

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA, ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL

**MONITORAMENTO DE PAVIMENTO
COMPOSTO POR REVESTIMENTO
DELGADO E BASE MELHORADA COM
CIMENTO**

HEBERT OLIVEIRA SANTOS

D0217G19
GOIÂNIA
2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

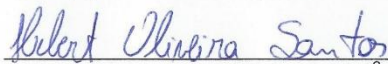
Nome completo do autor: Hebert Oliveira Santos

Título do trabalho: Monitoramento de pavimento composto por revestimento delgado e base melhorada com cimento

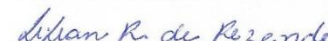
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☐ SIM ☒ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 06 / 08 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Nome completo do autor: Hebert Oliveira Santos

Título do trabalho: Monitoramento de pavimento composto por revestimento delgado e base melhorada com cimento

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 16 / 08 / 2022

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

²A assinatura deve ser escaneada.

HEBERT OLIVEIRA SANTOS

**MONITORAMENTO DE PAVIMENTO
COMPOSTO POR REVESTIMENTO
DELGADO E BASE MELHORADA COM
CIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade
Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Geotecnia

Orientadora: Prof. Dr^a. Lilian Ribeiro de Rezende

GOIÂNIA

2019

Santos, Hebert Oliveira.

Monitoramento de pavimento composto por revestimento delgado e base melhorada com cimento [manuscrito] / Hebert Oliveira Santos. - 2019.

128 f. : il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lilian Ribeiro de Rezende.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia 2019.

Bibliografia. Anexo. Apêndice

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Apêndices.

1. Módulo Resiliente 2. Base melhorada com cimento 3. Tratamento Superficial 4. Monitoramento 5. Análise tensão-deformação. I Rezende, Lilian Ribeiro de, orient. II. Título.

D0217G19



PPG
GECON

Programa de Pós-Graduação em
Geotecnia, Estruturas e Construção Civil



Ata de Nº 0217 da sessão de julgamento da
Dissertação do aluno Hebert Oliveira Santos da
área de concentração Geotecnia do PPG em
Geotecnia, Estruturas e Construção Civil.

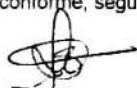
Aos 29 dia do mês de agosto de 2019, às 09h00min, no Miniauditório, da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, reuniu-se a banca examinadora designada na forma regimental pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil para julgar a Dissertação intitulada "**Monitoramento de pavimento composto por revestimento delgado e base melhorada com cimento**", apresentada pelo aluno **Hebert Oliveira Santos**, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de MESTRE, área de concentração Geotecnia. A Banca Examinadora foi Presidida pela Prof.^a Dr.^a Lilian Ribeiro de Rezende (GECON/UFG), tendo como membros o Prof. Dr. João Paulo Souza Silva (GECON/UFG) e a Prof.^a Dr.^a Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (UFG). Aberta a sessão pública, o candidato teve a oportunidade de expor o trabalho. Após a exposição, o aluno foi arguido oralmente pelos membros da Banca, os quais concluíram pelos seguintes resultados:

Membro	Instituição	Função	Resultado
Lilian Ribeiro de Rezende	GECON/UFG	Presidente	<u>APROVADO</u>
João Paulo Souza Silva	GECON/UFG	Examinador Interno	<u>Aprovado</u>
Verônica Teixeira Franco Castelo Branco	(UFG)	Examinadora Externa	<u>APROVADO</u>

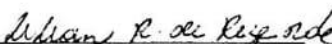
→ ☒ Tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **aprovação** do candidato **sem restrições**.

() Não tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **reprovação** do candidato, conforme as seguintes justificativas:

Nos termos do Regulamento Geral dos Cursos de pós-graduação desta Universidade, foi lavrada a presente ata que, lida e julgada conforme, segue assinada pelos membros da **Banca Examinadora** e pelo **candidato**.


João Paulo Souza Silva
PPG-GECON/UFG


Verônica Teixeira Franco Castelo Branco
(UFG)


Lilian Ribeiro de Rezende
PPG-GECON/UFG

Candidato: Hebert Oliveira Santos 

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por me dar exatamente o que preciso e sempre na hora certa.

À minha família, meus pais Agner e Rosi, meus irmãos Agner e Carolline, cunhado José e sobrinho Bernardo, pela confiança depositada, por todo o amor e suporte oferecidos.

À minha noiva Débora, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado em todos os momentos.

À professora Lilian Ribeiro de Rezende pela dedicação, paciência, atenção e orientação, que me trouxe o despertar para o caminho da pesquisa.

Aos técnicos auxiliares do projeto, Clayton, Gustavo, Gabriel e Gabriela, que tiveram papel fundamental no desenvolvimento desta pesquisa, não somente pelo apoio técnico, mas também pela amizade e companheirismo.

Aos meus colegas de mestrado pela companhia nessa mesma caminhada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Petrobras pelo apoio financeiro, que viabilizou a execução desta pesquisa.

À Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA), pela parceria com a UFG disponibilizando o trecho para estudo bem como as informações solicitadas.

RESUMO

Apesar de o sistema rodoviário ser o mais utilizado no Brasil, a qualidade de seus pavimentos é baixa, com mais de 50% da malha construída apresentando problemas, sendo um dos responsáveis por isso o método de dimensionamento atualmente utilizado, visto as limitações que apresenta. É necessário o desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a implantação de um método que dentre outros fatores leve em consideração as tensões deformações do pavimento. Nesse contexto, esta pesquisa objetiva apresentar os resultados preliminares de um dos trechos monitorados no estado de Goiás, implantado na GO-230, incorporando análises mecanicistas de modo a contribuir com o banco de dados de materiais, tecnologias e desempenho de um pavimento asfáltico executado com Tratamento Superficial Duplo (TSD). Para isso essa pesquisa realizou ensaios laboratoriais nos materiais utilizados para a construção do trecho, para a caracterização completa, comportamento mecânico e resiliente dos componentes de cada camada, verificando o comportamento do cascalho melhorado com cimento em três teores diferentes. Também foi realizada a análise do dimensionamento do revestimento em TSD com métodos teóricos e empírico complementadas pelo cálculo do coeficiente PUC. Verificou-se as condições em que o pavimento foi construído, as condições funcionais, micro, macrotextura e defeitos aparentes e as condições estruturais pelas deflexões e afundamentos de trilha de roda apresentados após seis meses de liberação ao tráfego. Realizou-se o levantamento real do tráfego, foram analisadas as tensões e deformações desenvolvidas pela estrutura do pavimento e determinados os valores de módulos resilientes obtidos pelo processo de retroanálise pelos programas BAKFAA e BackMedina. Verificou-se a supressão da expansão e ganho de desempenho mecânico com a adição de cimento. Para o TSD, percebeu-se que o parâmetro exigido pela norma brasileira de execução é genérico, diferindo dos métodos de dimensionamento disponíveis na literatura e permitindo o superdimensionamento da emulsão. O controle de execução mostrou falhas no processo construtivo, sendo que o monitoramento inicial detecta patologias precoces. A análise tensão deformação previu altas deformações nas camadas de sub-base e subleito que diminuiriam à medida em que a rigidez da base foi aumentada. Os módulos retroanalizados apresentaram valores superiores aos medidos em laboratório pelos dois programas utilizados, sendo que o BackMedina oferece um ajuste mais preciso às curvas de deflexão. Os estudos deste trabalho, tanto em campo quanto em laboratório, mostraram que a vida útil de projeto de 10 anos, provavelmente não será alcançada.

Palavras chave: Módulo Resiliente. Base melhorada com cimento. Tratamento Superficial. Monitoramento. Análise tensão-deformação.

ABSTRACT

Although the highway system is the most important for Brazilian development, the pavements' quality is low, with more than 50% of the built road networks presenting problems; one of the responsible for this situation is the pavements design method currently used, that presents limitations. It is necessary to develop researches that allow the implementation of a method that among other factors, takes into account the deformation stresses of the pavement. In this context, this study aims to present the preliminary results of one of the monitored test track in the state of Goiás, GO-230, incorporating mechanistic analysis to contribute to the database of materials, technologies and performance of an asphalt pavement executed with double surface treatment. For this, laboratory tests were performed with the materials used for the track pavement construction, aiming the characterization, mechanical, and resilient behavior of the components of each layer, the gravel with cement mix behavior in three different grades was also evaluated. Pavement grain sizing was checked with theoretical and empirical methods complemented by the calculation of the PUC coefficient. The conditions under the pavement was built, the functional conditions, micro, macrotexture, apparent defects, and the structural behavior were investigated after six months of the traffic opening. The actual traffic was determined, the stresses and strains developed by the pavement structure were analyzed and the resilient modules obtained by the back-analysis process was obtained by the BAKFAA and BackMedina. Swelling suppression and high mechanical gain were observed with the addition of cement in the gravel. It was found that the Brazilian requirements for TSD execution are generic, differing from the sizing methods and allowing the emulsion to be oversized. Execution control showed failures in the construction process while monitoring shows many apparent pathologies. The stress-strain analysis predicted high deformations in the subbase and subgrade that decreased while the base stiffness was increased. The back-analyzed modules presented higher values than those measured in the laboratory by the two softwares used, and BackMedina offers a more accurate adjustment to the deflection curves. Studies of this work, both in the field and in the laboratory, have shown that the project life of 10 years is unlikely to be achieved.

Keywords: Resilient modulus. Base with cement. Surface treatment. Monitoring. Stress-strain analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Qualidade pavimento CNT 2007 - 2018	21
Figura 1.2 - Pesquisas de doutorado desenvolvidas, entre 1990 e 2015, no Brasil. (SANTIAGO; SOARES, 2015)	22
Figura 2.1: Resultados dos parâmetros de resistência (Cura de 28 dias): (a) MR & RCS x amostra; (b) MR & RCS x (%) cimento	31
Figura 2.2: Taxas de agregado TSD.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2.3: Taxas de emulsão TSD.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2.4: Granulometria BR0 e BR2	35
Figura 2.5: Análise Estrutural (2%, 3% e 4%): (a) Tensão na direção z (MPa); (b) Tensão na Direção x (MPa); (c) Deformação Específica em Z (m/m); (d) Deformação Específica em X (m/m).....	42
Figura 2.6: Bacias de deslocamento medidas x calculadas - a) Tempo 0 – S/ Água Fria b) Tempo 0 - S/ Mimoso c) Tempo 3 - S/ Água Fria d) Tempo 3 - S/ Mimoso e) Tempo 6 - S/ Água Fria f) Tempo 6 - S/ Mimoso.....	43
Figura AN.1 - Sistema de locação de defeitos adotado no SRTA.	55
Figura AN.2 - Ficha para levantamento de defeitos da superfície do pavimento.	56
Figura A.1 - Carta de plasticidade	57
Figura A.2 - Curva granulométrica SL	57
Figura A.3 - Curva granulométrica SB	58
Figura A.4 - Curva granulométrica BA	58
Figura A.5 - Classificação pelo tamanho do grão. a) Subleito b) Sub-base c) Base.....	59
Figura A.6 - Gráfico classificação MCT.....	59
Figura A.7 - Compactação, ISC e expansão – Subleito	60
Figura A.8 - Compactação, ISC e expansão – Sub-base.....	61
Figura A.9 - Compactação, ISC e expansão – Base.....	62
Figura A.10 - Compactação, ISC e expansão – Base 2% cimento	63

Figura A.11 - Curvas compactação Base 3 e 4%	64
Figura B.1 - Gráfico Subleito a) Modelo composto b) Modelo AASTHO c) Modelo Uzan-Witczak.....	67
Figura B.2 - Gráfico Subleito a) Modelo simplificado σ_3 b) Modelo simplificado σ_d	67
Figura B.3 - Gráfico Sub-base a) Modelo composto b) Modelo AASTHO c) Modelo Uzan-Witczak.....	68
Figura B.4 - Gráfico Sub-base a) Modelo simplificado σ_3 b) Modelo simplificado σ_d	68
Figura B.5 - Gráfico Base a) Modelo composto b) Modelo AASTHO c) Modelo Uzan-Witczak	69
Figura B.6 - Gráfico Base a) Modelo simplificado σ_3 b) Modelo simplificado σ_d	69
Figura B.7 - Gráfico Base 2% cimento – 7dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak	70
Figura B.8 - Gráfico Base 2% cimento – 7dias a) Modelo simplificado σ_d b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico	70
Figura B.9 - Gráfico Base 2% cimento – 28dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak	71
Figura B.10 - Gráfico Base 2% cimento – 28dias a) Modelo simplificado σ_d b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico	71
Figura B.11 - Gráfico Base 3% cimento – 7dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak	72
Figura B.12 - Gráfico Base 3% cimento – 7dias a) Modelo simplificado σ_d b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico	72
Figura B.13 - Gráfico Base 3% cimento – 28 dias (CPs 1 a 4) a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak	73
Figura B.14 - Gráfico Base 3% cimento – 28dias (CPs 1 a 4) a) Modelo simplificado σ_d b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico	73
Figura B.15 - Gráfico Base 4% cimento – 7dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak	74

Figura B.16 - Gráfico Base 4% cimento – 7dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico.....	74
Figura B.17 - Gráfico Base 4% cimento – 28dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak	75
Figura B.18 - Gráfico Base 4% cimento – 28dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico.....	75
Figura B.19 - Gráfico Resistência a Compressão Simples - Subleito.....	76
Figura B.20 - Gráfico Resistência a Compressão Simples - Sub-base	76
Figura B.21 - Gráfico Resistência a Compressão Simples - Base	76
Figura B.22 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 2% - 7 dias	77
Figura B.23 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 2% - 28 dias	77
Figura B.24 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 3% - 7 dias	77
Figura B.25 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 3% - 28 dias	78
Figura B.26 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 4% - 7 dias	78
Figura B.27 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 4% - 28 dias	78
Figura D.1 - N de projeto X N medido	124
Figura E.1 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Água Fria– Monitoramento Inicial	125
Figura E.2 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Mimoso– Monitoramento Inicial	125
Figura E.3 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Água Fria– Monitoramento 3 meses	126
Figura E.4 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Mimoso– Monitoramento 3 meses	126
Figura E.5 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Água Fria– Monitoramento 6 meses	127
Figura E.6 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Mimoso– Monitoramento 6 meses	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Descrição das amostras estudadas	27
Tabela 2.2: Resumo propriedades básicas amostras SL, SB, BA, BA2C, BA3C e BA4C	27
Tabela 2.3: Resumo propriedades básicas amostras BR0, BR2 e emulsão	28
Tabela 2.4: Modelos previsão comportamento resiliente	28
Tabela 2.5: Ensaios monitoramento sistemático	29
Tabela 2.6: Modelo previsão comportamento resiliente	31
Tabela 2.7: Densidade específica seca e umidade de campo	32
Tabela 2.8: Controle executivo Tratamento Superficial Duplo.....	33
Tabela 2.9: Cálculo PUC	35
Tabela 2.10: Levantamento de Deflexões (Valores Médios) – Monitoramento Inicial, 3 e 6 meses	36
Tabela 2.11: Avaliação Estrutural DNER PRO 11 (1979) – Monitoramento inicial, 3 e 6 meses	37
Tabela 2.12: Levantamento da Macrotextura do Pavimento – Monitoramento Inicial, 3 e 6 meses	38
Tabela 2.13: Levantamento microtextura tempo 0, 3 e 6 meses	38
Tabela 2.14: Índice de Atrito Internacional (<i>International Friction Index</i> - IFI).....	39
Tabela 2.15: Levantamento Visual – Monitoramento inicial, 3 e 6 meses	39
Tabela 2.16: Levantamento trilha de roda - Monitoramento 6 meses.	40
Tabela NA.1 - Tipos de defeitos dos pavimentos considerados nesta pesquisa.....	54
Tabela A1.- PD, TA e IA Subleito, Sub-base e Base	58
Tabela A.2 - Classificação MCT	59
Tabela B.1 - Resumo dos dados de compactação e módulo de resiliência.	65
Tabela B.2 - Resultados resistência a compressão simples	66
Tabela C.1 - Levantamento visual de defeitos - Tempo 0.....	79

Tabela C.2 - Levantamento visual de defeitos - Tempo 3 meses	79
Tabela C.3 - Levantamento visual de defeitos - Tempo 6 meses	80
Tabela D.1 - Levantamento de veículo por tipo.....	123
Tabela D.2 - Cálculo valor N	123
Tabela D.3 - Fator de expansão horária	124
Tabela F.1 - Dados de lançamento estrutura AEMC	128
Tabela F.2 - Resumo da análise estrutural para as zonas de interface e meio das camadas. .	128
Tabela G.1 - Resultados médios retroanálise - monitoramento inicial, 3 e 6 meses	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATR	Afundamento Trilha de Roda
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CBR	<i>California Beraring Ratio</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CP	Corpo de Prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GOINFRA	Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes
IFI	<i>International Friction Index</i>
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional
MCT	Miniatura Compactada Tropical
MR	Módulo de Resiliência
N	Número equivalente de eixos padrão
PUC	<i>Performance Based Uniformity Coefficient</i>
RCS	Resistência Compressão Simples
REDE	Rede Temática De Asfalto
RMS	<i>Root Mean Square</i>

SisPavBr	Sistema de Pavimentos Brasileiro
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
TSD	Tratamento Superficial Duplo
UFG	Universidade Federal de Goiás
VDM	Volume Diário Médio

LISTA DE SÍMBOLOS

BD	Borda Direita
BE	Borda Esquerda
cm	centímetro
C	Centro
D_{adm}	Deflexão admissível
D_c	Deflexão característica
D_0	Deflexão recuperável
M	Diâmetro 50% passante
GC	Grau de Compactação
°C	Graus Celsius
IP	Índice de Plasticidade
e	Índice de vazios
w_L	Limite de liquidez
w_p	Limite de plasticidade
ρ	Massa específica
m	Metro
$K_{1,2,3}$	Parâmetros experimentais
γ_d	Peso específico aparente seco
%	Porcentagem
Pa	Pressão atmosférica
θ	Primeiro invariante de tensão
kg	Quilograma
R	Raio

σ_3	Tensão de confinamento
σ_d	Tensão desvio
τ_{oc}	Tensão octaédrica
tf	Tonelada força
wot	Umidade ótima
Δ	Variação umidade

SUMÁRIO

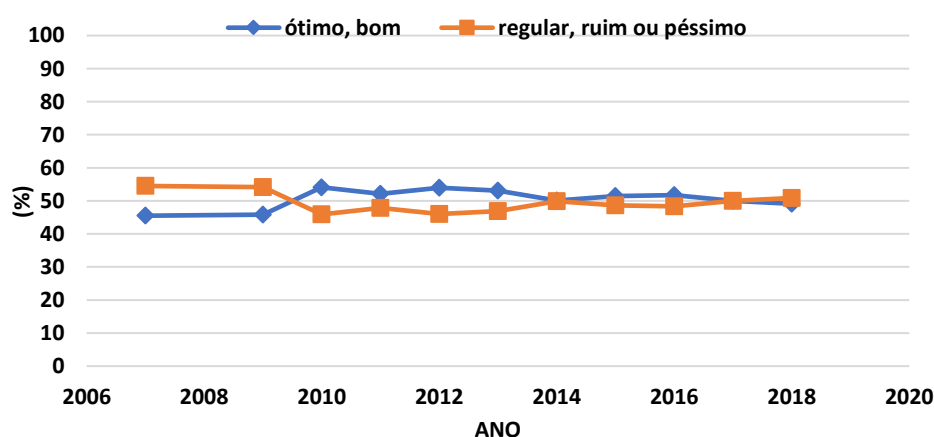
1.	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	OBJETIVOS	23
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	23
2.	ARTIGO	24
1.	INTRODUÇÃO.....	25
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
2.1	Materiais	26
2.2	Métodos	28
2.2.1	Determinação dos parâmetros de resistência.....	28
2.2.2	Controle de execução do trecho monitorado	Erro! Indicador não definido.
2.2.3.	Dimensionamento do Tratamento Superficial Duplo.....	Erro! Indicador não definido.
2.2.4.	Monitoramento	29
2.2.5.	Análise estrutural.....	29
2.2.6.	Retroanálise das bacias de deslocamento	30
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
3.1	Determinação dos parâmetros de resistência	Erro! Indicador não definido.
3.2	Controle de execução do trecho monitorado	32
3.3	Dimensionamento do Tratamento Superficial Duplo	33
3.4	Monitoramento.....	35
3.5	Análise estrutural	41
3.6	Retroanálise das bacias de deslocamento	43
4.	CONCLUSÕES	44
	Agradecimentos	44

REFERÊNCIAS.....	44
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
3.1 CONCLUSÕES	47
3.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	48
REFERÊNCIAS.....	50
ANEXO A – PROCEDIMENTO REDE PARA o LEVANTAMENTO DE DEFEITOS DOS PAVIMENTOS.....	53
APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	57
APÊNDICE B – PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA - MR E RCS.....	65
APÊNDICE C – LEVANTAMENTO VISUAL DE DEFEITOS	79
APÊNDICE D – LEVANTAMENTO DE TRÁFEGO	123
APÊNDICE E – LEVANTAMENTO DA DEFLEXÃO – VIGA BENKELMAN	125
APÊNDICE F – ANÁLISE ESTRUTURAL COM O AEMC.....	128
APÊNDICE G – RETROANÁLISE.....	130

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável de um país, no âmbito econômico, social e ambiental, depende de um sistema de transporte que alia produtividade e qualidade. A regular revisão da infraestrutura é necessária para que o sistema aumente o seu desempenho e se adapte às novas demandas. No Brasil, o transporte rodoviário é o mais utilizado tanto para cargas quanto para pessoas; no entanto, somente 13 % das suas rodovias são pavimentadas, sendo que 57% tem seu estado geral classificado como regular, ruim ou péssimo (CNT, 2019). A Figura 1.1.1 apresenta o levantamento dos últimos 11 anos da qualidade do pavimento, percebe-se que esta se mantém constante na média de 50% regulares, ruins ou péssimas, mostrando que o avanço na engenharia não se refletiu nos pavimentos.

Figura 1.1.1- Qualidade pavimento CNT 2007 - 2018

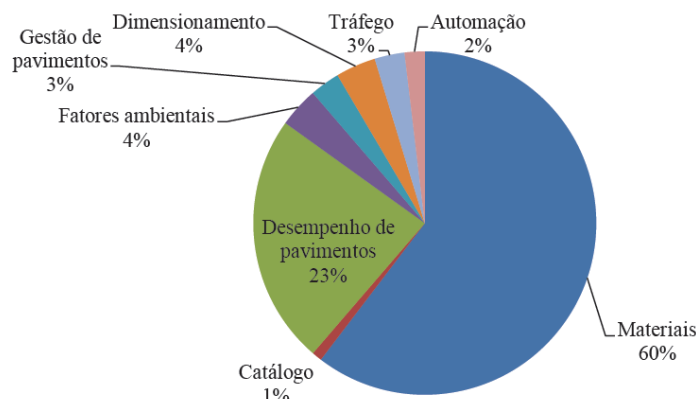


O fato de mais da metade dos pavimentos construídos apresentarem problemas deve-se em parte ao método de dimensionamento de pavimentos asfálticos ainda utilizado, composto por um processo de cálculos que não mais se adequa às características atuais do tráfego nas rodovias nacionais. Além disso, vários outros fatores podem contribuir para a rápida degradação dos pavimentos brasileiros tais como: a falta de realização de estudos aprofundados para os materiais utilizados, do controle de execução adequado e o não acompanhamento pós-construção.

Nota-se, ainda, um descompasso na produção de pesquisas que estudam as principais temáticas envolvidas nesse processo. O levantamento feito por Santiago e Soares (2015), Figura 1.2, sobre pesquisas de doutorado realizadas no Brasil entre os anos de 1990 e 2015 mostra que enquanto a caracterização de materiais engloba 60% do total das pesquisas, a somatória de parâmetros

importantíssimos para o dimensionamento como tráfego, fatores ambientais e desempenho corresponde apenas a 30%.

Figura 1.2 - Pesquisas de doutorado desenvolvidas, entre 1990 e 2015, no Brasil. (SANTIAGO; SOARES, 2015)



Nesse ambiente nasceu a Rede Temática de Asfaltos (REDE), que é financiada pela Petrobras, conta com o apoio de universidades que realizam pesquisas em pavimentação e com a cooperação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Sua principal ação é o acompanhamento de trechos experimentais, de forma padronizada, com o objetivo de coletar dados sistematizados de comportamento dos pavimentos nacionais, o que é de fato o maior empecilho para a concepção de um método de dimensionamento mais moderno.

Em 2018, o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) foi apresentado pelo DNIT com base nos dados obtidos pela REDE. Trata-se de um método mecanístico-empírico: mecanístico por analisar as relações tensão deformação nos pavimentos e empírico por necessitar de calibração para os modelos de tensões-deformações (Huang, 2003). O MeDiNa foi desenvolvido a partir do programa SisPavBr criado por Franco (2007). Dentre os vários trabalhos vinculados à REDE, destaca-se os estudos dos trechos de Fundão-RJ (Franco, 2007), cinco segmentos na MG-202 (Medrado, 2009) e BR-040 (Junior, 2018), fundamentais para esse processo.

Destaca-se a importância do monitoramento dos trechos ao longo do tempo, que identifica os principais mecanismos que ocorrem para diminuição da serventia das estruturas ao longo de sua vida útil de serviço, fornecendo uma base sólida de dados suficientes para o aperfeiçoamento de modelos de previsão de desempenho, sendo possível assim estimar a vida útil de serviço de pavimentos com relação a estes principais mecanismos de deterioração.

No Brasil uma das soluções mais adotadas em revestimento asfáltico para baixo tráfego é o Tratamento Superficial Duplo, que apesar de sua norma de execução não sugerir o cálculo de

suas proporções, pode ser dimensionado por métodos empíricos e teóricos. Nesse dimensionamento também pode ser incorporado a análise dos agregados através do coeficiente PUC (*Performance Based Uniformity Coefficient*), definido por Lee e Kim (2008), que indica a qualidade através apenas de sua granulometria.

1.1 OBJETIVOS

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo geral apresentar os resultados preliminares de um dos trechos monitorados no estado de Goiás, implantado na GO-230, incorporando análises mecanicistas de modo a contribuir com o banco de dados de materiais, tecnologias e desempenho de um pavimento asfáltico executado com Tratamento Superficial Duplo (TSD). E para tal possui os seguintes objetivos específicos:

- ◆ Caracterizar os materiais usados na construção do trecho da rodovia GO-230;
- ◆ Avaliar o dimensionamento do revestimento em TSD adotado;
- ◆ Avaliar as condições do trecho monitorado durante a execução e após a liberação ao tráfego;
- ◆ Dimensionar o tráfego após a liberação da via;
- ◆ Analisar as tensões e deformações da estrutura do pavimento.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em três capítulos. O primeiro apresenta a introdução, que abrange a situação atual dos pavimentos asfálticos brasileiros e justifica esta pesquisa pela necessidade de implementar um novo método de dimensionamento que deve estar munido por um robusto banco de dados. Além disto traz também o objetivo geral e os específicos propostos.

O segundo capítulo é a apresentação do artigo resultante deste trabalho, o qual será submetido à revista Transportes (ISSN 2237-1346), que contém toda a metodologia trabalhada e apresenta os resultados e as análises obtidos através dos trabalhos em campo e em laboratório.

O terceiro capítulo traz as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. Além de tudo os apêndices apresentam de forma mais detalhada os resultados de alguns ensaios de forma a complementar o entendimento da pesquisa realizada.

2. ARTIGO

Neste capítulo será apresentado o artigo intitulado: Avaliação mecânica de pavimento monitorado executado com Tratamento Superficial Duplo, que será submetido ao periódico Transportes (ISSN 2237-1346) e que apresenta o detalhamento da metodologia, os resultados, as discussões e as conclusões do trabalho.

AVALIAÇÃO MECANÍSTICA DE PAVIMENTO MONITORADO EXECUTADO COM TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO

RESUMO

Este artigo objetiva apresentar os resultados preliminares de um trecho monitorados em Goiás, incorporando análises mecanísticas de modo a contribuir com o banco de dados de materiais, tecnologias e desempenho de um pavimento asfáltico executado com Tratamento Superficial Duplo (TSD). Para isso, nesta pesquisa foram realizados ensaios laboratoriais com os materiais em termos de caracterização, comportamento mecânico e resiliente dos componentes de cada camada, verificando também o comportamento do cascalho melhorado com cimento em três teores diferentes. A seção de teste do pavimento foi monitorada durante a execução e até 6 meses após liberação do tráfego, por meio da determinação das deflexões, das macro e microtexturas, da medida da trilha de roda, da avaliação do tráfego e da identificação dos defeitos aparentes. O dimensionamento do TSD também foi avaliado. As tensões e deformações desenvolvidas ao longo das camadas foram obtidas e os módulos de campo determinados por meio de retroanálise. Os resultados mostraram ganho de desempenho mecânico com a adição de cimento no cascalho, falhas na execução, surgimento precoce de patologias, elevadas deformações nas camadas inferiores à base e superdimensionamento de emulsão no TSD.

ABSTRACT

This paper aims to present the preliminary results of one monitored track in Goiás, incorporating mechanistic analyzes in order to contribute to the database of materials, technologies and performance of an asphalt pavement executed with Double Surface Treatment (TSD). Therefore, in this research laboratory tests were performed with the materials in terms of characterization, mechanical and resilient behavior of the components of each layer, also checking the behavior of improved gravel with cement in three different contents. The pavement test section was monitored during execution and up to 6 months after traffic opening by determining deflections, macro and micro textures, wheel track measurement, traffic evaluation and identification of apparent defects. The TSD design was also evaluated. The stresses and deformations developed along the layers were obtained and the field modules were determined by back analysis. The results showed mechanical performance gain with the addition of cement in the gravel, failures in execution, emergence of pathologies, high deformations in the lower base layers and emulsion oversizing in the TSD.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável de um país depende de um sistema de transporte que alia produtividade e qualidade. A regular revisão da infraestrutura é necessária para que o sistema aumente o seu desempenho e se adapte às novas demandas. No Brasil, o transporte rodoviário é o mais utilizado tanto para cargas quanto para pessoas; no entanto, somente 13% das rodovias são pavimentadas, sendo que 57% tem seu estado geral classificado como regular, ruim ou péssimo (CNT, 2019). O fato de mais da metade dos pavimentos construídos apresentarem problemas deve-se, em parte, ao método de dimensionamento de pavimentos asfálticos ainda utilizado, composto por um processo de cálculos que não mais se adequa às características atuais. Além disso, outros fatores podem contribuir para a rápida degradação dos pavimentos brasileiros tais como: falta de realização de estudos aprofundados para os materiais utilizados, falta do controle de execução adequado e o não acompanhamento do desempenho da estrutura pós-construção.

Nota-se, ainda, um descompasso na produção de pesquisas que estudam as principais temáticas envolvidas nesse processo. O levantamento feito por Santiago e Soares (2015) sobre pesquisas realizadas no Brasil entre os anos de 1990 e 2015 mostra que enquanto a caracterização de materiais engloba 60% do total das pesquisas, a somatória de parâmetros importantes para o dimensionamento como tráfego, fatores ambientais e desempenho corresponde apenas a 30%.

Nesse ambiente nasceu a Rede de Tecnologia em Asfaltos (REDE), que é financiada pela Petrobras e pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), conta

com o apoio de universidades que realizam pesquisas em pavimentação e com a cooperação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Uma de suas ações é o acompanhamento de trechos experimentais, de forma padronizada, com o objetivo de coletar dados sistematizados de comportamento dos pavimentos nacionais. Em 2018, o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) foi apresentado pelo DNIT com base nos dados obtidos pela REDE. Trata-se de um método mecanístico-empírico: mecanístico por analisar a relação tensão-deformação no pavimento e empírico por necessitar de calibração para os modelos de tensão-deformação (Huang, 2003). O MeDiNa foi desenvolvido a partir do programa SisPavBr criado por Franco (2007). Dentre os vários trabalhos vinculados à REDE, destaca-se os estudos dos trechos de Fundão-RJ (Franco, 2007), cinco segmentos na MG-202 (Medrado, 2009) e BR-040 (Junior, 2018), fundamentais para esse processo.

Assim, este apresenta os resultados preliminares de um dos trechos monitorados no estado de Goiás, implantado na GO-230, incorporando análises mecanicistas de modo a contribuir com o banco de dados de materiais, tecnologias e desempenho de um pavimento asfáltico executado com Tratamento Superficial Duplo (TSD).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste trabalho acompanhou-se a execução de um trecho experimental localizado na rodovia GO-230 Mimoso de Goiás/Água Fria de Goiás (GO) com 340 metros de extensão. O projeto foi desenvolvido pela Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA), utilizando o método convencional para o tráfego $N=2,58.106$. A Figura 2.1 apresenta a estrutura executada. Nove materiais foram estudados em laboratório (Tabela 2.2-1) considerando os materiais utilizados na construção da rodovia e o comportamento do solo da base com diferentes teores de cimento.

