisa

5.1.11 Trecho 11 - km 728,300 ao km 728,700/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto através do BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 11 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 41 e representados na Figura 60.

Tabela 41 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 11 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 11													
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)				Erro (μ m)
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base	Subleito	
									12 cm	10 cm	20 cm		
B1	Campo	26,5	19,0	13,0	9,7	7,6	6,3	5,1	3507	149	25199	249	4,8
	Retro	26,8	18,1	13,6	9,8	7,9	6,1	4,7					
B2	Campo	28,6	19,1	13,6	8,9	6,4	5,4	3,9	3408	102	30183	298	2,1
	Retro	28,6	18,9	13,6	8,9	6,7	5,0	3,9					
B3	Campo	31,3	21,7	16,4	11,1	8,2	6,8	4,5	3507	105	15399	249	3,1
	Retro	31,3	21,7	16,3	11,2	8,6	6,1	4,6					
B4	Campo	23,3	17,3	13,7	10,9	8,1	7,0	5,1	4886	198	23099	223	3,4
	Retro	23,5	17,1	13,6	10,5	8,8	6,7	5,2					
B5	Campo	19,9	12,5	8,1	5,2	3,0	2,1	1,3	4165	155	18077	255	2,3
	Retro	19,9	12,3	8,4	4,9	3,3	2,1	1,6					
DP		4,0	3,1	2,7	2,1	1,9	1,8	1,4	538	34	4984	128	-
CV		15,4%	17,0%	20,8%	23,3%	29,1%	32,6%	35,5%	13,8%	23,9%	22,3%	42,9%	-
Média dos Módulos de Elasticidade													
AEMC		23,4	15,9	11,9	8,2	6,5	4,8	3,6	3895	142	22391	299	-
Média + DP	Campo	29,9	21,0	15,7	11,3	8,6	7,3	5,4	3361	135	16720	228	3,3
	Retro	30,1	20,7	15,8	11,4	9,1	6,7	5,1					
AEMC		27,8	19,3	14,7	10,6	8,5	6,3	4,8					
Média - DP	Campo	21,9	14,9	10,3	7,0	4,7	3,7	2,6	4425	137	26424	424	2,2
	Retro	22,0	14,6	10,5	6,8	5,0	3,6	2,7					
AEMC		20,5	13,6	9,8	6,4	4,7	3,3	2,5					

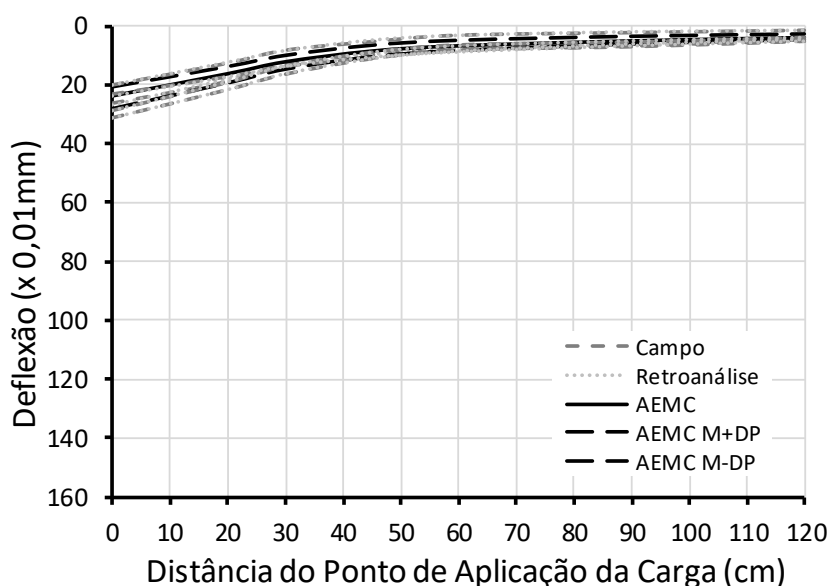


Figura 60 – Bacias defletoométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 11 desta pesquisa

No trecho 11 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $19,9 \times 10^{-2} mm$ a $31,3 \times 10^{-2} mm$ (Tabela 41). Na Figura 60 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão bem próximas das bacias obtidas em campo. O CV das bacias deflectométricas variam de 15,4% a 35,5%, apresentando neste trecho média dispersão dos valores de deflexão, sendo os maiores valores verificados nos geofones mais afastados do ponto de aplicação de carga. Os MR do revestimento asfáltico apresentaram-se com valores homogêneos, variando entre 3408 MPa e 4886 MPa; os MR da camada de base que ficaram entre 102 MPa e 198 MPa e sub-base com valores entre 15399 MPa e 30183MPa apresentaram média dispersão; o subleito apresentou MR com alta dispersão dos valores, variando entre 223 MPa e 298 MPa.

Na Figura 61 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, referente ao trecho 11 desta pesquisa. Na Figura 61.a observou-se que em todo o trecho foram encontrados valores de RC maiores que 100m, indicando boa rigidez da estrutura do pavimento. Na Figura 61.b, 61.c e 61.d, os parâmetros empíricos SCI, BDI e BCI encontrados a partir das bacias deflectométricas ficaram abaixo dos critérios limite, sugerindo boa rigidez das camadas de revestimento asfáltico, base e do subleito, porém, alguns MR encontrados para a camada de base na retroanálise indicam baixa rigidez.

Na Figura 62 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. Em (a), (b) e (c) obteve-se alta correlação entre os parâmetros analisados, já em (d) os parâmetros analisados obtiveram baixa correlação.

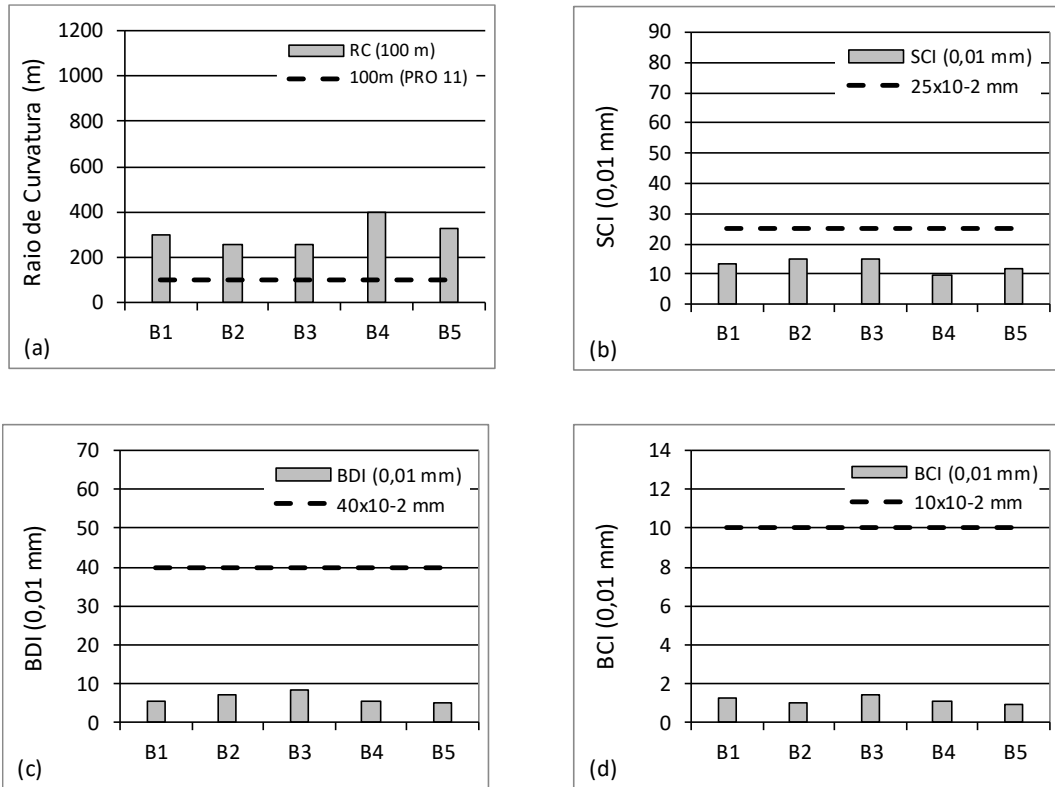


Figura 61 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 11 desta pesquisa

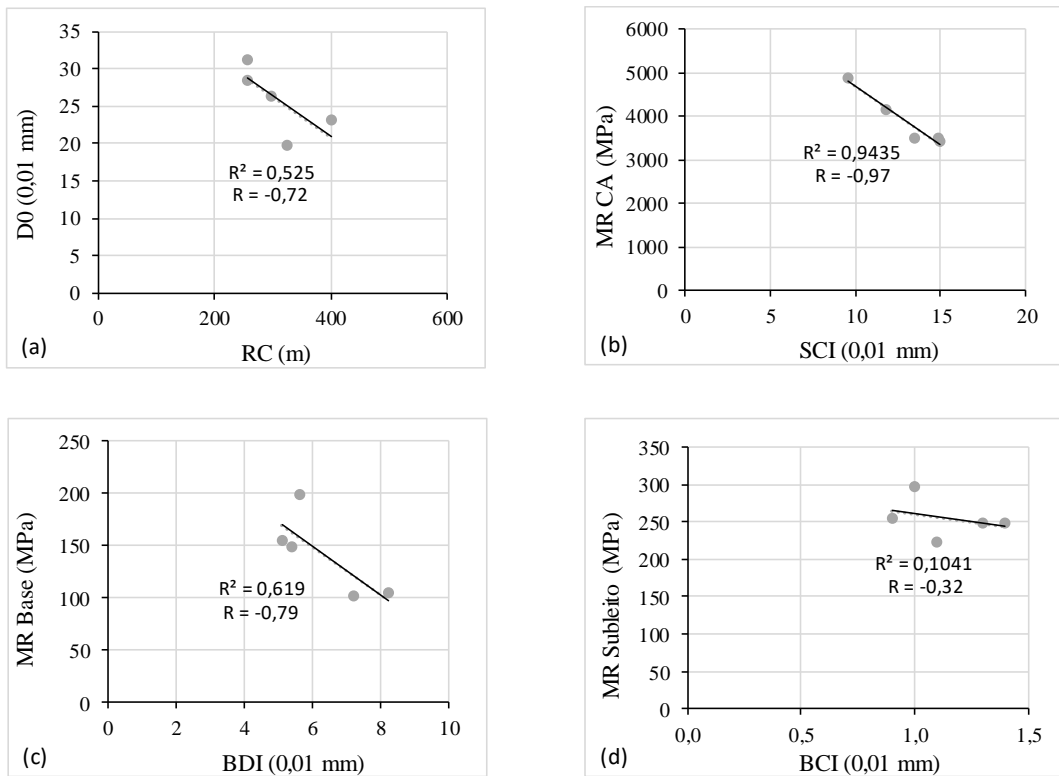


Figura 62 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 11 desta pesquisa

5.1.12 Trecho 12 - km 768,800 ao km 769,200/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto com BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 12 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 42 e representados graficamente na Figura 63.

Tabela 42 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 12 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 12													
Bacia		Bacias de Deflexão (0,01 mm)							Módulos de Elasticidade (MPa)				Erro (μ m)
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base	Subleito	
									12 cm	28 cm	20 cm		
B1	Campo	150,7	100,7	66,6	32,6	17,0	10,2	7,0	628	38	237	156	19,9
	Retro	152,1	98,1	66,7	35,2	18,5	7,5	5,5					
B2	Campo	92,9	63,8	47,4	21,4	10,4	6,3	4,1	1315	53	265	297	20,1
	Retro	93,7	63,2	44,4	24,1	12,5	4,1	2,8					
B3	Campo	105,3	83,1	59,2	34,1	19,5	12,2	7,6	1439	47	233	147	27,7
	Retro	108,1	78,2	58,7	36,4	22,2	9,6	6,1					
B5	Campo	81,3	58,3	41,5	25,2	13,1	8,2	5,2	1595	71	483	200	10,6
	Retro	82,0	57,2	41,8	25,0	15,1	6,8	4,6					
	DP	26,3	16,7	9,8	5,2	3,5	2,2	1,4	348	11	98	56	-
	CV	24,5%	21,9%	18,3%	18,5%	23,3%	23,9%	23,4%	28,0%	21,8%	32,1%	28,0%	-
Média dos Módulos de Elasticidade									1244	52	305	200	-
	AEMC	95,6	66,0	47,4	27,2	15,3	6,1	4,1					
Média + DP	Campo	133,9	93,2	63,5	33,6	18,5	11,4	7,4	833	44	315	148	19,2
	Retro	135,2	90,3	63,5	35,7	20,2	8,8	6,2					
	AEMC	125,7	84,5	59,5	33,5	19,0	8,2	5,8					-
Média - DP	Campo	81,2	59,7	43,9	23,1	11,5	7,0	4,6	1590	59	336	235	17,4
	Retro	83,0	57,9	42,0	24,5	13,9	5,5	3,6					
	AEMC	80,1	56,1	40,8	23,8	13,5	5,3	3,5					-

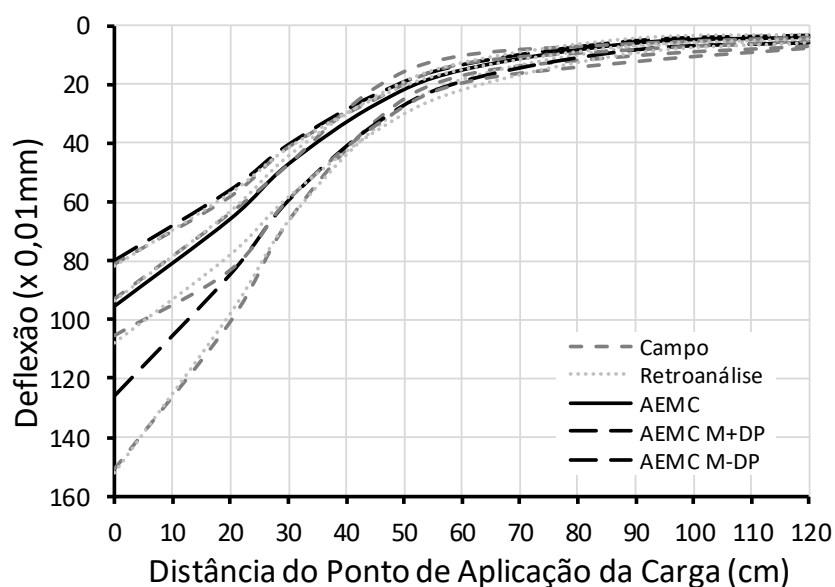


Figura 63 – Bacias defletoométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 12 desta pesquisa

No trecho 12 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $81,3 \times 10^{-2} mm$ a $150,7 \times 10^{-2} mm$ (Tabela 42). Na Figura 63 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias possuem deflexões médias a altas, quando comparados todos os trechos da pesquisa, e que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo, pode-se observar também, grande dispersão das linhas deflectométricas do trecho. O CV das bacias deflectométricas variaram entre 18,3% a 24,5%, apresentando média dispersão dos dados. Os MR retroanalizados das camadas do pavimento, apresentaram valores com média dispersão, assim como as bacias deflectométricas; os MR do revestimento asfáltico apresentaram valores entre 628 MPa a 1595 MPa; os MR da camada de base entre 38 MPa a 71 MPa; a camada de sub-base teve seus MR entre 233 MPa e 483 MPa; e o subleito apresentou MR entre 147 MPa a 297 MPa.

Na Figura 64 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 12 desta pesquisa. Na Figura 64.a observou-se que em todo o trecho foi obtido valores de RC menores que 100m, indicando pavimentos com baixa capacidade estrutural. Na Figura 64.b foi verificado que o parâmetro SCI apresentou valores maiores que o critério limite em todo o trecho, indicando camada de revestimento pouco resistentes. Pela Figura 64.c pôde-se observar que a bacia B1 apresentou valor de BDI acima do critério limite, as demais bacias apresentaram valores de BDI menores que o valor limite, porém bem próximos do limite, indicando baixa rigidez da camada de base. Na Figura 64.d, os valores do parâmetro BCI se mostraram abaixo do critério limite, indicando subleito adequado. Neste trecho pode-se observar grande compatibilidade entre MR das camadas e os parâmetros empíricos.

Na Figura 65 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. No trecho 12, houve alta correlação em todas as análises.

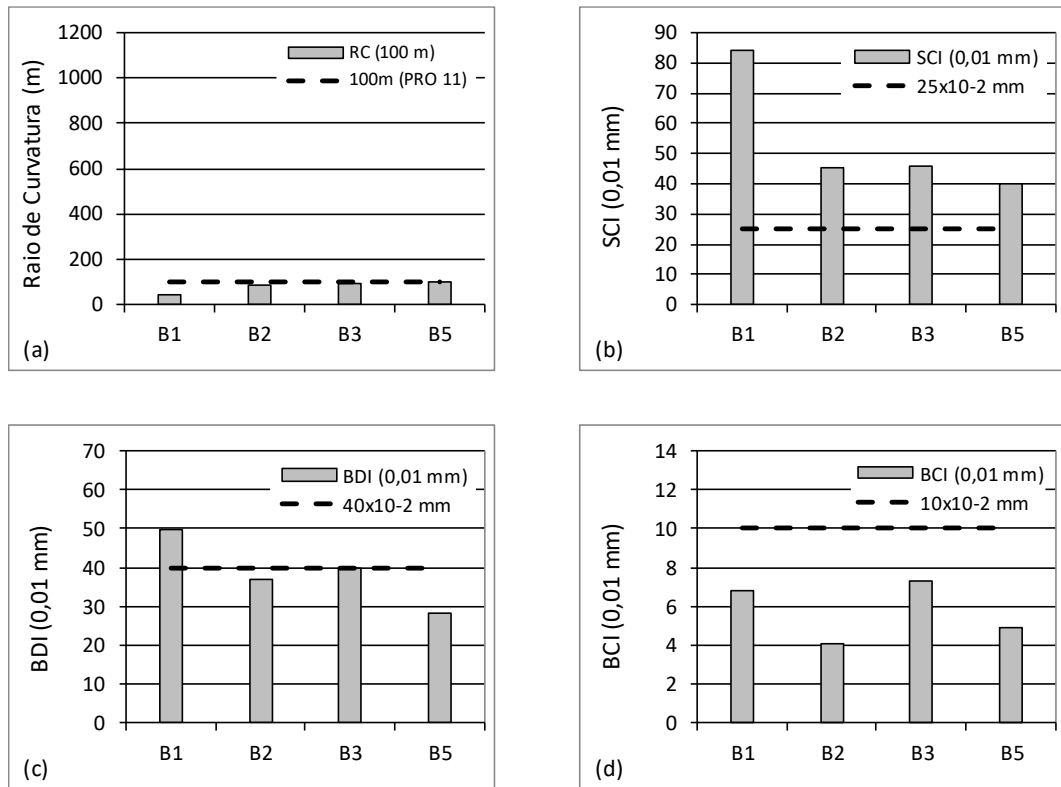


Figura 64 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 12 desta pesquisa

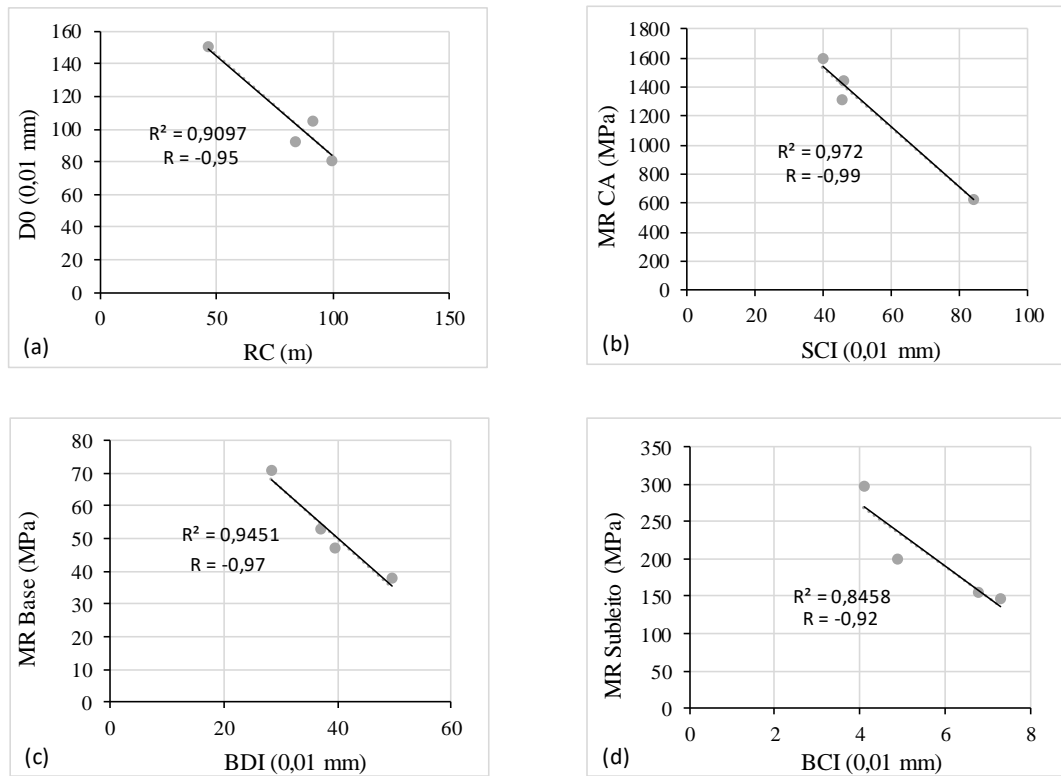


Figura 65 – Correlações: a) D₀ versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 12 desta pesquisa

5.1.13 Trecho 13 - km 743,250 ao km 743,650/MG

Os módulos de elasticidade retroanalizados, as bacias de deflexão determinadas em campo e definidas na retroanálise, tanto por seu processo direto através do BackMeDiNa, quanto pelo processo indireto determinado pelo AEMC para o trecho 13 desta pesquisa, são apresentados na Tabela 43 e representados na Figura 66.