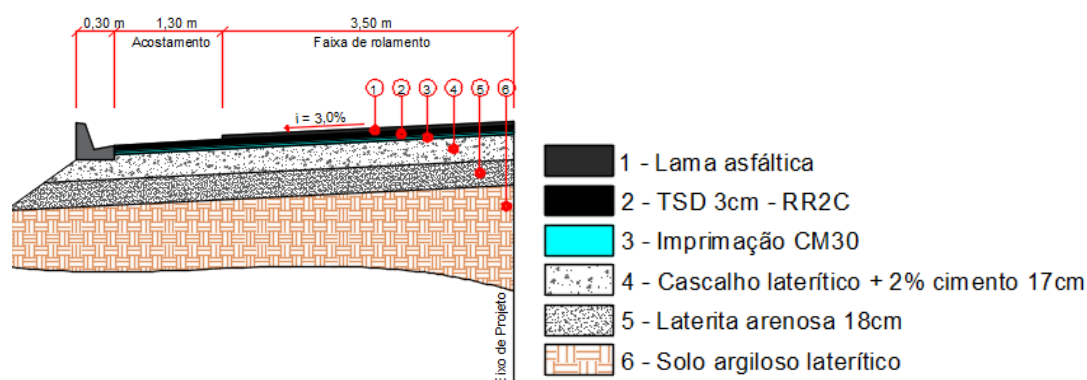


Figura 2.1: Estrutura de projeto - GO 230

A Tabela 2.2-2 apresenta o resumo dos dados de caracterização e classificação dos solos além dos resultados dos ensaios de compactação, expansão e *California Bearing Ratio* (CBR). O subleito foi classificado como um solo A-7-6 (solo fino argiloso), mas identificado como LG'. Já os solos de base e sub-base apresentam classificação tradicional semelhante, A-2-6, mas se diferenciam na classificação para solos tropicais: o solo da sub-base pertence ao grupo LA' e pode apresentar bom comportamento mecânico; já o solo da base pertence ao grupo NG' e pode apresentar limitação de utilização para pavimentação. A incorporação de 2% de cimento surge como alternativa para melhorar os parâmetros do solo da base.

Tabela 2.2-1: Descrição das amostras estudadas

Camada	Amostra	Descrição preliminar
Revestimento	BR2	Brita 2 - gnaisse granítico (1º camada)
	BR0	Brita 0 - gnaisse granítico (2º camada)
	Emulsão	Emulsão RR-2C
Base	BA	Cascalho
	BA2C	Cascalho melhorado com 2% de cimento
	BA3C	Cascalho melhorado com 3% de cimento
	BA4C	Cascalho melhorado com 4% de cimento
Sub-base	SB	Laterita arenosa
Subleito	SL	Solo laterítico argiloso

Tabela 2.2-2: Resumo propriedades básicas amostras SL, SB, BA, BA2C, BA3C e BA4C

Propriedade	SL	SB	BA	BA2C	BA3C	BA4C
Granulometria sem defloculante						
Pedregulho (%)	0,73	44,13	62,52	-	-	-
Areia (%)	52,94	30,60	16,52	-	-	-
Silte (%)	44,07	22,76	15,90	-	-	-
Argila (%)	2,27	2,50	5,06	-	-	-
Granulometria com defloculante						
Pedregulho (%)	0,73	44,13	62,52	-	-	-
Areia (%)	38,90	24,67	14,50	-	-	-
Silte (%)	13,12	15,97	10,22	-	-	-
Argila (%)	47,25	15,23	12,76	-	-	-
Massa específica e Limites de Atterberg						
ρ (g/cm ³)	2,678	2,735	2,728	-	-	-
w _L (%)	43	39	37	40	-	-
w _P (%)	28	22	19	21	-	-
IP (%)	15	17	18	19	-	-
Sistemas de Classificação						
SUCS	ML	SC	SC	-	-	-
TRB	A-7-6	A-2-6	A-2-6	-	-	-
FERET	Argila	Areia	Areia	-	-	-
MCT	LG'	LA'	NG'	-	-	-
Compactação e CBR						
Energia	EN	EIM	EM	EM	EM	EM
w _{ot} (%)	19,80	13,00	10,47	9,73	8,70	10,43
γ_{dmax} (kN/m ³)	16,45	18,43	20,50	20,50	20,55	20,60
CBR (%)	16	69	76	92	-	-
EXP (%)	0,08	0,05	0,05	0,00	-	-

Nota: ρ = massa específica; w_L = Limite de Liquidez; w_P = Limite de Plasticidade; IP= Índice de Plasticidade; NP =Não Plástico; TRB = *Transportation Research Board*; SUCS = Sistema Unificado de Classificação de Solos; LG' = Solo Argiloso Laterítico; LA' = Solo Arenoso Laterítico; NG' = Não Laterítico Argiloso; w_{ot} = Umidade Ótima; γ_{dmax} = Peso específico aparente seco máxima; CBR = *California Bearing Ratio*; EN= Energia Normal; EIM=Energia Intermodificada; EM= Energia Modificada.

A Tabela 2.2-3 apresenta o resumo da caracterização dos agregados e da emulsão. Destaca-se que os agregados são lamelares, principalmente a brita 2, e, segundo Loiola (2009), deveriam ser descartados devido à facilidade de quebra quando submetidos ao tráfego e de favorecerem a ocorrência de exsudação. Para a emulsão asfáltica, observa-se o excesso de material retido no ensaio de peneiramento, sendo que desde a coleta notou-se a formação de natas e agregações, o que pode acarretar na não homogeneidade do espargimento e gerar pontos com grande concentração de emulsão.

Tabela 2.2-3: Propriedades das britas e da emulsão

Propriedades	BR0	BR2	Emulsão	Requisitos Norma
Índice de forma	0,50	0,28	-	Mín 0,5
Absorção (%)	0,77	0,26	-	-
Adesividade	Satisfatória	Satisfatória	-	Sem descolamento
Massa específica Real (kg/m³)	2.720	27.20	-	-
Massa específica aparente (kg/m³)	2.660	2.700	-	-
Massa unitária compactada (kg/m³)	1.591	1.577	-	-
e – Compactado (%)	70,98	72,47	-	-
Massa unitária solta (kg/m³)	1.479	1.409	-	-
e – Solto (%)	83,89	93,07	-	-
Abrasão Los Angeles – Graduação D (%)	14,37	-	-	Máx 40%
Abrasão Los Angeles – Graduação B (%)	-	16,08	-	Máx 40%
Densidade (g/cm³)	-	-	1,006	-
Massa específica (g/cm³)	-	-	1,003	-
Peneiramento (retido) (%)	-	-	1,66	Máx. 0,1%
Resíduo asfáltico por evaporação (%)	-	-	66,83	Min. 67%
Carga de partícula	-	-	Catiônica	Catiônica
Sedimentação (%)	-	-	-0,51	Máx. 5%
Penetração resíduo por evaporação (mm)	-	-	4,94	4 - 15

2.2 Métodos

2.2.1 Estudos de laboratório e controle executivo

O ensaio para determinação do Módulo de Resiliência (MR) foi realizado nas amostras de solo compactadas numa prensa universal servo-hidráulica (UTM) de 30 kN de acordo com a ME 134 (DNIT, 2018) para os solos sem adição de cimento e com a ME 181 (DNIT, 2018) para os solos com cimento. Os corpos de prova (CP) com cimento foram curados em câmara úmida com umidade relativa maior que 95% e temperatura controlada (25°C) por 7 e 28 dias. Para a previsão do comportamento foram realizadas regressões dos dados para determinação dos parâmetros dos modelos apresentados na Tabela 2.2-4 de forma a identificar aquele que melhor representa o comportamento de cada material. Por questões de otimização, pela quantidade de material disponível e pelo fato do ensaio triaxial dinâmico não ser um método destrutivo, os CPs foram aproveitados no ensaio para determinação da Resistência à Compressão Simples (RCS) conforme as NBR 12770 (ABNT, 1992) e NBR 12025 (ABNT, 2012).

Tabela 2.2-4: Modelos de previsão

Modelo	Equação
Composto	$MR = K_1 \sigma_3^{K_2} \sigma_d^{K_3}$
Universal ASTHO	$MR = K_1 P_a \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{K_2} \left(\frac{\tau_{oc}}{P_a} + 1 \right)^{K_3}$
Universal Uzan-Witczak	$MR = K_1 \theta^{K_2} \tau_{oc}^{K_3}$
Tensão confinante	$MR = K_1 \sigma_3^{K_2}$
Tensão desvio	$MR = K_1 \sigma_d^{K_2}$
Semi-log	$MR = 10^{(K_1 - K_2 \sigma_d)}$
Hiperbólico	$MR = \frac{K_1 + K_2 \sigma_d}{\sigma_d}$

Nota: MR = módulo de resiliência; σ_3 = tensão de confinamento; σ_d = tensão desvio ($\sigma_1 - \sigma_3$); θ = primeiro invariante de tensão ($\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$); τ_{oc} = tensão octaédrica ($\tau_{oc} = \sqrt{2/3} \cdot \sigma_d$); P_a = pressão atmosférica; K_1 , K_2 e K_3 = parâmetros experimentais.

A camada de TSD foi dimensionada pelo método empírico da “bandeja de fundo vermelho” apresentado na ES-P 11 (DERT, 2000) e indicado por Silva (2018), bem como pelos métodos teóricos de Hanson, da Califórnia, de Linckenhyl e de Tagle e Podestá, citados por Pinto (2002). Esses dados foram comparados com os do TSD executado no trecho monitorado e exigidos pela ES 147 (DNIT, 2012). Os agregados utilizados também foram avaliados por meio do parâmetro teórico Performance Based Uniformity Coefficient (PUC). O coeficiente é um indicativo da qualidade do agregado para ser empregado em Tratamentos Superficiais por meio da granulometria. Ele avalia de forma individual, em cada camada, o potencial de perda de agregado e exsudação no revestimento (Silva et al., 2018).

Em campo, foram realizados os ensaios para determinação da massa específica aparente *in situ* conforme a ME 092 (DNER, 1994) e da umidade com emprego do Speedy de acordo com a ME 052 (DNER, 1994). Com relação ao revestimento TSD, foi realizado o controle de execução conforme a ES 147 (DNIT, 2012) de modo a determinar a temperatura da emulsão asfáltica no caminhão distribuidor imediatamente antes da aplicação. Foram determinadas também as taxas de aplicação tanto da emulsão asfáltica quanto dos agregados da primeira e segunda camadas ao longo do trecho mediante a colocação e pesagem de bandejas de massa e área conhecida.

2.2.2. Monitoramento

O monitoramento avaliou as condições iniciais do pavimento por meio do acompanhamento e da análise de degradações relacionadas com o tráfego. Para tanto seguiu-se o planejamento de ensaios de campo conforme apresentado na Tabela 2.2-5.

A determinação das deflexões foi realizada com a viga Benkelman, com leituras a cada 25 cm até completar 2 m e uma leitura final na distância de 10 m do caminhão padrão ao ponto inicial. O levantamento visual de defeitos foi realizado segundo procedimento REDE com uma metodologia específica baseada nos procedimentos do DNIT (DNIT 005/2003-TER) e do SHRP (SHRP, 1993). Por fim, o levantamento de tráfego foi realizado com a metodologia de contagem manual sem pesagem dos veículos. A contagem foi feita em sete dias seguidos (13/03/2019 a 19/03/2019) das 6:00 as 19:00 horas, adotando, assim, o nível de precisão C.

Tabela 2.2-5: Ensaios monitoramento sistemático

Avaliação	Norma	Tempo 0 ou uma semana	3 meses	6 meses
Deflexão	ME-133 (DNIT, 2010)	X	X	X
Pêndulo Britânico	E 303 (ASTM, 2013)	X	X	X
Mancha de Areia	E 965 (ASTM, 2015)	X	X	X
Levantamento Visual de Defeitos	Manual trechos monitorados (REDE, 2010)	X	X	X
Determinação Afundamento Trilha de Roda (ATR)	PRO 006 (DNIT, 2003)	X	X	X
Levantamento Tráfego	Manual de estudos de tráfego (DNIT, 2006)		X	

2.2.3. Análise estrutural

O programa MeDiNa não permite a utilização de TSD quando o tráfego for superior a N=9,99.105. Logo, para essa análise foi utilizado o tráfego medido durante o monitoramento do trecho. Destaca-se que o ensaio de deformação permanente não foi realizado nos solos estudados, sendo então necessário adotar para cada um deles modelos já existentes no banco de dados do programa.

Com o software Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC) calculou-se as tensões e deformações desenvolvidas ao longo das camadas considerando o carregamento aplicado pelo eixo padrão rodoviário de 8,2 tf. Além da estrutura adotada em projeto, também foi realizada a análise de mais duas estruturas alterando o teor de cimento utilizado na base (3% e 4%). Considerando a profundidade (z), determinou-se pontos na superfície, no centro e interface das camadas, e no subleito a 25 e 65 cm de profundidade após a camada anterior. Segundo orientação do software AEMC, para determinação dos pontos na interface, foram definidos pares de pontos a 0,001 cm abaixo e acima da interface. Quanto à distância perpendicular ao rolamento (x), a determinação dos pontos é função do tipo de eixo rodoviário, sendo no centro do carregamento ($x=0$), no meio entre o centro e a borda interna da roda, no centro e na borda externa da roda, e cinco pontos a cada 20 cm a partir da borda externa da roda.

2.2.4. Retroanálise

Com o objetivo de obter os valores de MR das camadas do pavimento em campo após sua construção, foi realizada a retroanálise dos ensaios de viga Benkelman com a utilização de dois programas: o BackMeDiNa, baseado no SisPavBr (Franco, 2007) e o BAKFAA, programa da Federal Aviation Administration (FAA).

O BackMeDiNa e o BAKFAA foram desenvolvidos para trabalhar com dados oriundos de ensaios de Falling Weight Deflectometer (FWD). Dessa maneira, para o cálculo de MR foram necessárias adaptações no valor de carga do eixo e do seu raio de aplicação conforme indicado por Theisen et al. (2009). Definiu-se a carga de aplicação de 20,1kN, um quarto de 8,2tf, aplicados em uma área de 0,035 m², devido a pressão de 560kPa, correspondendo a um prato circular de 10,69 cm de raio. O critério de parada para o processo de cálculo foi baseado nos valores de erro Root Mean Square (RMS), destacando-se que o BackMedina considera valores entre 10 μ m e 5 μ m como correlação razoável e menor que 5 μ m uma boa correlação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaios de laboratório

Ao todo foram ensaiados 33 CPs com média de 99% de grau de compactação e variação de umidade igual a 0,7% em torno da ótima. O primeiro CP do subleito rompeu durante a sequência de tensões da fase de condicionamento. Logo, adotou-se a sugestão da norma e reduziu-se a fase de condicionamento e a quantidade de pares de tensão para o subleito. Nas análises foram considerados os valores médios de MR e de RCS.

As amostras de subleito compactadas na energia Proctor normal apresentaram MR médio de 190 MPa. Já as amostras sub-base e base compactadas na energia intermodificada e modificada, respectivamente, apresentaram módulos de 329 e 348 MPa, valores comumente encontrados para materiais de sub-base e base (Bernucci *et al.*, 2006). Para o solo melhorado destaca-se que a adição de 2% de cimento não gerou alteração significativa nos primeiros 7 dias, mas aos 28 dias provocou o aumento de 85,8% (647 MPa) no valor do MR. A incorporação de 3% de cimento resultou, aos 28 dias, em valor de MR igual a 1275 MPa. Já para o solo com 4% de cimento aos 28 dias de cura, o MR atingiu o valor médio de 4299 MPa. Verifica-se que, mesmo para baixos teores de cimento, poderiam ser esperados maiores valores de MR. No entanto, deve-se ressaltar que o solo estabilizado é saprolítico; se o solo utilizado fosse laterítico, talvez pudessem ter sido obtidos melhores resultados mecânicos. Rocha e Rezende (2017) obtiveram valores de MR na ordem de 4000 MPa já com 7 dias de cura para uma mistura de 4% de cimento e cascalho laterítico.

A Tabela 2.2-6 apresenta os modelos que obtiveram melhor comportamento para cada amostra. Destaca-se bons resultados para o modelo proposto pela AASTHO. Santos et al. (2019) estudaram solos semelhantes e perceberam o mesmo comportamento, destacando que, apesar da tendência brasileira em utilizar o modelo composto, é necessário realizar novas pesquisas. Verificou-se que para as amostras com adição de cimento, os resultados obtidos nos ensaios com 7 dias de cura não geraram boas previsões para nenhum dos modelos utilizados. Esse fato pode ser explicado devido às reações químicas ainda estarem muito ativas nos primeiros dias, fazendo com que a mistura do solo saprolítico com o cimento ainda não esteja estável.

Tabela 2.2-6: Modelos de previsão para as amostras

Amostra	Modelo melhor comportamento	R ²	Equação
SL	Universal AASTHO	0,74	$MR=2962,387P_a\left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{0,15919}\left(\frac{\tau_{oc}}{P_a}+1\right)^{0,18014}$
SB	Composto	0,42	$MR=347,31902\sigma_3^{0,19867}\sigma_d^{-0,23839}$
BA	Universal Uzan-Witczak	0,84	$MR=359,01772\theta^{0,63465}\tau_{oc}^{-0,14182}$
BA2C-28D	Universal AASTHO	0,93	$MR=2255,41703P_a\left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{-1,88363}\left(\frac{\tau_{oc}}{P_a}+1\right)^{2,39019}$
BA3C-28D	Universal AASTHO	0,97	$MR=28090,5077P_a\left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{0,06645}\left(\frac{\tau_{oc}}{P_a}+1\right)^{-0,74728}$
BA4C-28D	Universal AASTHO	0,93	$MR=139156,445P_a\left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{0,19956}\left(\frac{\tau_{oc}}{P_a}+1\right)^{-1,22881}$

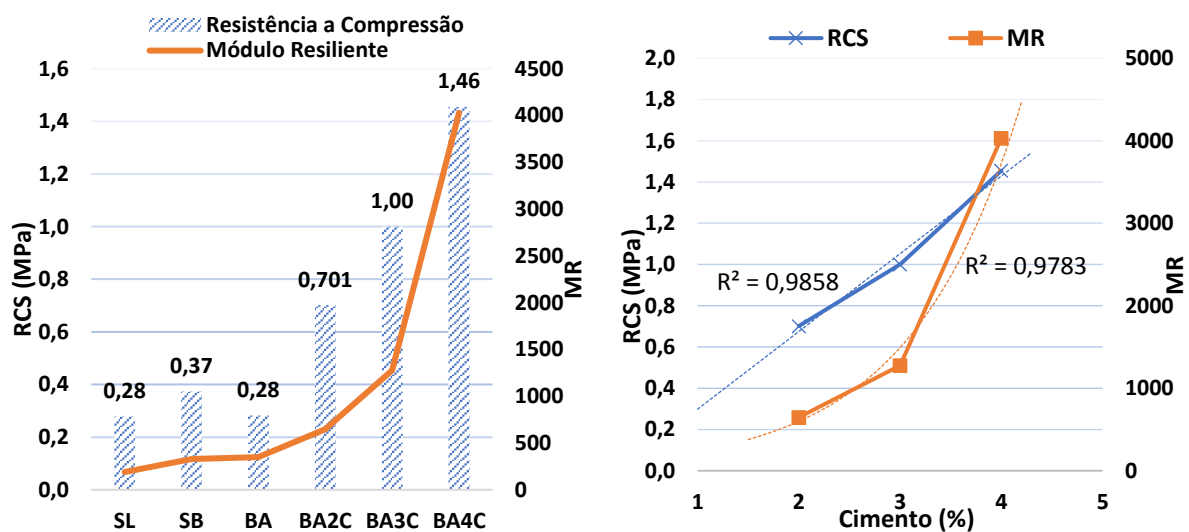


Figura 2.1.2: Resultados dos parâmetros de resistência (Cura de 28 dias): (a) MR & RCS x amostra; (b) MR & RCS x (%) cimento

Para os ensaios de RCS realizados com a amostra BA4C, os CPs foram ensaiados com 31 dias devido à disponibilidade da prensa. Os resultados de RCS aos 28 dias são apresentados juntamente com os de MR na Figura 2.1.2a. As misturas estudadas são tratadas, em princípio, como solo melhorado com cimento, visto que os teores incorporados são inferiores a 5% e nenhuma amostra atingiu a resistência de 2,1MPa, mínimo exigido pela norma ES 143 (DNIT, 2010).

Na Figura 2.1.2b tem-se o crescimento do MR e da RCS gerados pela adição de cimento, onde observa-se que o aumento de MR é mais significativo que o da RCS para o teor de 4% de cimento. Esse incremento de resistência é explicado pelas reações pozolânicas que se

desenvolvem ao longo do tempo na estabilização química de solos, sendo que o ensaio triaxial dinâmico parece ser mais sensível na obtenção do impacto da alteração do teor de cimento. Assim, a adição de 4% de cimento provocou maior aumento de rigidez, o que pode indicar que o solo está saindo da condição de melhorado com cimento e atingindo a de solo-cimento. Rocha e Rezende (2017) demonstraram, por meio de análises de microscopias, que há diferenças estruturais em função do teor de cimento incorporado ao solo e que isso irá impactar no comportamento estrutural das misturas: enquanto que para 2% de cimento não foram observadas mudanças na microestrutura, com 4% foram visualizados produtos da hidratação, que cristalizaram em forma de agulhas, geraram uma malha reticulada nos vazios dos poros e melhoria no comportamento mecânico.

3.2 Controle de execução

A Tabela 2.2-7 apresenta os resultados dos ensaios de frasco de areia e Speedy. Observa-se que nenhuma das camadas atingiu grau de compactação de 100%, sendo estas menos rígidas e mais suscetíveis a deformações. Todas as camadas apresentaram umidades inferiores à umidade ótima obtida em laboratório (variação de 2,3%, 5,1% e 4,4% nas camadas de subleito, sub-base e base, respectivamente). A falta de um controle de compactação rigoroso durante a execução tanto em termos de umidade como de densidade poderá prejudicar o desempenho da estrutura. Geralmente, quando os solos são compactados no ramo seco, podem apresentar maiores valores de sucção e resistência, mas também estão mais propensos ao desenvolvimento de trincas de retração por perda de umidade. Por outro lado, poderá ocorrer redução brusca de resistência se houver saturação.

Na

Tabela 2.2-8 são apresentados os resultados de controle de temperatura da emulsão antes da sua aplicação e os valores das taxas de agregados e emulsão em kg/m². Comparando com as taxas exigidas pela ES 147 (DNIT, 2012), percebe-se que as quantidades de agregado e emulsão tanto da primeira quanto da segunda camada atendem às especificações. Destaca-se que foi executada uma terceira aplicação de emulsão após a segunda camada ser compactada com a função de promover a coesão superficial e propiciar uma superfície mais escura para a etapa de sinalização. A norma de execução de TSD (DNIT, 2012) não cita a execução desse banho de emulsão, ao contrário de outras normas, como por exemplo a ES-P 10 (DERT, 2000) que recomenda essa prática.

Tabela 2.2-7: Controle de compactação

Camada	Estaca	Posição	W _{speedy} (%)	W _{média} (%)	W _{ótima} (%)	Δ (%)	ρ _{dcampo} (kg/m ³)	ρ _{dmédia} (kg/m ³)	ρ _{dmáx} (kg/m ³)	GC (%)
Subleito	1602	BE	18,4				1493			
	1602	BD	18,4				1501			
	1597	BE	16,6	17,5	19,8	2,3	1502	1502	1645	91,3
	1597	BD	16,5				1513			
Sub-Base	1593	BE	6,0				1662			
	1606	BD	7,5	7,9	13,0	5,1	1561	1584	1843	86,0
	1599	C	10,1				1531			
Base 2% cimento	1589	BE	6,0				1880			
	1597	C	6,2	6,1	9,7	4,4	1938	1909	2050	93,1

Nota: BE= Bordo Esquerdo; BD= Bordo Direito; C= Centro; Δ= variação umidade campo e umidade ótima; ρ_d= densidade seca; GC= Grau de Compactação.

Tabela 2.2-8: Controle executivo fo TSD

Estaca		Camadas	Posição	Material Betuminoso		Agregado
				Temp. Aplicação	Taxa	Taxa
inicial	final			°C	kg/m²	kg/m²
1602	1630	1º Camada	S/M	70,5	1,22	20,07
1602	1630		S/AF	70,5	1,26	20,20
1602	1630		C	71,0	0,94	20,26
1561	1602		S/M	71,5	1,26	20,16
1561	1602		S/AF	71,0	1,19	19,70
1561	1602		C	71,0	1,07	20,26
			média	71,0	1,16	20,11
			SD	0,35	0,13	0,21
			CV	0,5%	11,0%	1,1%
1602	1630	2º Camada	S/M	70,0	1,26	10,20
1602	1630		S/AF	70,5	1,22	10,26
1602	1630		C	70,0	1,22	10,13
1561	1602		S/M	70,0	1,22	10,46
1561	1602		S/AF	70,0	1,22	10,20
1561	1602		C	70,0	1,19	10,23
			média	70,0	1,22	10,25
			SD	0,20	0,02	0,11
			CV	0,3%	1,8%	1,1%

Nota: S/M= faixa sentido Mimoso de Goiás; S/AF= faixa sentido Água Fria de Goiás; Centro entre as faixas, SD= Desvio padrão; CV= Coeficiente de variação.

3.3 Dimensionamento do TSD

Comparando a taxa de agregado proposta por cada método com as faixas de aceitação do DNIT (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), observa-se que: a execução atendeu à norma; o método da bandeja de fundo vermelho obteve resultado bastante similar ao executado, estando também no limiar inferior da norma do DNIT; os métodos indiretos variaram de 15 a 20 l/m² nas taxas do agregado constituinte da primeira camada, todos apresentando valores maiores do que o executado e Hanson e Linckenhyl acima da faixa do DNIT; já na segunda camada apenas o método de Hanson apresentou uma diferença significativa. A média das taxas de agregados obtida pelos métodos indiretos para a primeira camada foi de 17,29 l/m², valor próximo ao máximo permitido por norma (17,75 l/m²) e superior ao método empírico (14,34 l/m²) e ao executado (14,27 l/m²). Para a segunda camada, a média da taxa pelos métodos indiretos foi de 5,72 l/m², que é menor que o mínimo solicitado pelo DNIT (6,76 l/m²) e menor também que a taxa executada (6,93 l/m²).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a comparação entre as taxas de aplicação calculada, executada e de norma. O DNIT impõe que a somatória da emulsão aplicada nas duas camadas respeite o intervalo de 2 a 3 l/m². Percebe-se que a taxa de aplicação de emulsão executada de 3 l/m², que corresponde às três aplicações, é superior à calculada pelo método da bandeja (2,39 l/m²), método que também considera a aplicação da terceira camada de emulsão. Deve-se destacar que todos os métodos teóricos determinaram taxas consideravelmente menores, com média de 1,95 l/m², mesmo com a determinação de maiores taxas de agregados. Dessa forma, conclui-se que o pavimento foi executado com emulsão em excesso. Essa constatação pode explicar o aparecimento de patologias como a exsudação.

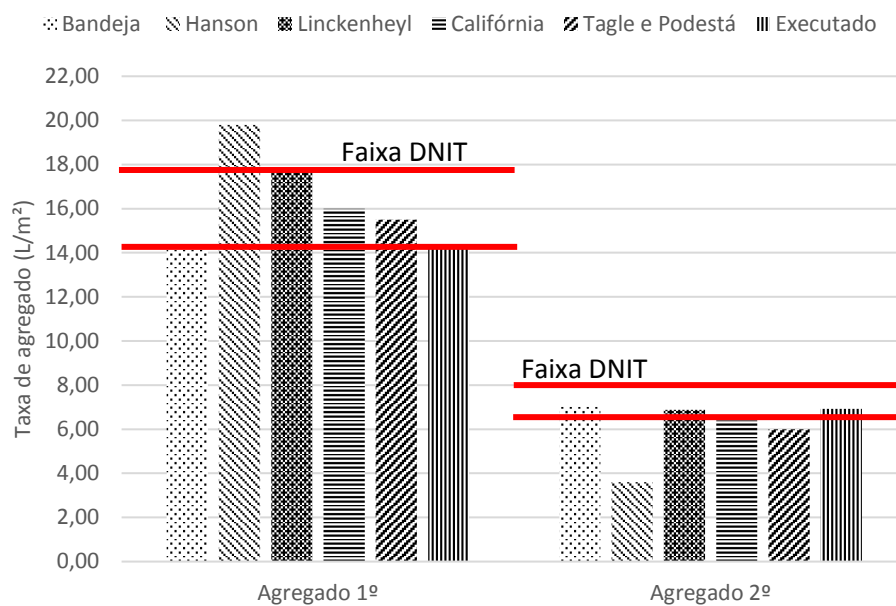


Figura 2.2: Taxas de agregado TSD

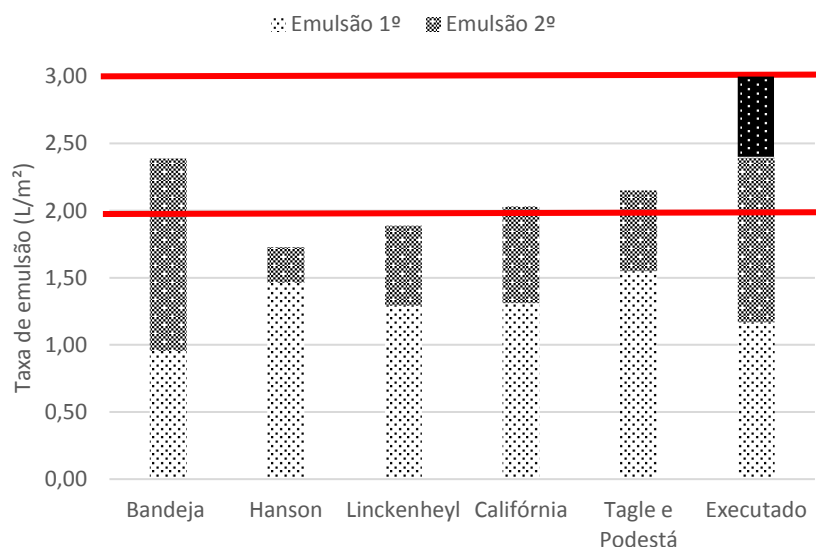


Figura 2.3: Taxas de emulsão TSD

A granulometria das britas 0 e 2 estão apresentadas na Figura 2.4, onde observa-se o enquadramento nas faixas. Os resultados das análises feitas pelo coeficiente PUC estão apresentados na

Tabela 2.2-9. Percebe-se que a amostra BR2 apresenta valor bem próximo de zero, indicando alta uniformidade e baixo risco de desenvolvimento de defeitos já que se tem apenas 8% de agregados suscetíveis ao excesso de ligante e 4% ao arrancamento. Já a amostra de BR0, agregado que compõem a camada superior do TSD, apresenta valor de PUC mais elevado, demonstrando ser não muito uniforme com maior susceptibilidade aos principais defeitos em TSD, sendo 24% de agregados suscetíveis ao excesso de ligante e 28% ao arrancamento. A Tabela 2.2-9 apresenta também os mesmos cálculos para as faixas máximas e mínimas, A e C, propostas pelo DNIT de forma a comparar os limites de aceitação da norma com relação ao excesso de ligante e a perda de agregados. É interessante perceber que as faixas são permissivas

quando comparadas à luz do PUC: a Faixa C, por exemplo, permite 36% de excesso de ligante e 28% de perda de agregado, ou seja, 64% da camada na eminência da falha.

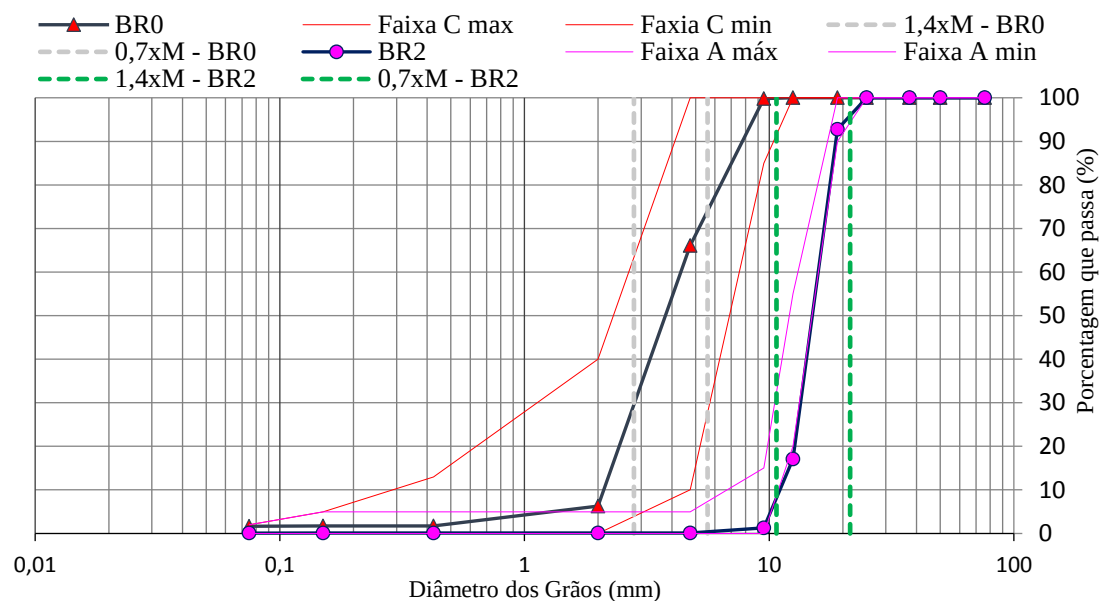


Figura 2.4: Granulometria BR0 e BR2

Tabela 2.2-9: Cálculo PUC

	BR0	Faixa C máx.	Faixa C mín.	BR2	Faixa A máx.	Faixa A mín.
M	4	2,5	7,3	15,3	12,1	15,3
0,7M	2,8	1,8	5,1	10,7	8,5	10,7
1,4M	5,6	3,5	10,2	21,4	16,9	21,4
PEM	24%	36%	18%	8%	13%	8%
P2EM	72%	72%	89%	96%	86%	94%
PUC	0,33	0,50	0,20	0,08	0,15	0,09
Excesso de ligante	24%	36%	18%	8%	13%	8%
Perda Agregado	28%	28%	11%	4%	14%	6%

Nota: M é o diâmetro correspondente a 50% do material que passa retirado diretamente da curva granulométrica do agregado; PEM é numericamente o percentual que passa, retirado da curva granulométrica do agregado, correspondente ao diâmetro 0,7M; P2EM é o percentual que passa, retirado da curva granulométrica do agregado, correspondente ao diâmetro 1,4M.

3.4 Monitoramento

Como o levantamento do tráfego foi realizado durante 13h ao longo 7 dias foi necessária a utilização de um coeficiente de expansão horária para representar as 24h. Com base no estudo de Freitas (2019), o VDM medido de 151 veículos para 13h de monitoramento foi transformado em 227 veículos para 24h. Efetuando-se a previsão do tráfego para 10 anos, com 3% de crescimento anual, obteve-se o número N igual a 6,67.105, valor inferior ao considerado no projeto da rodovia (N = 2,58.106). Destaca-se que na data do levantamento a rodovia não estava totalmente concluída, o que pode explicar o baixo tráfego de veículos pesados. A velocidade média dos veículos foi calculada dividida em três categorias: veículos leves apresentaram velocidade média de 92 km/h, valor superior ao da rodovia que é de 80km/h; veículos pesados e ônibus com 76 km/h e 77 km/h, respectivamente, ambos abaixo do limite da via.

O levantamento das deflexões e a avaliação estrutural foram realizados por meio do ensaio de viga Benkelman. A média dos valores de deflexão, raio de curvatura, coeficiente de variância e deflexão característica corrigida pelo fator sazonal são mostrados na Tabela 2.2-10. Verifica-se que até 3 meses após a abertura ao tráfego as deflexões não variaram de forma significativa. Já para o monitoramento de 6 meses, ocorreu aumento nas deflexões. Os valores obtidos podem ser considerados aceitáveis, mas o fato de as deflexões aumentarem de forma rápida pode indicar comprometimento precoce da estrutura, provavelmente associado aos materiais escolhidos para o revestimento e a base, bem como às falhas construtivas observadas durante o controle executivo.

A deflexão recuperável máxima (D0) é relevante para compreender o comportamento da estrutura, pois este valor deve ser menor do que um valor admissível. A norma PRO 11 (DNER, 1979) determina as deflexões admissíveis para o pavimento em função do número “N”. Como a rodovia foi projetada para o tráfego com o valor de $N=2,58.10^6$, definiu-se três cenários de N para os cálculos da deflexão admissível: tráfego médio ($N = 10^5$), pesado ($N = 10^6$) e muito pesado ($N = 10^7$). Os resultados obtidos foram de 134,90, 89,95 e 59,98.10⁻² mm, respectivamente.

Tabela 2.2-10: Levantamento de deflexões máximas (Valores Médios) – Monitoramento Inicial, 3 e 6 meses

Faixa.	Est. Inicial	Est. Final	Extensão	Raio Médio (m)	Deflexão Média (10 ⁻² mm)	SD (10 ⁻² mm)	CV (%)	Deflexão Característica (10 ⁻² mm)
<i>Monitoramento inicial</i>								
Total	1589	1606	340	434,08	36,22	11,39	31	47,61
S/ Água Fria	1589	1606	340	449,67	34,19	14,66	43	48,85
S/ Mimoso	1589	1606	340	418,50	38,26	6,59	17	44,85
<i>Monitoramento 3 meses</i>								
Total	1589	1606	340	731,5	33,26	11,27	34	53,44
S/ Água Fria	1589	1606	340	904,49	35,32	13,42	38	58,48
S/ Mimoso	1589	1606	340	558,51	31,20	8,53	27	47,67
<i>Monitoramento 6 meses</i>								
Total	1589	1606	340	314,43	50,21	17,76	35	81,55
S/ Água Fria	1589	1606	340	348,93	42,68	19,52	46	74,64
S/ Mimoso	1589	1606	340	279,93	57,73	12,16	21	83,87

Nota: SD= Desvio padrão; CV= Coeficiente de variação.

A avaliação estrutural é apresentada na Tabela 2.2-11 e está baseada nas deflexões admissíveis, deflexões características e raios de curvatura determinados. Para o monitoramento inicial e de 3 meses todos os pontos apresentaram qualidade estrutural boa. Já para 6 meses, a qualidade se manteve boa para os tráfegos de 10^5 e 10^6 , enquanto que para o tráfego de 10^7 diminuiu para regular. Segundo a PRO 11 (DNER, 1979), quando a deflexão característica é menor do que a admissível e o raio de curvatura maior ou igual a 100 m, o pavimento ainda não atingiu sua fase de fadiga.

A Tabela 2.2-12 apresenta o levantamento realizado para a macrotextura com o ensaio de mancha de areia e sua classificação de acordo com Aps (2006). As principais características que influenciam na textura são a distribuição granulométrica, forma e textura dos agregados (Aps, 2006). A primeira determinação da macrotextura, tempo 0, foi realizada no TSD, enquanto que as outras duas determinações, tempo 3 e 6, foram executadas após a

aplicação da lama asfáltica. O TSD tem por natureza uma macrotextura grossa e, segundo Aps (2006), tende a exceder facilmente o valor de 1 mm de altura de rugosidade. Em campo, foi constatada a altura média de rugosidade de 1,98 mm (classificação muito grosseira ou muito aberta), proporcionando maior atrito pneu-pavimento, porém maior ruído. Os outros dois levantamentos realizados após a execução da lama asfáltica apresentaram macrotexturas similares entre si, com valores de 0,52 mm e 0,56 mm, mas menores que aquela determinada para o TSD, o que era de se esperar já que a lama utiliza agregados miúdos.

Tabela 2.2-11: Avaliação estrutural

Tempo 0						
Segmento	N	Dadm (x 10 ⁻² mm)	Dp (x 10 ⁻² mm)	R(m)	Dp/Dadm	Qualidade Estrutural
Total	10 ⁵	134,90	47,61	434,08	0,35	BOA
	10 ⁶	89,95	47,61	434,08	0,53	BOA
	10 ⁷	59,98	47,61	434,08	0,79	BOA
S/ Água Fria	10 ⁵	134,90	48,85	449,67	0,36	BOA
	10 ⁶	89,95	48,85	449,67	0,54	BOA
	10 ⁷	59,98	48,85	449,67	0,81	BOA
S/ Mimoso	10 ⁵	134,90	44,85	418,50	0,33	BOA
	10 ⁶	89,95	44,85	418,50	0,50	BOA
	10 ⁷	59,98	44,85	418,50	0,75	BOA
Tempo 3						
Total	10 ⁵	134,90	53,44	731,50	0,40	BOA
	10 ⁶	89,95	53,44	731,50	0,59	BOA
	10 ⁷	59,98	53,44	731,50	0,89	BOA
S/ Água Fria	10 ⁵	134,90	58,48	904,49	0,43	BOA
	10 ⁶	89,95	58,48	904,49	0,65	BOA
	10 ⁷	59,98	58,48	904,49	0,97	BOA
S/ Mimoso	10 ⁵	134,90	47,67	558,51	0,35	BOA
	10 ⁶	89,95	47,67	558,51	0,53	BOA
	10 ⁷	59,98	47,67	558,51	0,79	BOA
Tempo 6						
Total	10 ⁵	134,90	81,55	314,43	0,60	BOA
	10 ⁶	89,95	81,55	314,43	0,91	BOA
	10 ⁷	59,98	81,55	314,43	1,36	REGULAR
S/ Água Fria	10 ⁵	134,90	74,64	348,93	0,55	BOA
	10 ⁶	89,95	74,64	348,93	0,83	BOA
	10 ⁷	59,98	74,64	348,93	1,24	REGULAR
S/ Mimoso	10 ⁵	134,90	83,87	279,93	0,62	BOA
	10 ⁶	89,95	83,87	279,93	0,93	BOA
	10 ⁷	59,98	83,87	279,93	1,40	REGULAR

Nota: Dadm= Deflexão máxima admissível; Dp= Deflexão característica; R= Raio de curvatura.

A

Segundo Aps (2006), o ideal para garantir boa aderência pneu-pavimento é obter uma textura aberta, relacionada à macrotextura, para fornecer boa drenagem à água, e rugosa, relacionada à microtextura, para romper com a lâmina d'água. Todavia, na determinação realizada após 6 meses de liberação ao tráfego foi obtida uma classificação medianamente fina e rugosa. Deve-se, portanto, avaliar a resistência à derrapagem desses agregados que promovem boa rugosidade, pois com a ação do tráfego e das intempéries a tendência é que a microtextura diminua.

Após a avaliação das micro e macrotexturas, determinou-se o International Friction Index (IFI). A constante de velocidade (Sp) é expressa em km/h e foi determinada com as medidas de macrotextura. O fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h (F60) é adimensional e foi calculado por meio dos dados de pêndulo britânico (Tabela 2.2-14). Percebe-se uma homogeneidade do atrito em todo trecho, sendo classificado como ótimo no tempo 0. Após 3 e 6 meses de liberação ao tráfego e execução da lama asfáltica, a classificação mudou para muito bom. Se calculado para a velocidade de 80 km/h, o IFI diminui, fazendo com que aos 6 meses a classificação seja reduzida para bom.

Tabela 2.2-13

Segundo Aps (2006), o ideal para garantir boa aderência pneu-pavimento é obter uma textura aberta, relacionada à macrotextura, para fornecer boa drenagem à água, e rugosa, relacionada à microtextura, para romper com a lâmina d'água. Todavia, na determinação realizada após 6 meses de liberação ao tráfego foi obtida uma classificação medianamente fina e rugosa. Deve-se, portanto, avaliar a resistência à derrapagem desses agregados que promovem boa rugosidade, pois com a ação do tráfego e das intempéries a tendência é que a microtextura diminua.

Após a avaliação das micro e macrotexturas, determinou-se o International Friction Index (IFI). A constante de velocidade (Sp) é expressa em km/h e foi determinada com as medidas de macrotextura. O fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h (F60) é adimensional e foi calculado por meio dos dados de pêndulo britânico (Tabela 2.2-14). Percebe-se uma homogeneidade do atrito em todo trecho, sendo classificado como ótimo no tempo 0. Após 3 e 6 meses de liberação ao tráfego e execução da lama asfáltica, a classificação mudou para muito bom. Se calculado para a velocidade de 80 km/h, o IFI diminui, fazendo com que aos 6 meses a classificação seja reduzida para bom.

Tabela 2.2-13 apresenta o levantamento realizado para a microtextura com o ensaio de Pêndulo Britânico e sua classificação conforme Aps (2006). Os valores iniciais médios de resistência à derrapagem foram de 68,38 BPN; já os levantamentos feitos com 3 e 6 meses após a execução da lama asfáltica apresentaram valores de 81,55 e 71,23 BPN, respectivamente. Percebe-se que a aplicação de uma nova camada aumentou a resistência à derrapagem, valor que voltou a diminuir após 6 meses muito provavelmente pelo polimento dos agregados. O manual de restauração de pavimentos asfálticos (DNIT, 2006) sugere que o valor em BPN seja maior que 55, enquanto que a altura média de rugosidade esteja entre 0,6 mm a 1,2 mm.

Tabela 2.2-12: Levantamento da macrotextura

Monitoramento tempo 0				
Faixa	Ponto	D Médio	Altura média da Rugosidade (mm) HS	Classificação
Sentido Mimoso	1591	115	2,31	Muito Grosseira ou Muito Aberta
	1595	126,25	1,92	Muito Grosseira ou Muito Aberta
	1599	136,25	1,65	Muito Grosseira ou Muito Aberta
	1603	133,75	1,71	Muito Grosseira ou Muito Aberta
Sentido Água Fria	1593	105	2,77	Muito Grosseira ou Muito Aberta
	1597	135	1,68	Muito Grosseira ou Muito Aberta
	1601	126,25	1,92	Muito Grosseira ou Muito Aberta
	1605	127,5	1,88	Muito Grosseira ou Muito Aberta
Média		125,63	1,98	Muito Grosseira ou Muito Aberta
SD		10,75	0,38	

CV		8,60%	19,40%	
Monitoramento tempo 3				
Sentido Mimoso	1591	245,42	0,51	Medianamente Fina
	1595	260,83	0,45	Medianamente Fina
	1599	258,33	0,46	Medianamente Fina
	1603	239,58	0,53	Medianamente Fina
Sentido Água Fria	1593	233,75	0,56	Medianamente Fina
	1597	236,25	0,55	Medianamente Fina
	1601	242,08	0,52	Medianamente Fina
	1605	229,17	0,58	Medianamente Fina
Média		243,18	0,52	
SD		11,3	0,05	Medianamente Fina
CV		4,60%	9,00%	
Monitoramento tempo 6				
Sentido Mimoso	1591	253,33	0,48	Medianamente Fina
	1595	253,33	0,48	Medianamente Fina
	1599	267,5	0,43	Medianamente Fina
	1603	248,33	0,5	Medianamente Fina
Sentido Água Fria	1593	211,25	0,68	Média
	1597	229,17	0,58	Medianamente Fina
	1601	213,33	0,67	Média
	1605	213,33	0,67	Média
Média		236,2	0,56	
SD		22,14	0,1	Medianamente Fina
CV		9,40%	18,70%	

Segundo Aps (2006), o ideal para garantir boa aderência pneu-pavimento é obter uma textura aberta, relacionada à macrotextura, para fornecer boa drenagem à água, e rugosa, relacionada à microtextura, para romper com a lâmina d'água. Todavia, na determinação realizada após 6 meses de liberação ao tráfego foi obtida uma classificação medianamente fina e rugosa. Deve-se, portanto, avaliar a resistência à derrapagem desses agregados que promovem boa rugosidade, pois com a ação do tráfego e das intempéries a tendência é que a microtextura diminua.

Após a avaliação das micro e macrotexturas, determinou-se o International Friction Index (IFI). A constante de velocidade (Sp) é expressa em km/h e foi determinada com as medidas de macrotextura. O fator ajustado de atrito para a velocidade de 60 km/h ($F60$) é adimensional e foi calculado por meio dos dados de pêndulo britânico (Tabela 2.2-14). Percebe-se uma homogeneidade do atrito em todo trecho, sendo classificado como ótimo no tempo 0. Após 3 e 6 meses de liberação ao tráfego e execução da lama asfáltica, a classificação mudou para muito bom. Se calculado para a velocidade de 80 km/h, o IFI diminui, fazendo com que aos 6 meses a classificação seja reduzida para bom.

Tabela 2.2-13: Levantamento microtextura

		Tempo 0		3 Meses		6 Meses	
Faixa	Est.	Média (BPN)	Classificação	Média (BPN)	Classificação	Média (BPN)	Classificação
Sentido Água Fria	1593	71,40	Rugosa	84,00	Muito Rugosa	73,80	Rugosa
	1597	65,60	Rugosa	88,20	Muito Rugosa	64,80	Rugosa
	1601	63,20	Rugosa	87,40	Muito Rugosa	69,00	Rugosa
	1605	74,80	Rugosa	70,00	Rugosa	75,40	Muito Rugosa
Sentido Mimoso	1591	55,00	Rugosa	83,00	Rugosa	73,60	Rugosa
	1595	64,60	Rugosa	77,20	Muito Rugosa	81,40	Muito Rugosa

1599	74,60	Rugosa	79,40	Muito Rugosa	57,80	Rugosa
1603	77,80	Muito Rugosa	83,20	Muito Rugosa	74,00	Rugosa
Média	68,38		81,55		71,23	
Desv. Padrão	7,61	Rugosa	5,93	Muito Rugosa	7,24	Rugosa
CV	11,1%		7,3%		10,2%	

Tabela 2.2-14: Índice de Atrito Internacional (IFI)

Índice de Atrito Internacional (IFI) - 60 km/h									
<i>Tempo 0</i>			<i>Tempo 3</i>			<i>Tempo 6</i>			
Ponto	Sp	F 60	Classif.	Sp	F 60	Classif.	Sp	F 60	Classif.
1591	250,9	0,42	Ótimo	46,0	0,28	Muito Bom	42,5	0,24	Muito Bom
1593	303,3	0,54	Ótimo	51,9	0,31	Muito Bom	66,2	0,33	Muito Bom
1595	206,2	0,46	Ótimo	39,4	0,23	Muito Bom	42,5	0,26	Muito Bom
1597	178,9	0,45	Ótimo	50,6	0,32	Muito Bom	54,5	0,26	Muito Bom
1599	175,4	0,50	Ótimo	40,4	0,24	Muito Bom	36,9	0,18	Bom
1601	206,2	0,45	Ótimo	47,6	0,30	Muito Bom	64,7	0,31	Muito Bom
1603	182,4	0,53	Ótimo	48,9	0,30	Muito Bom	44,7	0,25	Muito Bom
1605	201,9	0,52	Ótimo	54,5	0,28	Muito Bom	64,7	0,33	Muito Bom
Média	213,1	0,49		47,4	0,28		52,1	0,27	
SD	43,6	0,05	Ótimo	5,3	0,03	Muito Bom	11,9	0,05	Muito Bom
CV (%)	20,5	9,3		11,2	11,4		22,8	20,0	

Índice de Atrito Internacional (IFI) - 80 km/h									
<i>Tempo 0</i>			<i>Tempo 3</i>			<i>Tempo 6</i>			
Ponto	Sp	F 60	Classificação	Sp	F 60	Classificação	Sp	F 60	Classificação
1591	250,9	0,39	Ótimo	46,0	0,20	Bom	42,5	0,17	Bom
1593	303,3	0,51	Ótimo	51,9	0,23	Muito Bom	66,2	0,26	Muito Bom
1595	206,2	0,42	Ótimo	39,4	0,16	Bom	42,5	0,18	Bom
1597	178,9	0,41	Ótimo	50,6	0,23	Muito Bom	54,5	0,20	Bom
1599	175,4	0,46	Ótimo	40,4	0,17	Bom	36,9	0,13	Regular
1601	206,2	0,42	Ótimo	47,6	0,22	Bom	64,7	0,24	Muito Bom
1603	182,4	0,48	Ótimo	48,9	0,21	Bom	44,7	0,18	Bom
1605	201,9	0,48	Ótimo	54,5	0,21	Bom	64,7	0,26	Muito Bom
Média	213,1	0,45		47,4	0,20		52,1	0,20	
SD	43,6	0,04	Ótimo	5,3	0,03	Bom	11,9	0,05	Bom
CV (%)	20,5	9,4		11,2	13,1		22,8	23,9	

O levantamento visual realizado está apresentado pelo tipo de defeito e pela somatória total da área afetada (**Erro! Autoreferência de indicador não válida.**). Percebe-se que os defeitos aumentaram ao longo do tempo. A exceção foi a exsudação que, na faixa sentido Mimoso, aos 6 meses apresentou menor área afetada que em 3 meses provavelmente pelo fato de que as exsudações anteriores já teriam “secado”, tornando-se imperceptíveis. Salienta-se que, com apenas 6 meses, notou-se o aparecimento de trincas transversais isoladas no revestimento, fato que não é esperado no TSD e pode estar relacionado a trincas de retração na base devido à baixa umidade de compactação constatada durante o controle executivo. Esse fato deverá ser melhor avaliado nos próximos monitoramentos.

Tabela 2.2-15: Levantamento Visual – Monitoramento inicial, 3 e 6 meses

Faixa	CÓDIGO	<i>Tempo 0</i>	<i>Tempo 3 meses</i>	<i>Tempo 6 meses</i>
		Área (m²)	Área (m²)	Área (m²)

Sentido Água Fria	Agregado polido	-	0,07	1,16
	Desgaste de superfície do pavimento	0,01	1,10	6,99
	Exsudação	0,04	1,32	1,64
	Ondulação	0,02	0,02	0,28
	Panela	0,02	0,03	0,12
	Remendo	-	-	0,01
	Trinca isolada transversal	-	-	-
Sentido Mimoso	Agregado polido	-	0,10	0,25
	Desgaste de superfície do pavimento	-	0,69	0,91
	Exsudação	0,06	4,26	0,11
	Ondulação	-	0,06	0,04
	Panela	-	0,06	0,57
	Remendo	-	-	-
	Trinca isolada transversal	-	-	0,04

Tabela 2.2-16: Levantamento ATR - Monitoramento 6 meses.

Tempo 6 meses						
Estaca	Sentido Água Fria			Sentido Mimoso		
	Esq. (cm)	Dir. (cm)	Média (cm)	Esq. (cm)	Dir. (cm)	Média (cm)
1589	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20
1590	0,10	0,20	0,15	0,10	0,30	0,20
1591	0,20	0,20	0,20	0,00	0,30	0,15
1592	0,40	0,30	0,35	0,00	0,20	0,10
1593	0,20	0,30	0,25	0,00	0,30	0,15
1594	0,20	0,30	0,25	0,30	0,20	0,25
1595	0,20	0,40	0,30	0,20	0,40	0,30
1596	0,10	0,30	0,20	0,20	0,30	0,25
1597	0,20	0,40	0,30	0,20	0,30	0,25
1598	0,20	0,30	0,25	0,20	0,30	0,25
1599	0,40	0,40	0,40	0,20	0,30	0,25
1600	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,25
1601	0,50	0,60	0,55	0,20	0,30	0,25
1602	0,30	0,20	0,25	0,10	0,30	0,20
1603	0,30	0,20	0,25	0,00	0,50	0,25
1604	0,50	0,80	0,65	0,30	0,50	0,40
1605	0,40	0,80	0,60	0,10	0,10	0,10
1606	0,50	0,40	0,45	0,20	0,30	0,25
Média	0,28	0,36	0,32	0,15	0,30	0,23
SD	0,15	0,20	0,16	0,10	0,10	0,07
CV	53%	57%	51%	66%	32%	32%

A Tabela 2.2-16 apresenta o levantamento de ATR obtido após 6 meses. Os valores encontrados para deformação permanente estão dentro do esperado para um pavimento com menos de um ano de liberação ao tráfego (deformações médias em torno de 2 e 3 mm) e similares a valores encontrados por Pérez (2016). No entanto, em alguns locais foram observados valores maiores de 8 mm. Para deformação permanente é considerado o valor de 7 mm como alarmante e 10 mm como o máximo permitido durante a vida útil de uma via considerada como Sistema Arterial Principal, segundo o método MeDiNa. Calculou-se também o Índice de Gravidade Global (IGG), segundo a norma PRO 006 (DNIT, 2003). Para o tempo de 6 meses o pavimento da faixa sentido Água Fria foi classificado como Ruim (IGG = 81) e sentido Mimoso como Regular (IGG = 55).

3.5 Análise estrutural

O programa MeDiNa não considera o dano à fadiga quando se trata de TSD, ficando a análise de desempenho relacionada ao ATR. Ao final dos 10 anos de projeto, obteve-se a previsão de ATR total igual a 6,90 mm. Comparando o previsto pelo programa para 6 meses de utilização (5,79 mm) e o medido pelo monitoramento (média de 1,50 mm a 3,60 mm), percebe-se que a previsão está maior. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de não existir ainda, neste trabalho, dados reais de deformação permanente obtidos para os solos utilizados no pavimento. De qualquer forma, observa-se que em 6 meses de monitoramento já ocorreram, em média, entre 30% e 46% do total previsto.

A Figura 2.5No entanto, o aumento das tensões em (x) não resulta em uma maior deformação nesse eixo. Ao contrário, verifica-se que as deformações em (x) assim como as em (z) diminuíram com o aumento da rigidez da camada (Figura 2.5d). apresenta o perfil do trecho estudado para a análise das tensões e deformações. Os valores positivos indicam que o ponto está em tração, enquanto os valores negativos, compressão. Com relação às tensões ao longo da profundidade (σ_z), elas se dissipam de forma semelhante mesmo com a alteração do material de base. Os deslocamentos gerados na profundidade (U_z) foram altos na sub-base e no subleito (6,4 mm e 14,4 mm, respectivamente), enquanto que na base foi de 1,4 mm. Assim, o subleito foi responsável por 65,1% do deslocamento, o que está em concordância com o seu menor desempenho resiliente. É interessante perceber que com o aumento do teor de cimento na base, e consequentemente da rigidez, as deformações totais diminuíram.

A Figura 2.5**Erro! Fonte de referência não encontrada.**c apresenta o perfil dos deslocamentos específicos na profundidade (E_z). O subleito é a camada que apresenta o pior desempenho. Destaca-se a redução das deformações em função da alteração do material de base. Pela análise das tensões ao longo da distância perpendicular ao rolamento (σ_x), Figura 2.5b, as maiores tensões ocorrem na interface entre a base e a sub-base e essas tensões aumentam a medida em que a rigidez da base também aumenta. O acréscimo das tensões na fibra inferior da base pode resultar no aparecimento de trincas que irão refletir para o revestimento.

No entanto, o aumento das tensões em (x) não resulta em uma maior deformação nesse eixo. Ao contrário, verifica-se que as deformações em (x) assim como as em (z) diminuíram com o aumento da rigidez da camada (Figura 2.5d). Ranadive e Tapase (2016) verificaram que o aumento do módulo da camada de base reduz os danos de ATR, fato também observado por Das e Pandey (1999), Hadi e Bodhinayake (2003) e Behiry (2012). Essa análise mostrou que a estrutura construída apresenta elevados deslocamentos nas camadas inferiores, sendo que essa constatação, aliada a outros problemas executivos já comentados no texto, irá contribuir para o aparecimento de patologias.

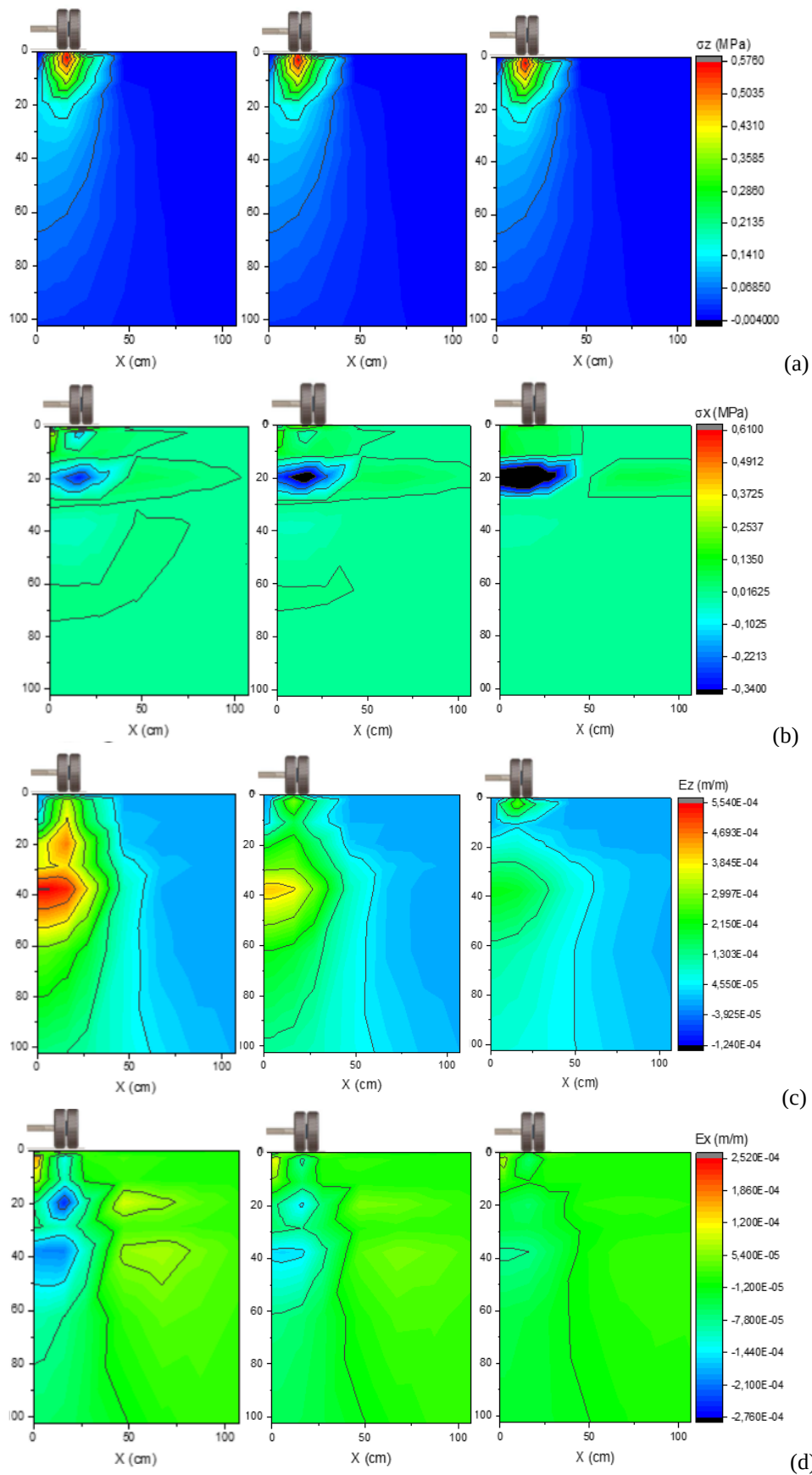


Figura 2.5: Análise Estrutural (2%, 3% e 4%): (a) Tensão na direção z (MPa); (b) Tensão na Direção x (MPa); (c) Deformação Específica em Z (m/m); (d) Deformação Específica em X (m/m).

3.6 Retroanálise

A Figura 2.6 apresenta as bacias de deflexão médias para cada faixa nos três tempos de monitoramentos comparadas às bacias calculadas pelos programas de retroanálise. Observa-se que os valores de módulos retroanalísados (1928, 586 e 271 MPa para base, sub-base e subleito, respectivamente) foram superiores aos encontrados em laboratório. Uma das hipóteses para essa diferença é de que a umidade abaixo da ótima utilizada em campo pode ter resultado no aumento da sucção do solo, o que segundo Santos (2019) e Freitas (2019) geraria aumento do MR. Os valores de erro obtidos pelo BackMedina foram menores que os do BakFaa e o BackMedina conseguiu ajustar melhor a curva medida independente do formato da mesma.

Com apenas 6 meses de monitoramento e com a elevada dispersão apresentada pelos resultados obtidos com a retroanálise de dados oriundos da viga Benkelman, não foi possível determinar um comportamento crescente ou decrescente dos valores MR para esse curto período de tempo.