Tabela 43 – Módulos retroanalizados referentes ao trecho 13 desta pesquisa

Retroanálise Trecho 13													
Bacia	Bacias de Deflexão (0,01 mm)								Módulos de Elasticidade (MPa)				
		D ₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₅	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₂₀	CA	Base	Sub-base	Subleito	Erro (µm)
									10 cm	40 cm	20 cm		
B1	Campo	104,3	82,4	62,4	37,3	17,2	8,1	4,1	2669	40	217	232	23,0
	Retro	106,7	79,9	60,8	37,5	21,8	7,1	3,3					
B2	Campo	117,6	90,9	65,7	38,4	19,9	11,2	6,5	1990	43	282	167	23,0
	Retro	119,8	87,4	65,2	39,5	23,2	8,8	5,0					
B3	Campo	101,6	76,3	56,4	33,8	19,6	12,7	8,0	2447	56	239	169	20,5
	Retro	101,9	75,2	56,8	35,4	21,6	9,0	5,3					
B4	Campo	71,9	54,8	39,5	22,7	12,5	7,3	4,5	3437	72	342	322	15,1
	Retro	72,7	53,0	39,5	23,7	13,6	4,8	2,6					
B5	Campo	120,5	92,1	65,7	36,4	18,4	10,2	5,5	1848	42	259	192	24,5
	Retro	122,6	88,2	64,9	38,2	21,5	7,5	4,2					
DP		17,3	13,5	9,8	5,7	2,7	2,0	1,4	538	12	41	55	-
CV		16,7%	17,1%	17,0%	17,0%	15,3%	20,0%	24,7%	21,7%	22,8%	15,3%	25,4%	-
Média dos Módulos de Elasticidade													
AEMC		95,7	70,3	52,6	31,9	18,5	6,7	3,7	2478	51	268	216	-
Média + DP	Campo	120,4	92,8	67,8	39,4	20,2	11,9	7,1	1990	45	268	159	24,6
	Retro	122,3	89,3	66,8	40,7	24,1	9,5	5,5					
	AEMC	115,4	84,6	63,3	38,6	22,9	9,0	5,3					
Média - DP	Campo	85,9	65,8	48,1	28,0	14,8	7,9	4,3	2754	59	319	235	14,3
	Retro	87,3	63,8	47,7	28,9	16,9	6,3	3,6					
	AEMC	84,8	62,2	46,5	28,2	16,5	6,1	3,5					

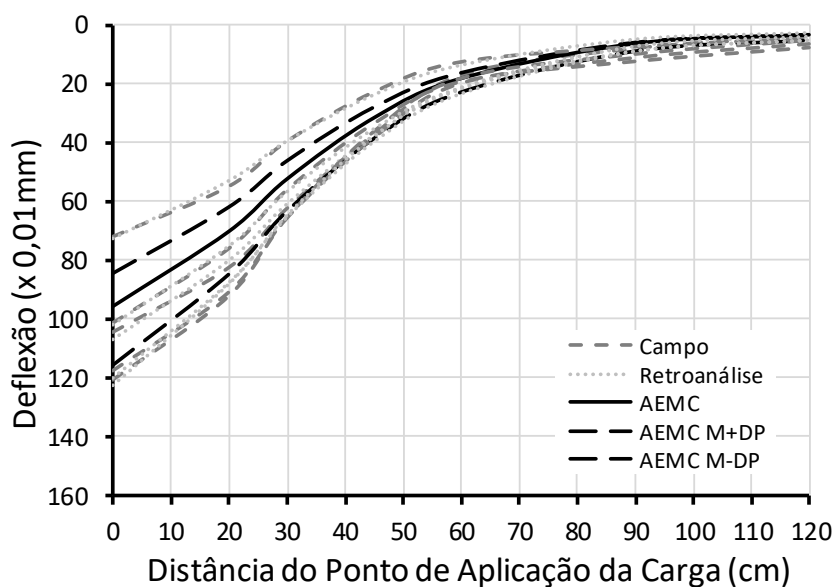


Figura 66 – Bacias deflectométricas obtidas em campo, na retroanálise pelo BackMeDiNa e pelo método indireto através do software AEMC, referentes ao trecho 13 desta pesquisa

No trecho 13 desta pesquisa, as deflexões máximas de campo apresentaram valores entre $71,9 \times 10^{-2} mm$ a $120,5 \times 10^{-2} mm$ (Tabela 43). Na Figura 66 observou-se pelas linhas deflectométricas que as bacias obtidas no processo de retroanálise pelo BackMeDiNa, bem como as bacias obtidas a partir dos MR no processo indireto de retroanálise pelo AEMC, estão próximas das bacias obtidas em campo, e pode-se observar também grande dispersão das linhas deflectométricas do trecho. O CV das bacias deflectométricas variaram entre 15,3% a 24,7%, sendo os maiores valores referentes aos geofones mais distantes do ponto de aplicação de carga, apresentando média dispersão dos dados. Os MR retroanalizados das camadas do pavimento, apresentaram valores com média dispersão, assim como as bacias deflectométricas; os MR do revestimento asfáltico apresentaram valores entre 1848 MPa a 3437 MPa; os MR da camada de base entre 40 MPa a 72 MPa; a camada de sub-base teve seus MR entre 217 MPa e 342 MPa, e o subleito apresentou MR entre 167 MPa a 322 MPa.

Na Figura 67 encontram-se os parâmetros estruturais empíricos: a) raio de curvatura (RC), b) índice de curvatura da superfície (SCI), c) índice de danos na base (BDI) e d) índice de curvatura da base (BCI), referentes a cada bacia de deflexão determinada em campo, do trecho 13 desta pesquisa. Na Figura 67.a observou-se que em todo o trecho foi obtido valores de RC menores que 100m, com exceção da bacia B4 onde seu RC foi um pouco acima dos 100m. Na Figura 67.b foi verificado que o parâmetro SCI apresentou valores maiores que o critério limite em todo o trecho, indicando camada de revestimento asfáltico pouco resistentes. Pela Figura 67.c pôde-se observar que apenas as bacias B3 e B4 apresentaram valores de BDI próximos do critério limite, as demais bacias apresentaram valores de BDI maiores que o valor de critério indicando baixa rigidez da camada de base. Na Figura 67.d, os valores do parâmetro BCI se mostraram abaixo do critério limite, porém, em algumas bacias, se observa uma aproximação do valor de critério. Os valores de MR obtidos na retroanálise se mostram coerentes com os parâmetros empíricos.

Na Figura 68 são apresentadas as seguintes correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI. No trecho 13, houve alta correlação em todas estas análises.

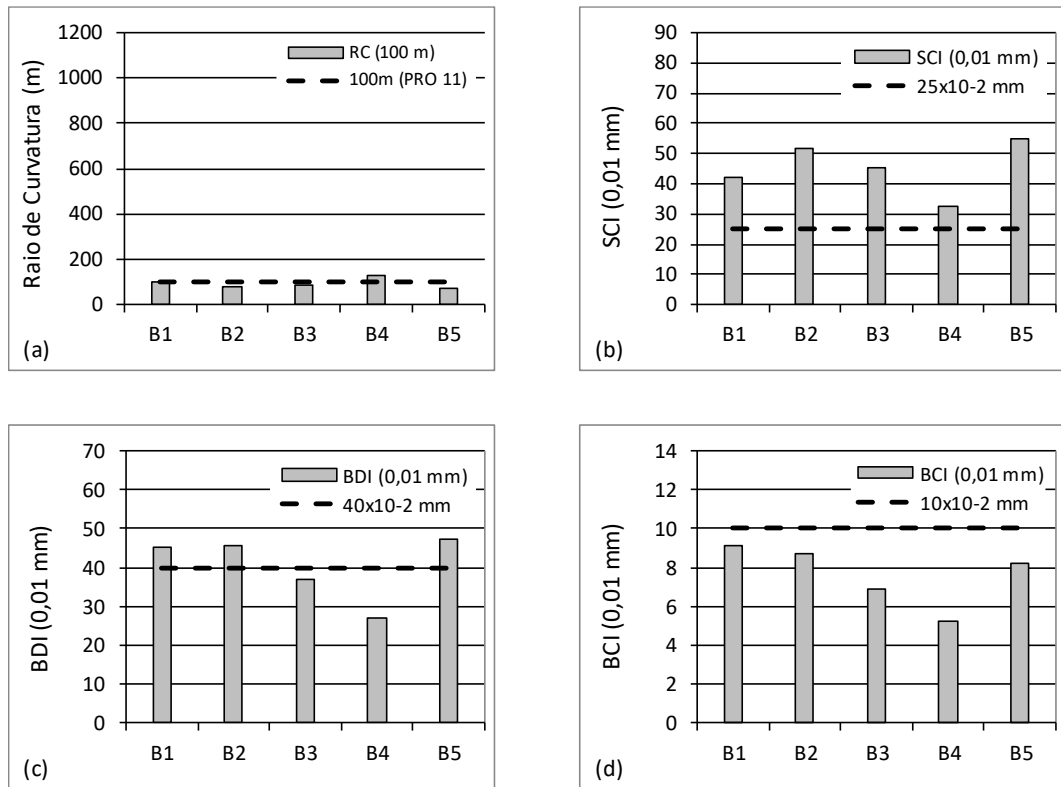


Figura 67 – Parâmetros das bacias deflectométrica, a) RC; b) SCI; c) BDI; e d) BCI do trecho 13 desta pesquisa

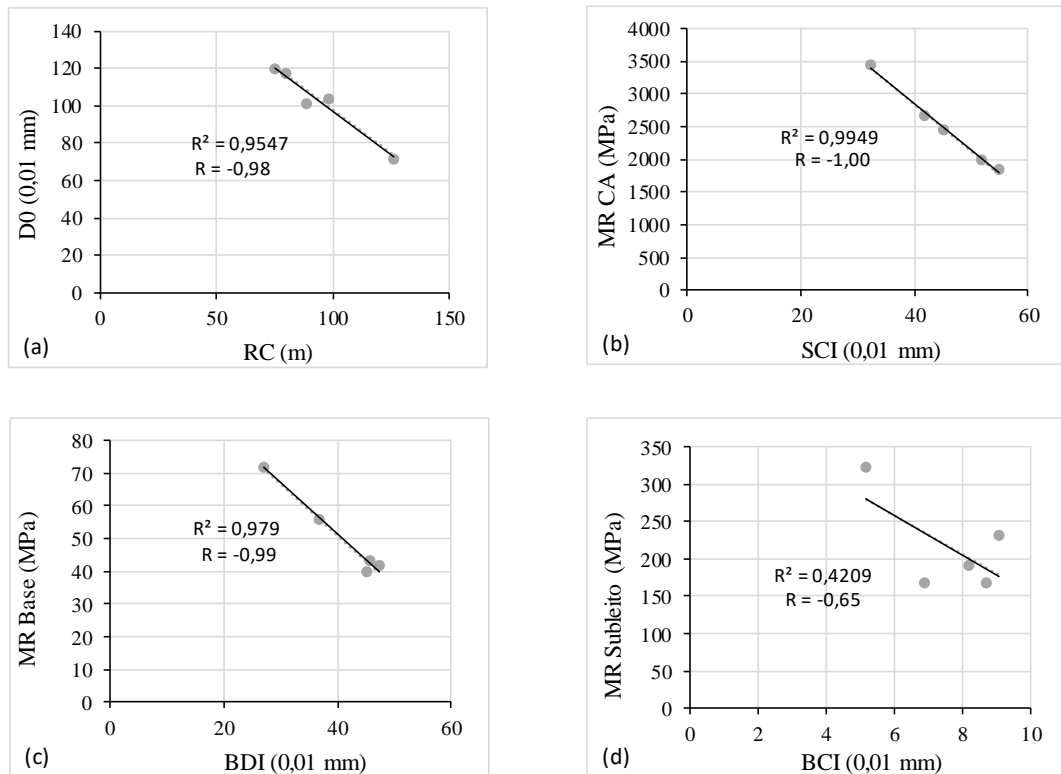


Figura 68 – Correlações: a) D_0 versus RC; b) MR CA versus SCI; c) MR base versus BDI e d) MR subleito versus BCI, do trecho 13 desta pesquisa

5.1.14 Considerações quanto à Retroanálise

Os trechos desta pesquisa podem ser divididos em estruturas de pavimentos semirrígidos (trechos 2, 4, 7, 10 e 11) e estruturas de pavimentos flexíveis (trechos 1, 3, 5, 6, 8, 9, 12 e 13). Nas estruturas de pavimentos semirrígidos a camada de base ou sub-base é composta de brita graduada tratada com cimento (BGTC), já os pavimentos flexíveis apresentam suas camadas de base e sub-base constituídas por materiais granulares e solos.

Nas camadas de BGTC, com a adição do cimento, apresentam um ganho significativo em sua rigidez frente ao material natural, e com isso aumentam a resistência à compressão e à tração fazendo com que menores tensões cheguem as camadas subsequentes. Nas retroanálise dos trechos 2, 4, 7, 10 e 11, foram constatados altos valores de MR das camadas de BGTC e dos subleitos desses trechos.

Observou-se semelhança nas linhas deflectométricas das bacias determinadas em campo e nas bacias obtidas por retroanálise pelo BackMeDiNa em todos os trechos desta pesquisa (figuras presentes nos itens 5.1.1 a 5.1.13), mesmo quando a retroanálise apresentou erro elevado. Segundo GRENIER e KONRAD (2002), as fissuras e trincas geram várias discontinuidades, que influenciam na determinação da bacia deflectométrica e conduzem a erros nos processos convencionais de retroanálise. Isto foi observado nesta pesquisa, visto que os maiores erros obtidos no processo de retroanálise ocorreram nos trechos 5, 6, 8, 9, 12 e 13, que apresentam mais de 20% de sua área trincada. Verificando os valores médios dos MR encontrados na retroanálise e MR médios mais e menos um desvio padrão pelo método indireto através do software AEMC, foram obtidas bacias de deflexão que se encontram inseridas nas faixas de valores das bacias determinadas em campo pelo FWD, sendo essa verificação um dos critérios para se admitir os MR utilizados na continuidade desta pesquisa, correspondente a verificação dos critérios de restauração.

Visando diminuir os erros de retroanálise, no trecho 9 foi analisada uma hipótese considerando a camada de base e sub-base, que apresentaram MR na mesma ordem de grandeza, como se fossem uma única camada, porém, não houve melhoria nos erros, encontrando-se ainda erros altos na retroanálise.

Analisando as estruturas dos 13 trechos em estudo nesta pesquisa, viu-se alta

correlação do parâmetro empírico raio de curvatura (RC) com a deflexão máxima (D_0) em 12 dos 13 trechos estudados, apresentando um coeficiente de correlação linear negativa (R) maior que 0,72, mostrando que a diminuição do valor de D_0 ocorre habitualmente em conjunto com o aumento do RC. Como o RC é dependente de D_0 , era esperado essa boa correlação linear entre esses parâmetros, constatando que o RC foi um bom indicador da rigidez da estrutura do pavimento, apresentando RC menores que 100m nos trechos com D_0 maiores que $80 \times 10^{-2} mm$.

O parâmetro empírico Índice de Curvatura da Superfície (SCI) é utilizado para indicar a rigidez da camada de revestimento asfáltico. Ao se analisar a correlação entre o MR da camada de revestimento asfáltico e o SCI, nos 13 trechos desta pesquisa houve uma correlação linear negativa (R) maior que 0,88, demonstrando que quando se tem menor rigidez da camada de revestimento asfáltico, e por consequência um menor MR, tem-se um aumento do valor do parâmetro SCI. O menor coeficiente de determinação R^2 encontrado foi de 75%, isso quer dizer que no máximo 25% das variações apresentadas nos valores do MR do revestimento e nos valores de SCI são influência de outros fatores que não a bacia de deflexão, visto que os dois parâmetros são obtidos através da bacia.

A proposta do Índice de Dano na Base (BDI) é demonstrar a condição da camada de base, indicando se há problema estrutural ou não nesta camada, sendo grandezas inversamente proporcionais, ou seja, espera-se que quando haja um aumento do valor de BDI, haja diminuição dos valores de MR da camada de base. Nas análises da correlação entre o MR da camada de base e o parâmetro empírico BDI, 6 dos 13 trechos não apresentaram correlação linear (R) e coeficiente de determinação (R^2) satisfatórios que indicassem a correlação, sendo esses os trechos 1, 5, 6, 7, 9 e 10. Os outros 7 trechos da pesquisa, apresentaram boa correlação linear negativa com R acima de 0,79. Com alguns trechos apresentando correlação entre os parâmetros e outros não, pensa-se que o parâmetro BDI acaba sendo um bom indicador somente para demonstrar condições extremas da camada de base, visto que as melhores correlações se deram nos trechos 2 e 4 onde a base era constituída de BGTC e apresentavam as deflexões mais baixas entre os trechos, e nos trechos 12 e 13, constituídos por bases granulares de baixa rigidez, e com as maiores deflexões encontradas entre os treze trechos.

O parâmetro empírico Índice de Curvatura da Base (BCI) é utilizado como um indicador da condição do subleito, sendo uma grandeza inversamente proporcional, ou

seja, sendo esperado que quanto menor for o BDI, maior será o MR do subleito. Em 5 dos 13 trechos analisados não apresentaram boas correlações de R e R² entre BCI e MR do subleito, isso pode ocorrer devido a maiores dispersões nas medidas finais da bacia deflectométrica. Pelo BCI foi indicado boas condições estruturais de subleito para todos os treze trechos desta pesquisa, sendo encontrado MR do subleito condizentes com o que o parâmetro indicou.

Na Tabela 44 são apresentadas as espessuras de cada camada do pavimento e os módulos de elasticidade médios, obtidos através da média dos MR de cada bacia do trecho, sendo estes os MR que serão utilizados para o dimensionamento do reforço previsto nesta pesquisa. Referente à camada de BGTC, os MR dos trechos 2 e 11 se apresentaram bem maiores que dos trechos 4, 7 e 10. Uma hipótese para tal situação seria a degradação da camada cimentada pelas cargas repetidas, e o funcionamento dessas camadas de BGTC nestes três trechos como bloco e não como camada íntegra.

Tabela 44 – MR médios apresentados por trecho

Trecho	Revestimento Asfáltico		Base		Sub-base		Reforço de Subleito		Subleito
	Espessura (cm)	MR (MPa)	Espessura (cm)	MR (MPa)	Espessura (cm)	MR (MPa)	Espessura (cm)	MR (MPa)	MR (MPa)
1	12,5	4071	40	104					177
2	12	6767	20	24238					399
3	12	2973	30	159					234
4	15	6995	20	1990	20	247			370
5	10	3501	15	147	20	163			119
6	13	2523	18	199					157
7	15	2727	16	66	15	1296			322
8	11,5	4143	23	105	13	237	20	461	211
9	10	1933	17	22	18	69	30	330	174
10	20	5593	10	235	20	3224			360
11	12	3895	10	142	20	22391			299
12	12	1244	28	52	20	305			200
13	10	2478	40	51	20	268			216

O que se espera de um pavimento flexível em relação às suas camadas estruturais é que, o revestimento seja a camada com maior rigidez por ser a camada da estrutura responsável por absorver as maiores tensões atuantes no pavimento e distribuir em seguida para a camada de base que pode apresentar uma rigidez menor que a camada de revestimento. No entanto, maior que a camada inferior e assim sucessivamente com as camadas de sub-base e o terreno de fundação que é o subleito. Sendo assim, o subleito

seria a parte estrutural do pavimento mais sensível e o mais sujeito a deformações elásticas e plásticas, de acordo com o método de dimensionamento empírico do DNIT, que foi concebido com o objetivo de protegê-lo.

No entanto, verifica-se diante dos valores de módulos de elasticidade obtidos através da retroanálise e apresentados na Tabela 44, que os módulos médios do subleito são maiores que os módulos da base em 9 dos 11 trechos compostos por base granular. Segundo CARDOSO (1995), módulos retroanalizados com baixos valores de camadas de base podem ocorrer visto que, dependendo da configuração do carregamento e da estrutura, a camada de base pode estar submetida a esforços de tração, e os materiais que a compõem não trabalham a tração, o que promove a ocorrência de rupturas localizadas que alteram os valores modulares, diminuindo o seu valor.