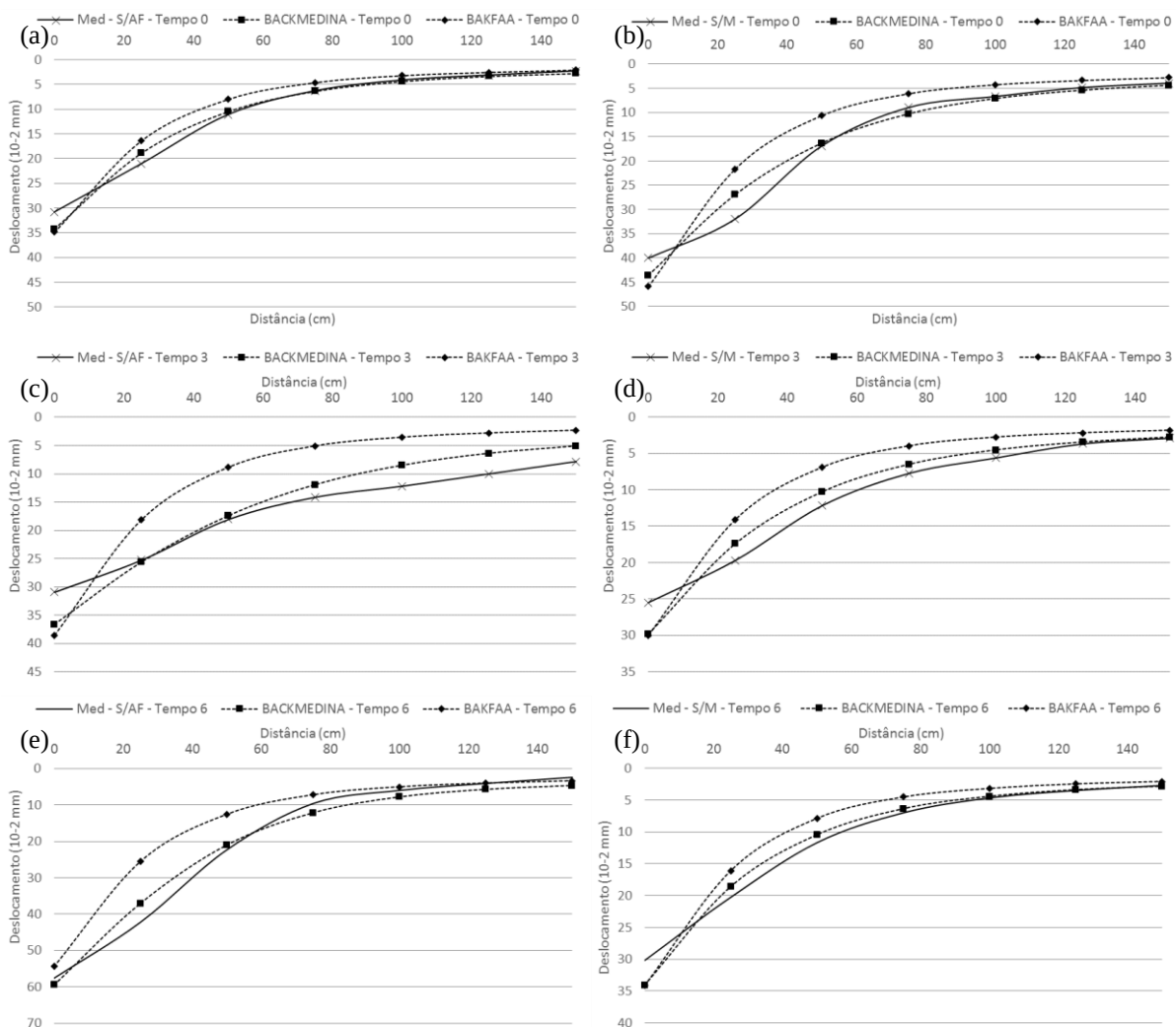


Figura 2.6: Bacias de deslocamento medidas x calculadas - a) Tempo 0 – S/ Água Fria b) Tempo 0 - S/ Mimoso c) Tempo 3 - S/ Água Fria d) Tempo 3 - S/ Mimoso e) Tempo 6 - S/ Água Fria f) Tempo 6 - S/ Mimoso

4. CONCLUSÕES

Após estudo laboratorial e monitoramento inicial em campo do trecho implantado na GO-230, concluiu-se que:

- Os sistemas de classificações internacionais são falhos quando se tratam de solos tropicais, visto que as amostras de sub-base e base têm a mesma classificação TRB, SUCS e FERET, mas diferem quando comparados à luz da metodologia MCT;
- Os parâmetros de resistência obtidos em laboratório mostram que os materiais utilizados na podem apresentar bom comportamento desde que compactados na umidade e na densidade ideais, fato que não foi atendido na execução conforme demonstrado no controle de compactação;
- A incorporação de 2% de cimento ao solo da base gerou melhoria de suas propriedades. A adição de maiores teores elevou os parâmetros de resistência para outro patamar e deixou a base mais rígida. A questão é que como a base melhorada com 2% de cimento foi compactada numa umidade abaixo da ótima, esse procedimento pode ter gerado a formação de trincas de retração na camada com reflexão para o revestimento;
- Quando o dimensionamento do TSD é avaliado, percebeu-se que as faixas de aceitação do DNIT para a aplicação de agregados e emulsão são amplas e genéricas. O agregado que compõe a camada superior do TSD apresentou elevado valor de PUC, tendo mais de 50% da camada propensa ao arrancamento ou à exsudação, corroborando com os defeitos encontrados. Recomenda-se a utilização do coeficiente PUC para o auxílio na escolha dos agregados a serem utilizados para TSD, visto sua fácil implementação e sua importância para a prevenção de patologias;
- A macrotextura medida no TSD apresentou significativa alteração devido à aplicação da lama asfáltica, enquanto que a microtextura não, visto que o valor obtido para 6 meses de liberação ao tráfego foi similar ao encontrado no monitoramento inicial;
- A análise estrutural mostrou elevadas deformações na sub-base e no subleito, provavelmente devido ao menor desempenho resiliente dos solos selecionados. A análise da estrutura para maiores teores de cimento mostrou que o aumento da rigidez gerou aumento das tensões horizontais na interface base/sub-base, mas diminuiu as deformações geradas e os consequentes deslocamentos que as camadas apresentavam;
- No processo de retroanálise foram obtidos maiores valores de módulo do que aqueles determinados em laboratório, provavelmente devido aos menores valores de umidade utilizados em campo;
- A principal questão ao ser avaliada é se uma estrutura de pavimento composta por subleito, sub-base e base compactados em umidades e densidade menores que os valores ideais, por uma base melhorada com cimento que ainda irá apresentar aumento de sua rigidez ao longo do tempo coberta por uma camada delgada de TSD, irá apresentar bom desempenho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao financiamento e ao apoio da Companhia de Petróleo Brasileiro (PETROBRAS), da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), do Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA).

REFERÊNCIAS

ABNT (1992) *NBR 12770: Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

- ABNT (2012) NBR 12025: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- APS, MÁRCIA (2006) *Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos*. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 179p.
- BEHIRY, A. E. A. E. (2012) Fatigue and rutting lives in flexible pavement. *Ain Shams Engineering Journal*, [s.l.], v. 3, n. 4, p.367-374. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2012.04.008>.
- BERNUCCI, L. B., CERATTI, J. A. P., MOTTA, L. M. G., et al., Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro, PETROBRAS-ABEDA, 2006. 3ª Reimpressão, 2010.
- BUENO, L.D. (2016) *Avaliação deflectométrica e de rigidez: estudo de caso em três trechos monitorados em Santa Maria/RS*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFSM/RS, Santa Maria, 460p.
- CNT (2019) *Boletins técnicos CNT*. Confederação Nacional Do Transporte (Org.) Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2019. 48 p.
- DAS, A.; PANDEY, B. B. (1999) Mechanistic-Empirical Design of Bituminous Roads: An Indian Perspective. *Journal of Transportation Engineering*, [s.l.], v. 125, n. 5, p.463-471, set. 1999. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(1999\)125:5\(463\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(1999)125:5(463))
- DERT (2000) CE. ES-P 11/00 Tratamento Superficial Duplo. *Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Pavimentação*. Departamento de edificações, rodovias e transportes Fortaleza, Ceará
- DNER (1979) Norma 011/79 *Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis*. Departamento nacional de estradas de rodagem, Rio de Janeiro, 1979. 16p.
- DNER (1994) ME 052: Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”. . Departamento nacional de estradas de rodagem Brasil, 1994. 4p.
- DNER (1994) ME 092: Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Departamento nacional de estradas de rodagem Brasil, 1994. 5p.
- DNIT (2003) *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento*. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Rio de Janeiro. Ministério dos transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. 10 p.
- DNIT (2006) *Manual de estudos de tráfego*. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Rio de Janeiro. Publicação IPR – 723. Ministério dos transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. 388 p.
- DNIT (2006) *Manual de restauração pavimentos asfálticos*. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Rio de Janeiro. Publicação IPR – 720. Ministério dos transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. 314 p.
- DNIT (2010) ES 139: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 8p.
- DNIT (2010) ES 142: Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento - Especificação de serviço. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 9p.
- DNIT (2010) ES 143: Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 10p.
- DNIT (2012) ES 137: Pavimentação – Regularização do subleito - Especificação de serviço. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 7p.
- DNIT (2012) ES 147: Pavimentação asfáltica – Tratamento Superficial Duplo. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 10p.
- DNIT (2013) EM 165: Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 5p.
- DNIT (2017) ME 134: Determinação do módulo de resiliência de solos. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 11p.
- DNIT (2018) ME 181: Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Departamento nacional de infraestrutura de transportes Brasil, 16p.
- FRANCO, F.A.C.P. (2007) *Método de Dimensionamento Mecanístico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav*. 294p. Tese (Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- FREITAS, J.B. (2019) *Análise de parâmetros para projetos mecanísticos-empíricos de pavimentos asfálticos em goiás*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFG/GO, Goiânia, 212p.
- HADI, M. N.s.; BODHINAYAKE, B. (2003) Non-linear finite element analysis of flexible pavements. *Advances In Engineering Software*, [s.l.], v. 34, n. 11-12, p.657-662, Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0965-9978\(03\)00109-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0965-9978(03)00109-1).
- HUANG, Y. H. (2003) *Pavement Analysis and Design*. 2. ed. [s.l.]: Pearson, 792 p.
- JUNIOR, J. G. S. (2018) *Aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos a trechos de uma rodovia federal*. Dissertação M. Sc. UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
- LOIOLA, P.R.R. (2009) *Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em tratamentos superficiais de rodovias*. 206p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). UFC/CE, Fortaleza.

- MEDRADO, W. A. (2009) *Caracterização Geotécnica de Solos da Região Norte de Minas Gerais para Aplicação em Obras Rodoviária*. Dissertação M.Sc. Escola de Minas / UFOP, Ouro Preto – MG.
- PÉREZ, J.S.L. (2016) *Avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis dos segmentos monitorados de urubici e itapoá*. 333p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil). UFSC/SC, Florianópolis.
- PINTO, S. (2002) *Tratamento Superficial Betuminoso*. Instituto Militar de Engenharia – IME/RJ.
- RANADIVE, M.s.; TAPASE, A. B. (2016) Parameter sensitive analysis of flexible pavement. *International Journal Of Pavement Research And Technology*, [s.l.], v. 9, n. 6, p.466-472, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.12.001>.
- REDE TEMÁTICA DE ASFALTO. (2010) *Manual de execução de trechos monitorados*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. 95 p.
- ROCHA, M. T; REZENDE, L. R. Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. *Matéria* (rio de Janeiro), [s.l.], v. 22, n. 4, p.1-25, 2 out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170004.0229>.
- SANTIAGO L.S, SOARES J.B. (2015) Contribuições ao desenvolvimento do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos no Brasil. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet*. Ouro Preto. P 160-171.
- SANTOS, Thaís Aquino dos et al. (2019) Avaliação da resistência e da deformação resiliente de quatro solos de subleitos rodoviários no estado do Rio Grande do Sul. *Transportes*, [s.l.], v. 27, n. 1, p.48-64, 30 abr. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v27i1.1531>.
- SILVA, R. C.; BARROSO, S. H. A.; KIM, Y. R. (2018) Introdução do coeficiente de uniformidade para avaliação de revestimentos asfálticos do tipo tratamentos superficiais. *Transportes*, [s.l.], v. 26, n. 1, p.42-53, 30 abr. 2018. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v26i1.1371>
- SILVA, R.C. (2018) *Avaliação da dosagem dos tratamentos superficiais por penetração de rodovias baseada na exsudação e na perda de agregados*. 2018. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). UFC/CE, Fortaleza.
- THEISEN, K.M.; MATTOS, J. R. G.; TREICHEL, D. S.; CERATTI, J. A. P. (2009) Método de retroanálise de bacias obtidas por carregamento de eixo padrão através do uso de softwares adaptados para fwd. *Seminário de engenharia geotécnica do Rio Grande do Sul*. Pelotas.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta etapa são apresentadas as conclusões obtidas nesta pesquisa a partir dos resultados e análises realizadas. Também são apresentadas sugestões para a realização de pesquisas futuras.

3.1 CONCLUSÕES

Após o estudo laboratorial e o acompanhamento inicial em campo do trecho monitorado implantado na GO-230, este trabalho chegou em algumas conclusões. Quanto ao comportamento dos materiais utilizados para a execução das camadas percebe-se que os sistemas de classificações internacionais são falhos quando se tratam de solos tropicais brasileiros, visto que as amostras SB e BA têm a mesma classificação TRB, SUCS e FERET mas diferem quando comparados à luz da metodologia MCT e, conseqüentemente poderão apresentar comportamentos distintos.

Os parâmetros de resistência obtidos em laboratório mostram que os materiais utilizados na estrutura do pavimento podem apresentar bom comportamento desde que compactados na umidade e na densidade ideais, fato que não foi atendido na execução conforme demonstrado no controle de compactação realizado, as camadas foram executadas com o solo a baixo da umidade ótima e com grau de compactação menor que 100%, tornando este trecho extremamente fértil para o aparecimento o aparecimento de trincas, como já foi relatado aos seis meses de utilização.

A incorporação de 2% de cimento ao solo da base gerou melhoria de suas propriedades. A adição de maiores teores eleva os parâmetros de resistência para outro patamar e deixa a base bem mais rígida, apresentando módulo resiliente correspondente a solos cimentos mesmo não apresentando resistência a compressão mínima exigida em norma. A questão é que como a base melhorada com 2% de cimento foi compactada numa umidade abaixo da ótima, esse procedimento pode ter gerado a formação de trincas de retração na camada com reflexão para o revestimento. Esse fato que pode prejudicar o desempenho do pavimento ao longo do tempo é ainda agravado pela utilização de cimento na camada de base, uma vez que esse aglomerante usa parte da água no solo para sua hidratação.

Quando o dimensionamento do TSD é avaliado, percebe-se que as faixas de aceitação do DNIT para a aplicação de agregados e emulsão são amplas e genéricas, amplas porque as faixas de aplicação máxima e mínima representam grande intervalos, de até 2 L/m² de agregado por

exemplo, e são genéricas por não levar em consideração as características do agregado para sua definição. O agregado que compõe a camada superior do TSD, executado no trecho, apresentou alto valor de PUC, tendo mais de 50% da camada propensa ao arrancamento ou à exsudação, corroborando com os elevados valores de defeitos encontrados nos monitoramentos. Recomenda-se, portanto, a utilização do coeficiente PUC, durante o processo de dimensionamento, para o auxílio na escolha dos agregados a serem utilizados para Tratamentos Superficiais, visto sua fácil implementação e sua importância para a prevenção das patologias mais recorrentes nesse tipo de revestimento.

A macrotextura medida no TSD apresentou significativa alteração devido à aplicação da camada de lama asfáltica, enquanto que a microtextura não, visto que o valor obtido para 6 meses de liberação ao tráfego é similar ao encontrado no monitoramento inicial.

A análise estrutural mostrou elevadas deformações nas camadas de sub-base e subleito da estrutura projetada e também altos deslocamentos de 6,4 e 14,4 mm respectivamente, o que é coerente ao baixo desempenho resiliente dos solos. A análise da estrutura feita aumentando o teor de cimento da base para valores de 3% e 4% mostrou que o aumento da rigidez gerou o aumento das tensões horizontais na interface base/sub-base, o que pode acarretar no desenvolvimento de trincas na camada, mas diminuiu as deformações geradas e os consequentes deslocamentos que as camadas apresentavam;

No processo de retroanálise foram obtidos maiores valores de módulo do que aqueles determinados em laboratório, provavelmente devido aos menores valores de umidade utilizados em campo. A principal questão a ser avaliada é se uma base melhorada com cimento compactada no ramo seco e que irá apresentar aumento de sua rigidez ao longo do tempo coberta por uma camada delgada de TSD irá apresentar bom desempenho ao longo do tempo.

3.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Para melhor contribuição para o entendimento do comportamento mecânico de pavimentos asfálticos, faz-se algumas sugestões, tais como:

- Avaliação do coeficiente PUC para Tratamentos Superficiais Múltiplos, por meio de ensaios de perda de agregados como o *Wet Track Abrasion Test* e *Swep Test* adaptado e ensaio para medição da exsudação como o *Loaded Wheel Test*;
- Comparação dos resultados de retroanálise obtidos com os dados de ensaio de viga Benkelman com novos resultados obtidos através do ensaio FWD;

- Descrição da evolução dos defeitos no trecho estudado por um período maior de tempo, por meio da continuação do monitoramento;
- Avaliação da macro e microtextura do revestimento por meio da metodologia de fotogrametria;
- Realização do ensaio de RCS em corpos de prova virgens e após submetidos ao ensaio de MR para verificar a influência ou não do aproveitamento dos corpos de prova nos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 2p.
- ABNT _____. **NBR 12770**: Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992. 4p.
- APS, MÁRCIA (2006). **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos**. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2006. 179p.
- BEHIRY, A. E. A. E. Fatigue and rutting lives in flexible pavement. **Ain Shams Engineering Journal**, [s.l.], v. 3, n. 4, p.367-374, dez. 2012. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2012.04.008>.
- BERNUCCI, L. B., CERATTI, J. A. P., MOTTA, L. M. G., et al., Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro, PETROBRAS-ABEDA, 2006. 3ª Reimpressão, 2010.
- BUENO, L.D. **Avaliação deflectométrica e de rigidez: estudo de caso em três trechos monitorados em Santa Maria/RS**. 2016. 460p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFSM/RS, Santa Maria, 2016.
- CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (Org.). **Boletins técnicos CNT**. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2019. 48 p.
- DAS, A.; PANDEY, B. B.. Mechanistic-Empirical Design of Bituminous Roads: An Indian Perspective. *Journal Of Transportation Engineering*, [s.l.], v. 125, n. 5, p.463-471, set. 1999. **American Society of Civil Engineers (ASCE)**.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(1999\)125:5\(463\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(1999)125:5(463))
- DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES, RODOVIAS E TRANSPORTES – DERT-CE. ES–P 11/00 (2000). Tratamento Superficial Duplo. Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Pavimentação. Fortaleza, Ceará
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma 011/79 Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 1979. 16p.
- DNER _____. **ME 052**: Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”. Brasil, 1994. 4p.
- DNER _____. **ME 092**: Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Brasil, 1994. 5p.
- DNIT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro. Publicação IPR – 723. Ministério dos transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. 2006. 388 p.
- DNIT _____. **PRO 006**: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Brasil, 2003. 10p.

- DNIT_____. **EM 165:** Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material. Brasil, 2013. 5p.
- DNIT_____. **ES 137:** Pavimentação – Regularização do subleito - Especificação de serviço. Brasil, 2010. 7p.
- DNIT_____. **ES 139:** Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Brasil, 2010. 8p.
- DNIT_____. **ES 142:** Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço. Brasil, 2010. 10p.
- DNIT_____. **ES 143:** Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento - Especificação de serviço. Brasil, 2010. 9p.
- DNIT_____. **ES 147:** Pavimentação asfáltica – Tratamento Superficial Duplo. Brasil, 2012. 10p.
- DNIT_____. **Manual de restauração pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro. Publicação IPR – 720. Ministério dos transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. 2006. 314 p.
- DNIT_____. **ME 134:** Determinação do módulo de resiliência de solos. Brasil, 2017. 11p.
- DNIT_____. **ME 181:** Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Brasil, 18. 16p.
- FRANCO, F.A.C.P. **Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav.** 2007. 294p. Tese (Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- FREITAS, J.B. (2019) **Análise de parâmetros para projetos mecânicos-empíricos de pavimentos asfálticos em goiás.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFG/GO, Goiânia, 212p (2019).
- HADI, M. N.s.; BODHINAYAKE, B.c.. Non-linear finite element analysis of flexible pavements. **Advances In Engineering Software**, [s.l.], v. 34, n. 11-12, p.657-662, dez. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0965-9978\(03\)00109-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0965-9978(03)00109-1).
- HUANG, Y. H. **Pavement Analysis and Design.** 2. ed. [s.l.]: Pearson, 2003. 792 p.
- JUNIOR, J. G. S. **Aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos a trechos de uma rodovia federal.** Dissertação M. Sc. UFRJ, Rio de Janeiro – RJ. 2018.
- LEE, J. S. E KIM, Y. R. (2008) Understanding the Effects of Aggregate and Emulsion Application Rates on Performance of Asphalt Surface Treatments. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2044, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C., p. 71–78. DOI: 10.3141/2044-08b
- LOIOLA, P.R.R. **Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em tratamentos superficiais de rodovias.** 2009. 206p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). UFC/CE, Fortaleza, 2009

- MEDRADO, W. A. **Caracterização Geotécnica de Solos da Região Norte de Minas Gerais para Aplicação em Obras Rodoviária**. Dissertação M.Sc. Escola de Minas / UFOP, Ouro Preto – MG. 2009
- PÉREZ, J.S.L. **Avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis dos segmentos monitorados de urubici e itapoá**. 2016. 333p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil). UFSC/SC, Florianópolis, 2016.
- PINTO, S. (2002) **Tratamento Superficial Betuminoso**. Instituto Militar de Engenharia – IME/RJ.
- RANADIVE, M.s.; TAPASE, A. B. Parameter sensitive analysis of flexible pavement. **International Journal Of Pavement Research And Technology**, [s.l.], v. 9, n. 6, p.466-472, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.12.001>.
- REDE TEMÁTICA DE ASFALTO. **Manual de execução de trechos monitorados**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2010. 95 p.
- ROCHA, M. T; REZENDE, L. R. Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. **Matéria** (rio de Janeiro), [s.l.], v. 22, n. 4, p.1-25, 2 out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170004.0229>.
- SANTIAGO L.S, SOARES J.B. Contribuições ao desenvolvimento do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos no Brasil. **XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet**. Ouro Preto. 2015. P 160-171.
- SANTOS, Thaís Aquino dos et al. Avaliação da resistência e da deformação resiliente de quatro solos de subleitos rodoviários no estado do Rio Grande do Sul. **Transportes**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.48-64, 30 abr. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v27i1.1531>.
- SILVA, R. C.; BARROSO, S. H. A.; KIM, Y. R. Introdução do coeficiente de uniformidade para avaliação de revestimentos asfálticos do tipo tratamentos superficiais. **Transportes**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.42-53, 30 abr. 2018. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v26i1.1371>
- SILVA, R.C. **Avaliação da dosagem dos tratamentos superficiais por penetração de rodovias baseada na exsudação e na perda de agregados**. 2018. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). UFC/CE, Fortaleza, 2018
- THEISEN, K.M.; MATTOS, J. R. G.; TREICHEL, D. S.; CERATTI, J. A. P. Método de retroanálise de bacias obtidas por carregamento de eixo padrão através do uso de softwares adaptados para fwd. **Seminário de engenharia geotécnica do Rio Grande do Sul**. Pelotas 2009.

ANEXO A – PROCEDIMENTO REDE PARA O LEVANTAMENTO DE DEFEITOS DOS PAVIMENTOS

Para o levantamento dos defeitos dos pavimentos, foi criada uma metodologia específica para esta pesquisa, baseada nos procedimentos do DNIT (DNIT 005/2003-TER) e do SHRP (SHRP, 1993), descrita a seguir. O levantamento de defeitos será realizado através do caminhar em toda a extensão do Trecho Monitorado, considerando os tipos de defeitos apresentados na Tabela AN.1. Não foi escolhido o método tradicional do DNIT 006/2003 - do IGG, tendo em vista seu caráter amostral e não identificação individual dos defeitos para posterior acompanhamento do crescimento dos mesmos, e o fato do Trecho Monitorado ser curto, o que não daria boa representatividade aos levantamentos.

Os defeitos do tipo Trincas estão divididos em quatro tipos: Isoladas, Interligadas, de Reflexão e de Borda. As Trincas Isoladas estão subdivididas em Transversais e Longitudinais, perpendiculares e paralelas ao eixo do pavimento, respectivamente, e podem localizar-se dentro ou fora das trilhas de roda. Porém não são diferenciadas quanto ao seu comprimento (curtas ou longas).

As Trincas Interligadas são constituídas por dois grupos: Fadiga e em Bloco. As Trincas Interligadas de Fadiga são aquelas causadas pelas cargas repetidas do tráfego de veículos e geralmente têm formato de “couro de jacaré”, com espaçamento inferior a 30 cm. Já as Trincas Interligadas em Blocos são aquelas que dividem o pavimento em retângulos, também estão associadas às cargas repetidas e geralmente aparecem em revestimentos sobre bases coesivas ou cimentadas.

As Trincas de Reflexão são causadas por trincas ou juntas das camadas inferiores ou por contrações das subcamadas. As Trincas de Bordas ocorrem geralmente onde o acostamento não é pavimentado, ficando a uma distância igual ou inferior a 50 cm da extremidade do pavimento.

A severidade dos defeitos tipo Trincas divide-se em dois níveis: Baixa e Alta, sem e com erosão nas bordas, respectivamente. No caso de Trincas Interligadas com movimentação das placas ou bombeamento, considerar a severidade como sendo alta.

A classe de defeitos associada aos afundamentos está dividida em dois tipos: Afundamentos de Trilha de Roda; e Afundamentos Localizados. O primeiro tipo está subdividido em afundamento apenas do revestimento (cisalhamento do revestimento asfáltico) e afundamento estrutural, causado pela consolidação das camadas ou pela deficiência estrutural de uma ou mais

subcamadas do pavimento. Os defeitos do tipo Afundamentos Localizados podem estar ou não associados às trilhas de roda, porém sempre com extensão inferior a 6 metros.

Tabela AN.1 - Tipos de defeitos dos pavimentos considerados nesta pesquisa

Defeitos			Código	Severidade	
				Baixa	Alta
Trincas	Isoladas	Transversais	TIT	TIT-B	TIT-A
		Longitudinais	TIL	TIL-B	TIL-A
	Interligadas	De Fadiga	TIF	TIF-B	TIF-A
		Em Bloco	TIB	TIB-B	TIB-A
	De Reflexão		TRE	TRE-B	TRE-A
	Nos Bordos		TBO	TBO-B	TBO-A
Afundamentos de Trilha de Roda	Apenas Revestimento		ATR	ATR-B	ATR-A
	Estrutural		ATE	ATR-B	ATR-A
Afundamentos Localizados			AFL	NA	
Ondulações/ Corrugações			OND	NA	
Escorregamentos do Revestimento Asfáltico			ERA	NA	
Exsudações / Espelhamentos			EXS	NA	
Desgastes da Superfície do Revestimento			DSR	DSR-B	DSR-A
Painéis ou Buracos			PAN	NA	
Remendos			REM	REM-B	REM-A
Desníveis entre Pistas e Acostamento			DPA	NA	
Agregados Polidos			AGP	NA	

Os Afundamentos de Trilha de Roda possuem severidade Baixa ou Alta, dependendo da profundidade: acima de 12 mm será considerada severidade Alta.

Os demais defeitos da Tabela AN.1 são considerados da forma apresentada nos procedimentos de referência (DNIT e/ou SHRP). Observa-se que no Desgaste da Superfície do Revestimento, a severidade será considerada Baixa quando não afeta a textura do revestimento. Desgaste que comprometa textura ou qualidade de rolamento será nível Alto.

No caso dos Remendos, os de severidade Baixa são aqueles cuja intervenção é apenas superficial. Quando a intervenção for profunda (duas ou mais camadas), o Remendo deverá ser classificado como de Alta severidade.

Aspecto fundamental dos levantamentos desta pesquisa refere-se à locação e à abrangência dos defeitos, explicadas a seguir.

Conforme procedimentos deste Manual, o Trecho Monitorado deverá estar demarcado fisicamente por estacas a cada 20 metros. A locação longitudinal dos defeitos utilizará como referência este estaqueamento físico, porém com resolução longitudinal de 1 metro. Transversalmente, os defeitos serão locados por faixa de rolamento, sendo que cada faixa terá 3 subdivisões transversais nomeadas: trilha interna, centro e trilha externa, considerando como referência o sentido do tráfego de veículos. A locação dos defeitos, portanto, terá resolução

Na Figura AN.1 exemplifica-se este sistema de locação dos defeitos descritos. Nesta figura, cada quadrado é uma célula com 1 metro de comprimento e 1/3 da faixa de largura, conforme explicado. No caso de defeitos localizados na célula preenchida pela cor amarela, sua locação será dada da seguinte forma: Trecho Monitorado XXX / Estaca 0 + 6 metros / Faixa 1 - CE. Já os defeitos na célula verde serão locados como: Trecho Monitorado XXX / Estaca 1 + 18 metros / Faixa 2 - TL.

[illegible]

H. O. SANTOS

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Este apêndice apresenta os ensaios de caracterização realizados nos materiais estudados, a carta de plasticidade, curvas granulométricas, metodologia MCT e as curvas de compactação, expansão e CBR.

Figura A.1 - Carta de plasticidade

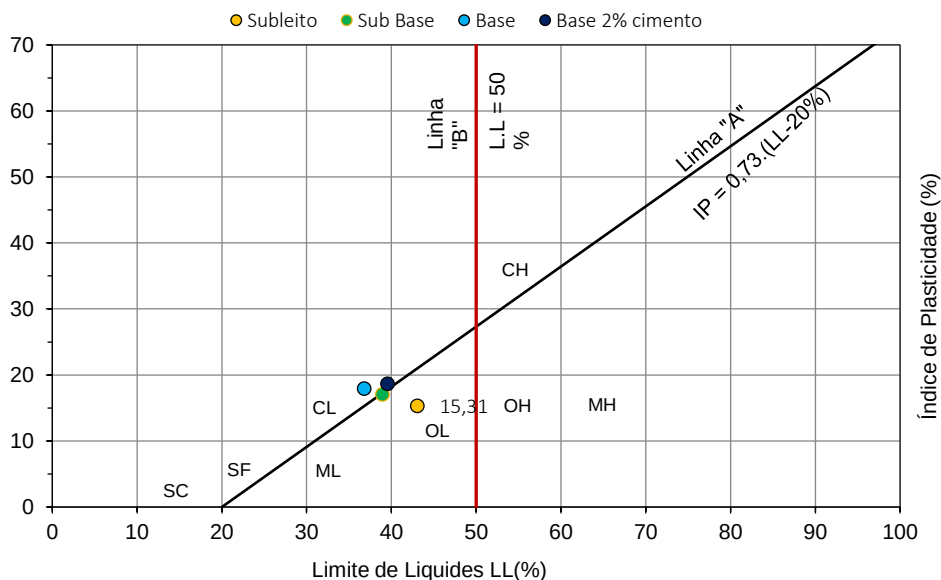


Figura A.2 - Curva granulométrica SL

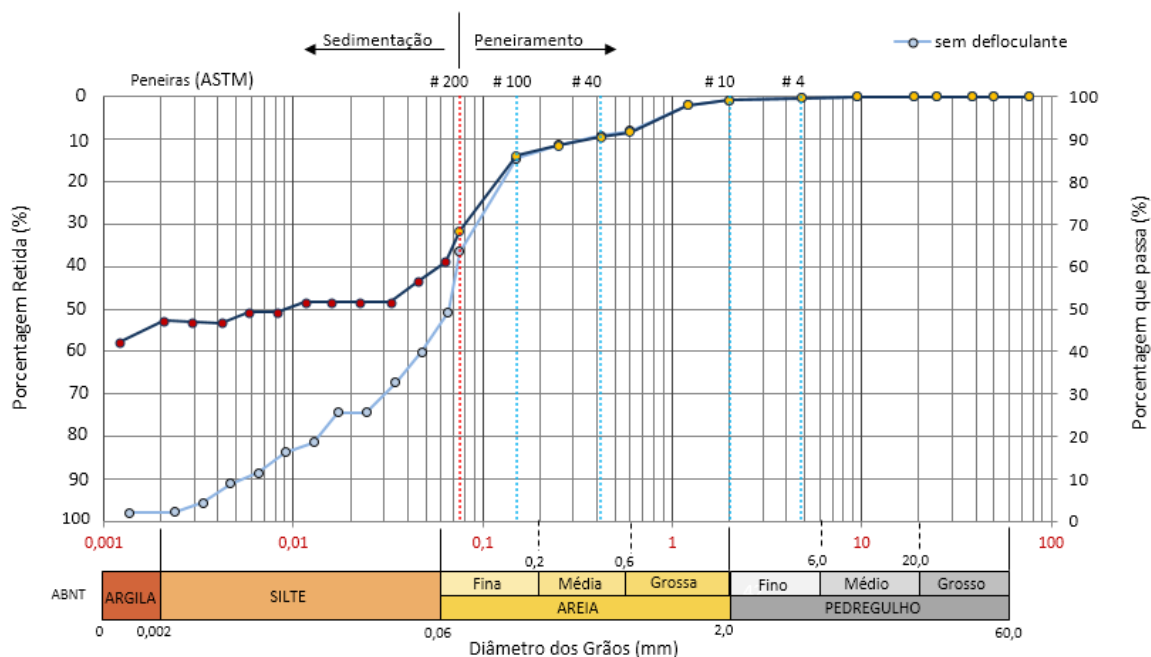


Figura A.3 - Curva granulométrica SB

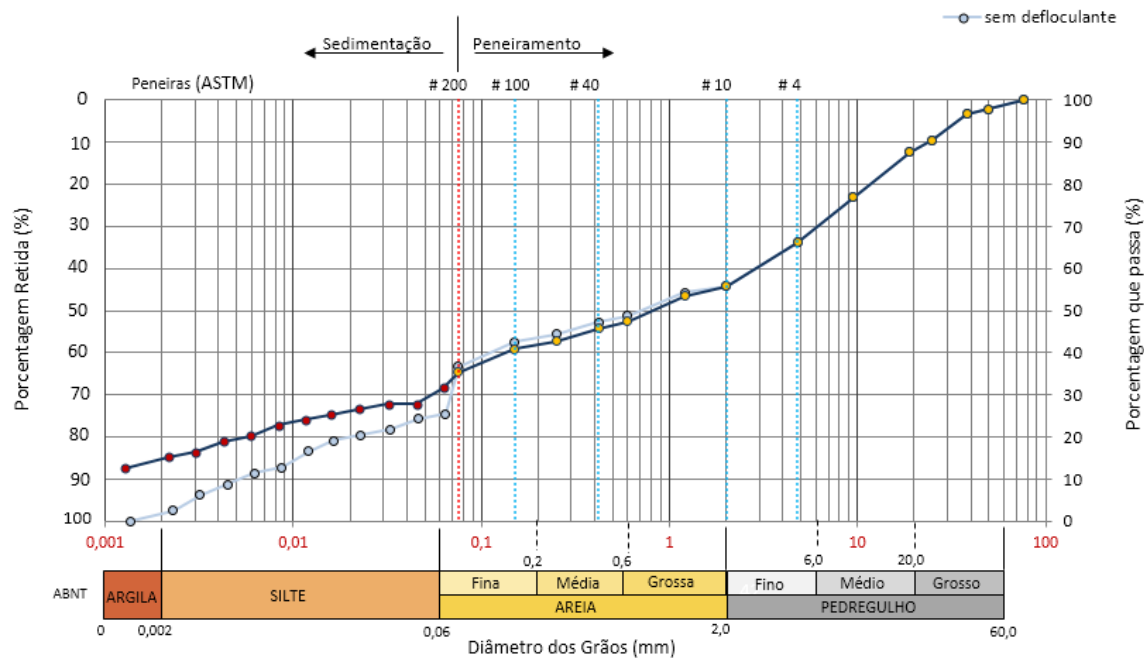


Figura A.4 - Curva granulométrica BA

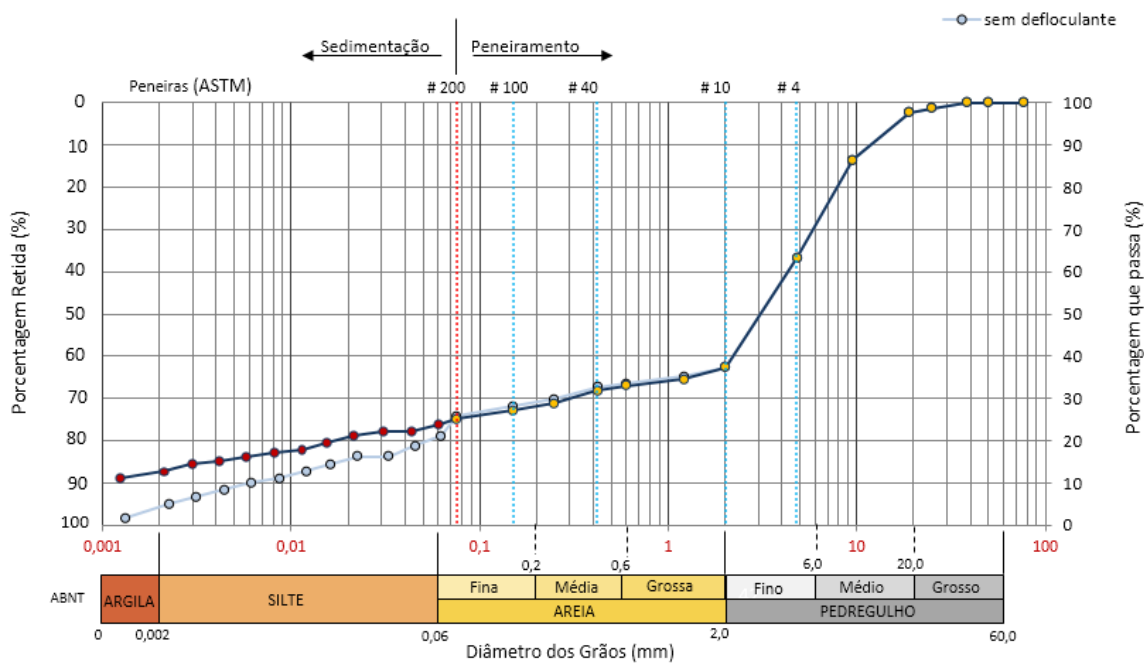


Tabela A.1 - PD, TA e IA Subleito, Sub-base e Base

	Subleito	Sub-base	Base
PD	4,8%	16,4%	39,7%
TA	95,2%	83,6%	60,3%
IA	0,324021	1,120814	1,407524

Nota: PD= Porcentagem de dispersão, TA= Teor de agregação, IA= Índice de atividade

Figura A.5 - Classificação pelo tamanho do grão. a) Subleito b) Sub-base c) Base

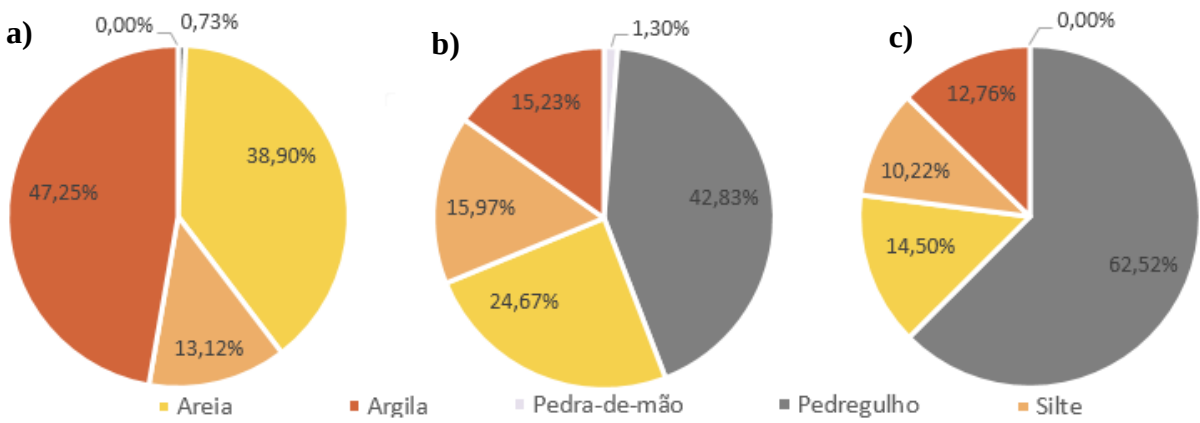


Tabela A.2 - Classificação MCT

Classificação Geral MCT					
MCT	Parâmetros				Classificação
	Mini-MCV		Perda de Massa		
Amostra	c'	d'	Pi	e'	
Subleito	2,33	48,59	10	0,8	LG'
Sub-Base	1,46	34,62	35	0,98	LA'
Base - solo natural	1,73	11,82	100	1,39	NG'
Base - solo + 2% cimento	1,73	9,99	0	1,26	NG'

Figura A.6 - Gráfico classificação MCT

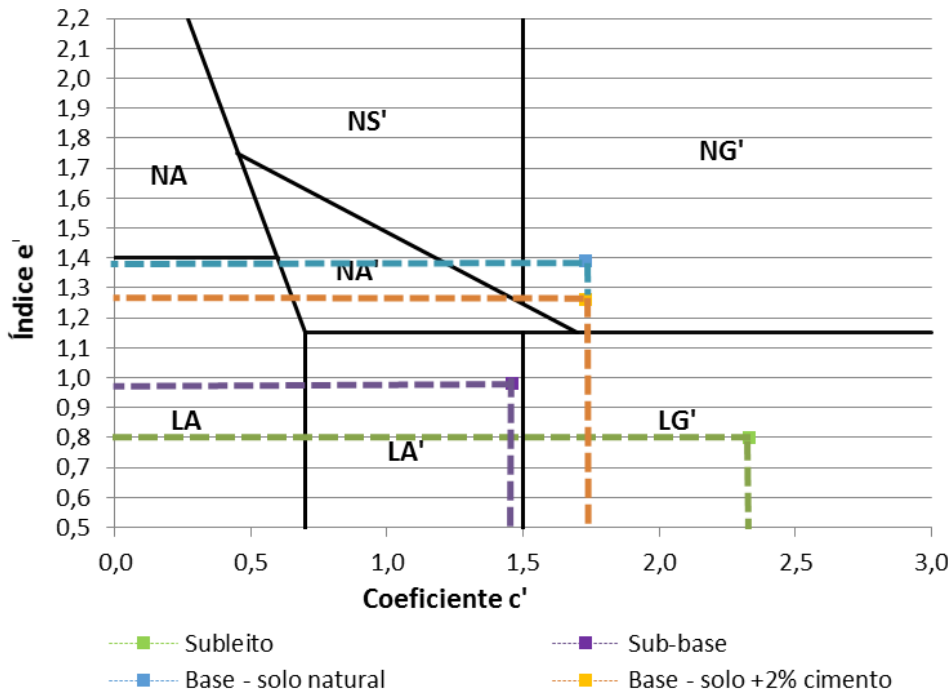


Figura A.7 - Compactação, ISC e expansão – Subleito

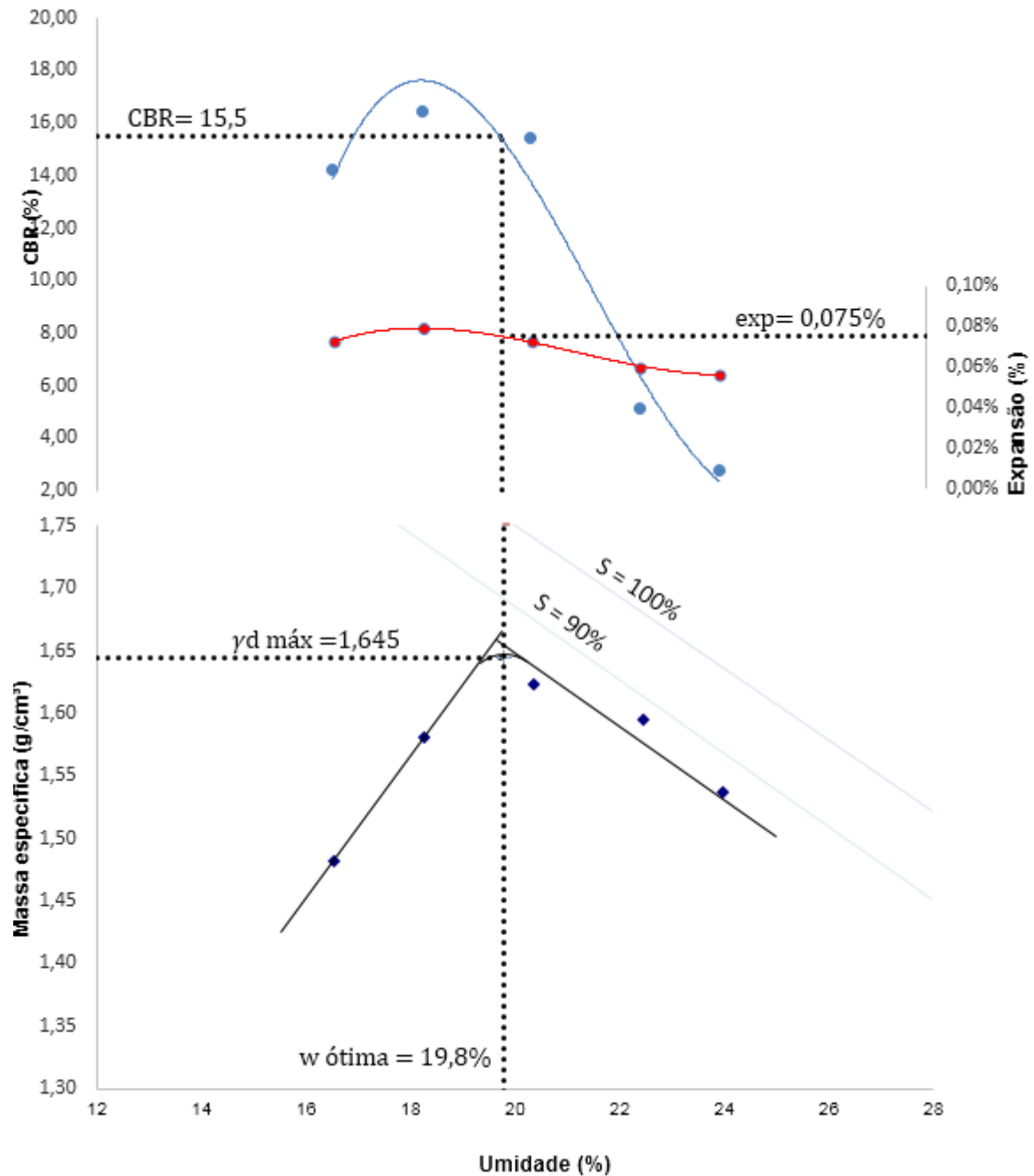


Figura A.8- Compactação, ISC e expansão – Sub-base

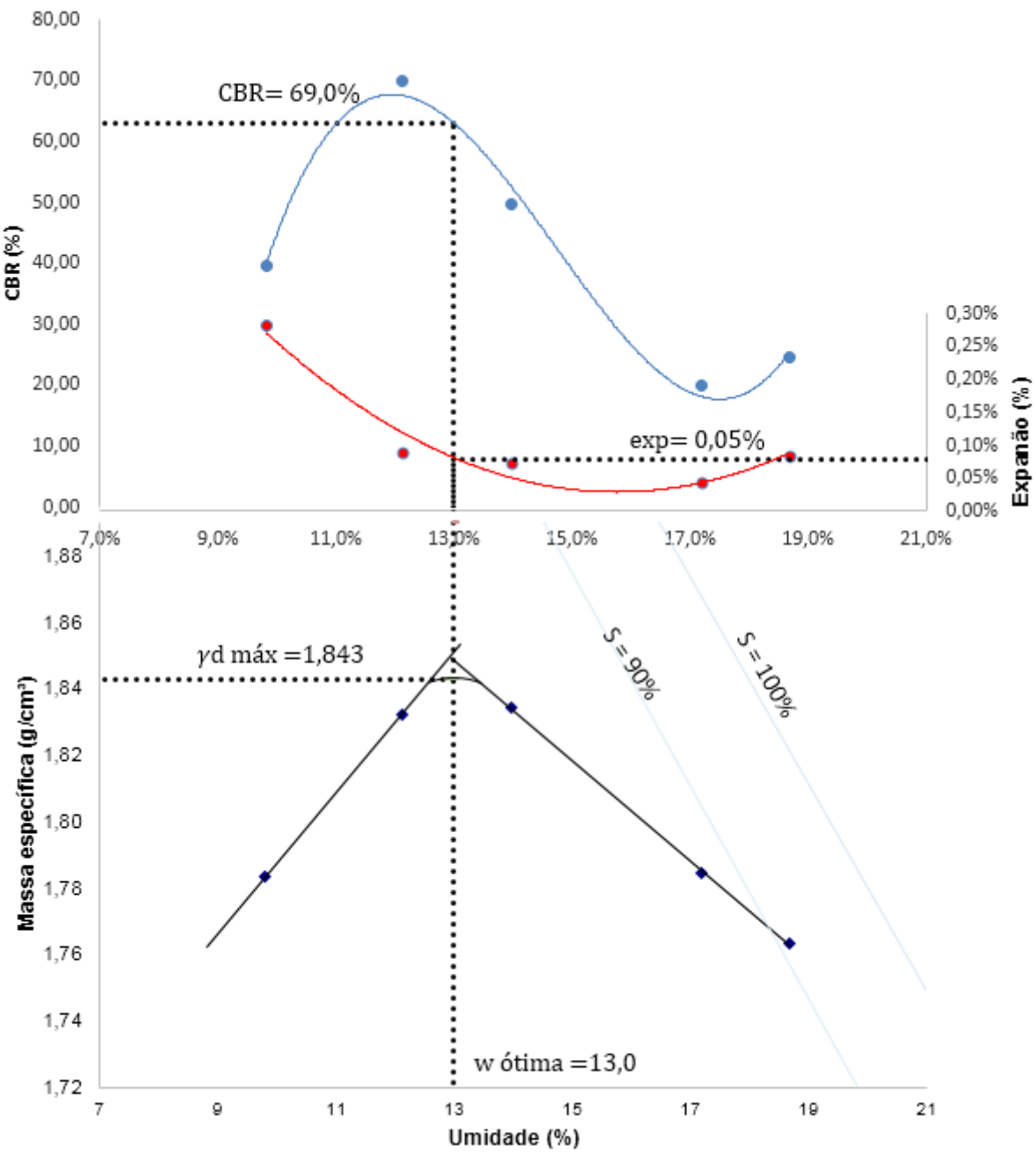


Figura A.9 - Compactação, ISC e expansão – Base

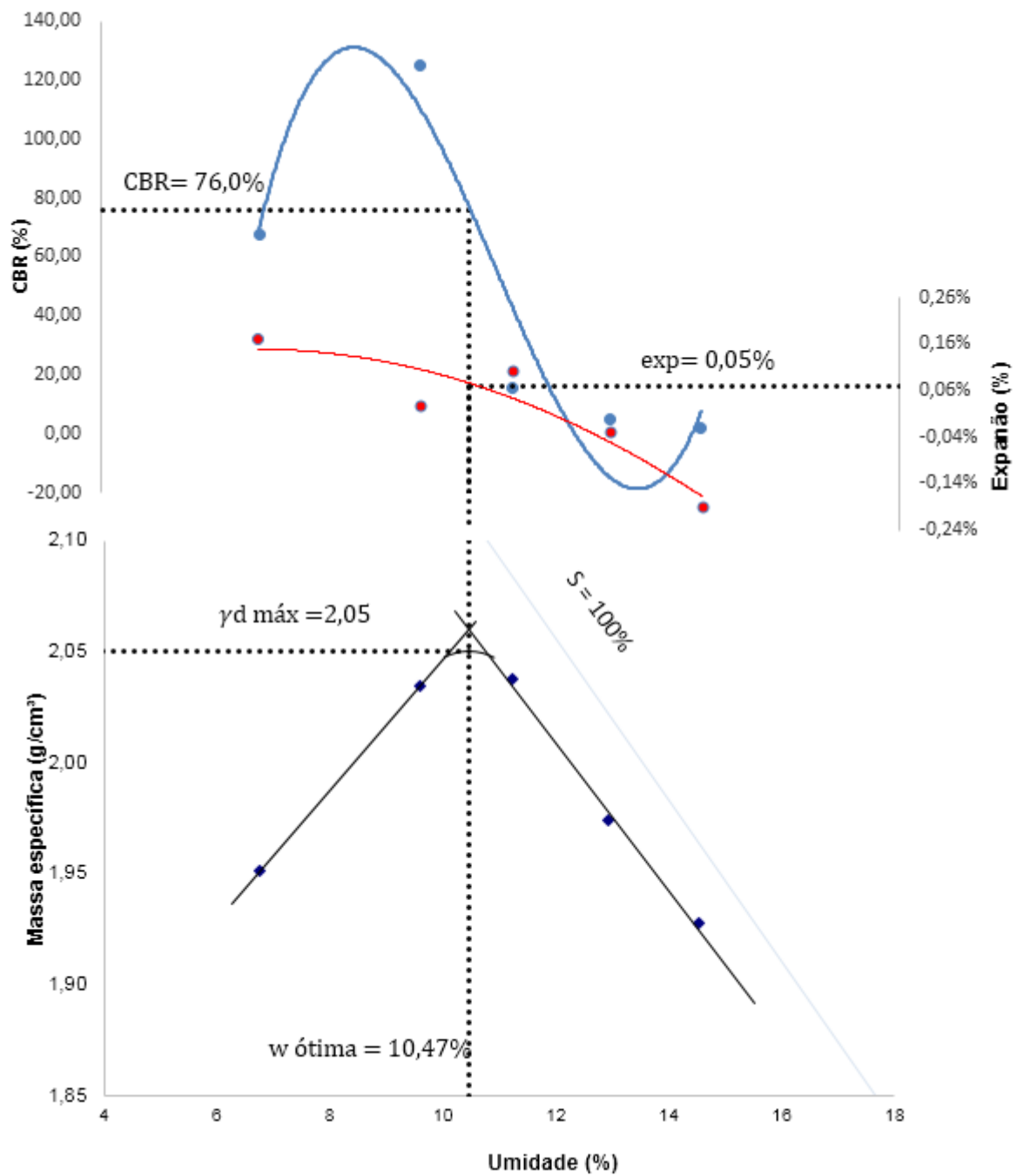


Figura A.10 - Compactação, ISC e expansão – Base 2% cimento

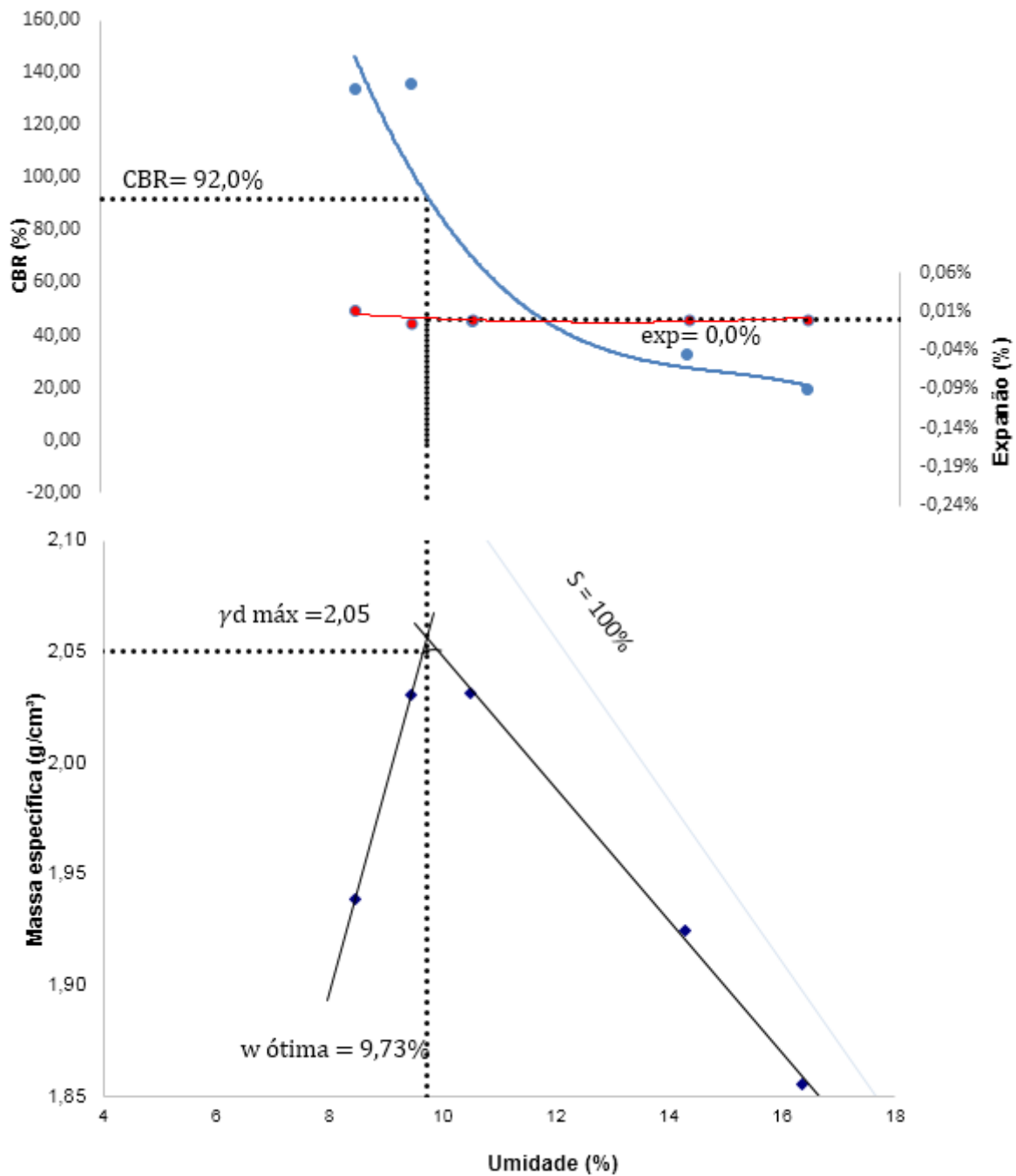
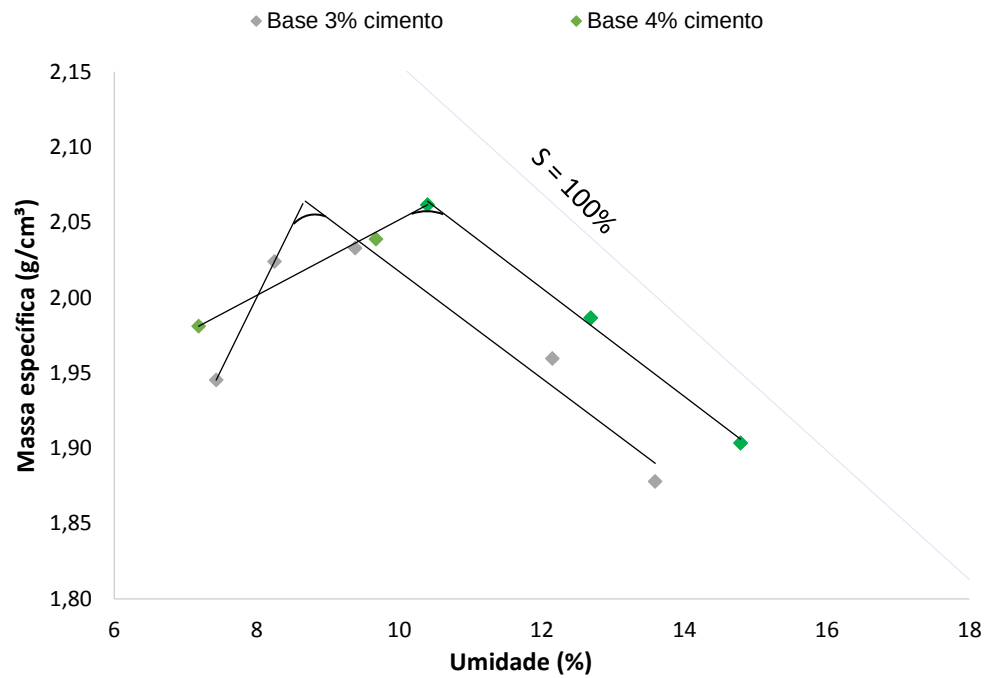


Figura A.11 - Curvas compactação Base 3 e 4%



APÊNDICE B – PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA - MR E RCS

O apêndice B traz os resultados dos ensaios de MR e RCS de forma detalhada, assim como os dados de compactação dos corpos de prova. Também são apresentados os gráficos dos modelos de comportamento resiliente e as curvas de RCS.

Tabela B.1 - Resumo dos dados de compactação e módulo de resiliência.

Amostra	Cura (dia)	CP	Wc (%)	Wr (%)	GC (%)	MR representativo	SD	CV (%)	Média
SL		1	21,10	20,70	99,70	-			
		2	21,50	21,40	100,90	175	21	11%	190
		3	21,50	21,20	100,20	204			
SB		1	13,60	13,30	100,10	322			
		2	13,00	13,00	99,70	291	42	13%	329
		3	14,40	14,30	100,40	375			
BA		1	10,80	11,10	100,60	339			
		2	11,30	10,40	101,30	326	28	8%	348
		3	11,50	11,80	100,50	379			
BA2C	28	1	9,80	11,60	99,10	649			
	28	2	11,30	11,20	98,50	620	21	3%	647
	28	3	10,60	10,90	99,00	670			
	28	4	10,00	10,50	99,60	648			
	7	5	9,60	10,80	97,00	367			
	7	6	9,70	10,60	97,90	695*	32	9%	345
	7	7	10,30	10,70	98,40	322			
BA3C	28	1	10,30	10,70	98,70	1270			
	28	2	11,10	11,70	98,10	1354			
	28	3	11,30	11,00	98,00	1289			
	28	4	12,00	11,50	97,20	1810	365	29%	1275
	28	5	10,30	10,90	96,90	700			
	28	6	9,20	10,80	99,00	1548			
	28	7	9,60	11,50	98,00	954			
	7	8	9,30	9,40	98,80	1104			
	7	9	7,40	9,10	100,20	1199	67	6%	1152
	7	10	8,20	9,50	100,30	3508*			
BA4C	28	1	11,50	10,40	96,50	3216			
	28	2	10,30	10,80	99,30	3798	658	16%	4029
	28	3	10,30	11,20	98,00	4408			
	28	4	9,80	11,20	98,10	4692			
	7	5	10,40	10,50	97,50	1720			
	7	6	9,10	9,70	101,60	3450	274	18%	1527
	7	7	9,40	9,70	99,60	1333			

Nota: CP= corpo de prova; Wc= umidade de compactação; Wr= umidade de ruptura; GC= grau de compactação; SD= desvio padrão; CV= coeficiente de variação.

Tabela B.2 - Resultados Resistência a Compressão Simples

Amostra	CP	Cura	RCS (N)	D (cm)	RCS (MPa)	RCS (MPa) média	SD	CV (%)
SL	1	-	*1266	10,00	-	0,28	0,004	1%
	2	-	2147	9,95	0,28			
	3	-	2208	9,99	0,28			
SB	1	-	1983	10,00	0,25*	0,44	0,078	18%
	2	-	2986	9,99	0,38			
	3	-	3813	9,98	0,49			
BA	1	-	1958	9,96	0,25	0,28	0,027	9%
	2	-	2339	9,99	0,30			
	3	-	2324	9,98	0,30			
BA2C	1	28	-	9,99	-	0,70	0,083	12%
	2	28	5538	9,97	0,71			
	3	28	4821	9,99	0,62			
	4	28	6088	9,97	0,78	0,40	0,106	27%
	5	9	2743	9,97	0,35			
	6	9	4005	9,94	0,52			
	7	9	2478	9,95	0,32			
BA3C	1	28	8176	9,98	1,05	1,00	0,136	14%
	2	28	8789	9,97	1,13			
	3	28	7908	9,99	1,01			
	4	28	9368	9,99	1,20			
	5	28	6635	9,93	0,86	1,28	0,130	10%
	6	28	7290	9,93	0,94			
	7	28	6387	9,92	0,83			
	8	10	10556	9,95	1,36			
	9	10	8787	9,94	1,13			
	10	10	10555	9,94	1,36			
BA4C	1	31	7513	9,98	0,96	1,46	0,334	23%
	2	31	13024	9,94	1,68			
	3	31	12126	9,98	1,55			
	4	31	12823	10,01	1,63	1,58	0,053	3%
	5	7	12670	10,05	1,60			
	6	7	12651	9,94	1,63			
	7	7	11937	9,98	1,53			

Nota: CP= corpo de prova; D= diâmetro; SD= desvio padrão; CV= coeficiente de variação.