COSTA *et al.* (2017) dizem que a parte mais sensível do conjunto estrutural de um pavimento, não tem sido o subleito, visto que MR com valores elevados para estes materiais vêm sendo observados em análises realizadas em subleitos brasileiros, que, diferente dos subleitos americanos, podem apresentar módulos maiores que os de sub-base e base, quando bem compactados e sem presença de água.

Na Figura 69 são apresentadas as deflexões características dos trechos desta pesquisa associados à porcentagem total de área trincada. Na Figura 70, são apresentados os MR médios da camada de revestimento asfáltico também associados à porcentagem total de área trincada.

Em todos os trechos analisados nesta pesquisa pode-se constatar que há um percentual de área trincada, mesmo que pequeno, e essas fissuras são fatores influentes nos resultados dos módulos elásticos obtidos por retroanálise. De acordo com PITTA e BALBO (1998), pavimentos que se apresentam bastante fissurados tendem a ter deformações resilientes de maior magnitude o que conduz a baixos valores de módulo do revestimento. É possível verificar pela Figura 70 que os maiores percentuais de área trincada são correspondentes aos trechos que apresentam menores módulos de elasticidade do revestimento, e por consequência maiores deflexões máximas visto que são muito deformáveis. Com o elevado grau de trincamento há a tendência de o revestimento passar a funcionar como bloco e não como camada íntegra.

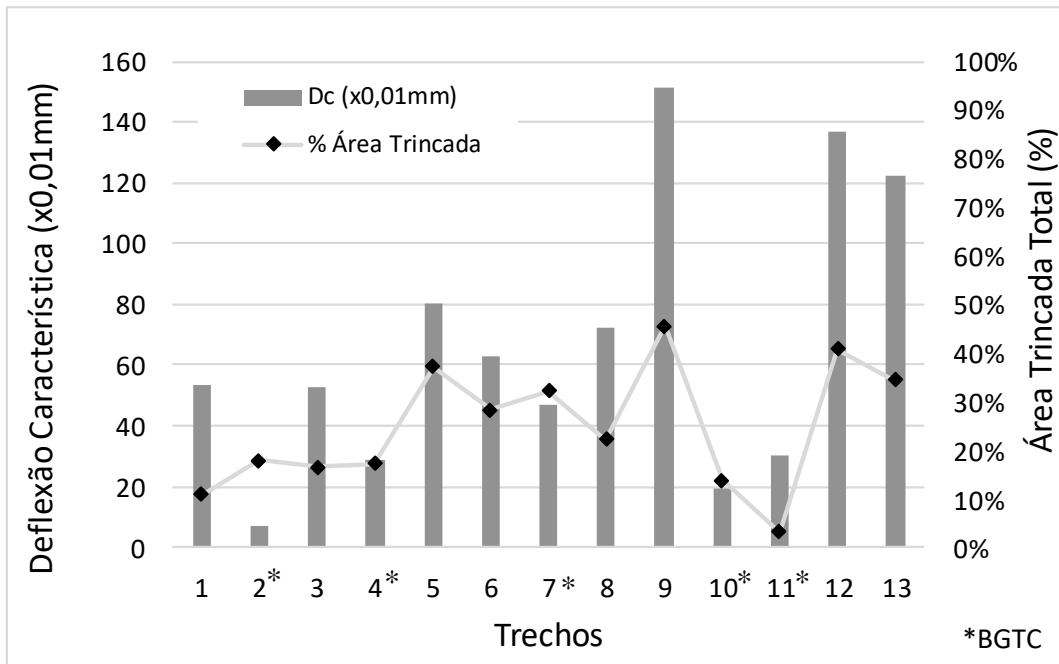


Figura 69 – Deflexão característica média x porcentagem total de área trincada referente a cada um dos trechos em estudo

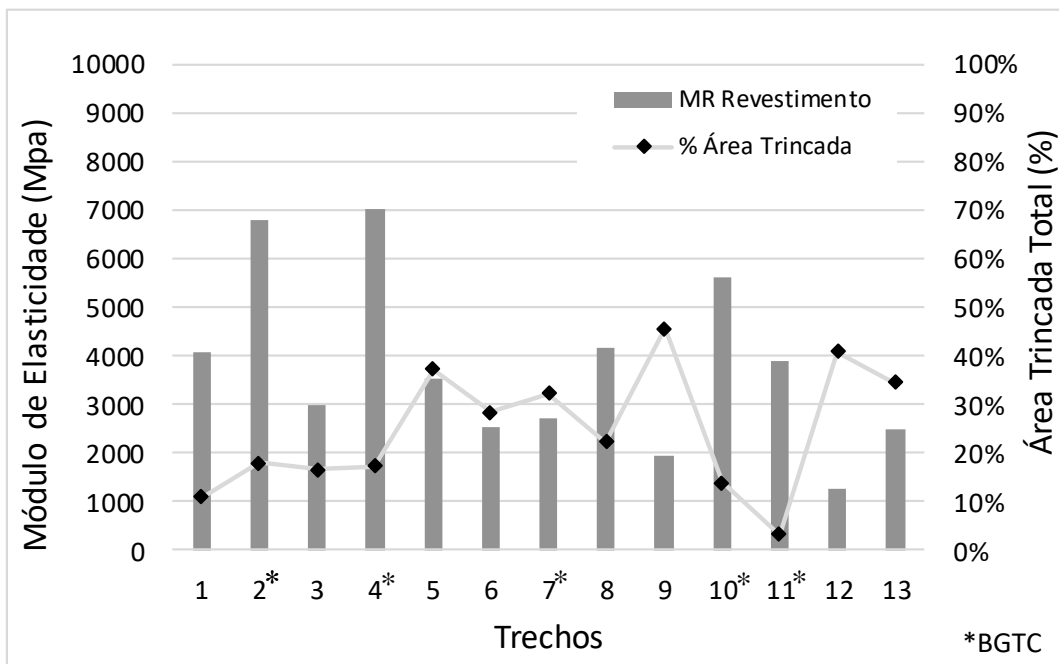


Figura 70 – Módulos de Resiliência do revestimento x porcentagem total de área trincada referente a cada um dos trechos em estudo

Embora tenham sido feitas análises individuais, a Tabela 45 apresenta a tendência geral, e vê-se parâmetros que tem correlação, como MR com os parâmetros empíricos, como esperado, visto que ambos estão vinculados à curvatura da bacia.

As características próprias de cada trecho apresentaram respostas particulares diante dos parâmetros empíricos utilizados para verificação da rigidez das camadas do

pavimento, conforme foi apresentado nos itens 5.1.1 a 5.1.13, porém, na Tabela 45, foi realizada uma correlação global referente aos dados de todos os trechos estudados nesta pesquisa, para verificar tendências gerais, através de correlações lineares. As correlações se deram a partir dos seguintes parâmetros: Deflexão característica (D_c); porcentagem total de área trincada; índice de irregularidade longitudinal característico (IRI_c); Módulo elástico (MR) das camadas de revestimento, base e subleito; raio de curvatura (RC); índice de curvatura da superfície (SCI); índice de dano na base (BDI) e índice de curvatura da base (BCI).



As principais correlações que podem ser observadas são da deflexão característica com os MR das camadas de revestimento e subleito e os parâmetros empíricos, correlações já eram esperadas visto que todos esses dados estão vinculados à curvatura da bacia de deflexão. A porcentagem de área trincada teve boa correlação com os parâmetros dependentes da bacia de deflexão, visto que as fissuras e trincas geram várias discontinuidades, que influenciam na determinação da bacia deflectométrica. O MR da camada de base apresentou boa correlação com os MR das demais camadas, mas com os parâmetros empíricos apresentou boa correlação apenas com o RC, não apresentando boa correlação com o BDI, que seria o parâmetro capaz de indicar a condição da camada de base. O motivo de não ter ocorrido uma boa correlação entre MR da base e BDI acredita-se que seja pelas camadas estabilizadas, visto que o BDI não é adequado para essas camadas. A boa correlação do MR da base e o RC, se deve à capacidade do RC conseguir explicitar quais estruturas apresentam camadas estabilizadas através de altos valores de RC.

O IRI_c não apresentou correlação expressivas com os parâmetros analisados. Pela Tabela 25 pode-se verificar que o IRI_c não apresentou grandes variações apesar das características individuais de cada trecho, se mostrando bom em 9 dos 13 trechos estudados nesta pesquisa.

Infelizmente, não foram obtidos os dados do ensaio triaxial de cargas repetidas, referentes aos materiais granulares e subleito dos trechos apresentados nesta pesquisa, sendo assim, não foi possível comparar os módulos de elasticidade obtidos a partir da retroanálise com valores de rigidez determinados nos ensaios laboratoriais.

Tabela 45 – Correlação entre os parâmetros dos 13 trechos em estudo nesta pesquisa

Parâmetros	Dc	% Trincas	IRIc	MR Revest.	MR Base	MR Subleito	RC	SCI	BDI	BCI
Dc	1,00									
% Trincas	0,82	1,00								
IRIc	0,33	-0,02	1,00							
MR Revestimento	-0,79	-0,63	-0,32	1,00						
MR Base	-0,42	-0,18	-0,31	0,56	1,00					
MR Subleito	-0,69	-0,51	-0,33	0,73	0,53	1,00				
RC	-0,63	-0,36	-0,34	0,76	0,94	0,74	1,00			
SCI	0,99	0,81	0,32	-0,82	-0,41	-0,72	-0,63	1,00		
BDI	0,99	0,82	0,40	-0,76	-0,38	-0,66	-0,58	0,98	1,00	
BCI	0,90	0,75	0,43	-0,68	-0,46	-0,81	-0,66	0,89	0,91	1,00

 -0,50 < Parâmetros ≤ -1,0, correlação negativa
 0,50 < Parâmetros ≤ 1,0, correlação positiva

5.2 VERIFICAÇÃO DE VIDA ÚTIL E DIMENSIONAMENTO

A verificação da vida útil das soluções de manutenção indicadas pelo Catálogo de Soluções para Pavimentos Flexíveis do DNIT foi realizada com o método mecanístico de dimensionamento de pavimentos flexíveis MeDiNa.

Os trechos 1 e 11 tiveram como propostas de intervenção pelo catálogo o reforço estrutural com 4 cm de concreto asfáltico, sendo para o trecho 1 indicado uma mistura convencional e para o trecho 11 uma mistura modificada por polímero. A verificação da solução indicada em cada caso foi realizada no MeDiNa com a espessura de 5cm, visto ser a espessura mínima de revestimento aceita no método.

Para os trechos 2 e 4 foram indicadas pelo catálogo soluções de fresagens parciais descontínuas de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm de concreto asfáltico, seguida de aplicação de micro revestimento asfáltico a frio em toda superfície. Para fins de simplificação e como não há a possibilidade de se considerar fresagens parciais e micro revestimento no MeDiNa, foi considerado para análise a fresagem em toda a área do pavimento com reposição de 5cm de concreto asfáltico.

Nos trechos 3, 6, 7 e 8 o catálogo indicou fresagem parcial descontínua de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm de concreto asfáltico, seguido de um reforço estrutural de concreto asfáltico de 4cm de espessura, sendo nos trechos 3 e 6 uma mistura convencional e nos trechos 7 e 8 uma mistura modificada por polímero. Para as análises foi considerada a fresagem em toda a área do pavimento com uma espessura de 5cm, sendo a espessura da camada de reposição somada a espessura de reforço, e uma segunda hipótese onde não se considerou a fresagem, considerando apenas o reforço estrutural com 5cm de espessura que é a mínima no método MeDiNa

No trecho 10 a solução indicada pelo catálogo foi a fresagem parcial descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico, seguida de uma camada de tratamento superficial duplo (TSD) com emulsão modificada por polímero e então uma camada de reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com 4 cm de espessura. Para as análises foi considerado a fresagem em toda a área do pavimento com uma espessura de 5cm, aplicação de TSD com espessura de 2cm e reforço com a espessura indicada de 4cm somados com a espessura da camada de reposição (5cm), uma segunda hipótese foi analisada onde desconsiderou-se a fresagem,

fazendo a aplicação de TSD diretamente sobre o revestimento atual, com espessura de 2cm, e reforço com espessura de 5cm, espessura mínima admitido no método MeDiNa.

Nos trechos 5 e 12 foi indicado pelo catálogo a fresagem parcial descontínua de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm de concreto asfáltico, seguido, no trecho 5, de um reforço estrutural em concreto asfáltico convencional de 7cm de espessura, e, no trecho 12 por um reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com 10cm de espessura. Para as análises foi considerado a fresagem em toda a área do pavimento com uma espessura de 5cm, sendo a espessura da camada de reposição somada à espessura de reforço. Foi realizada também uma segunda hipótese onde não se considerou a fresagem, considerando apenas o reforço estrutural nas espessuras indicadas.

Na Tabela 46 encontra-se um resumo das soluções de reforço indicadas pelo catálogo do DNIT para 11 trechos desta pesquisa, com as considerações que serão utilizadas nas análises das soluções no MeDiNa, tipo da mistura se convencional ou modificada por polímero e quantidade de misturas analisadas, espessura final de reforço a ser considerada, espessura do TSD, revestimento asfáltico existente, espessura fresada do revestimento existente, espessura remanescente do revestimento e as espessuras das camadas de base, sub-base e reforço de subleito.

Posteriormente, foram realizados dimensionamentos da camada de reforço em todos os trechos onde a espessura indicada pelo catálogo de soluções do DNIT não atendeu a vida útil de projeto, fixada em 10 anos.

Os materiais utilizados para as análises de vida útil do reforço, foram quatro misturas asfálticas teóricas que se encontram na base de dados do MeDiNa. As misturas são nomeadas como Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, onde a mistura Classe 1 é considerada menos resistente à fadiga e a mistura Classe 4 mais resistente à fadiga, a qualidade dessas misturas foram determinadas por análise de um banco de dados de parâmetros de curva de fadiga e de módulo de resiliência, obtidos em laboratório. Essas misturas servem para guiar o projetista em seu dimensionamento e, para execução no campo, todos os parâmetros da curva de fadiga assim como os do módulo de resiliência deverão ser obtidos no projeto da mistura asfáltica para a execução da obra.

A verificação da vida útil das soluções indicadas pelo catálogo de soluções do

DNIT, quando indicadas misturas convencionais, foram utilizadas todas as 4 classes de mistura para verificação de qual atenderia; quando a indicação foi de misturas modificadas por polímero, as análises foram realizadas apenas com a mistura Classe 4, por entender que a utilização da mistura modificada indica a necessidade de um concreto asfáltico melhor sob o ponto de vista da fadiga.

Tabela 46 – Resumo das soluções propostas pelo catálogo de soluções do DNIT e considerações usadas para as análises no MeDiNa referente aos trechos desta pesquisa

T trecho	Soluções		Espessura (cm)									
			Novas Camadas				Pavimento Existente					
	Indicadas pelo Catálogo do DNIT	Adaptadas para Análises no MeDiNa	Tipo de Mistura	Quantidade de Misturas Asfálticas Analisadas	Reforço	TSD	Revestimento Asfáltico Atual	Fresagem do Revestimento	Revestimento Asfáltico Remanescente	Base	Sub-base	Reforço de Subleito
1	Reforço 4cm	Reforço 5cm	Comum	4	5	-	12,5	0	12,5	40		
2	Fresagem + Recomposição 5cm	Fresagem + Recomposição 5cm	Comum	4	5	-	12	5	7	30		
3	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	Comum	4	9	-	12	5	7	30		
		Reforço 5cm	Comum	4	5	-	12	0	12	30		
4	Fresagem + Recomposição 5cm	Fresagem + Recomposição 5cm	Comum	4	5	-	15	5	10	20	20	
5	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 7cm	Fresagem + Reforço 12cm	Modificada	1	12	-	10	5	5	15	20	
		Reforço 7cm	Modificada	1	7	-	10	0	10	15	20	
6	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	Comum	4	9	-	13	5	8	18		
		Reforço 5cm	Comum	4	5	-	13	0	13	18		
7	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	Modificada	1	9	-	15	5	10	16	15	
		Reforço 5cm	Modificada	1	5	-	15	0	15	16	15	
8	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	Modificada	1	9	-	11,5	5	6,5	23	13	20
		Reforço 5cm	Modificada	1	5	-	11,5	0	11,5	23	13	20
10	Fresagem + Recomposição 5cm + TSD + Reforço 4cm	Fresagem + TSD + Reforço 9cm	Modificada	1	9	2	20	5	15	10	20	
		TSD + Reforço 5cm	Modificada	1	5	2	20	0	20	10	20	
11	Reforço 4cm	Reforço 5cm	Modificada	1	5	-	12	0	12	10	20	
12	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 10cm	Fresagem + Reforço 15cm	Modificada	1	15	-	12	5	7	28	20	
		Reforço 10cm	Modificada	1	10	-	12	0	12	28	20	

Para os trechos 9 e 13 o catálogo indicou reconstrução da estrutura nos cenários 6 e 4 respectivamente, sendo indicados nestes cenários as espessuras e materiais constituintes de cada camada a partir do subleito. Foram analisadas as condições atuais da estrutura existente, e a partir daí verificou-se quais as camadas deveriam ser reconstruídas, compatibilizando a estrutura existente e as camadas a serem analisadas para reconstrução.

O cenário 6, indicado para o trecho 9 é constituído de uma estrutura formada por 20 cm de reforço de subleito em solo, 20 cm de uma sub-base composta por BGS, 20 cm de uma base de BGTC, TSD de 2 cm e um revestimento asfáltico por mistura modificada com polímero de 12,5 cm. O cenário 4, indicado para o trecho 13, é constituído de uma estrutura formada por 20 cm de reforço de subleito em solo, 20 cm de uma sub-base composta por solo, 20 cm de uma base de BGS e um revestimento asfáltico com espessura de 10 cm. Na Tabela 47 são apresentadas as estruturas de reconstrução indicadas no catálogo do DNIT para os dois cenários, a estrutura atual e a estrutura compatibilizada com o indicado pelo catálogo a ser analisada pelo método MeDiNa.

Tabela 47 – Resumo das soluções de reconstrução indicadas pelo catálogo de soluções do DNIT, a estrutura atual e a estrutura a ser considerada na análise de vida útil pelo método MeDiNa referente aos trechos 9 e 13 desta pesquisa

Camadas do Pavimento	Trecho 9			Trecho 13		
	Catálogo DNIT (cenário 6)	Estrutura Atual	Estrutura de Reconstrução	Catálogo DNIT (cenário 4)	Estrutura Atual	Estrutura de Reconstrução
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Revestimento	12,5	10	12,5	10	10	10
Anti-reflexo de Trincas	2	-	2	-	-	-
Base	20	17	15	20	40	20
Sub-base	20	18	15,5	20	20	20
Reforço de Subleito	20	30	30	20	-	20
Espessura Total da Estrutura	74,5	75	75	70	70	70

No trecho 9 considerou-se que os MR encontrados na retroanálise da camada de reforço do subleito e subleito sugerem que as camadas estão em bom estado, sendo mantidas e considerando como solução a reconstrução das camadas superiores a estas.

No trecho 13, o MR da sub-base também sugere que a camada esteja em bom estado, na reconstrução essa sub-base foi considerada como reforço do subleito, e sobre ela adicionadas camadas de sub-base, base e revestimento. Os MR dos materiais existentes que serão mantidos encontram-se dentro dos valores indicados na instrução de projetos de pavimentação do DER-SP (2006).

Nas análises do trecho 9, os materiais novos considerados para reconstrução foram obtidos da base de dados do método MeDiNa, e são descritos a seguir:

- Concreto asfáltico modificado de alto módulo – CAP 10/20, MR de 16341 MPa e coeficiente de Poisson de 0,30;
- Camada antirreflexão de trincas, identificada como tratamento superficial duplo, com espessura de 2,0 cm, MR de 1000 MPa e coeficiente de Poisson de 0,25;
- Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC), identificada como Balbo (1993) com 80 kg/m³ de cimento portland, com espessura de 15,0 cm, módulo com comportamento do tipo sigmoidal e coeficiente de Poisson de 0,25; e
- Sub-base de material granular, identificado como Brita Graduada – Gnaisse C4, com espessura de 15,5 cm, MR de 311 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35.

Nas análises do trecho 13, os materiais novos considerados para reconstrução foram obtidos da base de dados do método MeDiNa, e são descritos a seguir:

- Concreto asfáltico Classe 4, com MR de 10492 MPa e coeficiente de Poisson de 0,30;
- Base de material granular, identificado como Brita Graduada – Gnaisse C4, com espessura de 20 cm, MR de 311 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35; e
- sub-base de solo, identificado como solo Areno-argiloso LG'(2), com espessura de 20 cm, MR de 248 MPa e coeficiente de Poisson de 0,45.

Com os módulos retroanalisados e as indicações das soluções, foi possível realizar as verificações da vida útil de projeto, bem como tentar o dimensionamento da espessura de reforço quando a solução indicada não atende os critérios de verificação.