Figura B.1 - Gráfico Subleito a) Modelo composto b) Modelo AASTHO c) Modelo Uzan-Witczak

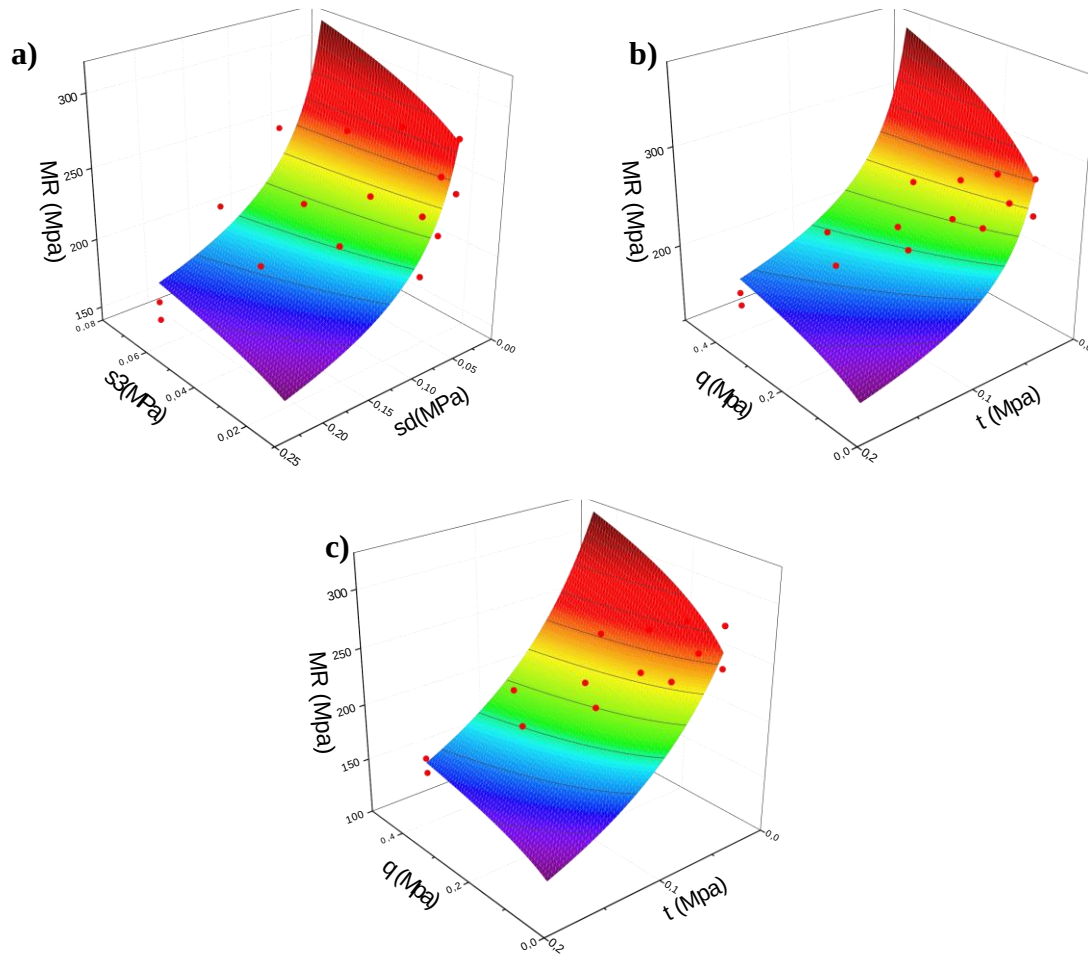
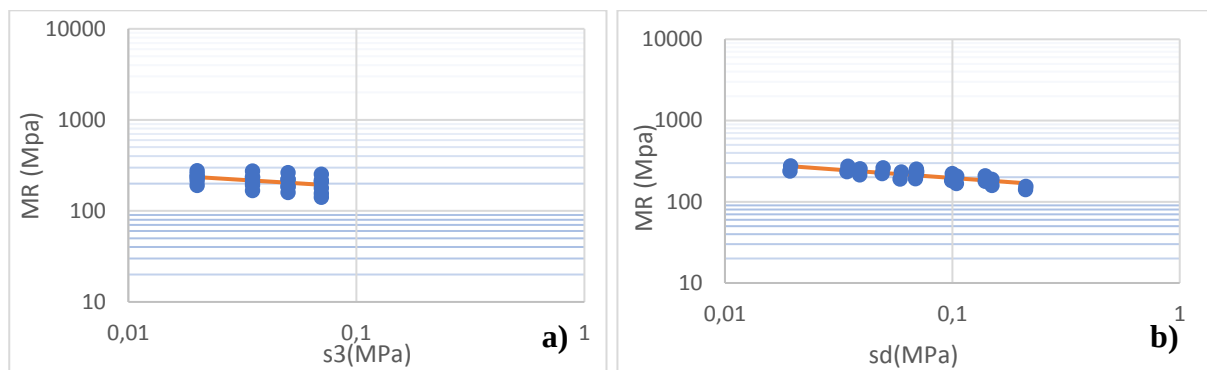
Figura B.2 - Gráfico Subleito a) Modelo simplificado σ_3 b) Modelo simplificado σ_d 

Figura B.3 - Gráfico Sub-base a) Modelo composto b) Modelo AASTHO c) Modelo Uzan-Witczak

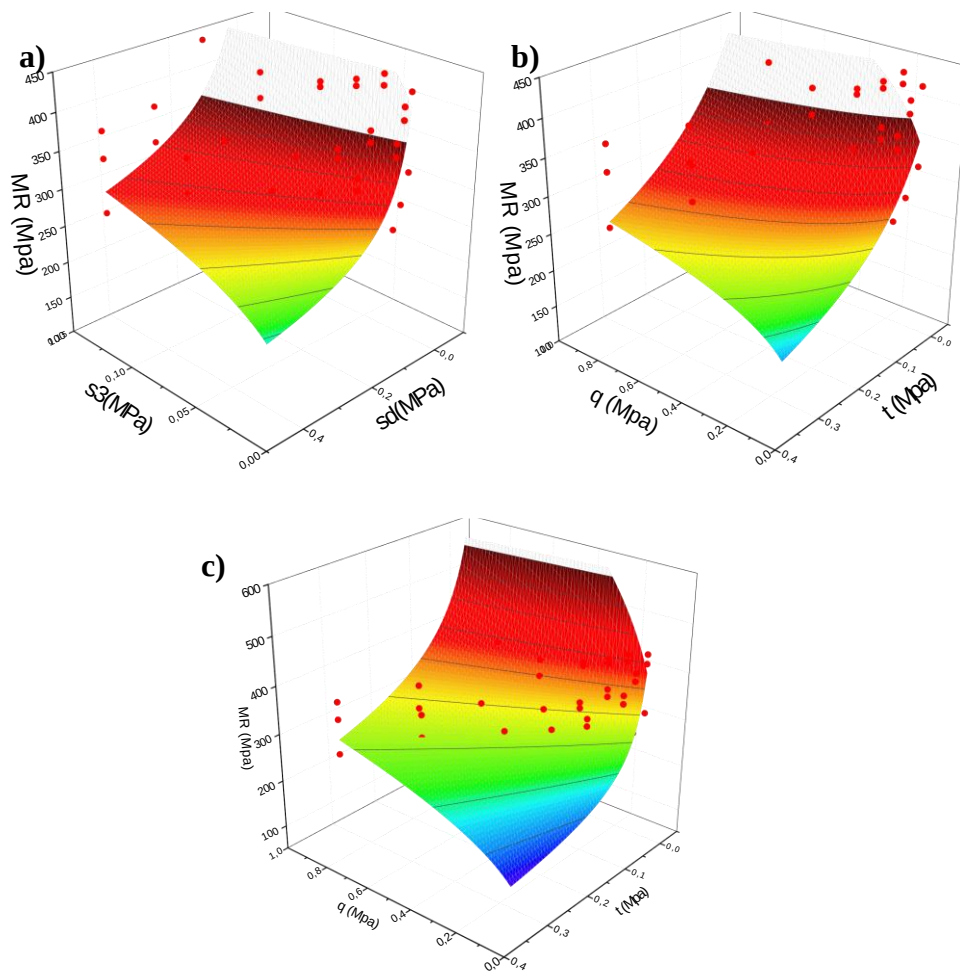


Figura B.4 - Gráfico Sub-base a) Modelo simplificado σ_3 b) Modelo simplificado σ_d

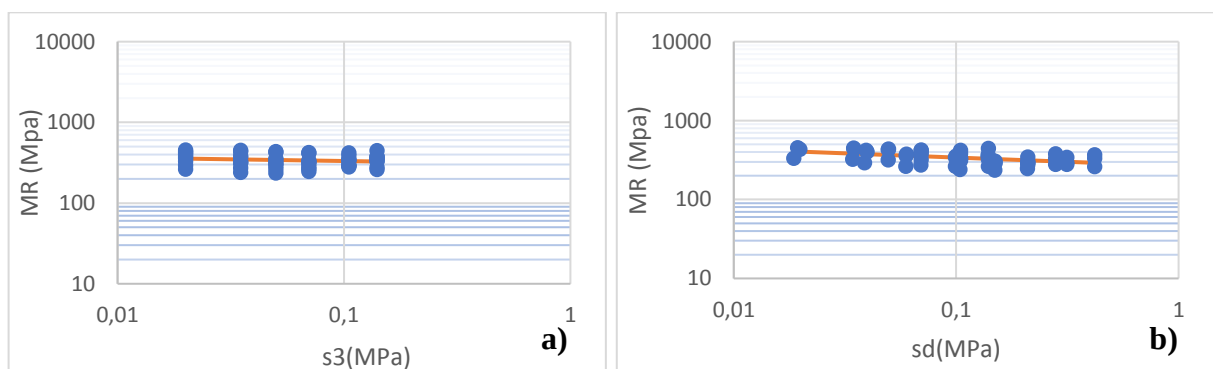


Figura B.5 - Gráfico Base a) Modelo composto b) Modelo AASTHO c) Modelo Uzan-Witczak

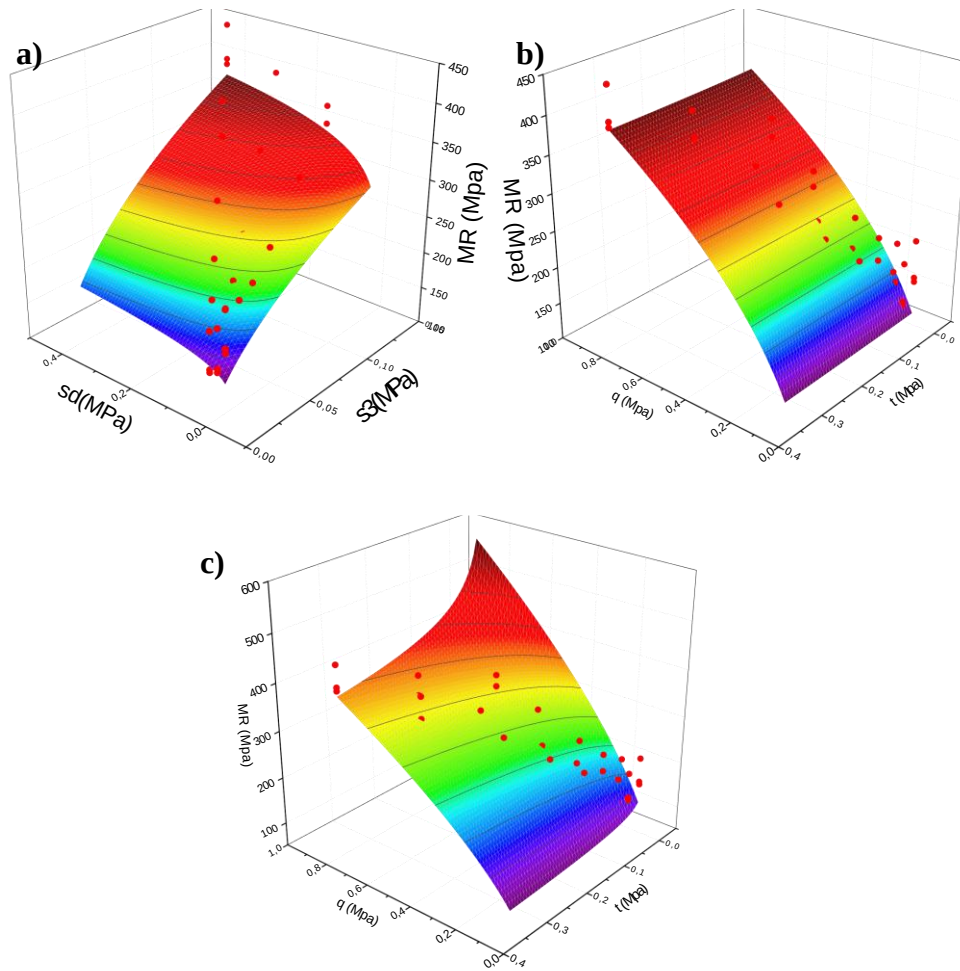


Figura B.6 - Gráfico Base a) Modelo simplificado σ_3 b) Modelo simplificado σ_d

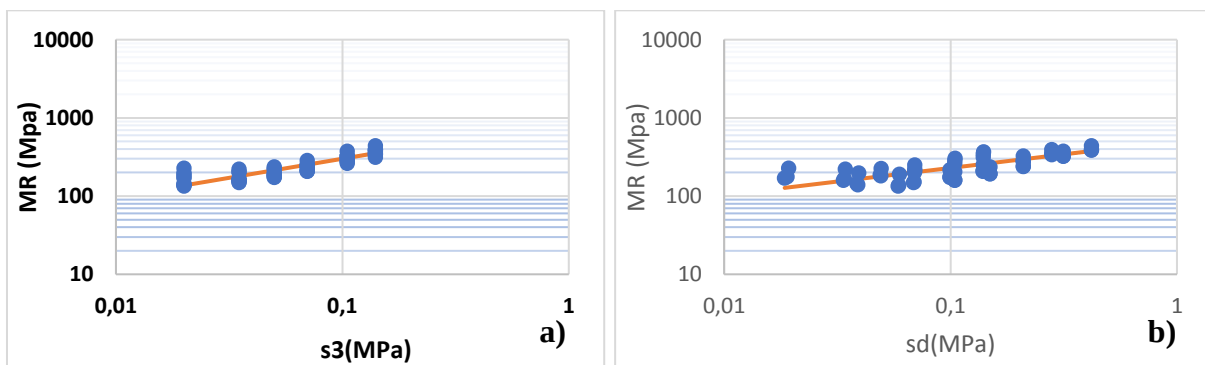


Figura B.7 - Gráfico Base 2% cimento – 7dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak

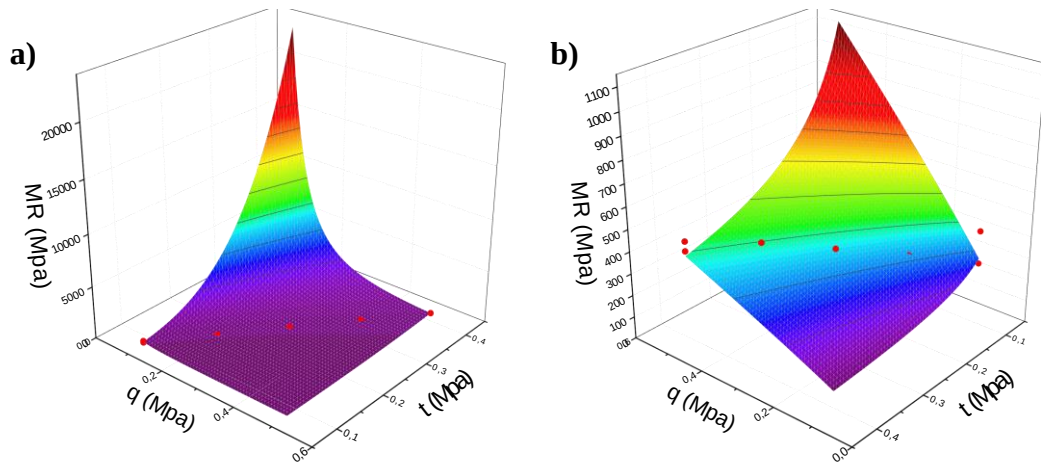


Figura B.8 - Gráfico Base 2% cimento – 7dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico

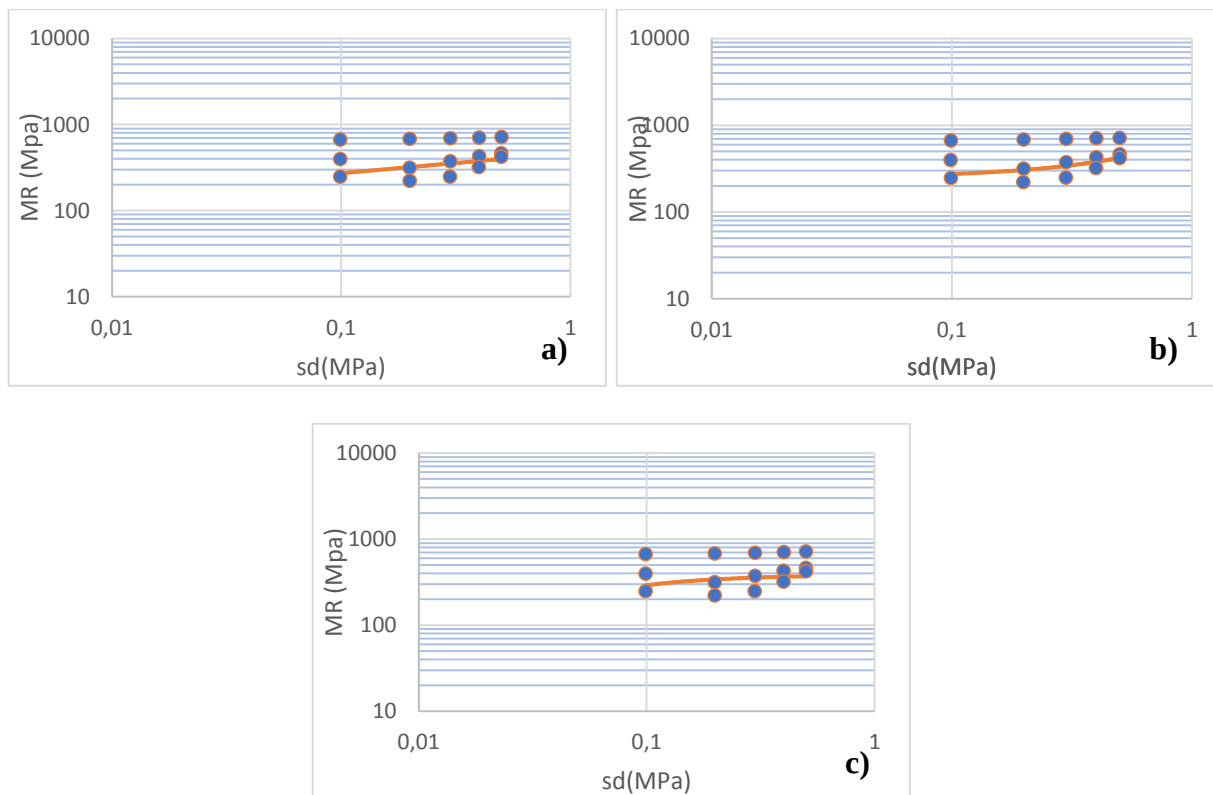


Figura B.9 - Gráfico Base 2% cimento – 28dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak

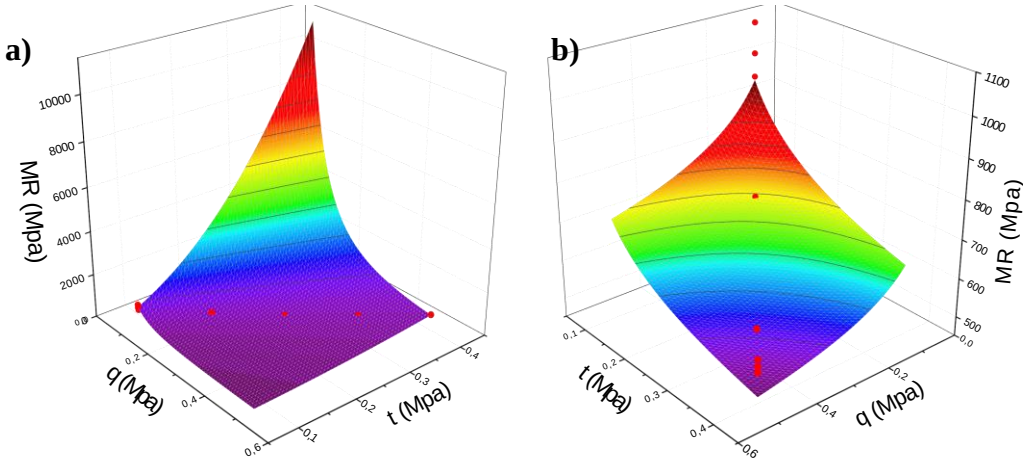


Figura B.10 - Gráfico Base 2% cimento – 28dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico

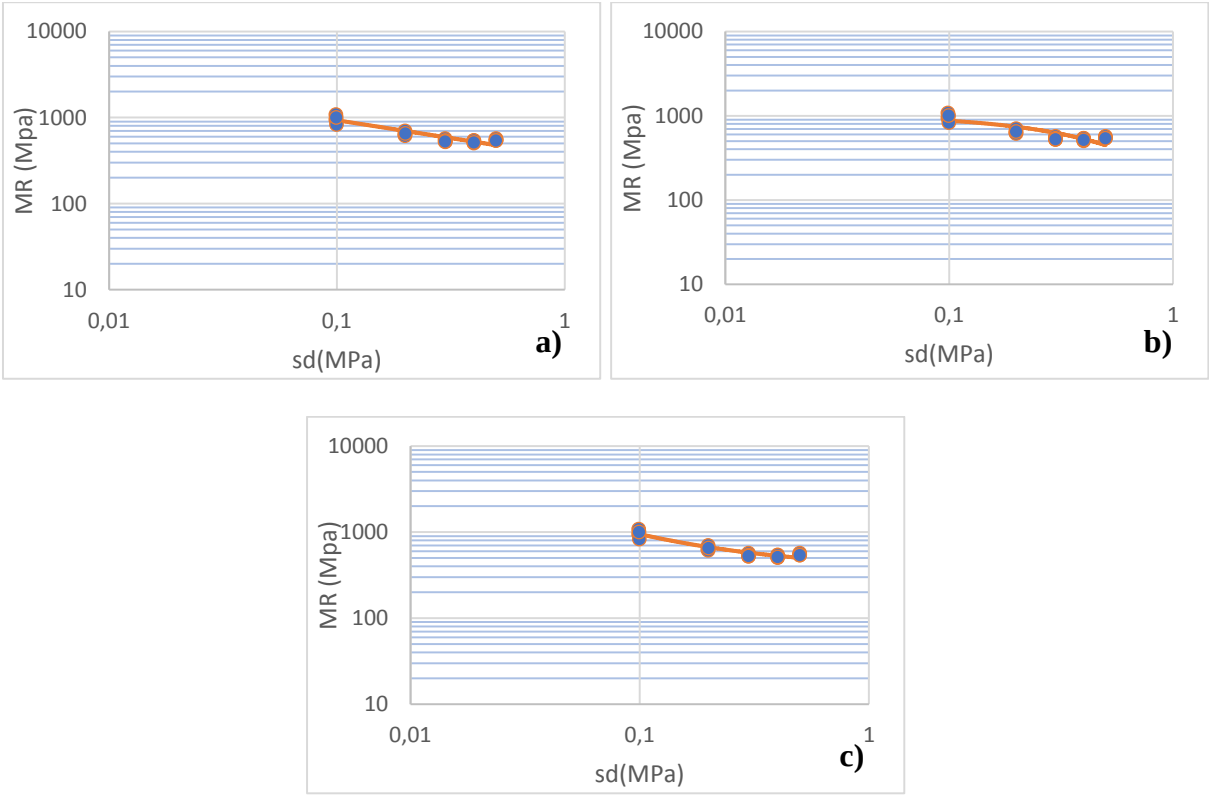


Figura B.11 - Gráfico Base 3% cimento – 7 dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak

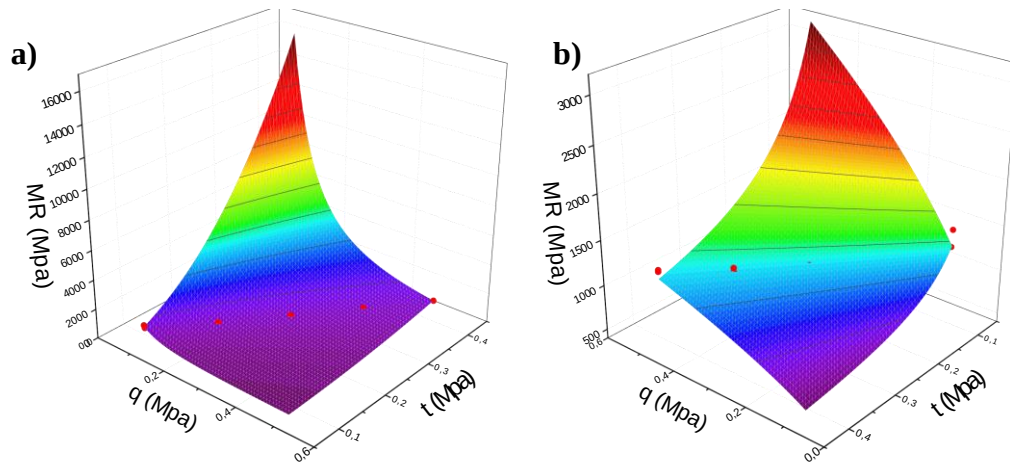
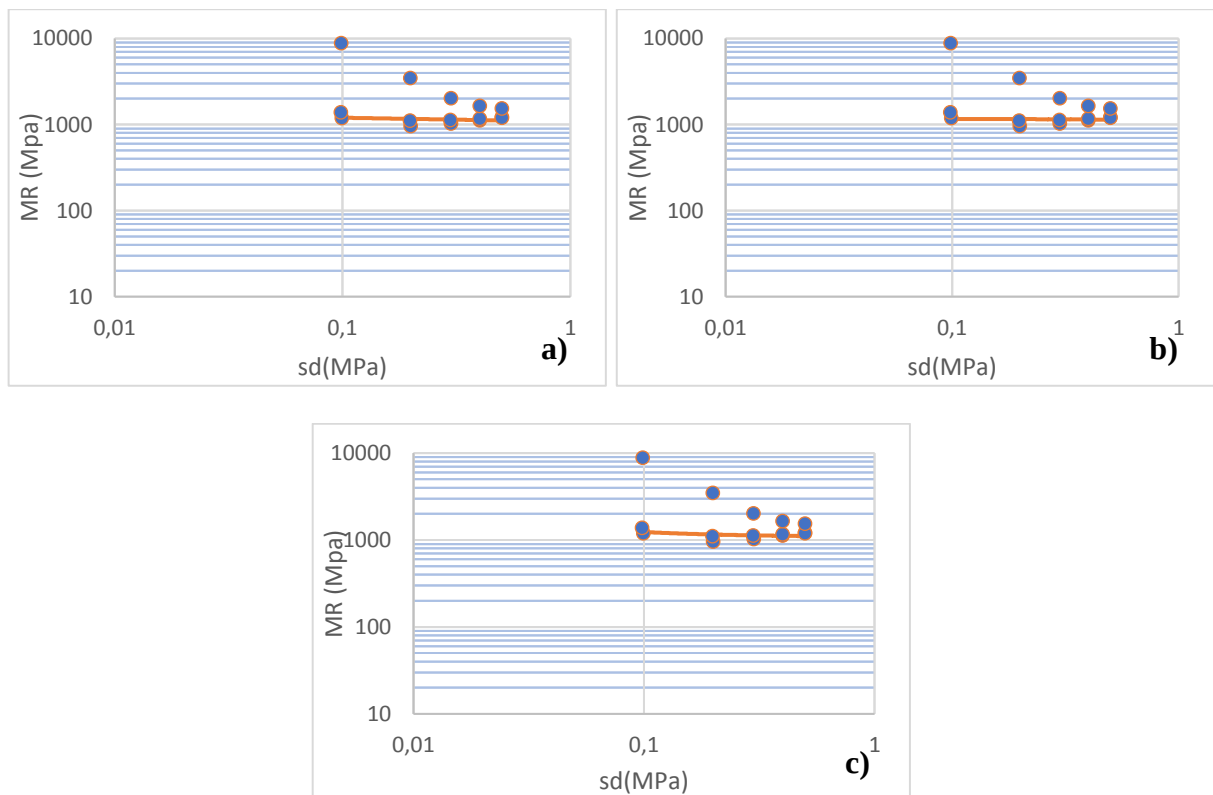
Figura B.12 - Gráfico Base 3% cimento – 7 dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico

Figura B.13 - Gráfico Base 3% cimento – 28 dias (CPs 1 a 4) a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak

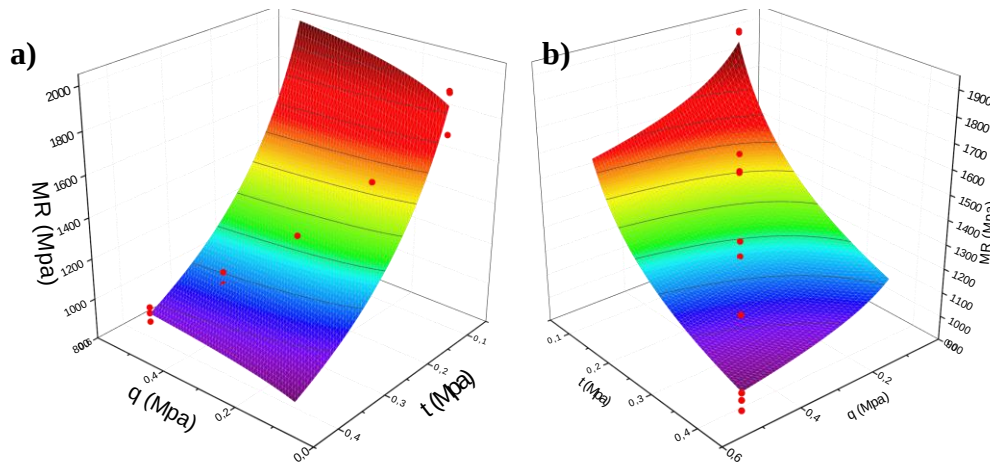
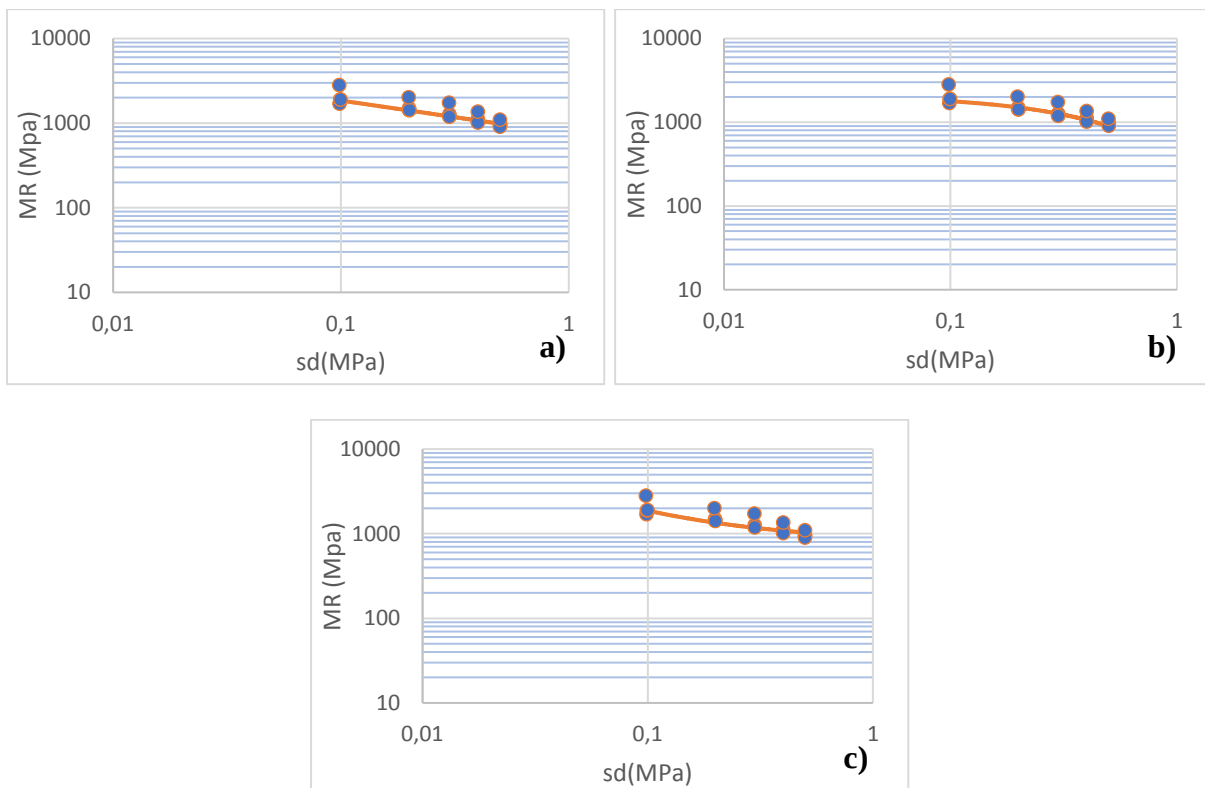
Figura B.14 - Gráfico Base 3% cimento – 28 dias (CPs 1 a 4) a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico

Figura B.15 - Gráfico Base 4% cimento – 7 dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak

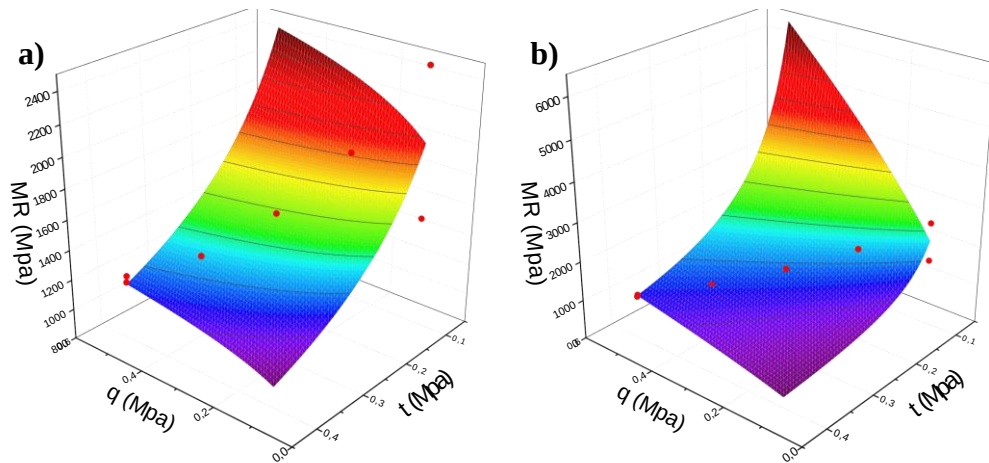


Figura B.16 - Gráfico Base 4% cimento – 7 dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico

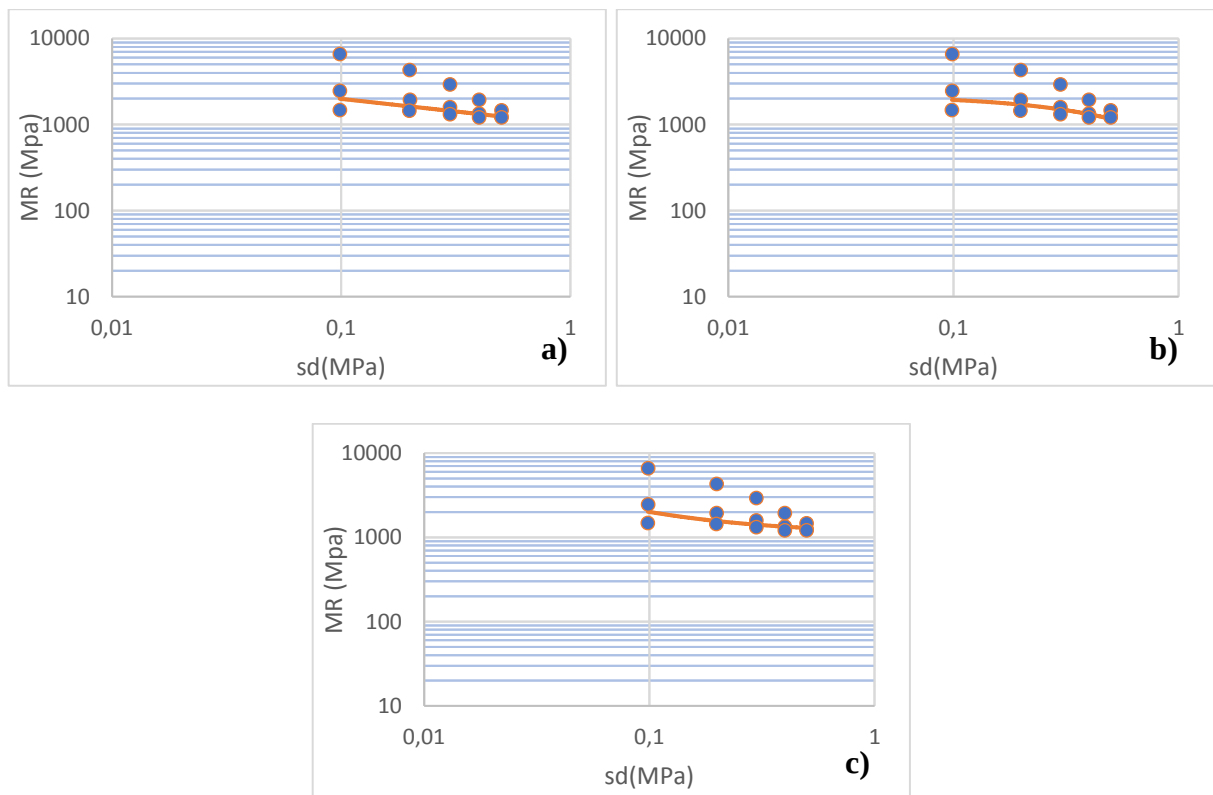


Figura B.17 - Gráfico Base 4% cimento – 28dias a) Modelo AASTHO b) Modelo Uzan-Witczak

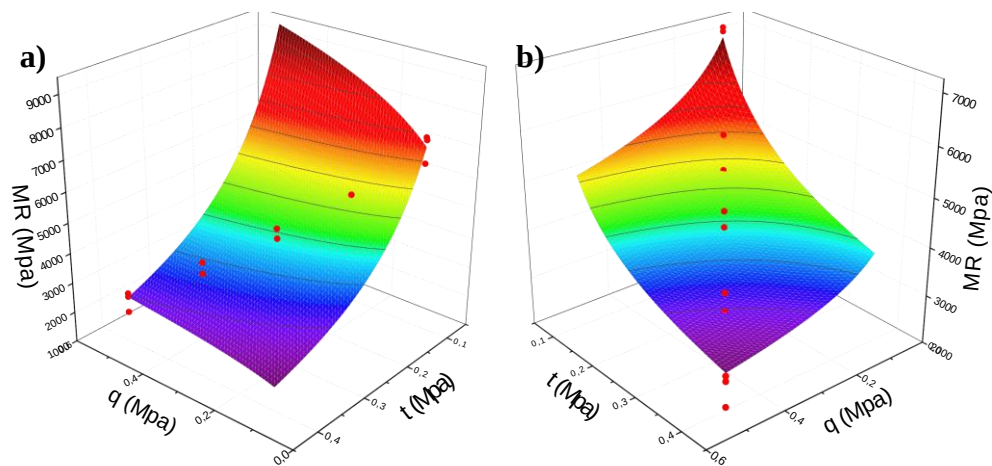
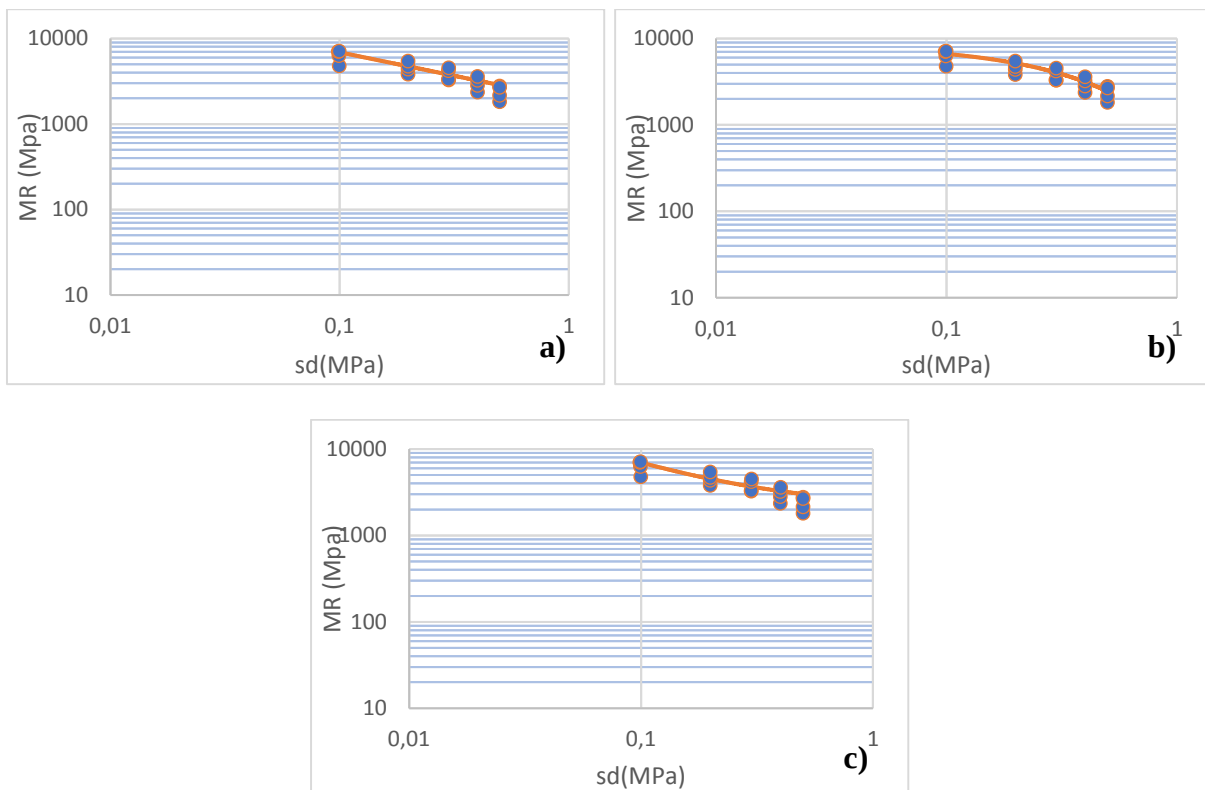
Figura B.18 - Gráfico Base 4% cimento – 28dias a) Modelo simplificado σd b) Modelo semilog c) Modelo hiperbólico

Figura B.19 - Gráfico Resistência a Compressão Simples - Subleito

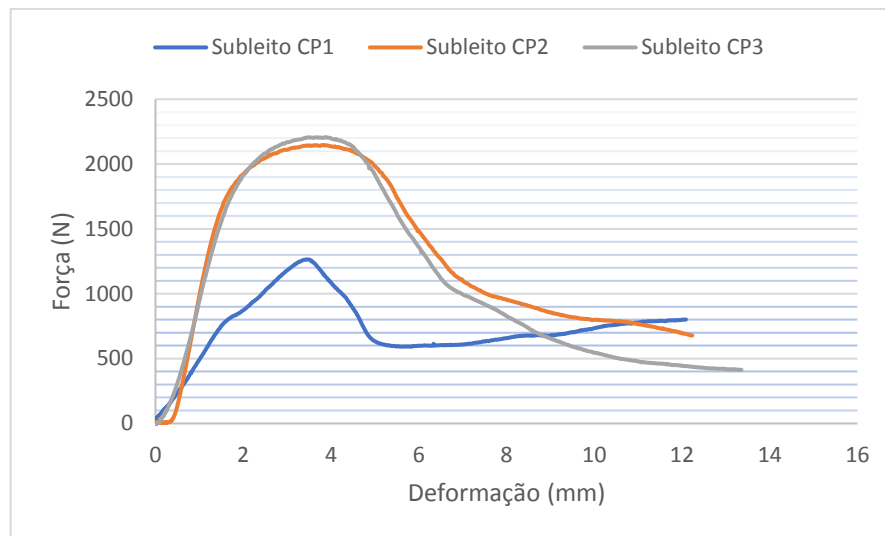


Figura B.20 - Gráfico Resistência a Compressão Simples - Sub-base

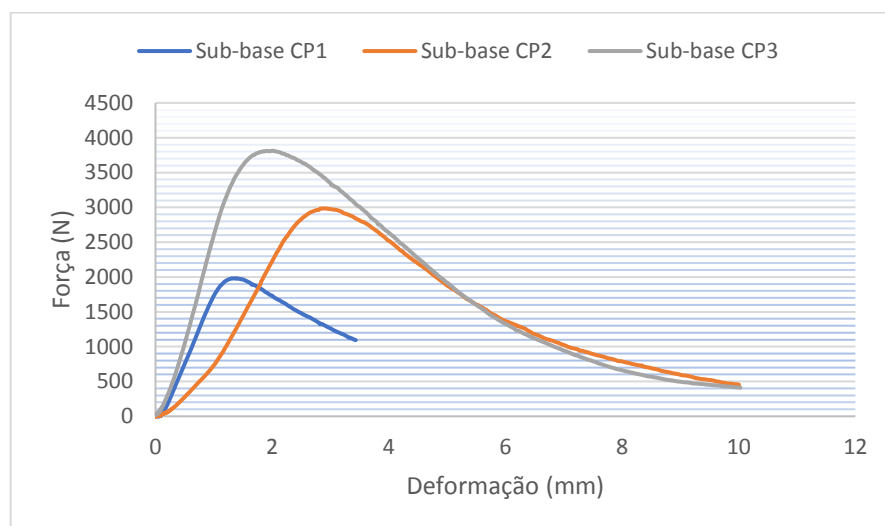


Figura B.21 - Gráfico Resistência a Compressão Simples - Base

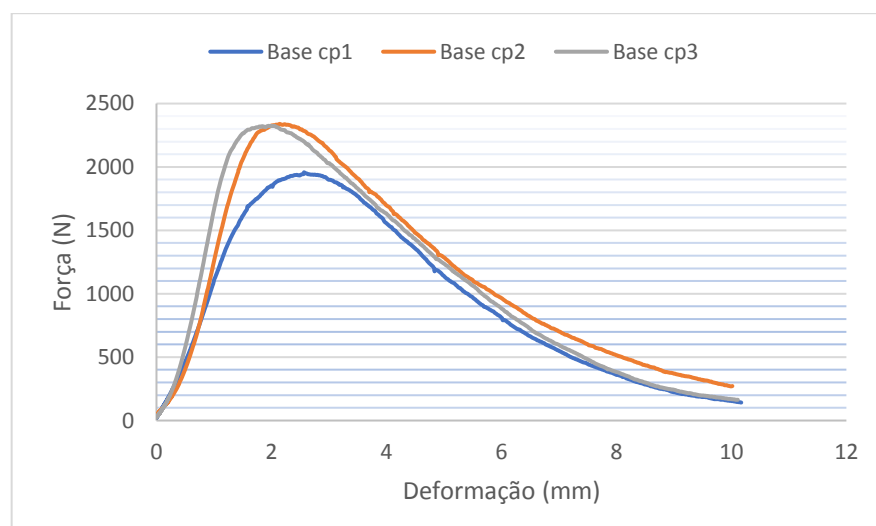


Figura B.22 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 2% - 7 dias

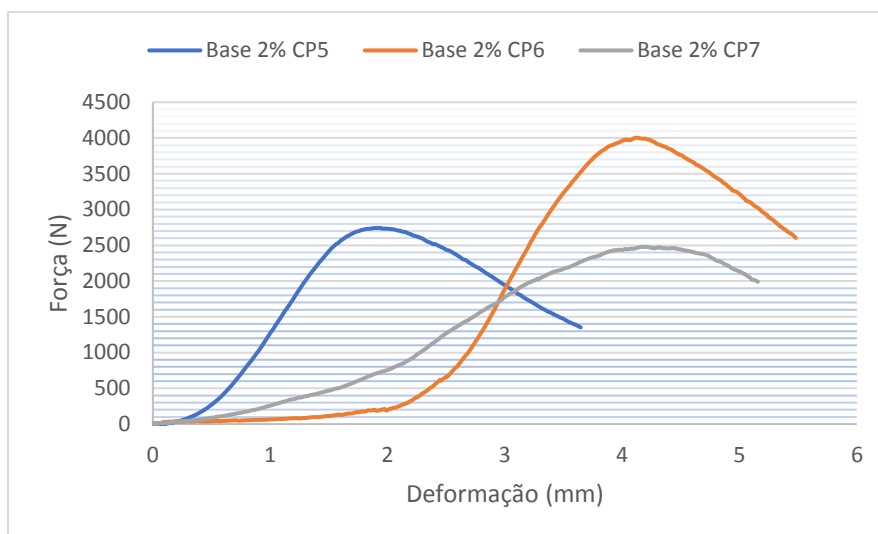


Figura B.24 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 2% - 28 dias

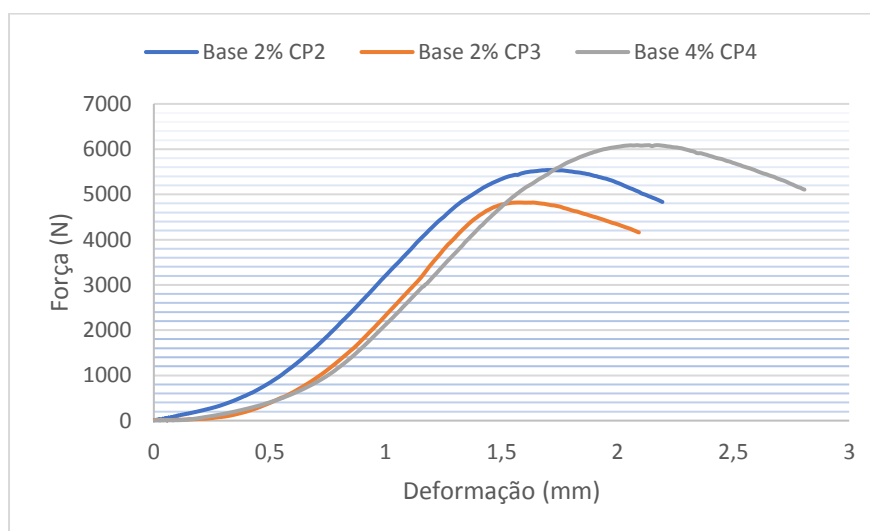


Figura B.25 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 3% - 7 dias

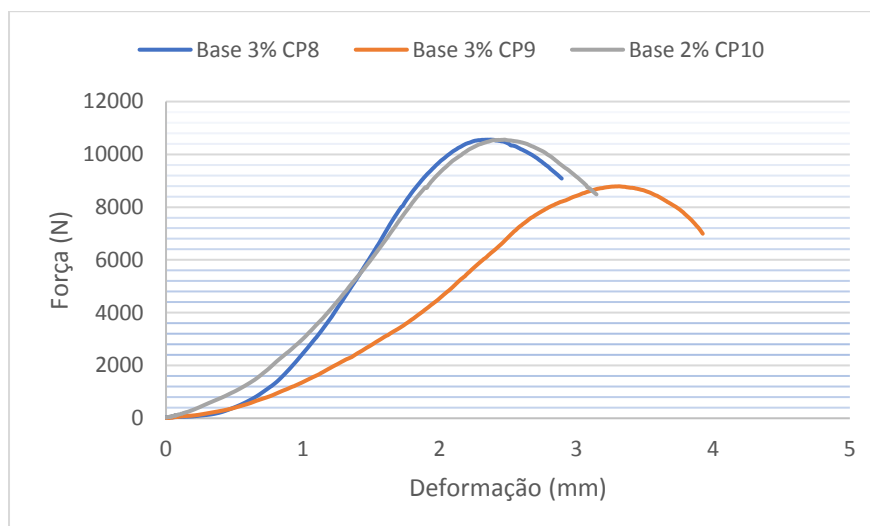


Figura B.26 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 3% - 28 dias

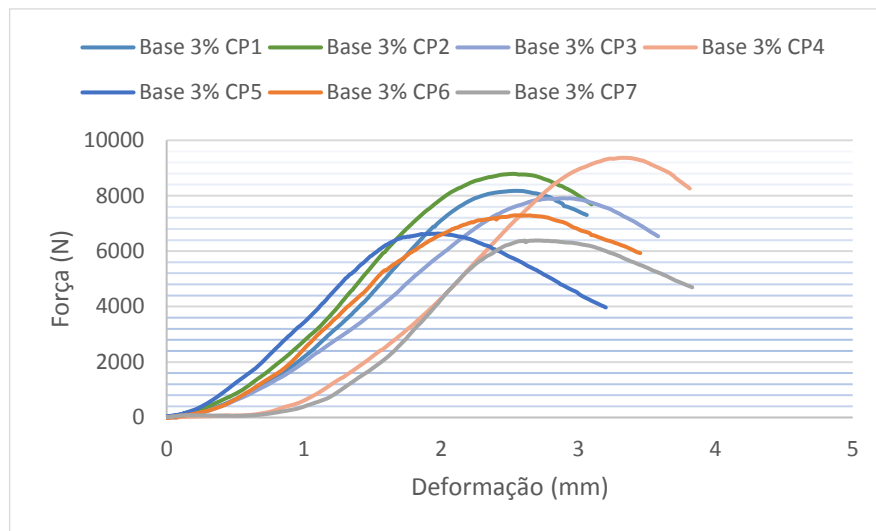


Figura B.27 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 4% - 7 dias

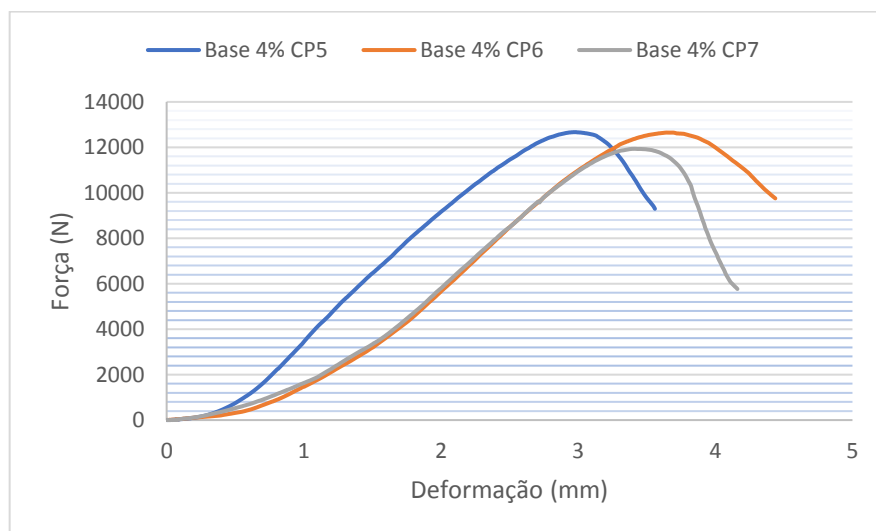
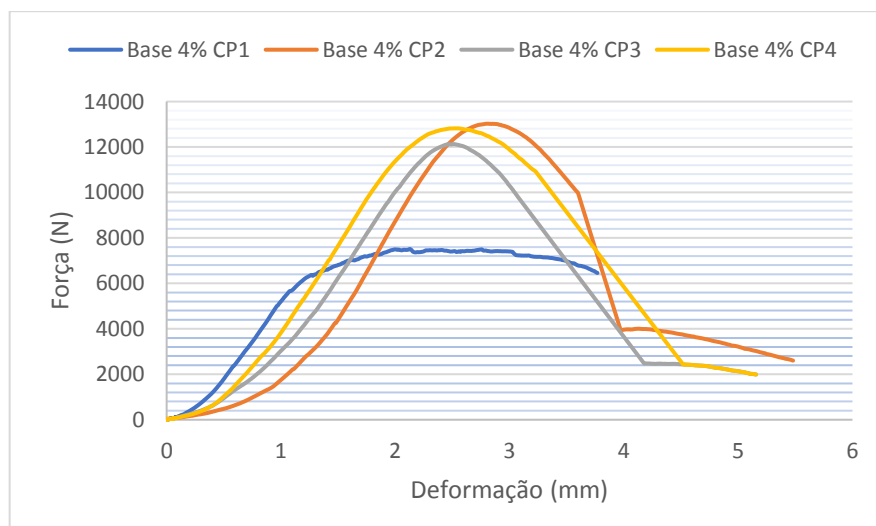


Figura B.28 - Gráfico Resistência a Compressão Simples – Base 4% - 28 dias



APÊNDICE C – LEVANTAMENTO VISUAL DE DEFEITOS

O apêndice C traz em forma de tabelas os resultados dos levantamentos visuais de defeitos realizados nos monitoramentos iniciais de três e seis meses.

Tabela C.1 - Levantamento visual de defeitos - Tempo 0

Tempo 0					
Faixa	EST.	+ (m)	Zona	CÓDIGO	Área (m²)
Sentido Água Fria	1591	0,5	TD	OND	0,02
	1591	17	TD	EXS	0,01
	1591	17	TD	EXS	0,01
	1591	18,5	TD	EXS	0,01
	1596	0	CE	PAN	0,01
	1598	18,5	TD	DSR-B/PAN	0,01
	1605	17	CE	EXS	0,01
Sentido Mimoso	1605	11	CE	EXS	0,01
	1602	5	TE	EXS	0,01
	1599	18	TD	EXS	0,01
	1592	5	CE	EXS	0,01
	1592	3	TD	EXS	0,01
	1591	5	TD	EXS	0,01

Nota: EST= estaca; TD= trilha direita; TE= trilha esquerda; CE= centro; OND= ondulação; EXS= exsudação; DSR= desgaste superficial; PAN= panela.

Tabela C.2 - Levantamento visual de defeitos - Tempo 3 meses

Tempo 3											
Faixa	EST.	+ (m)	Zona	COD	Área (m²)	Faixa	EST.	+ (m)	Zona	COD	Área (m²)
Sentido Água Fria	1589	1	TD	EXS	0,01	Sentido Mimoso	1589	0	TD	PAN	0,01
	1589	1,5	TE	EXS	0,01		1589	7	TE	OND	0,01
	1590	1,5	TE	EXS	0,01		1589	17	TD	EXS	0,01
	1590	3	CE	EXS	0,01		1591	10	TD	DSR	0,01
	1590	10	TE	DSR	0,039		1591	11	TE	DSR	0,511
	1590	15	TD	EXS	0,023		1592	1	CE	AGP	0,01
	1591	0	TD	EXS	0,51		1592	17	TD	EXS	0,01
	1591	3	CE	DSR	0,129		1592	17,5	TD	EXS	0,01
	1591	4	CE	DSR	0,01		1593	15	TE	OND	0,054
	1591	10	CE	DSR	0,15		1593	19,5	TD	PAN	0,01
	1591	11	TD	EXS	0,693		1594	12	CE	AGP	0,01
	1591	12	CE	DSR	0,162		1594	14	CE	PAN	0,01
	1591	16	CE	EXS	0,0156		1595	0	CE	AGP	0,01
	1591	19	TE	EXS	0,01		1595	5	CE	PAN	0,01
	1593	1	TD	EXS	0,01		1595	5	CE	AGP	0,01
	1593	9	CE	DSR	0,0408		1596	4	TD	AGP	0,01
	1593	13	CE	DSR	0,054		1597	0	TD	AGP	0,01
	1594	3	TD	PAN	0,01		1598	6	TD	DSR	0,0432
	1594	6	TD	DSR	0,0255		1598	11	TD	PAN	0,01
	1594	12	CE	PAN	0,01		1599	4	TE	AGP	0,01
	1594	15	TE	AGP	0,01		1599	10	TD	AGP	0,01
	1595	0	TE	AGP	0,01		1599	11,5	TE	DSR	0,039
	1595	1	TE	PAN	0,01		1600	11	TE	EXS	0,0117
	1595	6	TD	EXS	0,01		1601	16	TE	DSR	0,042
	1596	1	CE	EXS	0,01		1601	19	CE/TE	DSR	0,207
	1596	10	CE	AGP	0,01		1602	15	CE	AGP	0,01
	1596	18	TD	AGP	0,01		1604	10	TD	AFL	0,0195

1597	10	TE	DSR	0,01	1604	18	TD	AGP	0,01
1599	0	TE	AGP	0,01	1605	1	TE	PAN	0,01
1599	10	TD	AGP	0,01	1605	2	TD	EXS	0,01
1600	5	CE	DSR	0,01	1605	10	TE	EXS	4,2
1600	14	TE	AGP/DSR	0,01	1605	11	TE	DSR	0,042
1601	1	TE	DSR	0,01	1605	12	TE	EXS	0,01
1601	15	TE	DSR	0,4416					
1602	7	TD	PAN/DSR	0,01					
1604	11	TE	DSR	0,01					

Nota: EST= estaca; TD= trilha direita; TE= trilha esquerda; CE= centro; OND= ondulação; EXS= exsudação; DSR= desgaste superficial; PAN= panela; AGP= agregado polido.

Tabela C.3 - Levantamento visual de defeitos - Tempo 6 meses

Tempo 6											
Faixa	EST.	+	Zona	COD	Área	Faixa	EST.	+	Zona	COD	Área
xa		(m)			(m²)	xa		(m)	a		(m²)
Direita	1589	0,5	TE	PAN	0,01		1605	19	TD	EXS	0,01
	1589	2	TD	DSR	0,01		1605	7	TE	EXS	0,01
	1589	11	TE	AGP	0,01		1605	6	TE	DSR/AGP	0,01
	1589	14	CE	PAN	0,01		1605	3	TE	EXS	0,01
	1589	18	TD	EXS	0,01		1604	19	TD	EXS	0,01
	1589	20	TD	REM	0,01		1604	15	TE	EXS	0,01
	1590	1	CE	AGP/EXS	0,01		1603	11	TD	EXS	0,01
	1590	1,5	TD	EXS	0,01		1603	8	TD	AGP	0,01
	1590	2	TD	EXS	0,01		1603	5	CE	AGP	0,01
	1590	9	TD	PAN	0,01		1602	8	TD	AGP/TIT	0,01
	1590	11	TD	EXS	0,01		1602	5	TD	DSR	0,01
	1590	12	TE	DSR	0,01		1602	4	TD	TIT	0,01
	1590	13	TE	DSR	0,01		1602	0	TD	DSR	0,8
	1590	14	TD	PAN	0,01		1600	18	TD	AGP	0,01
	1590	19	TD	EXS	0,0338		1599	12	TE	EXS	0,01
	1591	1	TD	AGP/DSR	0,01		1599	19	TD	DSR	0,01
	1591	2	TD	DSR	0,01		1569	11	TE	DSR	0,01
	1591	3,5	CE	AGP	0,01		1599	9	TD	AGP	0,01
	1591	4	TD	EXS	0,465		1599	5	TE	AGP	0,01
	1591	5	CE	DSR	0,01		1599	5	TD	PAN	0,01
	1591	7	CE	DSR	0,1247		1598	18	TD	AGP	0,01
	1591	7	TE	EXS	0,01		1598	17	CE	AGP	0,01
	1591	8	TD	EXS	0,0576		1598	14	TD	PAN	0,4675
	1591	11	CE	DSR	0,0936		1598	7	TD	OND	0,04
	1591	12	TD	EXS	0,609		1597	19	TE	AGP	0,01
	1591	13	CE	DSR	0,0988		1597	16	CE	AGP	0,01
	1591	17	CE	EXS	0,0156		1597	11	TE	EXS	0,01
	1591	19	TE	EXS	0,01		1597	6	TD	AGP	0,01
	1592	1	TE	AGP	0,01		1596	18	TD	AGP/TIT	0,01
	1592	4	TD	AGP	0,01		1596	15	CE	AGP/DSR	0,01
1592	11	TE	AGP	0,01		1596	7	TD	AGP	0,01	
1592	12	CE	EXS	0,01		1596	6	TD	AGP	0,01	
1592	13	TD	EXS	0,01		1596	4	CE	AGP	0,01	
1593	2	TE	AGP	0,01		1595	17	TD	TIT	0,01	
1593	6	CE	DSR	0,0588		1595	11	TD	DSR	0,01	

1593	10	CE	DSR	0,077	1595	4	CE	AGP	0,01
1593	10	TD	EXS	0,01	1594	18	CE	PAN	0,01
1593	12	TD	EXS	0,01	1594	15	CE	AGP	0,01
1593	13	TD	AGP	0,01	1594	13	TE	EXS	0,01
1594	1	CE	AGP	0,01	1593	18	TD	PAN	0,01
1594	9	TD	DSR	0,01	1593	15	CE	DSR	0,01
1594	12	CE	PAN	0,01	1592	15	TE	DSR/AGP	0,01
1594	12	TD	AGP/PAN	0,01	1592	17	TD	PAN	0,01
1594	13	TE	AGP/PAN	0,01	1592	15	TD	PAN	0,01
1594	14	CE	PAN	0,01	1592	7	TD	PAN	0,01
1594	19	TD	EXS	0,2904	1592	5	TD	EXS	0,01
1595	2	TD	EXS	0,01	1592	2	CE	AGP	0,01
1595	4	TE	AGP	0,01	1591	18	CE	DSR	0,01
1595	5	TE	PAN	0,01	1591	11	TD	DSR/AGP	0,01
1595	10	TD	EXS	0,01	1591	9	CE	PAN	0,01
1595	12	CE	AGP	0,01	1591	2	CE	AGP	0,01
1595	14	TD	AGP	0,01	1590	11	CE	AGP	0,01
1596	2	CE	DSR/AGP	1,6	1590	10	CE	PAN	0,01
1596	5	TD	EXS	0,01	1589	12	TD	PAN	0,01
1596	17	CE	AGP	0,01	1589	5	TE	DSR	0,01
1596	17	TD	AGP	0,01	1589	3	TD	PAN	0,01
1597	6	TD	PAN	0,01	1589	2	CE	AGP	0,01
1597	7	TE	AGP/DSR	0,01	1589	0	CE	EXS	0,01
1598	1	TE	EXS	0,01					
1598	4	CE	DSR	4					
1598	11	TE	PAN	0,01					
1598	17	TE	AGP/DSR	0,01					
1598	18	TE	AGP/DSR	0,01					
1599	0	TE	AGP	0,01					
1599	9	TD	AGP/DSR	0,01					
1599	15	TD	DSR	0,01					
1600	8	TE	AGP	0,01					
1600	9	TE	AGP	0,01					
1600	10	TE	AGP	0,01					
1600	13	TE	AGP/DSR	0,01					
1601	1	TE	AGP/DSR	0,8					
1601	5	CE	AGP	0,01					
1601	6	TD	AGP	0,01					
1601	15	TE	AGP	0,01					
1601	17	TE	DSR	14,4					
1602	11	TD	ESX	0,01					
1602	12	TE	AGP	0,01					
1603	7	TE	AGP/DSR	0,01					
1603	8	TE	DSR	0,8					
1603	10	TE	DSR	0,01					
1603	11	TE	AGP	0,01					

1603	18	TE	AGP	0,01
1604	5	TE	AGP	0,01
1604	10	TD	AGP/DS R	0,01
1604	15	CE	PAN	0,01
1604	16	TE	EXS	0,01

Nota: EST= estaca; TD= trilha direita; TE= trilha esquerda; CE= centro; OND= ondulação; EXS= exsudação; DSR= desgaste superficial; PAN= panela; TIT= trinca transversal.