5.2.1 Estrutura do Pavimento

As primeiras informações que devem ser preenchidas são de identificação do projeto, nos campos: Responsável, Projeto e Empresa. A determinação da estrutura a ser

analisada é realizada adicionando ou excluindo camadas, definindo o material que as compõem, espessura, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson de cada camada.

A versão do MeDiNa utilizada para as análises de vida útil e dimensionamento do reforço e reconstrução foi a v1.0.2.1. Nesta versão os módulos retroanalisados podem ser importados do BackMeDiNa e durante a importação, o MeDiNa calcula a média, o desvio padrão e os valores mínimos e máximos dos módulos retroanalisados, assim como o valor da deflexão característica, e estas informações aparecerão para o projetista na janela Propriedades dos Materiais. Os módulos considerados para as análises e dimensionamentos de reforço é a média dos módulos de todas as bacias retroanalisadas consideradas para o trecho.

Concluída a caracterização da estrutura, deve ser informada ao programa a composição do tráfego, sendo inserido os dados: tipo de via, VMD referente ao primeiro ano, fator de veículo, “N” anual total, porcentagem de veículos na faixa de projeto, taxa de crescimento do tráfego ao ano e vida de projeto. A partir dos parâmetros informados o software calcula o valor de número “N” final instantaneamente. Nesta pesquisa, o número “N” foi definido através de um estudo feito pela concessionária responsável pela rodovia, apresentado na Tabela 21. O MeDiNa através dos dados informados gerou exatamente o mesmo “N” previsto na tabela.

Para os trechos de pista simples (trechos 1 a 6), foi utilizado o valor de 50% no campo percentual de veículos na faixa de projeto, visto que o tráfego informado na tabela 14 é a composição real, sendo o volume de veículos referente ao primeiro ano resultado da contagem de ambos os sentidos de tráfego. Nos trechos de pista dupla (trechos 7 a 13), foi utilizado o valor de 40% no campo percentual de veículos na faixa de projeto.

Após a entrada dos dados é possível salvar o projeto, ação que preserva todos os dados informados, podendo ser aberto a qualquer momento pelo projetista para que sejam efetuadas alterações, novas análises e dimensionamento de camadas.

A Figura 71 mostra um exemplo da tela de entrada do MeDiNa, após a verificação da vida útil, em um dos trechos analisados desta pesquisa.

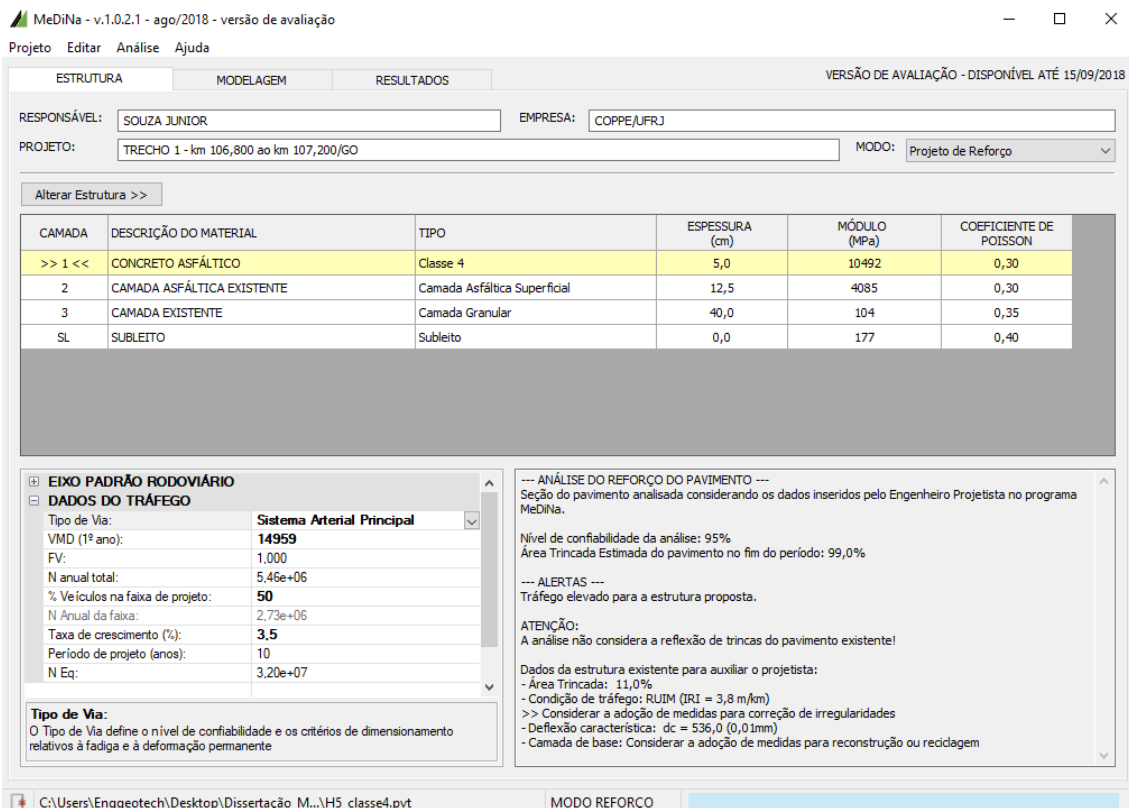


Figura 71 – Exemplo da tela de entrada de dados de caracterização da estrutura referente ao Trecho 1 desta pesquisa, com a camada de reforço adicionada, e as análises do reforço do pavimento (MeDiNa)

5.2.2 Resultados

Com o preenchimento de todos os dados necessários para analisar a estrutura, o usuário pode analisar a vida útil do pavimento, dimensionar uma camada de reforço no modo reforço ou dimensionar uma camada da estrutura do pavimento para se chegar à vida útil de projeto, no modo pavimento novo.

As estruturas de todas as hipóteses a serem analisadas estão apresentadas na Tabela 46, onde as colunas em cinza correspondem às camadas e espessuras a serem consideradas em cada hipótese, para cada trecho. Para todas as camadas existentes foram adotados o coeficiente de Poisson utilizado na retroanálise e o módulo de elasticidade médio (Tabela 44).

Para o reforço foram analisados inicialmente 39 casos, para um nível de confiabilidade de 95% por se tratar de um sistema arterial principal (rodovia federal interestadual). É importante ressaltar que o método MeDiNa no modo de projeto de reforço avalia apenas o consumo de fadiga da nova camada asfáltica, tendo como critério

de falência dos pavimentos a partir de uma área trincada de 30%.

Dos 39 casos analisados, em 31 casos foram encontrados valores inferiores à vida útil de projeto prevista no Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis do DNIT, que é 10 anos. Desses, 84% não ultrapassaram 4 anos úteis, ocorrendo casos onde a ruptura dos pavimentos ocorria em menos de 1 ano. O trecho 2 apresentou vida útil de projeto satisfatório para os 10 anos com todas as 4 misturas asfálticas analisadas. O trecho 4 atendeu a vida útil de projeto com as misturas asfálticas Classe 2 e Classe 4, e o trecho 10 atendeu a vida útil de projeto nas análises com a mistura Classe 4 nas duas hipóteses consideradas. O resumo das análises pode ser observado na Tabela 48, onde é apresentado nas colunas em cinza a vida útil de projeto em anos para cada análise.

Após a conclusão das análises de vida útil das soluções de reforço indicadas pelo catálogo do DNIT, foram realizadas tentativas de dimensionamento da camada de reforço pelo MeDiNa nos 31 casos que não atenderam a vida útil de projeto. Dessas 31 tentativas de dimensionamento do reforço, apenas 1 caso foi dimensionado com êxito, sendo encontrada espessura de reforço de 11,9 cm com a mistura Classe 4 para o trecho 11 desta pesquisa. Nos outros 30 casos foi atingido a espessura máxima admitida para reforço no método, sendo essa espessura de 15 cm, e não foi obtido a vida útil de projeto, sendo indicado revisão da estrutura, como mostrado na Figura 72. Na Tabela 49 é apresentado o resumo das análises dimensionadas e seus resultados.

No modo pavimento novo foram analisadas as estruturas de reconstrução apresentadas na Tabela 47. No trecho 9 a estrutura compatibilizada com o indicado no catálogo do DNIT atendeu ao critério de vida útil de projeto com a espessura de 12,5 cm indicada pelo catálogo, e, realizando o dimensionamento do revestimento asfáltico, foi verificado que uma espessura de 7,4 cm atenderia. No trecho 13, a estrutura indicada pelo catálogo do DNIT não atendeu a vida útil de projeto, após esta primeira análise, foi realizado o dimensionamento, que indicou que uma camada de 15 cm de espessura do revestimento asfáltico atenderia a vida útil de 10 anos.

Tabela 48 – Resumo das soluções propostas pelo catálogo de soluções do DNIT e considerações usadas para as análises no MeDiNa referente aos trechos desta pesquisa

Trecho	Soluções		Espessura (cm)						Vida Útil de Projeto (anos)			
			Novas Camadas		Estrutura Existente				Misturas Asfálticas Consideradas na Camada de Reforço			
	Indicadas pelo Catálogo do DNIT	Adaptadas para Análises no MeDiNa	Reforço	TSD	Revestimento Asfáltico Remanescente	Base	Sub-base	Reforço de Subleito	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
1	Reforço 4cm	Reforço 5cm	5	-	12,5	40			2,1	2,8	2,8	3,9
2	Fresagem + Recomposição 5cm	Fresagem + Recomposição 5cm	5	-	7	30			10	10	10	10
3	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	9	-	7	30			0,9	1,2	1,8	2,3
		Reforço 5cm	5	-	12	30			1,3	1,7	1,8	2,6
4	Fresagem + Recomposição 5cm	Fresagem + Recomposição 5cm	5	-	10	20	20		5,1	10	8,3	10
5	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 7cm	Fresagem + Reforço 12cm	12	-	5	15	20		-	-	-	2,8
		Reforço 7cm	7	-	10	15	20		-	-	-	2,3
6	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	9	-	8	18			1,1	1,4	2,0	2,6
		Reforço 5cm	5	-	13	18			1,4	1,8	2,0	2,8
7	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	9	-	10	16	15		-	-	-	2,8
		Reforço 5cm	5	-	15	16	15		-	-	-	3,6
8	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 4cm	Fresagem + Reforço 9cm	9	-	6,5	23	13	20	-	-	-	3,3
		Reforço 5cm	5	-	11,5	23	13	20	-	-	-	4,0
10	Fresagem + Recomposição 5cm + TSD + Reforço 4cm	Fresagem + TSD + Reforço 9cm	9	2	15	10	20		-	-	-	10
		TSD + Reforço 5cm	5	2	20	10	20		-	-	-	10
11	Reforço 4cm	Reforço 5cm	5	-	12	10	20		-	-	-	8,0
12	Fresagem + Recomposição 5cm + Reforço 10cm	Fresagem + Reforço 15cm	15	-	7	28	20		-	-	-	7,2
		Reforço 10cm	10	-	12	28	20		-	-	-	4,8

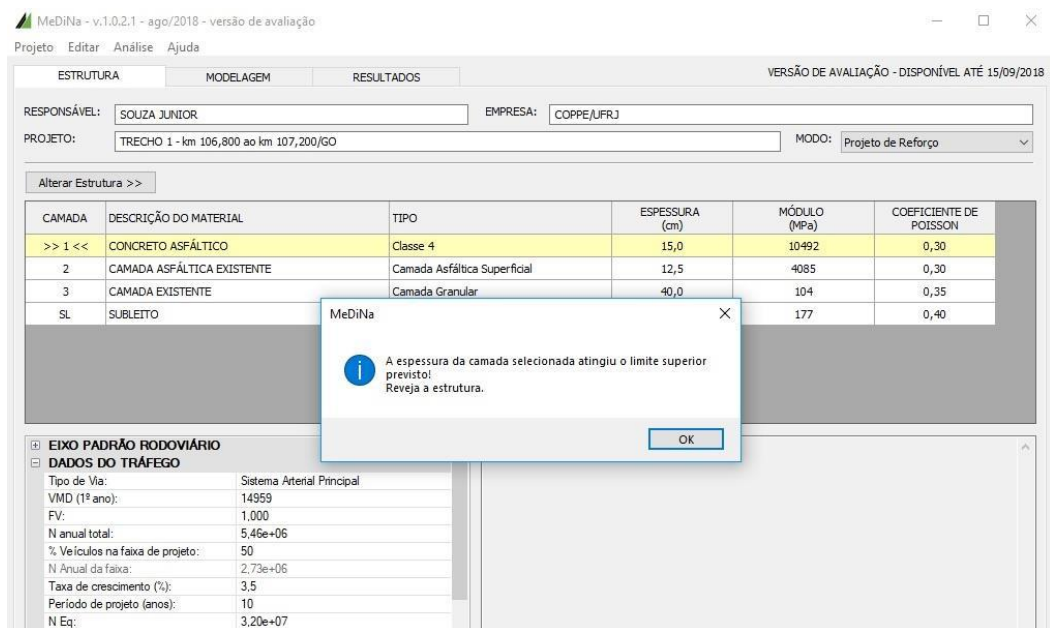


Figura 72 – Exemplo da tela do software MeDiNa após tentativa de dimensionamento do Trecho 1 desta pesquisa, sendo informado a necessidade de verificação da estrutura

Tabela 49 – Resumo das análises do MeDiNa referente aos dimensionamentos de reforço

Trecho	Consideração no Dimensionamento de Reforço	Espessuras (cm)						Vida Útil de Projeto (anos)	
		Reforço Dimensionado	Estrutura Existente					Misturas Asfálticas	
			Reforço	Revestimento Asfáltico Atual	Fresagem	Revestimento Asfáltico Remanescente	Base		Sub-base
1	Reforço	Atingiu Limite Superior	12,5	0	12,5	40		6,7	
3	Fresagem + Reforço	Atingiu Limite Superior	12	5	7	30		4,6	
	Reforço	Atingiu Limite Superior	12	0	12	30		5,2	
5	Fresagem + Reforço	Atingiu Limite Superior	10	5	5	15	20	3,8	
	Reforço	Atingiu Limite Superior	10	0	10	15	20	4,3	
6	Fresagem + Reforço	Atingiu Limite Superior	13	5	8	18		4,8	
	Reforço	Atingiu Limite Superior	13	0	13	18		5,5	
7	Fresagem + Reforço	Atingiu Limite Superior	15	5	10	16	15	5,6	
	Reforço	Atingiu Limite Superior	15	0	15	16	15	6,6	
8	Fresagem + Reforço	Atingiu Limite Superior	11,5	5	6,5	23	13	20	6,1
	Reforço	Atingiu Limite Superior	11,5	0	11,5	23	13	20	7,2
11	Reforço	11,9	12	0	12	10	20	10	
12	Fresagem + Reforço	Atingiu Limite Superior	12	5	7	28	20		7,2
	Reforço	Atingiu Limite Superior	12	0	12	28	20		7,6

5.2.3 Considerações sobre as Análises de Vida Útil e Dimensionamento

Após análises pelo método MeDiNa, referentes à vida útil das soluções recomendadas pelo catálogo de soluções do DNIT, foi constatado que oito dos onze trechos com indicações de reforço não atenderiam a vida útil de projeto de 10 anos, mencionada no catálogo, indicando trechos que, pelo dano acumulado por fadiga, sofreriam ruptura em menos de 1 ano.

Os três trechos onde as soluções indicadas pelo catálogo atenderam a vida útil de projeto possuem camadas estabilizadas quimicamente em sua estrutura, sendo nos trechos 2 e 4 a camada de base e no trecho 10 a camada de sub-base. A camada estabilizada absorve parte das tensões de tração, diminuindo essas tensões na camada de revestimento e como são pouco deformáveis proporcionam menores esforços verticais sobre o subleito, o que proporcionou a esses trechos baixas deflexões e bons valores de módulos de elasticidade, indicando boa condição das camadas inferiores da estrutura do pavimento. A BGTC devido à cura do cimento apresenta retração, levando ao aparecimento de fissuras e trincas que se agravam com o tráfego, esse problema pode levar à reflexão destas trincas ao revestimento asfáltico no caso do emprego da BGTC como material de base (BALBO, 1993), já seu emprego como material de sub-base foi pensado para evitar a reflexão das trincas para o revestimento (SUZUKI, 1992). Estas razões expostas ajudam a explicar a existência de áreas trincadas nos trechos 2 e 4, com base em BGTC, e esses trechos tem maior porcentagem de trincamento que o trecho 10 onde a camada estabilizada é a sub-base.

Os dois trechos indicados com reconstrução pelo catálogo apresentaram altas deflexões e altas porcentagens de área trincada, apresentando baixos valores de módulos de elasticidade das camadas de revestimento e base. Através dos módulos de elasticidade foi possível verificar que o problema da estrutura não se encontrava apenas na camada de revestimento, por isso a reconstrução atendeu a vida útil de projeto, no momento em que as camadas que apresentavam problemas foram substituídas. Pelo tráfego previsto durante a vida útil do pavimento, com $N \geq 1,0 \text{ E}+07$, viu-se que o trecho 9, onde foi indicado BGTC apresentou melhores resultados, sendo visto pelo dimensionamento com o MeDiNa que uma camada de revestimento menor que a indicada pelo catálogo já atenderia a vida útil de projeto. No trecho 13, a vida útil de projeto foi atendida apenas ao se realizar o dimensionamento, chegando a 15 cm de revestimento, podendo a esse

trecho ser associado uma camada de BGTC ou camada antirreflexão de trincas, visando um dimensionamento sem a necessidade de uma camada tão espessa do revestimento.

Nos oito trechos onde as soluções de reforço do catálogo do DNIT não atenderam a vida útil de projeto, os trechos apresentaram valores de deflexão característica que variaram de $30 \times 10^{-2} mm$ a $137 \times 10^{-2} mm$, e porcentagens de área trincada variando de 3% a 41%. Por estes números pode-se ver que as estruturas dos pavimentos apresentam condições distintas, porém pela retroanálise foi possível estimar a camada com maior contribuição para a incidência de danos por fadiga, e em todos esses trechos encontrou-se a base com menores módulos de elasticidade do que a sub-base, e na maioria dos casos, menores até que os módulos do subleito, caracterizando-se como bases descompactadas ou afetadas estruturalmente. Pelos resultados das soluções do catálogo, pode-se ver que um reforço estrutural que visa somente a camada de revestimento não foi capaz de garantir a vida útil de projeto, quando a maior deficiência da estrutura está nas camadas inferiores ao revestimento, como na maioria dos trechos desta pesquisa, na camada de base.

FONSECA (2013) ao realizar análises pelo método mecanístico SisPav, verificou que as soluções de reforço e reconstrução indicadas no catálogo da 2ª etapa do programa CREMA, não atenderiam a vida útil de projeto, ocorrendo rupturas precoces do pavimento. Esta é a mesma conclusão encontrada para as soluções indicadas pelo catálogo do SGP do DNIT para a maior parte dos trechos estudados nesta pesquisa.

A caracterização dos materiais da estrutura existente do pavimento e dos novos materiais a serem empregados nos projetos de reforço é de extrema importância no método MeDiNa. As diferentes misturas utilizadas resultaram em diferentes períodos de vida útil. Por exemplo, no trecho 4 o material de revestimento condicionou a estrutura em atender ou não a vida útil de projeto: as misturas Classe 2 e 4 utilizadas com a espessura indicada pelo catálogo atenderam a vida de projeto, já as misturas Classe 1 e 3, com a mesma espessura, não atenderam. No Anexo III encontram-se alguns exemplos de relatórios das análises e dimensionamentos feitos pelo método MeDiNa. Constam os relatórios de análises de vida útil dos trechos 1 e 2, caracterizados com intervenções mais leves, relatórios dos trechos 10 e 12, caracterizados com camadas antirreflexão de trincas e intervenções mais pesadas, e relatórios dos trechos 9 e 13, onde foram indicadas reconstrução da estrutura.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Esta pesquisa teve como objetivo principal o estudo de trechos de uma rodovia federal com diferentes condições funcionais e estruturais através da aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos MeDiNa. Foi utilizado como critério inicial o Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis para rodovias do DNIT, que apresenta soluções que compõem o Sistema de Gerência de Pavimentos do órgão em nível de planejamento rodoviário, para verificação de qual seria a solução recomendada para cada um dos trechos apresentados neste estudo. As soluções de reforço do catálogo foram obtidas de acordo com as normas DNER-PRO 11/79 “B” e DNER-PRO 269/94 “TECNAPAV” e as de reconstrução atendendo ao Método do DNER, conforme apresentado no Manual de Pavimentação, de 2006, publicação IPR-719. Foram feitas análises das soluções indicadas pelo catálogo no método mecanístico MeDiNa, verificando se a vida útil de projeto estimada em 10 anos seria realmente atendida. A partir do levantamento de dados funcionais e estruturais dos trechos rodoviários desta pesquisa, e da obtenção dos módulos de elasticidade obtidos por retroanálise a partir do software BackMeDiNa (parte integrante do método MeDiNa) foi possível analisar a vida útil das soluções indicadas pelo catálogo dos diferentes trechos estudados, bem como realizar dimensionamentos dos reforços considerando o critério de fadiga e deformação permanente admitido no método.

Embasado nos conceitos apresentados neste trabalho e na análise dos resultados obtidos, foi possível chegar às conclusões apresentadas a seguir.

6.1 CONCLUSÕES

- A análise pelo método MeDiNa da vida útil de projeto das soluções indicadas pelo catálogo de soluções do SGP do DNIT, indicaram que em 78% dos casos analisados, a vida útil de projeto estipulada em 10 anos não atendeu ao critério de fadiga, ocorrendo a ruptura muito precoce dos pavimentos. Do total de casos que não atingiram os 10 anos de vida útil 84% não chegaram em condições aceitáveis aos 4 anos, havendo casos de ruptura em menos de 1 ano.
- As tentativas de dimensionamento atingiram a espessura limite da camada de revestimento estipulada em 15 cm no método MeDiNa e não atendeu a vida útil de projeto de 10 anos em 93% das tentativas de dimensionamento da camada de

reforço. Isso ocorreu devido às deformações de tração estarem muito altas nas fibras inferiores da camada de revestimento devido aos baixos módulos de elasticidade encontrados na camada de base, havendo em alguns casos total incompatibilidade de rigidez entre as camadas, o que faz com que uma camada de reforço não consiga reestabelecer a condição estrutural do pavimento.

- A retroanálise permitiu estimar qual a camada mais penalizada pelas cargas repetidas, e assim, qual contribuiu mais para a incidência de danos por fadiga. Nas análises dos trechos desta pesquisa, observou-se camadas de base com baixa rigidez, sendo muito deformáveis, e pode-se concluir, que a indicação de soluções como fresagem somente da camada de revestimento e posterior reforço mostraram-se inadequadas sem o tratamento da camada de base.
- O catálogo de soluções do DNIT foi estabelecido para uso em um SGP visando o âmbito do planejamento rodoviário a nível de rede, com isso observou-se a generalização de soluções para trechos diversos, porém com características que se enquadram em um padrão de enquadramento admitido no catálogo. Devido a isso foi possível observar soluções inadequadas sendo indicadas a vários trechos.
- A consideração das características elásticas dos materiais que compõem a estrutura dos pavimentos auxilia na avaliação estrutural, visto que pavimentos com estruturas distintas podem apresentar o mesmo valor de deflexão máxima (parâmetro usado nos métodos atuais de projeto de reforço) variando o arqueamento da bacia deflectométrica, que se reflete em MR distintos dependendo da condição que estes materiais se encontram. Portanto, analisar a bacia completa permite um diagnóstico mais preciso da condição estrutural do pavimento e a melhor decisão da solução de restauração em cada situação.
- Na retroanálise, os trechos com maior porcentagem de área trincada e maiores deflexões características apresentaram os maiores erros na retroanálise, e os trechos com menores porcentagens de área trincada e menores deflexões características apresentaram os menores erros no processo de retroanálise.
- O parâmetro empírico raio de curvatura (RC), adotado para verificação da integridade estrutural dos pavimentos flexíveis nos métodos tradicionais de dimensionamento de reforço, se mostrou um bom critério de identificação de camadas estabilizadas quimicamente, estando essa camada na base ou sub-base da estrutura.

- Ao analisar apenas os parâmetros empíricos de análise das bacias, foram indicados problemas estruturais em quatro trechos, sendo eles os trechos 5, 9, 12 e 13 (Tabela 24), e esses foram também os trechos que apresentaram maior porcentagem de área trincada e indicações de intervenções mais pesadas pelo catálogo do DNIT.
- O Catálogo do DNIT apresentou resultado satisfatório nos casos extremos, quando as estruturas precisavam de reparos leves e quando precisavam de reconstrução, porém nos casos intermediários não apresentou soluções que atendessem o critério de vida útil de projeto.
- Pelo parâmetro empírico BDI, valores acima de $40 \times 10^{-2} mm$ indicam camadas de base pouco resistentes, porém, o critério de $40 \times 10^{-2} mm$ não se mostrou adequado, pois bases com valores de MR menores que 150 MPa, MR mínimo indicado para esta camada na instrução de projeto do DER-SP (2006), não foram caracterizados com BDI superiores a $40 \times 10^{-2} mm$. Na presente pesquisa, acredita-se que um critério limite para o BDI de $15 \times 10^{-2} mm$, caracterizaria melhor as condições de base, visto que todos os trechos que apresentaram MR característicos de camadas íntegras para a base, apresentaram BDI menores que $15 \times 10^{-2} mm$.
- Os métodos de dimensionamento de reforço que deram origem ao Catálogo do DNIT, PRO11 E PRO269, são voltados para deflexão máxima. O MeDiNa realiza o dimensionamento analisando a estrutura como um todo, focado na curva de fadiga do novo material do reforço, na área trincada futura, sendo a bacia de deflexão representada através dos MR das camadas com muito mais detalhes para interpretação do projetista.

6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Realizar novas janelas de inspeção para conferência das espessuras das camadas do pavimento e coleta de materiais para identificação e ensaios em laboratório na rodovia analisada.

- Vários estudos já realizados indicam que as camadas de base e sub-base apresentam em geral elasticidade não linear, crescendo à medida que as tensões confinantes aumentam no interior dos materiais granulares, e, portanto, sugere-se a realização de ensaios nos materiais dos poços, para obtenção e utilização da elasticidade não linear nas análises de vida útil e dimensionamento.
- Realizar retroanálises dividindo as camadas de revestimento asfáltico, visto que as maiores espessuras são referentes a intervenções já realizadas tendo em vista tratar-se de uma rodovia muito antiga.
- Realizar retroanálises combinando camadas de base e sub-base semelhantes, visando diminuir erros altos de retroanálise.
- Realizar retroanálises com as considerações de BUENO (2016) quanto à correção de temperatura da camada de revestimento, partindo da retroanálise sem nenhum ajuste nas medidas de campo e determinando os módulos das camadas granulares e subleito, após corrigir as medidas de deflexão de campo e repetir o processo iterativo, objetivando modificar apenas o módulo de elasticidade do revestimento, finalizado a nova retroanálise.
- Realizar o mesmo estudo em outros trechos desta ou de outras rodovias, com diferentes características funcionais e estruturais, para testar o MeDiNa em várias situações.
- Realizar o dimensionamento considerando reciclagem das camadas de base.
- Realizar análises de desempenho em campo dos trechos que apresentaram vida útil de projeto satisfatória, monitorando a área trincada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS), *Guide for design of pavement*, Washington, EUA, 1993.
- ALBUQUERQUE, F. S. *Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro*. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.
- ANDRADE, L. R.; VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. L. B. “Avaliação do comportamento estrutural de pavimentos por meio de adoção de parâmetros de bacia deflectométrica”. *XXX Congresso de pesquisa e ensino em transporte - ANPET*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- BALBO, J. T. *Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semi-rígidos*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- BALBO, J. T. *Pavimentação asfáltica, materiais, projeto e restauração*. Oficina de Textos, 2007.
- BENEVIDES, S. A. S. *Modelos de desempenho de pavimentos asfálticos para um sistema de gestão de rodovias estaduais do Ceará*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. *Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros*. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS:ABEDA, 2008.
- BEZERRA NETO, R. S. *Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empíricos do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para região de Campo Grande (MS)*. Tese de Mestrado, UFSCAR, São Carlos, SP, 2004.

- BORGES, C. B. S. *Estudo comparativo entre medidas de deflexão com Viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis, SC, 2001.
- BUENO, L. D. *Avaliação Deflectométrica e de Rigidez: Estudo de Caso em Três Trechos Monitorados em Santa Maria/RS*. Dissertação de Mestrado, UFSM. Santa Maria, RS, 2016.
- CARDOSO, S. H. “Faixas de Módulos Dinâmicos (elásticos) Obtidos por Retroanálise Durante Sete Anos”. In: *29ª Reunião Anual de Pavimentação*. V. 2, pp.377-401, Cuiabá, MT, 1995.
- CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP. *Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis*. Relatório Técnico RT-002/2014. Contrato 0000366/2012, 2015.
- COSTA, T. C.; PEREIRA, D. A.; DEON, K. C. A. “Retroanálise das Bacias Deflectométricas para Obtenção dos Módulos de Resiliência das Camadas de Pavimentação da Rodovia BR-163/PA, Brasil”. *VIII Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / V Congresso de Engenharia de Moçambique*. Maputo, Moçambique, 2017.
- COSTA, L. C. S.; MORAES, O. L. P. “O Uso do Sistema de Gerencia de Pavimentos no Setor de Planejamento do DNIT”. *44ª Reunião Anual de Pavimentação*, Foz do Iguaçu, PR, 2015.
- DER/SP. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. IP-DE-P00/001: *Projeto de Pavimentação*. São Paulo, 2006.
- DER/SP. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. IP-DE-P00/003: *Avaliação funcional e estrutural de pavimento*. São Paulo, 2006.
- DNER. Norma 10/79 – PRO - *Procedimento A - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis*. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.
- _____. Norma 11/79 – PRO - *Procedimento B - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis*. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.

- _____. Norma 269/94 – PRO - *Procedimento - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV (Método da Resiliência)*. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. Pavimentação asfáltica – *Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio*. DNIT 133/2010 – ME, Brasília, DF, 2010.
- DNIT. IPR 720 - *Manual de restauração de pavimentos asfálticos*. MT / DNIT. Brasília, DF, 2006.
- _____. IPR 745 - *Manual de gerência de pavimentos*. - Rio de Janeiro, RJ, 2011.
- _____. SISTEMA NACIONAL DE VIAÇÃO. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao/snv_201801b>. Acesso em 22 de junho de 2018.
- ENGGEOTECH. *Gerência de Pavimentos na Região Sul e Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais*. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, DERMG. 2003/2004.
- ENGGEOTECH. *Serviços Técnicos Especializados de Levantamento Visual Contínuo de Defeitos (LVC), Lote B-2, Unidade de Federação: GO; DF; BA; SE; AL; PE; PB; RN; CE; PI; MA; PA e TO*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT, Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos, CGPLAN. 2006/2007/2008.
- FERRI, S. *Critérios de aceitação e controle da qualidade da execução de camadas de fundação de pavimentos novos através de métodos deflectométricos*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. – ed. rev. – São Paulo, 2013.
- FRANCO, F. A. C. P. *Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2007.
- FRANCO, F. A. C. P. *Análise Elástica de Múltiplas Camadas*. Manual de Utilização. Versão 2.4. Rio de Janeiro, 2018.

- FRANCO, F. A. C. P. *BackMeDiNa*. Manual de Utilização. Versão 1.1. Rio de Janeiro, 2018.
- FRANCO, F. A. C. P. *MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional*. Manual de Utilização. Versão 1.0.0. Rio de Janeiro, 2018.
- FRITZEN, M. A. *Avaliação de soluções de reforço de pavimentos asfálticos com simulador de tráfego da rodovia Rio Teresópolis*. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.
- FONSECA, L. F. S. *Análise das Soluções de Pavimentação do Programa CREMA 2ª ETAPA do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Dissertação de mestrado PEC/ COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.
- FONSECA, L. F. S.; MOTTA, L. M. G. “Uma Análise das Soluções de Pavimentação do Crema 2ª Etapa”. *27º ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Belém, PR, 2013.
- GAO, L.; ZHANG, Z. “Robust Optimization for Managing Pavement Maintenance and Rehabilitation”. *87th TRB Annual Meeting*, 2008.
- GEIPOT. *Pesquisa sobre Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias*. Relatório Final. Ministério dos Transportes, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Brasília/DF, 1981.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R. *Pavement Management Systems*. EUA: McGraw-Hill, 1978.
- HUDSON, W.R.; HAAS, R.; PERDIGO, R.D. *Pavement Management System Development. National Cooperative Highway Research Program, Report 215*, Transportation Research Board, 1979.
- HVEEM F. N. “Pavement deflection and fatigue failures”. IN: *Annual Meeting, HRB Bull.* 114, pp 43-73, 1955.


- KOHLER, E. R.; NICHOLAS J. S.; JOHN T. H. “Pilot Project for Fixed Segmentation of the Pavement Network”. *UCPRC–RR-2005/11 – Part of PPRC Strategic Plan Item 3.2.4, Prepared for California Department of Transportation, Division of Research and Innovation, Office of Roadway Research, UC Pavement Research Center University of California, Davis and Berkeley – USA, 2006.*
- MACÊDO, J. A. G. *Interpretação de Ensaio Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.
- MACÊDO, F. N. *Retroanálise de Bacias de Deflexão Reais e Teóricas Obtidas por Métodos Estáticos e Dinâmicos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2003.
- MARTINS, M. F.; BUENO, L. D.; SPECHT, L. P.; HALLAL, R. R.; COELHO, H. O.; PEREIRA, D. S. “Avaliação da Não Linearidade de Módulos de Resiliência Retroanalisados de Materiais Granulares de Base de Pavimentos Obtidos Durante o Controle Tecnológico da Duplicação de Uma Rodovia do RS”. *Revista CIATEC – UPF*, vol.10 (1), p.p.31-42, 2018.
- MEDINA, J. *Mecânica dos Pavimentos*. Editora UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 380 p, 1997.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos Pavimentos*. Editora Interciência, 3 ed., Rio de Janeiro/RJ, 619 p, 2015.
- MORAES, C. G. *Análise de Bacias Deflectométricas Obtidas por 4 Equipamentos do Tipo Falling Weight Deflectometer (FWD)*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2015.
- MOTTA, L. M. G. *O Estudo da Temperatura em Revestimentos Betuminosos*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1979.
- MOTTA, L.M.G., MEDINA, J. “A Questão da Influência da Temperatura na Deformabilidade Elástica dos Pavimentos Flexíveis”. In: *21ª Reunião Anual de Pavimentação*. V. 1., pp. 337-352, Salvador, BA, Brasil, 1986.
- MOTTA, L.M.G. e MEDINA, J. “Design of asphalt pavements using lateritic soils in Brazil. Solos e Rochas”. *RIO DE JANEIRO*, v. 11, p. 11-15, 1988.

- MOTTA, L. M. G. *Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- NÓBREGA, E.S. *Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- PATERSON, W. D. O. “Prediction of Road Deterioration and Maintenance Effects: Theory and Quantification. Highway Design and Maintenance Study”, *Vol. 3. World Bank*, Transportation Department, Washington, D.C. 1986.
- PATERSON, W. D. O. *The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III). Volume III, Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management*. Washington, D.C.: Transportation Department, World Bank, 1987.
- PINELO, A. *Programa de Investigação em Pavimentos Rodoviários*. Lisboa: Relatório para Obtenção de Investigador Coordenador, LNEC, 1993.
- PINTO, S. (1991) *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- PINTO, I. E., DOMINGUES, F. A. A. “A Contribuição ao Estudo de Correlação entre Equipamentos Medidores de Deflexões: Viga Benkelman e Falling Weight Deflectometer – FWD”. In: *Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavement and Technological Control*. Auburn, Alabama, USA, 2001.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E.S. *Pavimentação rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis*. 2ª edição. Rio de Janeiro/RJ, 220p. 2010.
- PITTA, D.M., BALBO, J.T. “Estudo de Caso de Retroanálise de Superfícies Deformadas em Pavimentos Asfálticos da Região Sul do Brasil”. In: *31ª Reunião Anual de Pavimentação*. V. 2 pp. 815-834, São Paulo, SP, 1998.
- PORTAL BR-3 Projetos. Disponível em: <<https://br3projetos.wordpress.com/o-projeto/sobre-a-br040/>>. Acesso em 01 de dezembro de 2017.

- PORTAL CNT CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Disponível em:
<<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/brasil-tem-apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento>>. Acesso em 14 de outubro de 2017.
- PORTAL INMET–INSTITUTO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.
Acesso em 21 de janeiro de 2018.
- REIS, C. A. R. *Desenvolvimento de equipamento e método para levantamento visual contínuo com vídeo registro de defeitos de pavimentos rodoviários*. Dissertação Mestrado (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2007.
- REIS, C. A. R.; MOTTA, L. M. G. “Método para Levantamento Visual Contínuo com Vídeo-Registro de Pavimentos Rodoviários”. In: *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Búzios - Rio de Janeiro. COBRAMSEG, 2008.
- ROCHA FILHO, N. R. *Estudo de Técnicas para Avaliação Estrutural de Pavimentos por Meio de Levantamentos Deflectométricos*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP, 1996.
- ROCHA FILHO, N. R., RODRIGUES, R. M. “Levantamentos Deflectométricos: Fatores que Influenciam na Previsão de Desempenho de Pavimentos”. In: *31ª Reunião Anual de Pavimentação*. V. 2 pp. 751-767, São Paulo, SP, Brasil, 1998.
- SANTOS, M. J. L. *Dimensionamento de camadas de reforço de pavimentos rodoviários flexíveis*. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 187p. 2009.
- SAYERS M. W.; KARAMIHAS S. M. *The Little Book of Profiling*. University of Michigan September, 100 p., 1998.
- SILVA, R. C.; AMARAL, L. S.; MUNIZ, D. D.; ROMEIRO JUNIOR, C. L. S. *Análises do Comportamento e Desempenho dos Pavimentos da Via040*, Brasília/DF a Juiz de Fora/MG. Revista ANTT, v. 7, p. 1-15, 2015.

- SILVA, R. C.; SOUZA JÚNIOR, J. G.; COSTA, D. P.; AMARAL, L. S.; ROMEIRO JUNIOR, C. L. S.; MUNIZ, D. D. *Análises do Comportamento e Desempenho dos Pavimentos da Via040 - Brasília/DF a Juiz de Fora/MG*. In: X Workshop RDT Recurso de Desenvolvimento Tecnológico nas Concessões Rodoviárias, Brasília/DF. Soluções Técnicas e Aplicadas, 2016.
- SUZUKI, C. Y. *Contribuição ao estudo de pavimentos rodoviários com estrutura invertida (sub-base cimentada)*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- TONIAL, I. A., *Influência do envelhecimento do revestimento asfáltico na vida de fadiga de pavimentos*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.
- WITCZAK, M. W. *Uses and Misuses of Pavement Deflection Data*. 2nd International Symposium on Pavement Evolution Overlay Design, Brasil, 1989.