LEVANTAMENTO DE DEFEITOS

Configuração do ensaio:

Esquerda:	(X)	←
	()	→
Direita:	()	←
	(X)	→

Estaca Inicial

1589

Estaca Final

1606

Informações:

Data: 09/10/2018
 Local: Trecho 3
 Etapa: 0 meses
 Espessura: TSD 2,5 cm

Pessoal:

Responsável: Hebert Oliveira Santos
 Execução: Hebert, Clayton e Gustavo

	
1591	1591
OND	EXS

	
1591	1596
EXS	PAN

	
1598	1605
DSR/PAN	EXS

	
1605	1602
EXS	EXS

	
1599	1592
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

LEVANTAMENTO DE DEFEITOS

Configuração do ensaio:

Esquerda:	(X)	←
	()	→
Direita:	()	←
	(X)	→

Estaca Inicial

1589

Estaca Final

1606

Informações:

Data: 05/09/2019

Local: Trecho 3

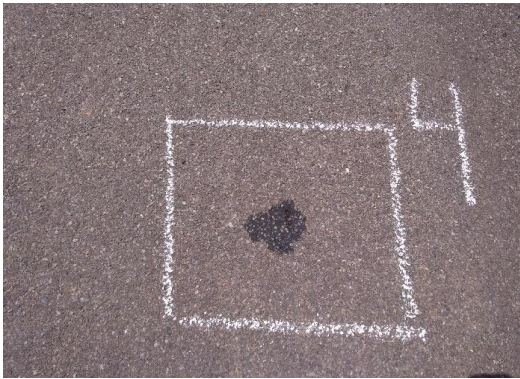
Etapa: 3 meses

Espessura: TSD + Lama Asfáltica 3,5 cm

Pessoal:

Responsável: Hebert Oliveira Santos

Execução: Hebert, Clayton e Gustavo

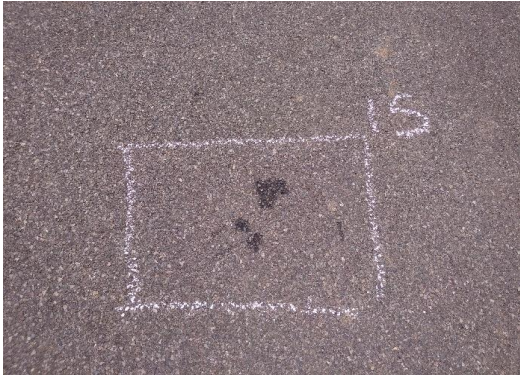
	
1591	1591
OND	EXS
	
1591	1596
EXS	PAN

	
1598	1605
DSR/PAN	EXS

	
1605	1602
EXS	EXS

	
1599	1592
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

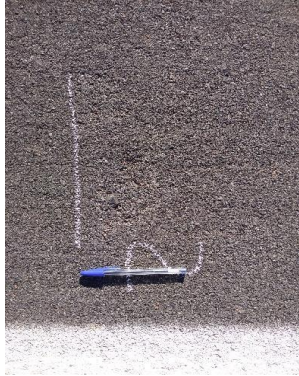
	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	1591
EXS	EXS

	
1592	
EXS	

LEVANTAMENTO DE DEFEITOS	
Configuração do ensaio:	Informações:
Esquerda: (X) ← () → Direita: () ← (X) → Estaca Inicial 1589 Estaca Final 1606	Data: 12/06/2019 Local: Trecho 3 Etapa: 6 meses Espessura: TSD + Lama Asfáltica 3,5 cm Pessoal: Responsável: Hebert Oliveira Santos Execução: Hebert, Clayton e Gustavo

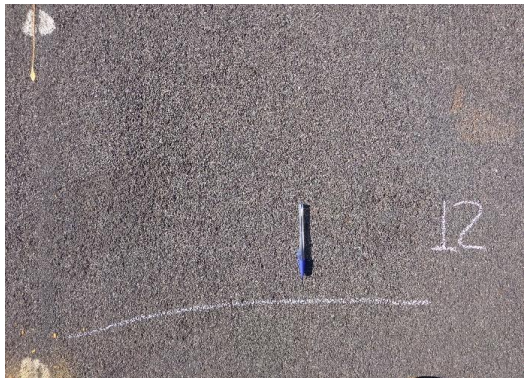
	
1589	1589
PAN	DSR-B

	
1589	1589
AGP	PAN

	
1589	1589
EXS	REM-B

	
1590	1590
AGP/ EXS	EXS

	
1590	1590
EXS	PAN

	
1590	1590
EXS	DSR-B

	
1590	1590
DSR	AGP

	
1590	1591
EXS	AGP / DSR-B

	
1591	1591
DSR-B	AGP

	
1591	1591
EXS	DSR-B

	
1591	1591
DSR-B	EXS

	
1591	1591
EXS	DSR-B

	
1591	1591
EXS	DSR-B

	
1591	1591
EXS	EXS

	
1592	1592
PAN	AGP

	
1592	1592
AGP	EXS

	
1592	1593
EXS	AGP

	
1593	1593
DSR-B	DSR-B

	
1593	1593
EXS	EXS

	
1593	1594
AGP	AGP

	
1594	1594
DSR-B	PAN

	
1594	1594
DSR-B/AGP	DSR-B/AGP

	
1594	1594
PAN	EXS

	
1595	1595
EXS	AGP

	
1595	1595
PAN	EXS

	
1595	1595
AGP	AGP

	
1596	1596
DSR-A/AGP	EXS

	
1596	1596
AGP	AGP

	
1597	1597
PAN	AGP/DSR-B

	
1598	1598
REM	DSR

	
1598	1598
PAN	AGP/DSR-B

	
1598	1599
AGP/DSR-B	AGP

	
1599	1599
AGP/DSR-B	DSR-B

	
1600	1600
AGP	AGP

	
1600	1600
AGP	AGP/DSR-B

	
1601	1601
AGP/DSR-B	AGP

	
1601	1601
AGP	AGP

	
1601	1602
DSR-A	EXS

	
1602	1603
AGP	AGP/DSR-B

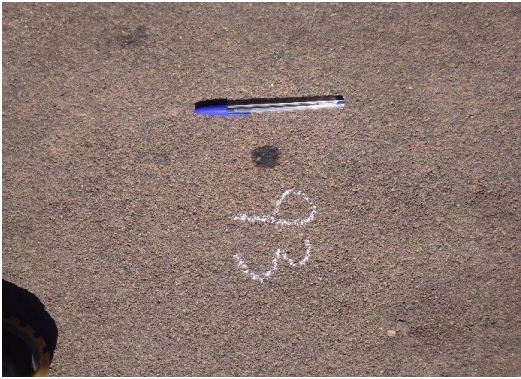
	
1603	1603
DSR-B	DSR-B

	
1603	1603
AGP	AGP

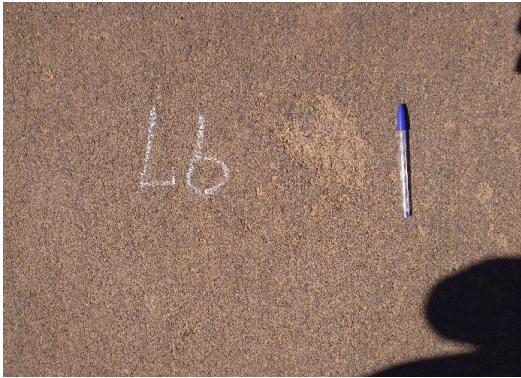
	
1604	1604
AGP/DSR-B	AGP/DSR-B
	
1604	1604
PAN	EXS
	
1605	1605
EXS	EXS

	
1605	1605
DSR-B/AGP	EXS

	
1604	1604
EXS	EXS

	
1603	1603
EXS	AGP

	
1603	1602
AGP	AGP

	
1602	1602
DSR-B	TIT-B

	
1602	1600
DSR-A	AGP

	
1599	1599
EXS	DSR-B

	
1599	1599
DSR-B	AGP

	
1599	1599
AGP	PAN

	
1598	1598
AGP	AGP

	
1598	1598
PAN	OND

	
1597	1597
AGP	AGP

	
1597	1597
EXS	AGP

	
1596	1596
AGP/ TIT-B	AGP/DSR

	
1596	1596
AGP	AGP

	
1596	1595
AGP	TIT-B

	
1595	1595
DSR	AGP

	
1594	1594
PAN	AGP

	
1594	1593
EXS	PAN

	
1593	1592
DSR-B	DSR-B

	
1592	1592
PAN	PAN

	
1592	1592
PAN	EXS

	
1592	1591
AGP	DSR-B

	
1591	1591
DSR-B/AGP	PAN

	
1591	1590
AGP	AGP

	
1590	1589
PAN	PAN

	
1589	1589
DSR-B	PAN

	
1589	1589
AGP	EXS

APÊNDICE D – LEVANTAMENTO DE TRÁFEGO

O apêndice D traz detalhes do levantamento de tráfego realizado, o levantamento dos veículos por tipo e o cálculo do número N.

Tabela D.1 - Levantamento de veículo por tipo

Tipo de veículo	VT	Vel (km/h)	SD	P legal (t)
Moto	160			-
Carro de passeio	457	92	30	-
Utilitário, pick-up e furgão	268			-
Ônibus (2 eixos)	28	77	17	16
Caminhão médio	2C	87		16
	3C	25		23
	4C	5		31,5
Caminhão semi-reboque	2S2	2		33
	2S3	7	76	41,5
	2S3	2		41,5
	3S3	13		45
Duplo semi-reboque	3S2S2	1		57
Rodotrem	3S2C4	3		74

Nota: VT= volume total; Vel= velocidade; SD= desvio padrão; P legal= peso legal.

Tabela D.2 - Cálculo valor N

Tipo de veículo		Peso total	N. eixo	VDM - 13h	VDM - 24h	VDM-a	FV	c	N
Moto				22,86	34,27	12509		0,5	
Carro de passeio			2,00	65,29	97,89	35729		0,5	
Utilitário, pick-up e furgão			2,00	38,29	57,40	20952	0,56	0,5	5822,97
ônibus (2 eixos)		16,80	2,00	4,00	6,00	2189	3,57	0,5	3904,61
ônibus (3 eixos)		20,50	3,00	0,00	0,00	0,00		0,5	0,00
Caminhão médio	2C	16,80	2,00	12,43	18,63	6802	3,57	0,5	12132,17
	3C	24,20	3,00	3,57	5,35	1954	8,83	0,5	8625,99
	4C	33,10	4,00	0,71	1,07	391	9,58	0,5	1871,98
Caminhão semi-reboque	2S1	-		0,00	0,00	0,00		0,5	0,00
	2S2	34,70		0,29	0,43	156	12,12	0,5	947,25
	2S3	43,60		1,00	1,50	547	12,87	0,5	3520,88
	2S3	47,30		0,29	0,43	156	12,87	0,5	1005,97
	3S3	47,30		1,86	2,78	1016	18,13	0,5	9211,45
Duplo semi-reboque	3S2S2	59,90		0,14	0,21	78	25,92	0,5	1013,39
Caminhão reboque	2C2	-		0,00	0,00	0,00		0,5	0,00
	2C3	-		0,00	0,00	0,00		0,5	0,00
	3C2	-		0,00	0,00	0,00		0,5	0,00
	3C3	-		0,00	0,00	0,00		0,5	0,00

Treminhão	3C2C2	-	0,00	0,00	0,00	0,5	0,00
Rodotrem	3S2C4	77,70	0,43	0,64	234	$\frac{34,4}{7}$	0,5 4042,70

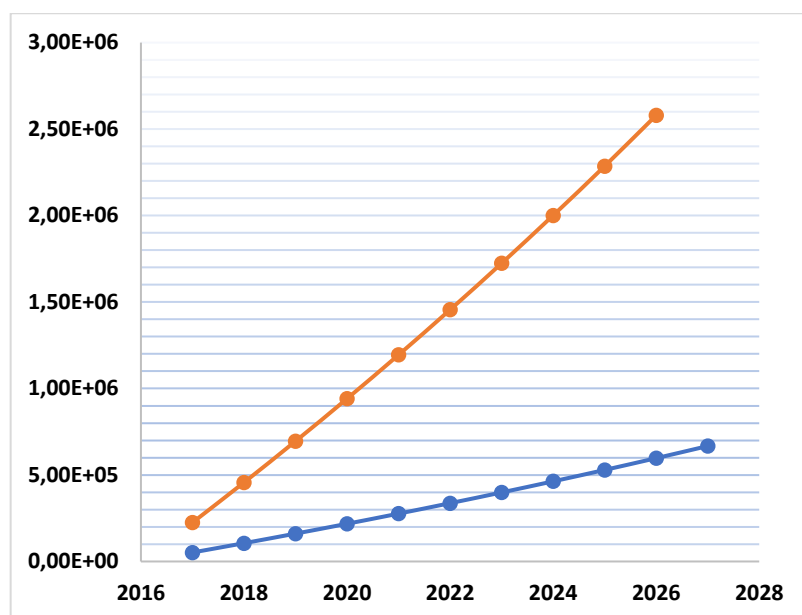
Nota: N eixo= número de eixos; VDM= volume médio diário; VDM-a= Volume médio diário anual; FV= fator de veículo; c= coeficiente relativo a quantidade de faixas; N= número de eixos padrões de 8,2t.

Tabela D.3 - Fator de expansão horária

Levantamento GO 070			Levantamento GO 230	
VMD - 06 as 20	VMD 24h	Fator de expansão horária	VMD - 06 as 20	VMD 24h (expandido)
445	667	1	151	227

Nota: VDM= volume médio diário

Figura D.1 - N de projeto X N medido



APÊNDICE E – LEVANTAMENTO DA DEFLEXÃO – VIGA BENKELMAN

Estão apresentados no apêndice E as bacias de deflexão obtidas pelo ensaio de viga benkelman durante os monitoramentos de 0, 3 e 6 meses.

Figura E.1 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Água Fria– Monitoramento Inicial

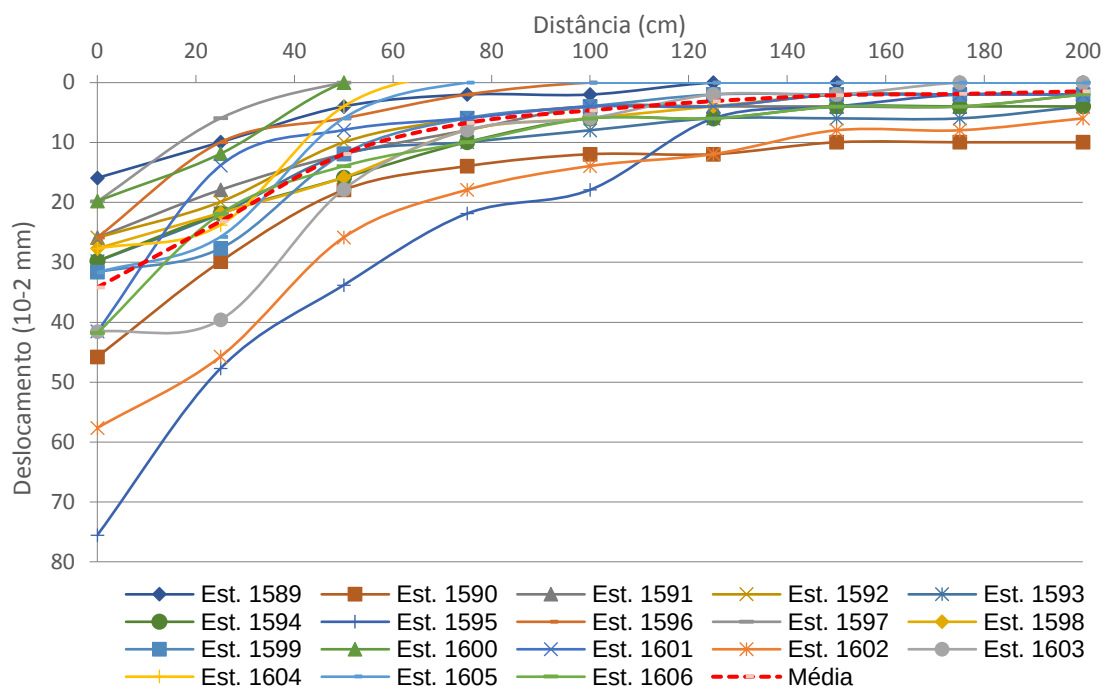


Figura E.2 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Mimoso– Monitoramento Inicial

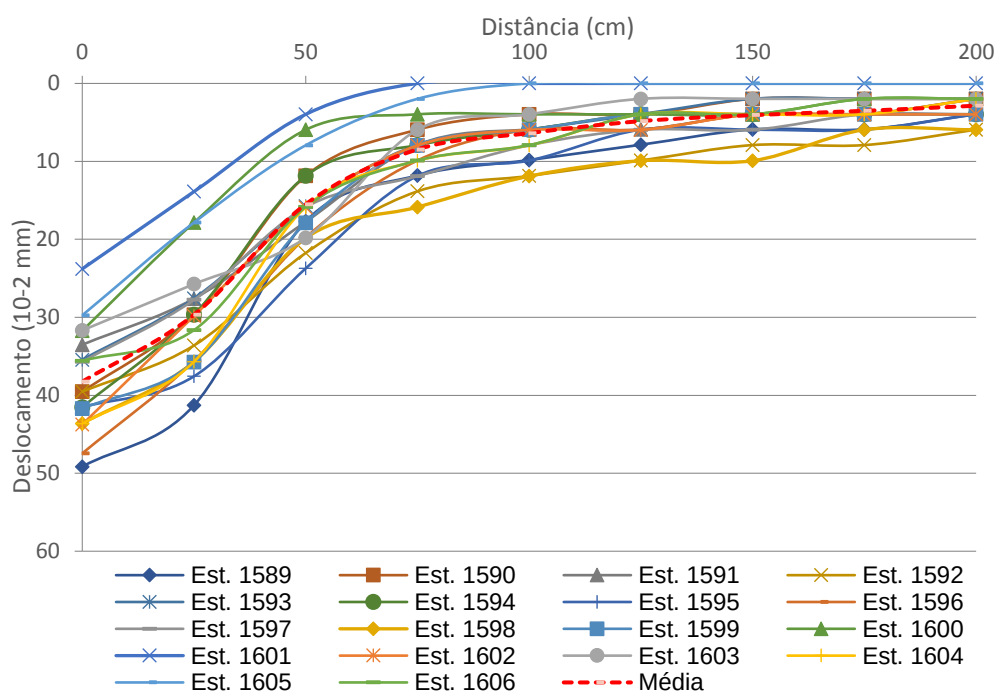


Figura E.3 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Água Fria– Monitoramento 3 meses

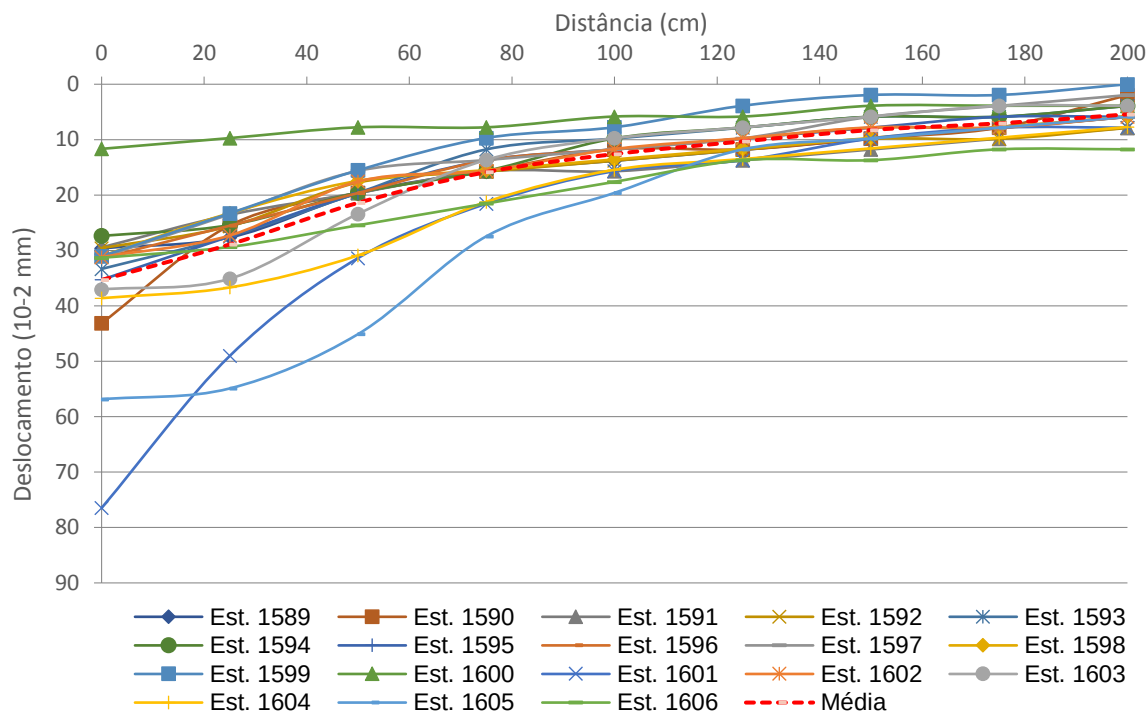


Figura E.4 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Mimoso– Monitoramento 3 meses

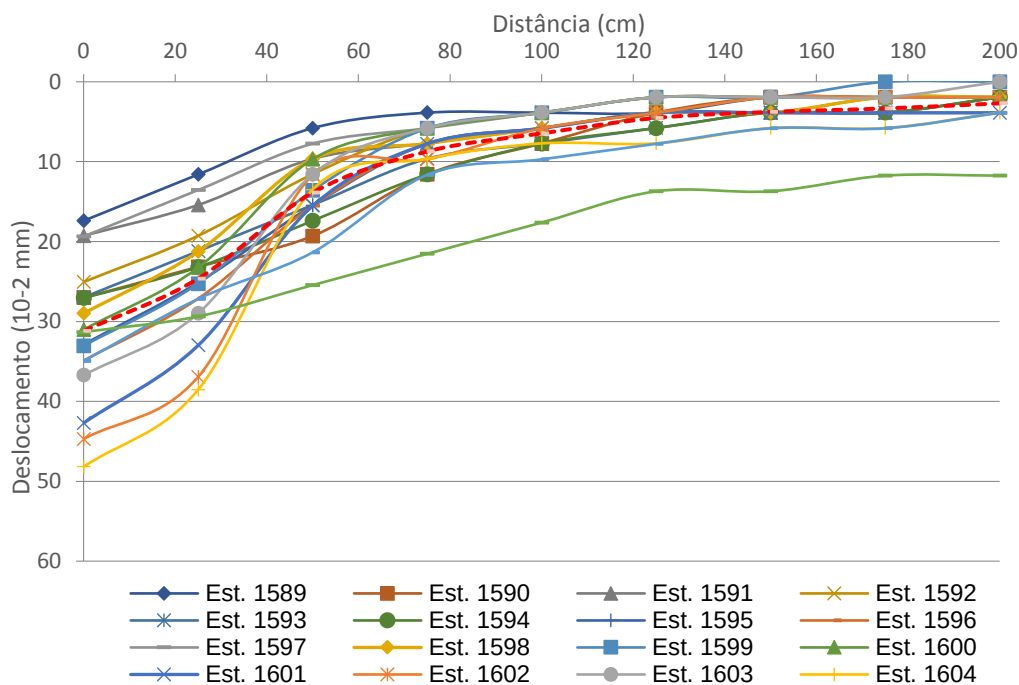


Figura E.5 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Água Fria– Monitoramento 6 meses

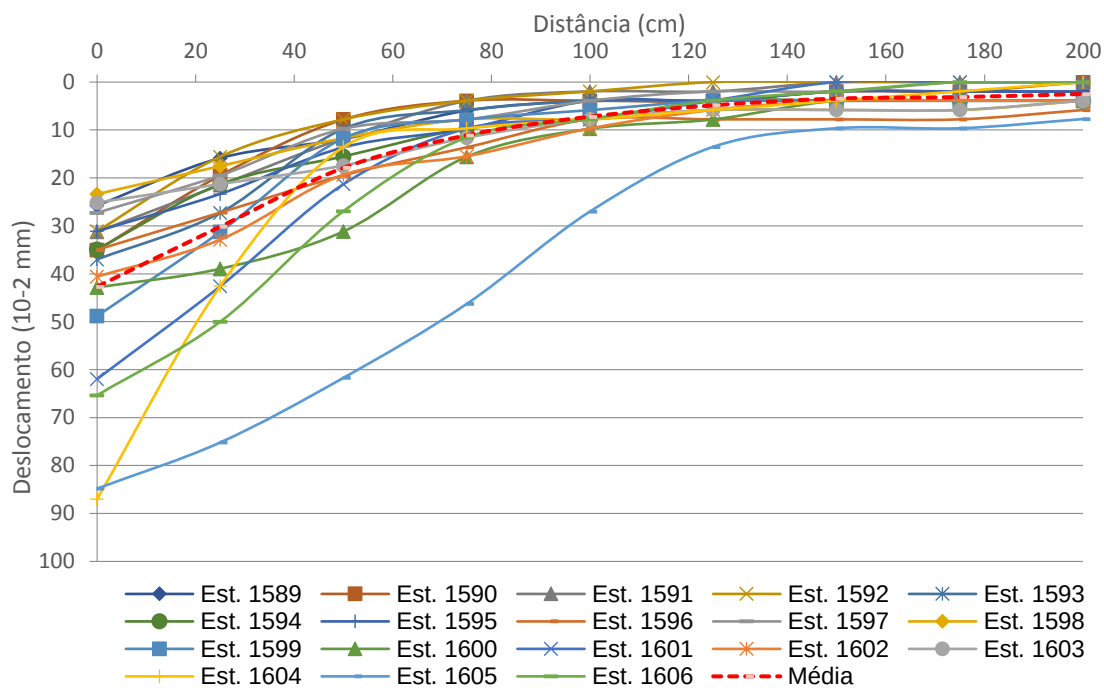
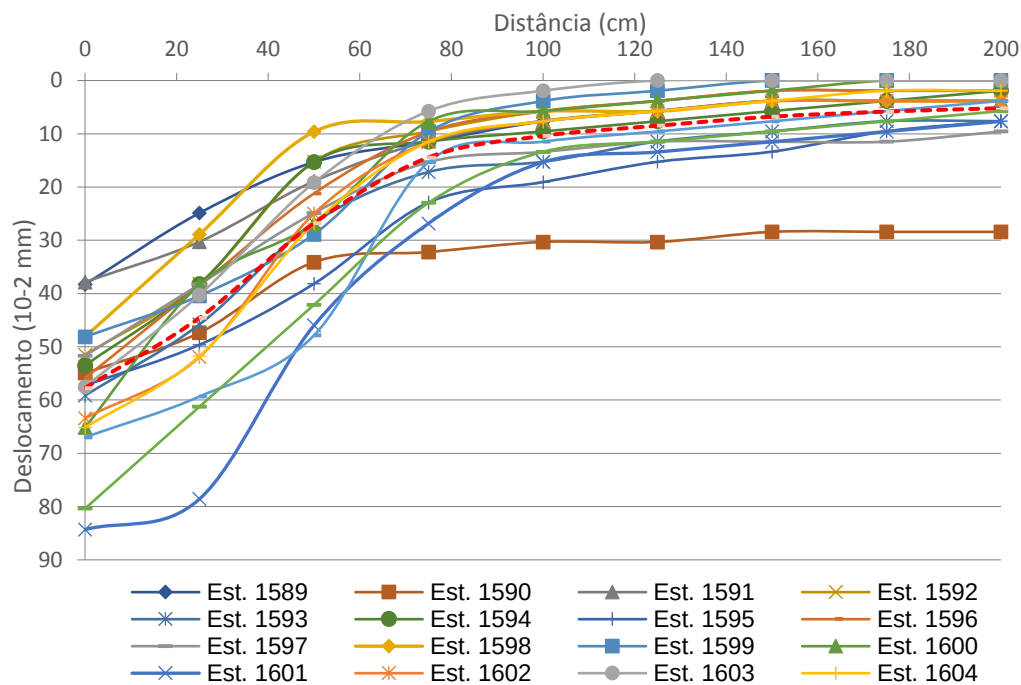


Figura E.6 - Bacias de deflexões obtidas na faixa sentido Mimoso– Monitoramento 6 meses



APÊNDICE F – ANÁLISE ESTRUTURAL COM O AEMC

O apêndice F apresenta os dados de lançamento e os resultados obtidos pela análise estrutural realizada com o programa AEMC.

Tabela F.1 - Dados de lançamento estrutura AEMC

<i>Base 2% de cimento</i>									
	E (cm)	ρ (g/cm ³)	COMPORT	μ	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4
TSD	3	2,4	linear	0,3	2000	0,00	0,00	0,00	0,00
BA2C	17	2,050	não linear	0,35	891	358,41	0,00	-0,41	0,00
SB	18	1,843	não linear	0,4	280	347,32	0,20	-0,24	0,00
SL	0	1,645	não linear	0,45	202	155,35	0,12	-0,27	0,00
<i>Base 3% de cimento</i>									
TSD	3	2,4	linear	0,3	2000	0,00	0,00	0,00	0,00
BA3C	17	2,055	não linear	0,35	1920	748,13	0,00	-0,39	0,00
SB	18	1,843	não linear	0,4	287	347,32	0,20	-0,24	0,00
SL	0	1,645	não linear	0,45	211	155,35	0,12	-0,27	0,00
<i>Base 4% de cimento</i>									
TSD	3	2,4	linear	0,3	2000	0,00	0,00	0,00	0,00
BA4C	17	2,060	não linear	0,35	7501	1950,78	0,00	-0,55	0,00
SB	18	1,843	não linear	0,4	305	347,32	0,20	-0,24	0,00
SL	0	1,645	não linear	0,45	234	155,35	0,12	-0,27	0,00

Nota: E= espessura; ρ = massa específica; μ = coeficiente de Poisson; k1,2,3,4= parâmetros modelos.

Tabela F.2 - Resumo da análise estrutural para as zonas de interface e meio das camadas.

Base 2% de cimento								
Material	Z (cm)	Uz (μm)	σx (MPa)	σz (MPa)	Ex (m/m)	Ez (m/m)	DTCz (μm)	DTz (%)
TSD + Lama Asfáltica	0,00	350,46	-0,24	0,00	-0,013%	0,002%	0,02	0,0%
	1,25	350,44	0,02	0,00	0,002%	0,001%		
	2,50	350,45	0,28	0,01	0,016%	-0,001%		
BA2C	2,50	350,45	0,28	0,01	0,016%	-0,001%	13,60	6,1%
	11,00	355,53	0,11	0,11	0,008%	0,008%		
	19,50	336,85	-0,15	0,13	-0,008%	0,035%		
SB	19,50	336,84	-0,15	0,13	-0,008%	0,035%	64,09	28,8%
	28,50	313,61	0,04	0,12	-0,007%	0,036%		
	37,50	272,76	-0,04	0,11	-0,020%	0,056%		
SL	37,50	272,75	-0,04	0,11	-0,020%	0,056%	144,88	65,1%
	62,50	209,44	0,02	0,07	-0,009%	0,028%		
	102,50	127,87	0,00	0,03	-0,006%	0,014%		
Base 3% de cimento								
TSD + Lama Asfáltica	0,00	350,46	-0,24	0,00	-0,013%	0,002%	0,02	0,0%
	1,25	350,44	0,02	0,00	0,002%	0,001%		
	2,50	350,45	0,28	0,01	0,016%	-0,001%		
BA3C	2,50	282,99	0,17	-0,01	0,011%	-0,001%	4,41	2,7%
	11,00	288,21	0,11	0,09	0,004%	0,003%		
	19,50	278,58	-0,28	0,10	-0,007%	0,020%		
SB	19,50	278,58	-0,28	0,10	-0,007%	0,020%	48,65	29,3%
	28,50	260,73	0,03	0,10	-0,006%	0,028%		
	37,50	229,93	-0,03	0,09	-0,016%	0,042%		
SL	37,50	229,92	-0,03	0,09	-0,016%	0,042%	112,83	68,0%
	62,50	182,76	0,02	0,06	-0,007%	0,021%		
	102,50	117,08	0,00	0,03	-0,005%	0,012%		

<i>Base 4% de cimento</i>								
TSD + Lama Asfáltica	0,00	350,46	-0,24	0,00	-0,013%	0,002%	0,02	0,0%
	1,25	350,44	0,02	0,00	0,002%	0,001%		
	2,50	350,45	0,28	0,01	0,016%	-0,001%		
BA4C	2,50	181,50	0,10	-0,01	0,007%	-0,001%	0,45	0,5%
	11,00	184,23	0,13	0,06	0,001%	0,000%		
	19,50	181,05	-0,57	0,06	-0,004%	0,007%		
SB	19,50	181,05	-0,57	0,06	-0,004%	0,007%	25,98	29,3%
	28,50	171,14	0,01	0,05	-0,004%	0,015%		
	37,50	155,07	-0,01	0,05	-0,008%	0,021%		
SL	37,50	155,06	-0,01	0,05	-0,008%	0,021%	62,08	70,1%
	62,50	131,37	0,01	0,04	-0,004%	0,011%		
	102,50	92,98	0,00	0,02	-0,003%	0,008%		

Nota: Uz= deslocamento eixo z; σ_x = tensão eixo x; σ_z = tensão eixo z; ϵ_x = deformação eixo x; ϵ_z = deformação eixo z; DTCz= deslocamento total da camada eixo z; DTz= deslocamento total eixo z.

APÊNDICE G – RETROANÁLISE

O apêndice G traz os resultados de retroanálise realizados com os programas BackMedina e BAKFAA a partir das bacias obtidas pela viga benkelman.

Tabela G.1 - Resultados médios retroanálise - Monitoramento Inicial, 3 e 6 meses

BAKFAA						BACKMEDINA					
Tempo 0											
		BA	SB	SL	MRS			BA	SB	SL	MRS
S-AF	Média	1472	463	334	20	Média	2082	560	277	13	
	SD	348	109	79	9	SD	397	208	111	4	
	CV	24%	24%	24%	43%	CV	19%	37%	40%	32%	
S-M	Média	1086	339	245	28	Média	2030	497	159	13	
	SD	121	40	29	6	SD	326	190	27	2	
	CV	11%	12%	12%	23%	CV	16%	38%	17%	14%	
Tempo 3											
S-AF	Média	1273	400	289	40	Média	3265	1028	140	16	
	SD	44	14	10	8	SD	683	215	24	4	
	CV	3%	3%	3%	20%	CV	21%	21%	17%	25%	
S-M	Média	1703	535	386	20	Média	2511	789	278	11	
	SD	392	123	89	8	SD	567	178	122	2	
	CV	23%	23%	23%	39%	CV	23%	23%	44%	15%	
Tempo 6											
S-AF	Média	1458	458	331	17	Média	2017	607	253	11	
	SD	194	61	44	7	SD	611	209	54	1	
	CV	13%	13%	13%	40%	CV	30%	34%	21%	14%	
S-M	Média	903	284	205	40	Média	1616	88	147	16	
	SD	7	2	2	13	SD	276	32	30	5	
	CV	1%	1%	1%	33%	CV	17%	36%	20%	30%	

Nota: BA= base; SB= sub-base; SL= subleito; SD= desvio padrão; CV= coeficiente de variação; S-AF= sentido água fria; S-M= sentido mimoso.