ANEXO I – PLANILHAS DO LVCI REFERENTE AOS TREZE TRECHOS DESTA PESQUISA

				LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO																			Data: Abril/2018				
				Trecho:		BR-040 - Trecho 1																					
				Faixa/Sentido:		Faixa 1 / Crescente																					
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painelas	Cuebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	106800	106820	GO	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649641	WD4732211	1054
BR-040	106820	106840	GO	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649649	WD4732196	1053
BR-040	106840	106860	GO	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649653	WD4732189	1053
BR-040	106860	106880	GO	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649657	WD4732181	1053
BR-040	106880	106900	GO	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649665	WD4732167	1052
BR-040	106900	106920	GO	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649669	WD4732160	1052
BR-040	106920	106940	GO	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649672	WD4732153	1052
BR-040	106940	106960	GO	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649680	WD4732139	1051
BR-040	106960	106980	GO	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649683	WD4732132	1051
BR-040	106980	107000	GO	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649690	WD4732119	1050
BR-040	107000	107020	GO	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649694	WD4732112	1050
km 107																											
BR-040	107000	107020	GO	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649901	WD4732099	1050
BR-040	107020	107040	GO	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649904	WD4732093	1049
BR-040	107040	107060	GO	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	S01649911	WD4732079	1049
BR-040	107060	107080	GO	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649915	WD4732072	1048
BR-040	107080	107100	GO	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649919	WD4732064	1048
BR-040	107100	107120	GO	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649927	WD4732049	1048
BR-040	107120	107140	GO	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649931	WD4732042	1047
BR-040	107140	107160	GO	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649936	WD4732026	1047
BR-040	107160	107180	GO	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649942	WD4732021	1047
BR-040	107180	107200	GO	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01649946	WD4732014	1047

Trecho: BR-040 - Trecho 2
Faixa/Sentido: Faixa 1 / Crescente


Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Triilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	51860	51880	MG	31,50	45,00%	0,00	0,00%	31,50	45,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715056	W04647334	693	
BR-040	51880	51900	MG	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715069	W04647331	692
BR-040	51900	51920	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715076	W04647330	692
BR-040	51920	51940	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715088	W04647327	691
BR-040	51940	51960	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715100	W04647324	691
BR-040	51960	51980	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715112	W04647322	690
BR-040	51980	52000	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715118	W04647320	690
km 52																											
BR-040	52000	52020	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	S01715130	W04647318	689
BR-040	52020	52040	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715143	W04647315	688
BR-040	52040	52060	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715155	W04647312	687
BR-040	52060	52080	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715161	W04647311	687
BR-040	52080	52100	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715172	W04647309	686
BR-040	52100	52120	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715183	W04647307	685
BR-040	52120	52140	MG	24,50	35,00%	0,00	0,00%	24,50	35,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715194	W04647304	685
BR-040	52140	52160	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715206	W04647302	684
BR-040	52160	52180	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715218	W04647299	684
BR-040	52180	52200	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715224	W04647298	684
BR-040	52200	52220	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715238	W04647295	683
BR-040	52220	52240	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715245	W04647293	683
BR-040	52240	52260	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715258	W04647291	683
BR-040	52260	52280	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01715271	W04647288	682

Trecho:		BR-040 - Trecho 3		Faixa 1 / Crescente																							
Faixa/Sentido:																											
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painéis	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trincha de Roda	Afundamento Localizado	Escoregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	83800	83820	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83820	83840	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83840	83860	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83860	83880	MG	33,25	47,50%	0,00	0,00%	33,25	47,50%	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83880	83900	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83900	83920	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83920	83940	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83940	83960	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	19	19	0	0	0	20	0	10	0	0	0	0	554
BR-040	83960	83980	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	83980	84000	MG	22,75	32,50%	0,00	0,00%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
km 84																											
BR-040	84000	84020	MG	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84020	84040	MG	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84040	84060	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	554
BR-040	84060	84080	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84080	84100	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84100	84120	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84120	84140	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84140	84160	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84160	84180	MG	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554
BR-040	84180	84200	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554


				LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO																	Data: Abril/2018												
				Trecho:		BR-040 - Trecho 4																		Faixa/Sentido:		Faixa 1 / Crescente							
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	nº Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude							
BR-040	153040	153060	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748017	W04807895	851						
BR-040	153060	153080	MG	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748030	W04807894	851						
BR-040	153060	153100	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	8	0	0	S01748037	W04807893	851						
BR-040	153100	153120	MG	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748050	W04807892	851						
BR-040	153120	153140	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748064	W04807890	851						
BR-040	153140	153160	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748071	W04807890	851						
BR-040	153160	153180	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748084	W04807898	851						
BR-040	153180	153200	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748081	W04807897	851						
BR-040	153200	153220	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6	0	0	S01748104	W04807896	851						
BR-040	153220	153240	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	S01748117	W04807895	852						
BR-040	153240	153260	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748129	W04807893	852						
BR-040	153260	153280	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748141	W04807892	853						
BR-040	153280	153300	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748147	W04807891	853						
BR-040	153300	153320	MG	24,50	35,00%	0,00	0,00%	24,50	35,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748159	W04807890	854						
BR-040	153320	153340	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748170	W04807879	854						
BR-040	153340	153360	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748182	W04807878	855						
BR-040	153360	153380	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748194	W04807876	855						
BR-040	153380	153400	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748200	W04807876	856						
BR-040	153400	153420	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748213	W04807874	856						
BR-040	153420	153440	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748225	W04807873	857						
BR-040	153440	153460	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01748237	W04807872	858						


Trecho: BR-040 - Trecho 5
Faixa/Sentido: Faixa 1 / Crescente

Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Triha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude		
BR-040	337800	337820	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	S01838563	W04500091	644	
BR-040	337820	337840	MG	28,00	40,00%	0,00	0,00%	28,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	S01838576	W04500088	644
BR-040	337840	337860	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838588	W04500085	643
BR-040	337860	337880	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	S01838594	W04500084	643
BR-040	337880	337900	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838606	W04500091	642
BR-040	337900	337920	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838617	W04500078	642
BR-040	337920	337940	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838628	W04500076	641
BR-040	337940	337960	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838639	W04500073	640
BR-040	337960	337980	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838649	W04500071	640
BR-040	337980	338000	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838660	W04500068	639
km 338																												
BR-040	338000	338020	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838671	W04500066	639
BR-040	338020	338040	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01838682	W04500061	638
BR-040	338040	338060	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	S01838703	W04500058	637
BR-040	338060	338080	MG	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	S01838714	W04500056	637
BR-040	338080	338100	MG	33,25	47,50%	0,00	0,00%	33,25	47,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	S01838725	W04500053	636
BR-040	338100	338120	MG	36,75	52,50%	0,00	0,00%	36,75	52,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	S01838737	W04500050	636
BR-040	338120	338140	MG	36,75	52,50%	0,00	0,00%	36,75	52,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	S01838743	W04500049	636
BR-040	338140	338160	MG	36,75	52,50%	0,00	0,00%	36,75	52,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	S01838754	W04500046	636
BR-040	338160	338180	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	S01838766	W04500043	634
BR-040	338180	338200	MG	29,75	42,50%	0,00	0,00%	29,75	42,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	S01838779	W04500040	634

			LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO																		Data: Abril/2018						
			Trecho: BR-040 - Trecho 6																								
			Faixa/Sentido: Faixa 1 / Crescente																								
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painéis	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	407440	407460	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	S01905885	W04439151	681
BR-040	407460	407480	MG	0,00	0,00%	35,00	50,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	S01905889	W04439149	681
BR-040	407480	407500	MG	17,50	25,00%	17,50	25,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	S01905906	W04439148	681
BR-040	407500	407520	MG	17,50	25,00%	17,50	25,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	S01905919	W04439146	681
BR-040	407520	407540	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01905926	W04439145	681
BR-040	407540	407560	MG	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	S01905940	W04439143	681
BR-040	407560	407580	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	S01905953	W04439141	682
BR-040	407580	407600	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01905959	W04439140	682
BR-040	407600	407620	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01905972	W04439138	682
BR-040	407620	407640	MG	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	7	0	0	S01905985	W04439136	683
BR-040	407640	407660	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	S01905991	W04439135	683
BR-040	407660	407680	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01906004	W04439134	683
BR-040	407680	407700	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	20	0	0	S01906017	W04439132	683
BR-040	407700	407720	MG	33,25	47,50%	0,00	0,00%	33,25	47,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	19	0	0	S01906024	W04439131	683
BR-040	407720	407740	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	4	0	0	S01906037	W04439129	684
BR-040	407740	407760	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01906050	W04439127	684
BR-040	407760	407780	MG	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01906056	W04439126	684
BR-040	407780	407800	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	11	0	0	S01906070	W04439124	684
BR-040	407800	407820	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01906082	W04439122	685
BR-040	407820	407840	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S01906088	W04439121	685
BR-040	407840	407860	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	S01906101	W04439119	685


				Trecho: BR-040 - Trecho 7																							
				Faixa/Sentido: Faixa 2 / Crescente																							
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painéis	Quebra do Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	574400	574420	MG	8,75	12,50%	26,25	37,50%	35,00	50,00%	1	0	0	1	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	SC02015126	W04357749	1358
BR-040	574420	574440	MG	0,00	0,00%	35,00	50,00%	35,00	50,00%	1	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	SC02015132	W04357747	1358
BR-040	574440	574460	MG	0,00	0,00%	33,25	47,50%	33,25	47,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	SC02015145	W04357743	1357
BR-040	574460	574480	MG	0,00	0,00%	35,00	50,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	SC02015157	W04357739	1357
BR-040	574480	574500	MG	17,50	25,00%	17,50	25,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	SC02015169	W04357735	1357
BR-040	574500	574520	MG	29,75	42,50%	0,00	0,00%	29,75	42,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015175	W04357734	1357
BR-040	574520	574540	MG	31,50	45,00%	0,00	0,00%	31,50	45,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015167	W04357730	1357
BR-040	574540	574560	MG	28,00	40,00%	3,50	5,00%	31,50	45,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015200	W04357726	1356
BR-040	574560	574580	MG	0,00	0,00%	33,25	47,50%	33,25	47,50%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015208	W04357724	1356
BR-040	574580	574600	MG	26,25	37,50%	7,00	10,00%	33,25	47,50%	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015218	W04357720	1356
BR-040	574600	574620	MG	33,25	47,50%	0,00	0,00%	33,25	47,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	SC02015231	W04357716	1356
BR-040	574620	574640	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	SC02015237	W04357714	1356
BR-040	574640	574660	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	SC02015250	W04357711	1356
BR-040	574660	574680	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	10	0	0	SC02015256	W04357709	1356
BR-040	574680	574700	MG	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015269	W04357705	1355
BR-040	574700	574720	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC02015282	W04357701	1355
BR-040	574720	574740	MG	0,00	0,00%	26,25	37,50%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	2	0	0	0	15	0	0	0	0	0	SC02015288	W04357699	1355
BR-040	574740	574760	MG	0,00	0,00%	26,25	37,50%	26,25	37,50%	1	0	0	1	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	SC02015301	W04357695	1355
BR-040	574760	574780	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	12	0	0	0	19	0	0	0	0	0	SC02015313	W04357691	1355
BR-040	574780	574800	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	SC02015325	W04357687	1354


				LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO																		Data: Abril/2018						
				Trecho:		BR-040 - Trecho 8																						
				Faixa/Sentido:		Faixa 27 Crescente																						
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	nº Painéis	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Atundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude		
BR-040	644560	644580	MG	3,50	5,00%	10,50	15,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02046940	W04348695	1026	
BR-040	644580	644600	MG	3,50	5,00%	10,50	15,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02046952	W04348694	1026
BR-040	644600	644620	MG	3,50	5,00%	10,50	15,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02046965	W04348693	1025
BR-040	644620	644640	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	S02046971	W04348692	1025
BR-040	644640	644660	MG	22,75	32,50%	0,00	0,00%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	S02046984	W04348691	1025
BR-040	644660	644680	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02046991	W04348690	1025
BR-040	644680	644700	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047004	W04348688	1025
BR-040	644700	644720	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047017	W04348687	1025
BR-040	644720	644740	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	S02047024	W04348686	1025
BR-040	644740	644760	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047038	W04348685	1024
BR-040	644760	644780	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047044	W04348684	1024
BR-040	644780	644800	MG	22,75	32,50%	0,00	0,00%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047058	W04348683	1024
BR-040	644800	644820	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047071	W04348681	1024
BR-040	644820	644840	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047078	W04348681	1024
BR-040	644840	644860	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047091	W04348679	1024
BR-040	644860	644880	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047104	W04348677	1023
BR-040	644880	644900	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047111	W04348677	1023
BR-040	644900	644920	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02047124	W04348675	1023
BR-040	644920	644940	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	S02047130	W04348675	1023
BR-040	644940	644960	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	S02047144	W04348673	1023
BR-040	644960	644980	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	S02047165	W04348671	1023


				LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO																		Data: Abril/2018					
				Trecho:		BR-040 - Trecho 9																					
				Faixa/Sentido:		Faixa 2 / Crescente																					
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapá-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	631340	631360	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631380	631380	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631380	631400	MG	29,75	42,50%	0,00	0,00%	29,75	42,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631400	631420	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631420	631440	MG	31,50	45,00%	0,00	0,00%	31,50	45,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631440	631460	MG	38,50	55,00%	0,00	0,00%	38,50	55,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631480	631480	MG	47,25	67,50%	0,00	0,00%	47,25	67,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631480	631500	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631500	631520	MG	22,75	32,50%	12,25	17,50%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	3	0	0	0	0	0
BR-040	631520	631540	MG	28,00	40,00%	7,00	10,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
BR-040	631540	631560	MG	42,00	60,00%	0,00	0,00%	42,00	60,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
BR-040	631560	631580	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631580	631600	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631600	631620	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631620	631640	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631640	631660	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631660	631680	MG	10,50	15,00%	24,50	35,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
BR-040	631680	631700	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631700	631720	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631720	631740	MG	45,50	65,00%	0,00	0,00%	45,50	65,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	631740	631760	MG	52,50	75,00%	0,00	0,00%	52,50	75,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Trecho: BR-040 - Trecho 10
Faixa/Sentido: Faixa 2 / Crescente

Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	nº Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	708440	708460	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	4	0	0	SC2114379	W04341962	1115	
BR-040	708460	708480	MG	24,50	36,00%	0,00	0,00%	24,50	36,00%	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	14	0	0	0	SC2114382	W04341955	1115
BR-040	708480	708500	MG	10,50	16,00%	0,00	0,00%	10,50	16,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114388	W04341941	1114
BR-040	708500	708520	MG	14,00	20,00%	0,00	0,00%	14,00	20,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114391	W04341934	1114
BR-040	708520	708540	MG	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114397	W04341920	1113
BR-040	708540	708560	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114400	W04341913	1113
BR-040	708560	708580	MG	31,50	46,00%	0,00	0,00%	31,50	46,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	SC2114403	W04341905	1113
BR-040	708580	708600	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	SC2114409	W04341891	1112
BR-040	708600	708620	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114412	W04341883	1112
BR-040	708620	708640	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114418	W04341868	1111
BR-040	708640	708660	MG	3,50	5,00%	0,00	0,00%	3,50	5,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114422	W04341861	1111
BR-040	708660	708680	MG	12,25	17,50%	0,00	0,00%	12,25	17,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114428	W04341847	1110
BR-040	708680	708700	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114431	W04341839	1110
BR-040	708700	708720	MG	15,75	22,50%	0,00	0,00%	15,75	22,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114437	W04341825	1109
BR-040	708720	708740	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114440	W04341818	1109
BR-040	708740	708760	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114443	W04341810	1109
BR-040	708760	708780	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114449	W04341796	1108
BR-040	708780	708800	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	SC2114452	W04341789	1108
BR-040	708800	708820	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	0	SC2114458	W04341775	1107
BR-040	708820	708840	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114463	W04341761	1108
BR-040	708840	708860	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SC2114469	W04341749	1106

				LEVANTAMENTO VISUAL CONTINUO																		Data: Abril/2018					
				Trecho: BR-040 - Trecho 11																							
				Faixa/Sentido: Faixa 2 / Crescente																							
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	728300	728320	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120572	W04335282	1019
BR-040	728320	728340	MG	5,25	7,50%	0,00	0,00%	5,25	7,50%	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120579	W04335252	1017
BR-040	728340	728360	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120586	W04335240	1015
BR-040	728360	728380	MG	10,50	15,00%	0,00	0,00%	10,50	15,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120590	W04335235	1014
BR-040	728380	728400	MG	24,50	35,00%	0,00	0,00%	24,50	35,00%	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120597	W04335223	1012
BR-040	728400	728420	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120604	W04335212	1010
BR-040	728420	728440	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	9	0	0	S02120607	W04335206	1009
BR-040	728440	728460	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120615	W04335195	1007
BR-040	728460	728480	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120622	W04335183	1005
BR-040	728480	728500	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120629	W04335172	1003
BR-040	728500	728520	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120632	W04335166	1002
BR-040	728520	728540	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	S02120640	W04335155	1000
BR-040	728540	728560	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120646	W04335144	998
BR-040	728560	728580	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120653	W04335133	996
BR-040	728580	728600	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120656	W04335127	995
BR-040	728600	728620	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120661	W04335115	993
BR-040	728620	728640	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120665	W04335102	991
BR-040	728640	728660	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120668	W04335089	989
BR-040	728660	728680	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120669	W04335083	988
BR-040	728680	728700	MG	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02120671	W04335089	986

				LEVANTAMENTO VISUAL CONTINUO																		Data: Abril/2018					
				Trecho: BR-040 - Trecho 12																							
				Faixa/Sentido: Faixa 2 / Crescente																							
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painéis	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Trilha de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	768800	768820	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768820	768840	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768840	768860	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768860	768880	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768880	768900	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768900	768920	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768920	768940	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768940	768960	MG	5,25	7,50%	26,25	37,50%	29,75	42,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768960	768980	MG	5,25	7,50%	31,50	45,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	768980	769000	MG	7,00	10,00%	0,00	0,00%	7,00	10,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
km 768																											
BR-040	769000	769020	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769020	769040	MG	38,50	55,00%	1,75	2,50%	38,50	55,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769040	769060	MG	0,00	0,00%	35,00	50,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769060	769080	MG	0,00	0,00%	22,75	32,50%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769080	769100	MG	35,00	50,00%	0,00	0,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769100	769120	MG	38,50	55,00%	1,75	2,50%	38,50	55,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769120	769140	MG	0,00	0,00%	35,00	50,00%	35,00	50,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769140	769160	MG	0,00	0,00%	22,75	32,50%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769160	769180	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR-040	769180	769200	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

				LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO																		Data: Abril/2018					
				Trecho:		BR-040 - Trecho 13																					
				Faixa/Sentido:		Faixa 2 / Crescente																					
Rodovia	km Inicial	km Final	UF	TR 2 (m²)	TR 2 (%)	TR 3 (m²)	TR 3 (%)	TR Tot (m²)	TR Tot (%)	Panela Pequena	Panela Média	Panela Grande	n° Painelas	Quebra de Bordo	Remendo	Ondulação	Exsudação	Desgaste	Afundamento Tribo de Roda	Afundamento Localizado	Escorregamento	Corrugação	Tapa-Buraco	Latitude	Longitude	Altitude	
BR-040	743240	743260	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127171	WD4333537	874
BR-040	743260	743280	MG	26,00	40,00%	0,00	0,00%	26,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127183	WD4333546	875
BR-040	743280	743300	MG	26,00	40,00%	0,00	0,00%	26,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127189	WD4333549	875
BR-040	743300	743320	MG	22,75	32,50%	0,00	0,00%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127202	WD4333555	876
BR-040	743320	743340	MG	22,75	32,50%	0,00	0,00%	22,75	32,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127216	WD4333557	877
BR-040	743340	743360	MG	28,00	40,00%	0,00	0,00%	28,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	S02127224	WD4333557	877
BR-040	743360	743380	MG	24,50	35,00%	0,00	0,00%	24,50	35,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	S02127236	WD4333555	877
BR-040	743380	743400	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127245	WD4333553	877
BR-040	743400	743420	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127252	WD4333551	877
BR-040	743420	743440	MG	26,00	40,00%	0,00	0,00%	26,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127255	WD4333544	876
BR-040	743440	743460	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127278	WD4333537	875
BR-040	743460	743480	MG	28,00	40,00%	0,00	0,00%	28,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127283	WD4333533	874
BR-040	743480	743500	MG	17,50	25,00%	0,00	0,00%	17,50	25,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	S02127294	WD4333525	873
BR-040	743500	743520	MG	24,50	35,00%	0,00	0,00%	24,50	35,00%	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127305	WD4333518	872
BR-040	743520	743540	MG	19,25	27,50%	0,00	0,00%	19,25	27,50%	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	2	0	0	S02127314	WD4333511	871
BR-040	743540	743560	MG	26,25	37,50%	0,00	0,00%	26,25	37,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	S02127326	WD4333503	870
BR-040	743560	743580	MG	8,75	12,50%	0,00	0,00%	8,75	12,50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127334	WD4333497	869
BR-040	743580	743600	MG	28,00	40,00%	0,00	0,00%	28,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127343	WD4333491	868
BR-040	743600	743620	MG	21,00	30,00%	0,00	0,00%	21,00	30,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127350	WD4333485	868
BR-040	743620	743640	MG	28,00	40,00%	0,00	0,00%	28,00	40,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127359	WD4333480	867
BR-040	743640	743660	MG	24,50	35,00%	0,00	0,00%	24,50	35,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S02127369	WD4333475	866

ANEXO II – TELAS DO VÍDEO REGISTRO E INDICAÇÃO DOS DEFEITOS DOS TRECHOS DESTA DISSERTAÇÃO

TRECHO 1 - km 106,800 ao km 107,200/GO

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km106_km108_C]

Arquivo Sobre

Informações sobre o Levantamento

Cliente: VIA 040
Rodovia: UA VIA040_2_km106_km108_C
Km Inicial: 106000
Local: km 106
Km Final: 107999
Local: km 108
Km Total: 001999
Sentido: Crescente
Faixas: 2 Largura: 3,5
Data: 27/04/2018

Ocorrências

106089m Início Trinca Classe 2
106000m km 106
106089m Início Trinca Classe 2

Profilométrico

TRECHO 2 - km 51,865 ao km 52,265/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km51_km54_C]

Arquivo Sobre

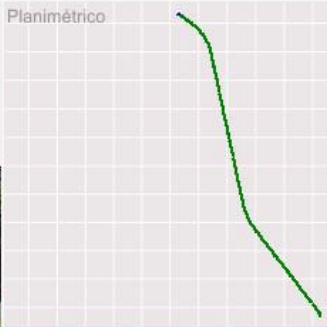
Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km51_km54_C
Km Inicial:	051000
Local:	km 51
Km Final:	053983
Local:	km 54
Km Total:	002983
Sentido:	Crescente
Faixas:	2
Largura:	3,5
Data:	27/04/2018

Ocorrências

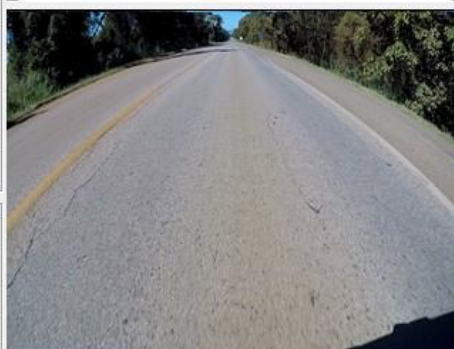
51027m Início Trinca Classe 2
51027m Início Trinca Classe 2

Planimétrico



Coordenadas

Hora:	09:40:33
Velocidade:	17km/h
Km:	51022m
Latitude:	017° 14' 653"
Longitude:	046° 47' 533"
Altitude:	697m
Precisão:	4m
Distância:	22m

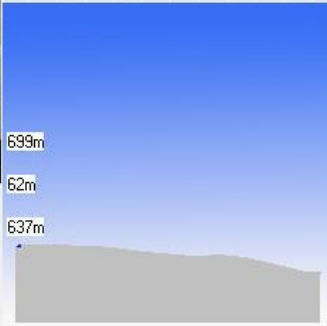


Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim
000000	000000
00:00:00	00:00:00

Sel. p/Km Aplicar



699m
62m
637m

> Reindexação concluída...

TRECHO 3 - km 83,800 ao km 84,200/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km83_km85_C]

Arquivo Sobre



Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km83_km85_C
Km Inicial:	083000
Local:	km 83
Km Final:	084990
Local:	km 85
Km Total:	001990
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	27/04/2018

Ocorrências

83019m	Início Trinca Classe 2
83000m	km 83
83011m	Início Remendo
83016m	Final Remendo
83019m	Início Trinca Classe 2

Psicométrico



555m
8m
547m

Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim		
000000	000000	Sel. p/Km.	Aplicar
00:00:00	00:00:00		

> Reindexação concluída...

TRECHO 4 - km 153,050 ao km 153,450/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km151_km155_C]

Arquivo Sobre

Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km151_km155_C
Km Inicial:	151000
Local:	km 151
Km Final:	154987
Local:	km 155
Km Total:	003987
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	27/04/2018

Ocorrências

151014m	Início Trinca Classe 2
151000m	km 151
151014m	Início Trinca Classe 2
151015m	Final Trinca Classe 2

Planimétrico

Coordenadas

Hora:	11:17:41
Velocidade:	18km/h
Km:	151023m
Latitude:	017° 47' 927"
Longitude:	046° 08' 088"
Altitude:	892m
Precisão:	5m
Distância:	23m

Selecionar Trecho	
Início	Fim
000000	000000
00:00:00	00:00:00

> Reindexação concluída...

TRECHO 5 - km 337,800 ao km 338,200/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km337_km339_C]

Arquivo Sobre


Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km337_km339_C
Km Inicial:	337000
Local:	km 337
Km Final:	339018
Local:	km 339
Km Total:	002018
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	27/04/2018

Ocorrências


337002m Início Trinca Classe 2
337000m km 337
337002m Início Trinca Classe 2

Planimétrico

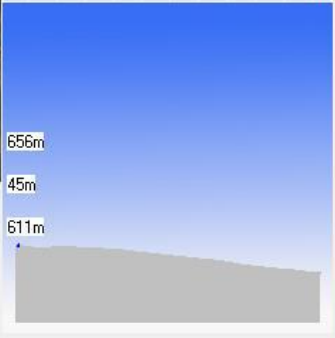


Coordenadas

Hora:	14:41:26
Velocidade:	2km/h
Km:	337001m
Latitude:	018° 38' 139"
Longitude:	045° 00' 193"
Altitude:	656m
Precisão:	5m
Distância:	1m



Selecionar Trecho	
Início	Fim
000000	000000
00:00:00	00:00:00



656m
45m
611m

> Reindexação concluída...

TRECHO 6 - km 407,450 ao km 407,850/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km406_km415_C]

Arquivo Sobre

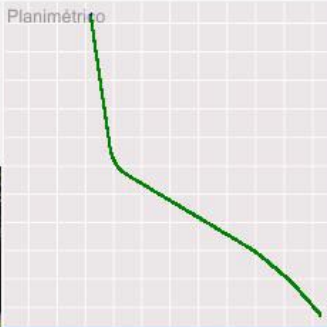
Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km406_km415_C
Km Inicial:	406000
Local:	km 406
Km Final:	415008
Local:	km 415
Km Total:	009008
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	26/04/2018

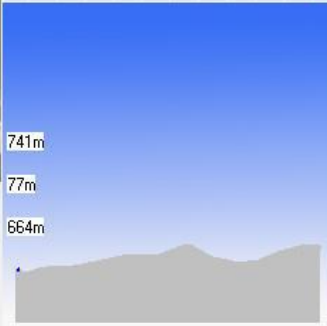
Ocorrências

406006m	Início Trinca Classe 2
406000m	km 406
406006m	Início Trinca Classe 2

Planimétrico



741m
77m
664m



Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim		
000000	000000	Sel. p/Km.	Aplicar
00:00:00	00:00:00		

> Reindexação concluída...

TRECHO 7 - km 574,400 ao km 574,800/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km572_km576_C]

Arquivo Sobre

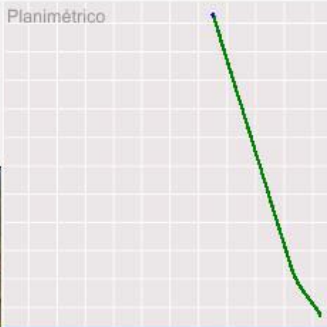
Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km572_km576_C
Km Inicial:	572000
Local:	km 572
Km Final:	576152
Local:	km 576
Km Total:	004152
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	17/05/2018

Ocorrências

572008m Início Trinca Classe 2

Planimétrico




Coordenadas

Hora:	09:37:31
Velocidade:	18km/h
Km:	572023m
Latitude:	020° 13' 877"
Longitude:	043° 58' 136"
Altitude:	1377m
Precisão:	4m
Distância:	23m

Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim		
000000	000000	Sel. p/Km	Aplicar
00:00:00	00:00:00		



> Reindexação concluída...

TRECHO 8 - km 644,570 ao km 644,970/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km644_km646_C]

Arquivo Sobre

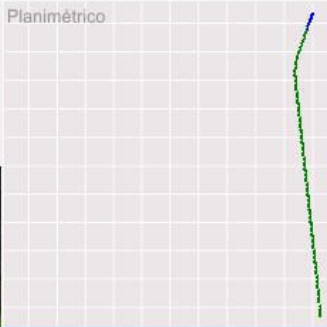
Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km644_km646_C
Km Inicial:	644000
Local:	km 644
Km Final:	645962
Local:	km 646
Km Total:	001962
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	17/05/2018

Ocorrências


644108m	Início Trinca Classe 2
644084m	Início Afundamento de Trilha
644102m	Início Trinca Classe 3
644103m	Final Trinca Classe 2
644108m	Início Trinca Classe 2
644109m	Final Trinca Classe 3

Planimétrico



Coordenadas

Hora:	11:09:40
Velocidade:	39km/h
Km:	644102m
Latitude:	020° 46' 686"
Longitude:	043° 48' 659"
Altitude:	1032m
Precisão:	4m
Distância:	102m

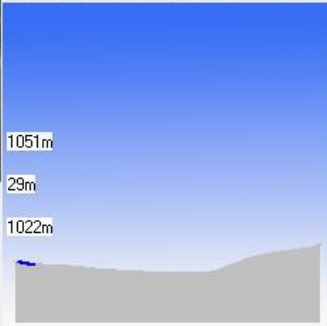


Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim
000000	000000
00:00:00	00:00:00

Sel. p/Km Aplicar



> Reindexação concluída...

TRECHO 9 - km 631,350 ao km 631,750/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km630_km633_C]

Arquivo Sobre

Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km630_km633_C
Km Inicial:	630000
Local:	km 630
Km Final:	633012
Local:	km 633
Km Total:	003012
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	17/05/2018

Ocorrências

630689m	Início Remendo
630648m	Início Afundamento de Trilha
630674m	TAPA-BURACO
630683m	Final Trinca Classe 2
630685m	Final Afundamento de Trilha
630689m	

Planimétrico

Selecionar Trecho	
Início	Fim
<input type="text" value="000000"/>	<input type="text" value="000000"/>
<input type="text" value="00:00:00"/>	<input type="text" value="00:00:00"/>

> Reindexação concluída...

TRECHO 10 - km 708,450 ao km 708,850/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEOTECH Ltda. [UA VIA040_2_km707_km709_C]

Arquivo Sobre


Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km707_km709_C
Km Inicial:	707000
Local:	km 707
Km Final:	708930
Local:	km 709
Km Total:	001930
Sentido:	Crescente
Faixas:	2
Largura:	3,5
Data:	17/05/2018

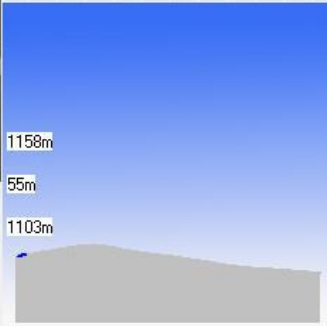
Ocorrências

707042m Início Trinca Classe 2
707042m Início Trinca Classe 2

Planimétrico



Altitude



Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim		
000000	000000	Sel. p/Km	Aplicar
00:00:00	00:00:00		

> Reindexação concluída...

TRECHO 11 - km 728,300 ao km 728,700/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEO TECH Ltda. [VIA040_UA9B_C]

Arquivo Sobre

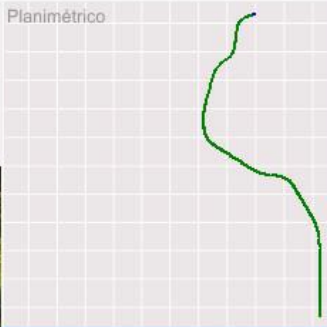
Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	VIA040_UA9B_C
Km Inicial:	727000
Local:	km 727
Km Final:	729971
Local:	km 730
Km Total:	002971
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	16/01/2018

Ocorrências


727023m Início Trinca Classe 2
727023m Início Trinca Classe 2
727025m Final Trinca Classe 2

Planimétrico



Coordenadas

Hora:	07:03:22
Velocidade:	18km/h
Km:	727023m
Latitude:	021° 19' 977"
Longitude:	043° 35' 138"
Altitude:	1083m
Precisão:	5m
Distância:	23m

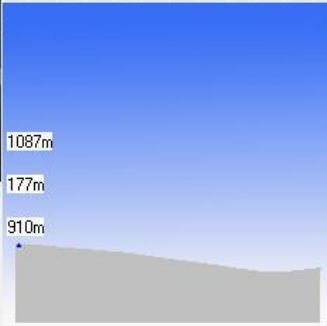


Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim
000000	000000
00:00:00	00:00:00

Sel. p/Km Aplicar



> Reindexação concluída...

TRECHO 12 - km 768,800 ao km 769,200/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEO TECH Ltda. [UA VIA040 km766_km770_C]

Arquivo Sobre

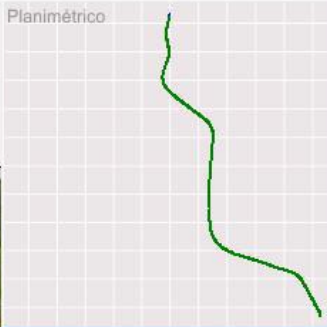
Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040 km766_km770_C
Km Inicial:	767000
Local:	km 766
Km Final:	770959
Local:	km 770
Km Total:	003959
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	11/12/2017


Ocorrências

767007m	Início Trinca Classe 3
767001m	Início Afundamento de Trilha
767002m	Início Trinca Classe 2
767007m	Início Trinca Classe 3

Planimétrico



720m
19m
701m



Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim
000000	000000
00:00:00	00:00:00

Sel. p/Km Aplicar

> Reindexação concluída...

TRECHO 13 - km 743,250 ao km 743,650/MG

HoleHunter 4.0 ENGGEO TECH Ltda. [UA VIA040_2_km742_km745_C]

Arquivo Sobre



Informações sobre o Levantamento

Cliente:	VIA 040
Rodovia:	UA VIA040_2_km742_km745_C
Km Inicial:	742000
Local:	km 742
Km Final:	745002
Local:	km 745
Km Total:	003002
Sentido:	Crescente
Faixas:	2 Largura: 3,5
Data:	17/05/2018

Ocorrências

742253m	Início Trinca Classe 2
742226m	Início Trinca Classe 2
742230m	Início Afundamento de Trilha
742252m	Final Trinca Classe 2
742252m	Final Afundamento de Trilha
742253m	Início Trinca Classe 3

Planimétrico

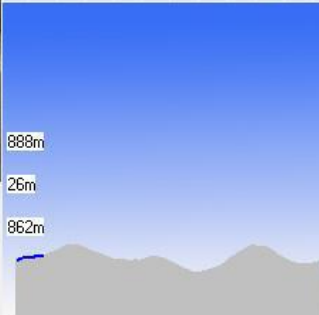
Coordenadas

Hora:	13:36:34
Velocidade:	39km/h
Km:	742244m
Latitude:	021° 26' 652"
Longitude:	043° 33' 489"
Altitude:	878m
Precisão:	5m
Distância:	244m

Play Fechar

Selecionar Trecho

Início	Fim		
000000	000000	Sel. p/Km.	Aplicar
00:00:00	00:00:00		



> Reindexação concluída...

ANEXO III - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE ANÁLISE DA VIDA ÚTIL DE PROJETO DO PAVIMENTO (MÉTODO MEDINA)

TRECHO 1 - km 106,800 ao km 107,200/GO

Programa MeDiNa v1.02.1 - ago/2018 - versão de avaliação

Cópia registrada para SOUZA JUNIOR (engciviljose@gmail.com), da empresa COPPE/UFRJ.

Análise do reforço do pavimento

Empresa: COPPE/UFRJ
Nome do Projeto: TRECHO 1 - km 106,800 ao km 107,200/GO
Responsável pelo projeto: SOUZA JUNIOR

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: Sistema Arterial Principal
Nível de confiabilidade: 95%
Período de projeto: 10 anos.

Análise realizada em 19/08/2018 às 09:47:33 no modo: Projeto de Reforço
Área trincada prevista no pavimento no fim do período: 99,0%.

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento do reforço do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.

ATENÇÃO:

A análise não considera a reflexão de trincas do pavimento existente!

Dados da estrutura existente para auxiliar o projetista:

- Área Trincada: 11,0%
- Condição de tráfego: RUIM (IRI = 3,8 m/km)
- >> Considerar a adoção de medidas para correção de irregularidades
- Deflexão característica: $dc = 536,0$ (0,01mm)
- Camada de base: Considerar a adoção de medidas para reconstrução ou reciclagem

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânica Empírica. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 4	5,0	Resiliente Linear MR = 10492 MPa	0,30
2	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE Camada Asfáltica Superficial	12,5	Resiliente Linear MR = 4085 MPa	0,30

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
3	CAMADA EXISTENTE Camada Granular	40,0	Resiliente Linear MR = 104 MPa	0,35
4	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 177 MPa	0,40

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 4

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = ... Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDINA.	Ensaio de Fadiga - Modelo $k_1 \cdot (et \wedge k_2)$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,91e-5$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -1,9$ - Classe de Fadiga: ≥ 4 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 1,00$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 471 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1237 ciclos

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

2 - CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE: Camada Asfáltica Superficial

Propriedades	Modelos
Espessura de fresagem (cm) = 0,0 Espessura de cam po (cm) = 10,0 Área Trincada (%) = 11 IRI (m/km) = 3,8 Deflexão característica (0,01mm) = 536 Idade do pavimento (anos) = ... Módulo mínimo (MPa) = 3569 Módulo máximo (MPa) = 4918 MR - Desvio Padrão (MPa) = 517 Coef de Variação do Módulo (%) = 12,6 Comentários = ...	

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

3 - CAMADA EXISTENTE: Camada Granular

Propriedades	Modelos
Módulo mínimo (MPa) = 92 Módulo máximo (MPa) = 114 MR - Desvio Padrão (MPa) = 10 Coef de Variação do Módulo (%) = 9,2 Comentários = ...	

4 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades

Módulo mínimo (MPa) = 156
Módulo máximo (MPa) = 218
MR - Desvio Padrão (MPa) = 24
Coef de Variação do Módulo (%) = 13,6
Comentários = ...

Modelos

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **14959**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **5,46e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **50%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,73e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,5%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,20e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trinca da
1	2,239e+05	2,55%
6	1,353e+06	5,35%
12	2,730e+06	7,90%
18	4,131e+06	10,57%
24	5,556e+06	13,59%
30	7,005e+06	17,07%
36	8,480e+06	21,08%
42	9,980e+06	25,66%
48	1,151e+07	30,83%
54	1,306e+07	36,55%
60	1,464e+07	42,78%
66	1,625e+07	49,41%
72	1,788e+07	56,34%
78	1,955e+07	63,42%
84	2,124e+07	70,50%
90	2,296e+07	77,43%
96	2,471e+07	84,08%

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Mês	N Equiv	Área Trincada
102	2,649e+07	90,31%
108	2,831e+07	96,03%
114	3,015e+07	99,00%
120	3,203e+07	99,00%

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 4

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	41	36	33	27	23	16	12	10	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	24	20	17	14	11	7	5	4	3

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

TRECHO 2 - km 51,865 ao km 52,265/MG

Programa MeDiNa v.1.02 - jun/2018 - versão de avaliação

CÓPIA NÃO REGISTRADA.

Dimensionamento do reforço do pavimento

Empresa: **COPPE/UFRJ**
Nome do Projeto: **T2 - km 51,865 ao km 52,265**
Responsável pelo projeto: **José Júnior**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**
Nível de confiabilidade: **95%**
Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **04/08/2018 às 18:50:18** no **Projeto de Reforço**
Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **7,7%**
Análise encerrou por haver atingido a espessura mínima da camada.

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso. Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 1	5,0	Resiliente Linear MR = 8950 MPa	0,30
2	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE Camada Asfáltica Superficial	7,0	Resiliente Linear MR = 6767 MPa	0,30
3	CAMADA EXISTENTE Camada Estabilizada	20,0	Resiliente Linear MR = 24238 MPa	0,25
4	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 399 MPa	0,40

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 1

Propriedades

Modelos

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = ... Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDiNa.	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k_1 \cdot (et \wedge k_2)$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 3,1e-13$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,704$ - Classe de Fadiga: ≥ 1 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 0,62$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 553 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1439 ciclos
2 - CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE: Camada Asfáltica Superficial	
Propriedades	Modelos
Espessura de fresagem (cm) = 5,0 Espessura de campo (cm) = 12,0 Área Trincada (%) = 17,9 IRI (mm) = 2 Idade do pavimento = ... Comentários = ...	
3 - CAMADA EXISTENTE: Camada Estabilizada	
Propriedades	Modelos
Comentários = ...	
4 - SUBLEITO: Subleito	
Propriedades	Modelos
Comentários = ...	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **21616**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **7,89e+06**
 % Veículos na faixa de projeto: **50%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **3,94e+06**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,5%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **4,63e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada
1	3,236e+05	1,08%
6	1,955e+06	1,98%
12	3,945e+06	2,54%
18	5,969e+06	2,97%
24	8,028e+06	3,33%
30	1,012e+07	3,65%
36	1,225e+07	3,95%
42	1,442e+07	4,23%
48	1,663e+07	4,51%
54	1,887e+07	4,77%
60	2,115e+07	5,04%
66	2,348e+07	5,30%
72	2,584e+07	5,55%
78	2,824e+07	5,81%
84	3,069e+07	6,07%
90	3,318e+07	6,33%
96	3,571e+07	6,59%
102	3,828e+07	6,86%
108	4,090e+07	7,13%
114	4,357e+07	7,40%
120	4,628e+07	7,68%

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 1

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	10	10	9	9	8	7	6	5	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	6	5	4	4	3	3	2	2	1

TRECHO 9 - km 631,350 ao km 631,750/MG

Programa MeDiNa v.1.02.1 - ago/2018 - versão de avaliação

CÓPIA NÃO REGISTRADA.

Análise do pavimento

Empresa: **COPPE/UFRJ**

Nome do Projeto: **TRECHO 9 - km 631,350 ao km 631,750**

Responsável pelo projeto: **Souza Júnior**

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10 anos**.

Análise realizada em **25/08/2018 às 23:53:53** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **2,6%**

Deformação permanente total prevista no pavimento no fim do período: **4,1mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO Alto Módulo - CAP10/20	12,5	Resiliente Linear MR = 16341 MPa	0,30
2	ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS Tratamento Superficial Duplo	2,0	Resiliente Linear MR = 1000 MPa	0,25
3	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTQ) Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³	15,0	Sigmoidal Ei (MPa) = 7000 (1º mês) Ef (MPa) = 6995 (fim período)	0,25
4	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,5	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
5	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO Reforço Subleito T9	30,0	Resiliente Linear MR = 330 MPa	0,35

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
6	SUBLEITO Subleito Trecho 9	SL	Resiliente Linear MR = 174 MPa	0,40

Materiais

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: Alto Módulo - CAP10/20

Propriedades

Tipo de CAP = CAP 10/20 REDUC
 Aditivo Modificador = RASF
 Massa específica (g/cm³) = 2,42
 Teor de asfalto (%) = 5,5
 Volume de vazios (%) = 4,04
 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
 Abrasão Los Angeles (%) = 18,7
 Norma ou Especificação = DNIT ES 385

Modelos

Ensaio de Fadiga
 - Modelo $k_1 \cdot (et \wedge k_2)$
 - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,0e-19$
 - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -5,64$
 - Classe de Fadiga: ≥ 4
 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 0,97$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 457 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1202 ciclos

2 - ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS: Tratamento Superficial Duplo

Propriedades

Descrição do Material = Tratamento como cada antireflexão
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Norma ou Especificação = DNIT ES 147

Modelos

3 - BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC): Balbo, 1993 c: 80 kg/m³

Propriedades

Descrição do Material = Estudo Balbo (1993)
 Teor ótimo de cimento = 80,0
 Resistência à tração (MPa) = 1,25
 Massa específica (g/cm³) = 2,230
 Umidade Ótima (%) = 4,48
 Energia Compactação = Modificada
 Norma ou Especificação = -

Modelos

4 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades

Modelos

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,296	Modelo: $ep = psi1.(s3^{\wedge}psi2).(sd^{\wedge}psi3).(N^{\wedge}psi4)$
Umidade Ótima (%) = 5,4	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1010
Energia Compactação = Modificada	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,1825
Abrasão Los Angeles (%) = 41,0	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,9091
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0753

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

5 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO: Reforço Subleito T9

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Arg Arenos com Pedregulho	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = ...	Modelo: $ep = psi1.(s3^{\wedge}psi2).(sd^{\wedge}psi3).(N^{\wedge}psi4)$
MCT - Coeficiente c' = ...	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,097
MCT - Índice e' = ...	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): -1,600
Massa específica (g/cm ³) = 1,94	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,9
Umidade Ótima (%) = ...	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,063
Energia Compactação = ...	
Norma ou Especificação = DNIT ES 139	

6 - SUBLEITO: Subleito Trecho 9

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ...	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = ...	Modelo: $ep = psi1.(s3^{\wedge}psi2).(sd^{\wedge}psi3).(N^{\wedge}psi4)$
MCT - Coeficiente c' = ...	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,244
MCT - Índice e' = ...	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,419
Massa específica (g/cm ³) = 2,01	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,309
Umidade Ótima (%) = 7,8	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,069
Energia Compactação = ...	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **17458**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **6,37e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **40%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,55e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,5%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,99e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FM
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	Def Perm Total (mm)
1	2,091e+05	0,50%	3,0
6	1,263e+06	0,90%	3,4
12	2,549e+06	1,13%	3,5
18	3,857e+06	1,30%	3,6
24	5,187e+06	1,43%	3,7
30	6,540e+06	1,55%	3,7
36	7,917e+06	1,65%	3,8
42	9,318e+06	1,75%	3,8
48	1,074e+07	1,84%	3,9
54	1,219e+07	1,92%	3,9
60	1,367e+07	2,00%	3,9
66	1,517e+07	2,07%	4,0
72	1,670e+07	2,14%	4,0
78	1,825e+07	2,21%	4,0
84	1,983e+07	2,28%	4,0
90	2,144e+07	2,34%	4,0
96	2,307e+07	2,41%	4,1
102	2,474e+07	2,47%	4,1
108	2,643e+07	2,53%	4,1
114	2,815e+07	2,59%	4,1
120	2,990e+07	2,64%	4,1

Análise de Deformação Permanente

Cam	Material	Deformação Permanente (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS	0,00
3	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	0,00
4	MATERIAL GRANULAR	0,63
5	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	2,85
6	SUBLEITO	0,65
Deformação Permanente Total (mm)		4,1

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - Alto Módulo - CAP10/20

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	22	20	19	18	17	14	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	11	9	9	8	7	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS - Tratamento Superficial Duplo

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	32	29	26	22	19	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	19	15	13	11	9	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) - Balbo, 1993
c: 80 kg/m³

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	33	29	26	22	19	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	19	15	13	11	9	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaiss C4

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	52	36	30	24	20	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	47	22	16	12	9	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO - Reforço Subleito T9

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
-------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	56	39	32	25	20	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	50	25	18	13	10	6	5	4	3
VERSÃO DE AVALIAÇÃO									
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Subleito Trecho 9									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	69	42	32	24	19	14	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	72	29	19	12	9	6	4	4	3

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

TRECHO 9 - km 631,350 ao km 631,750/MG

Programa MeDiNa v.1.02.1 - ago/2018 - versão de avaliação

CÓPIA NÃO REGISTRADA.

Dimensionamento do pavimento

Empresa: **COPPE/UFRJ**

Nome do Projeto: **TRECHO 9 - km 631,350 ao km 631,750**

Responsável pelo projeto: **Souza Júnior**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10 anos.**

Análise realizada em **25/08/2018 às 23:56:19** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **6,8%**

Deformação permanente total prevista no pavimento no fim do período: **8,4mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO Alto Módulo - CAP10/20	7,3	Resiliente Linear MR = 16341 MPa	0,30
2	ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS Tratamento Superficial Duplo	2,0	Resiliente Linear MR = 1000 MPa	0,25
3	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTQ) Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³	15,0	Sigmoidal Ei (MPa) = 7000 (1º mês) Ef (MPa) = 3985 (fim período)	0,25
4	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,5	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
5	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO Reforço Subleito T9	30,0	Resiliente Linear MR = 330 MPa	0,35
6	SUBLEITO Subleito Trecho 9	SL	Resiliente Linear MR = 174 MPa	0,40

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: Alto Módulo - CAP10/20

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAP 10/20 REDUC Aditivo Modificador = RASF Massa específica (g/cm ³) = 2,42 Teor de asfalto (%) = 5,5 Volume de vazios (%) = 4,04 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Abrasão Los Angeles (%) = 18,7 Norma ou Especificação = DNIT ES 385	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,0e-19$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -5,64$ - Classe de Fadiga: ≥ 4 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 0,97$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 457 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1202 ciclos

2 - ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS: Tratamento Superficial Duplo

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Tratamento como cada antirreflexão Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 147	

3 - BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC): Balbo, 1993 c: 80 kg/m³

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Estudo Balbo (1993) Teor ótimo de cimento = 80,0 Resistência à tração (MPa) = 1,25 Massa específica (g/cm ³) = 2,230 Umidade Ótima (%) = 4,48 Energia Compactação = Modificada Norma ou Especificação = -	

4 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,296 Umidade Ótima (%) = 5,4 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 41,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1010 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,1825 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,9091 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0753

5 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO: Reforço Subleito T9

Propriedades	Modelos
--------------	---------

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Arg Arenos com Pedregulho Grupo MCT = ... MCT - Coeficiente c' = ... MCT - Índice e' = ... Massa específica (g/cm^3) = 1,94 Umidade Ótima (%) = ... Energia Compactação = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 139	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,097 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -1,600 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,9 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,063

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

6 - SUBLEITO: Subleito Trecho 9

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ... Grupo MCT = ... MCT - Coeficiente c' = ... MCT - Índice e' = ... Massa específica (g/cm^3) = 2,01 Umidade Ótima (%) = 7,8 Energia Compactação = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,244 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,419 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,309 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,069

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **17458**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **6,37e+06**
 % Veículos na faixa de projeto: **40%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,55e+06**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,5%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,99e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	Def Perm Total (mm)
1	2,091e+05	0,72%	5,0
6	1,263e+06	1,54%	6,1
12	2,549e+06	2,05%	6,6
18	3,857e+06	2,43%	6,9
24	5,187e+06	2,76%	7,1

Mês	N Equiv	Área Trincada	Def Perm Total (mm)
30	6,540e+06	3,05%	7,2
36	7,917e+06	3,33%	7,4
42	9,318e+06	3,59%	7,5
48	1,074e+07	3,84%	7,6
54	1,219e+07	4,09%	7,7
60	1,367e+07	4,33%	7,8
66	1,517e+07	4,56%	7,9
72	1,670e+07	4,80%	7,9
78	1,825e+07	5,04%	8,0
84	1,983e+07	5,28%	8,1
90	2,144e+07	5,52%	8,1
96	2,307e+07	5,76%	8,2
102	2,474e+07	6,01%	8,3
108	2,643e+07	6,26%	8,3
114	2,815e+07	6,51%	8,4
120	2,990e+07	6,77%	8,4

Análise de Deformação Permanente

Cam	Material	Deformação Permanente (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS	0,00
3	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	0,00
4	MATERIAL GRANULAR	0,98
5	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	6,36
6	SUBLEITO	1,06
Deformação Permanente Total (mm)		8,4

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - Alto Módulo - CAP10/20

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	25	23	21	19	18	15	12	10	9

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	13	11	10	9	8	6	5	4	3
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS - Tratamento Superficial Duplo									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	32	29	26	22	19	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	19	15	13	11	9	6	5	4	3
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) - Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	33	29	26	22	19	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	19	15	13	11	9	6	5	4	3
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	52	36	30	24	20	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	47	22	16	12	9	6	5	4	3
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO - Reforço Subleito T9									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	56	39	32	25	20	15	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	50	25	18	13	10	6	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Subleito Trecho 9

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	69	42	32	24	19	14	12	10	9
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	72	29	19	12	9	6	4	4	3

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

TRECHO 10 - km 708,450 ao km 708,850/MG

Programa MeDiNa v.1.02.1 - ago/2018 - versão de avaliação

CÓPIA NÃO REGISTRADA.

Análise do reforço do pavimento

Empresa: **COPPE/UFRJ**
Nome do Projeto: **T10**
Responsável pelo projeto: **Souza Júnior**

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**
Nível de confiabilidade: **95%**
Período de projeto: **10 anos**.

Análise realizada em **26/08/2018 às 22:16:02** no modo: **Projeto de Reforço**
Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **27,9%**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento do reforço do pavimento!

ATENÇÃO:

A análise não considera a reflexão de trincas do pavimento existente!

Dados da estrutura existente para auxiliar o projetista:

- Área Trincada: 14,0%
- Condição de tráfego: BOA (IRI = 2,6 m/km)
- Deflexão característica: $dc = 197,0$ (0,01mm)

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso. Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 4	9,0	Resiliente Linear MR = 10492 MPa	0,30
2	ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS Tratamento Superficial Duplo	2,0	Resiliente Linear MR = 1000 MPa	0,25
3	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE Camada Asfáltica Superficial	15,0	Resiliente Linear MR = 5593 MPa	0,30

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
4	CAMADA EXISTENTE Camada Granular	10,0	Resiliente Linear MR = 235 MPa	0,35
5	CAMADA EXISTENTE Camada Estabilizada	20,0	Resiliente Linear MR = 3224 MPa	0,20
6	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 360 MPa	0,40

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 4

Propriedades

Tipo de CAP = ...
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Norma ou Especificação = DNIT ES 31
 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDINA.

Modelos

Ensaio de Fadiga
 - Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,91e-5$
 - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -1,9$
 - Classe de Fadiga: ≥ 4
 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 1,00$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 430 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1137 ciclos

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

2 - ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS: Tratamento Superficial Duplo

Propriedades

Descrição do Material = Tratamento como cada antireflexão
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Norma ou Especificação = DNIT ES 147

Modelos

3 - CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE: Camada Asfáltica Superficial

Propriedades

Espessura de fresagem (cm) = 5,0
 Espessura de cam po (cm) = 20,0
 Área Trincada (%) = 14
 IRI (m/km) = 2,6
 Deflexão característica (0,01mm) = 197
 Idade do pavimento (anos) = ...
 Módulo mínimo (MPa) = 4490
 Módulo máximo (MPa) = 7080
 MR - Desvio Padrão (MPa) = 1319
 Coef de Variação do Módulo (%) = 23,6
 Comentários = ...

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

4 - CAMADA EXISTENTE: Camada Granular

Propriedades

Módulo mínimo (MPa) = 116
Módulo máximo (MPa) = 292
MR - Desvio Padrão (MPa) = 75
Coef de Variação do Módulo (%) = 31,8
Comentários = ...

Modelos

5 - CAMADA EXISTENTE: Camada Estabilizada

Propriedades

Módulo mínimo (MPa) = 2786
Módulo máximo (MPa) = 3882
MR - Desvio Padrão (MPa) = 600
Coef de Variação do Módulo (%) = 18,6
Comentários = ...

Modelos

6 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades

Módulo mínimo (MPa) = 307
Módulo máximo (MPa) = 418
MR - Desvio Padrão (MPa) = 43
Coef de Variação do Módulo (%) = 12,0
Comentários = ...

Modelos

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = 15233

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = 1,00

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): 5,56e+06

% Veículos na faixa de projeto: 40%

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: 2,22e+06

Taxa de crescimento do tráfego: 3,5%

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = 2,61e+07

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada
1	1,824e+05	1,73%
6	1,102e+06	3,32%
12	2,224e+06	4,44%
18	3,365e+06	5,39%
24	4,526e+06	6,28%
30	5,707e+06	7,17%
36	6,908e+06	8,07%
42	8,131e+06	9,00%
48	9,374e+06	9,97%
54	1,064e+07	11,00%
60	1,193e+07	12,09%
66	1,324e+07	13,25%
72	1,457e+07	14,49%
78	1,592e+07	15,80%
84	1,730e+07	17,21%
90	1,870e+07	18,72%
96	2,013e+07	20,33%
102	2,158e+07	22,04%
108	2,306e+07	23,87%
114	2,456e+07	25,81%
120	2,609e+07	27,86%

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliadas dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 4

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	15	13	12	10	9	7	6	5	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	9	7	6	5	4	3	2	2	2

TRECHO 12 - km 768,800 ao km 769,200/MG

Programa MeDiNa v.1.02.1 - ago/2018 - versão de avaliação

CÓPIA NÃO REGISTRADA.

Análise do reforço do pavimento

Empresa: **COPPE/UFRJ**
Nome do Projeto: **T12**
Responsável pelo projeto: **Souza Júnior**

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**
Nível de confiabilidade: **95%**
Período de projeto: **10 anos**.

Análise realizada em **26/08/2018 às 22:18:11** no modo: **Projeto de Reforço**
Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **51,1%**.

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento do reforço do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.

ATENÇÃO:

A análise não considera a reflexão de trincas do pavimento existente!

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Dados da estrutura existente para auxiliar o projetista:

- Área Trincada: **41,0%**
- >> Considerar a adoção de medidas para evitar a reflexão de trincas
- Condição de tráfego: **BOA (IRI = 2,3 m/km)**
- Deflexão característica: **dc = 1369,0 (0,01mm)**
- Camada de base: Considerar a adoção de medidas para reconstrução ou reciclagem

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 4	15,0	Resiliente Linear MR = 10492 MPa	0,30
2	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE Camada Asfáltica Superficial	7,0	Resiliente Linear MR = 1244 MPa	0,30

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
3	CAMADA EXISTENTE Camada Granular	28,0	Resiliente Linear MR = 52 MPa	0,35
4	CAMADA EXISTENTE Camada Granular	20,0	Resiliente Linear MR = 305 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,40

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 4

Propriedades

Tipo de CAP = ...
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Norma ou Especificação = DNIT ES 31
 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDINA.

Modelos

Ensaio de Fadiga
 - Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,91e-5$
 - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -1,9$
 - Classe de Fadiga: ≥ 4
 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 1,00$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 383 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1019 ciclos

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

2 - CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE: Camada Asfáltica Superficial

Propriedades

Espessura de fresagem (cm) = 5,0
 Espessura de campo (cm) = 12,0
 Área Trincada (%) = 41
 IRI (m/km) = 2,3
 Deflexão característica (0,01mm) = 1369
 Idade do pavimento (anos) = ...
 Módulo mínimo (MPa) = 628
 Módulo máximo (MPa) = 1595
 MR - Desvio Padrão (MPa) = 384
 Coef de Variação do Módulo (%) = 32,1
 Comentários = ...

Modelos

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

3 - CAMADA EXISTENTE: Camada Granular

Propriedades

Módulo mínimo (MPa) = 38
 Módulo máximo (MPa) = 71
 MR - Desvio Padrão (MPa) = 12
 Coef de Variação do Módulo (%) = 24,6
 Comentários = ...

Modelos

4 - CAMADA EXISTENTE: Camada Granular

Propriedades	Modelos
Módulo mínimo (MPa) = 181	
Módulo máximo (MPa) = 483	
MR - Desvio Padrão (MPa) = 118	
Coef de Variação do Módulo (%) = 42,0	
Comentários = ...	

5 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades	Modelos
Módulo mínimo (MPa) = 114	
Módulo máximo (MPa) = 297	
MR - Desvio Padrão (MPa) = 71	
Coef de Variação do Módulo (%) = 38,8	
Comentários = ...	

Definição do tráfego **VERSÃO DE AVALIAÇÃO**

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **11681**
Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,26e+06**
% Veículos na faixa de projeto: **40%**
Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **1,71e+06**
Taxa de crescimento do tráfego: **3,5%**
Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,00e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada
1	1,399e+05	2,02%
6	8,454e+05	3,98%
12	1,705e+06	5,48%
18	2,580e+06	6,83%
24	3,471e+06	8,19%
30	4,376e+06	9,61%
36	5,297e+06	11,13%

Mês	N Equiv	Área Trincada
42	6,235e+06	12,77%
48	7,188e+06	14,56%
54	8,158e+06	16,51%
60	9,145e+06	18,64%
66	1,015e+07	20,96%
72	1,117e+07	23,49%
78	1,221e+07	26,22%
84	1,327e+07	29,17%
90	1,434e+07	32,34%
96	1,544e+07	35,71%
102	1,655e+07	39,28%
108	1,768e+07	43,05%
114	1,883e+07	46,98%
120	2,001e+07	51,06%

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 4

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	37	34	31	27	23	16	12	9	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	21	19	17	14	11	7	5	3	3

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

TRECHO 13 - km 743,250 ao km 743,650/MG

Programa MeDiNa v.1.02.1 - ago/2018 - versão de avaliação

CÓPIA NÃO REGISTRADA.

Análise do pavimento

Empresa: **COPPE/UFRJ**

Nome do Projeto: **Trecho 13**

Responsável pelo projeto: **Souza Júnior**

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10 anos.**

Análise realizada em **26/08/2018 às 18:20:24** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **79,3%.**

Deformação permanente total prevista no pavimento no fim do período: **12,1mm.**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.
- A estrutura ultrapassou o limite de deformação permante para o tipo de via.

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecnístico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 4	100	Resiliente Linear MR = 10492 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnalsse C4	20,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO Solo Areno-argiloso LG(2)	20,0	Resiliente Linear MR = 248 MPa	0,45
4	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO Reforço SL T13	20,0	Resiliente Linear MR = 268 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito Trecho 13	SL	Resiliente Linear MR = 216 MPa	0,40

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 4

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = ... Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDiNa.	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1,91e-5$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -1,9$ - Classe de Fadiga: ≥ 4 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 1,00$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 383 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1019 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,296 Umidade Ótima (%) = 5,4 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 41,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1010 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,1825 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,9091 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0753

3 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO: Solo Areno-argiloso LG'(2)

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Areia Argilosa - ES Grupo MCT = LG MCT - Coeficiente c' = 2,05 MCT - Índice e' = 0,97 Massa específica (g/cm ³) = 1,8 Umidade Ótima (%) = 18,0 Energia Compactação = Normal Norma ou Especificação = DNIT ES 139	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,453 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,186 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,084 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,058

4 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO: Reforço SL T13

Propriedades	Modelos
--------------	---------

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ...	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = ...	Modelo: $ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)$
MCT - Coeficiente $c' = ...$	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,097
MCT - Índice $e' = ...$	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -1,600
Massa específica (g/cm ³) = 2,12	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,9
Umidade Ótima (%) = 10	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,063
Energia Compactação = ...	
Norma ou Especificação = DNIT ES 139	

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

5 - SUBLEITO: Subleito Trecho 13

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ...	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = ...	Modelo: $ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)$
MCT - Coeficiente $c' = ...$	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,097
MCT - Índice $e' = ...$	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -1,600
Massa específica (g/cm ³) = 1,766	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,9
Umidade Ótima (%) = 15	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,063
Energia Compactação = ...	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

VERSÃO DE AVALIAÇÃO

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **11681**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,26e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **40%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **1,71e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,5%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,00e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	Def Perm Total (mm)
1	1,399e+05	2,28%	8,8
6	8,454e+05	4,62%	9,9
12	1,705e+06	6,56%	10,3
18	2,580e+06	8,45%	10,6
24	3,471e+06	10,45%	10,8

Mês	N Equiv	Área Trincada	Def Perm Total (mm)
30	4,376e+06	12,65%	11,0
36	5,297e+06	15,10%	11,1
42	6,235e+06	17,85%	11,2
48	7,188e+06	20,92%	11,3
54	8,158e+06	24,33%	11,4
60	9,145e+06	28,10%	11,5
66	1,015e+07	32,22%	11,6
72	1,117e+07	36,68%	11,6
78	1,221e+07	41,46%	11,7
84	1,327e+07	46,51%	11,8
90	1,434e+07	51,79%	11,8
96	1,544e+07	57,24%	11,9
102	1,655e+07	62,80%	11,9
108	1,768e+07	68,38%	12,0
114	1,883e+07	73,92%	12,0
120	2,001e+07	79,34%	12,1

Análise de Deformação Permanente

Cam	Material	Deformação Permanente (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	1,51
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	3,73
4	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	4,04
5	SUBLEITO	2,81
Deformação Permanente Total (mm)		12,1

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 4

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	35	29	25	20	16	12	9	8	7

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	21	17	13	10	8	5	4	3	2
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	50	32	25	19	15	12	9	8	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	47	21	14	9	7	5	4	3	2
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO - Solo Areno-argiloso LG(2)									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	48	31	24	19	16	12	9	8	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	48	20	14	10	7	5	4	3	2
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO - Reforço SL T13									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	55	35	27	20	16	12	9	8	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	54	23	15	10	7	5	4	3	2
Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Subleito Trecho 13									
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	56	34	26	19	16	11	9	8	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	58	23	15	10	7	5	4	3	2