

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Gislaine Luvizão

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RECICLAGEM NA
RODOVIA SC 355: CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA
RECICLADA E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE SEGMENTOS
MONITORADOS EXECUTADOS**

Florianópolis, 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Gislaine Luvizão

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RECICLAGEM NA
RODOVIA SC 355: CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA
RECICLADA E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE SEGMENTOS
MONITORADOS EXECUTADOS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Glicério Trichês

Florianópolis, 2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Luvizão, Gislaine
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RECICLAGEM NA RODOVIA SC 355
: CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA RECICLADA E AVALIAÇÃO
ESTRUTURAL DE SEGMENTOS MONITORADOS EXECUTADOS / Gislaine
Luvizão ; orientador, Glicério Trichês - Florianópolis, SC,
2014.
413 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Reciclagem profunda. 3.
Reciclagem com cimento. 4. Fadiga. 5. Segmentos
monitorados. I. Trichês, Glicério. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Folha de assinaturas

Aos meus pais pelo apoio, incentivo
ao longo do curso deste trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Glicério Trichês, pelo incentivo, dedicação e competência na orientação desta pesquisa.

A Unoesc por auxiliar-me ao longo do período de mestrado e por disponibilizar equipamentos, espaço e estagiários para o desenvolvimento de ensaios em laboratório.

A todos os estagiários e colegas dos laboratórios de materiais, solos e asfalto da Unoesc, os quais não mediram esforço para o desenvolvimento dos experimentos.

Ao DEINFRA/SC, por disponibilizar as informações necessárias e possibilitar o desenvolvimento dos ensaios de campo.

A Sotepa, empresa supervisora, a qual não mediu esforços para ajudar nos ensaios e coletas dos materiais, em especial o engenheiro Daniel, aos laboratoristas Luciano, Pedro e Leonardo.

A Pavia, empresa que executou os segmentos monitorados, pelo apoio e auxílio nos ensaios, principalmente aos laboratoristas Mauro e Paulo.

Ao engenheiro Paulo Cesar de Oliveira da Tecnopav, pela disponibilidades e informações repassadas.

Aos meus pais Claudemar e Iracy, pelo apoio, compreensão e ajuda ao longo desse tempo dedicado, aos meus irmãos Maksuel e Samuel.

A equipe do laboratório Rodovias Verdes da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo auxílio na execução dos ensaios.

Aos Amigos pelo apoio, compreensão e principalmente força nas horas difíceis.

A todos que de uma forma ou de outra ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Este estudo buscou avaliar o desempenho de uma rodovia após o processo de reciclagem com cimento, através do acompanhamento do processo executivo, desempenho em campo e em laboratório da mistura reciclada, ao longo do tempo e com a variação da quantidade de aglomerante adicionado. Atualmente a reciclagem profunda com adição de cimento vem sendo uma técnica muito utilizada em vários países e também no Brasil. Porém, esta alternativa tem sido pouco estudada em relação ao seu desempenho e durabilidade ao longo do tempo. A pesquisa foi desenvolvida na rodovia SC 355, localizada nos municípios de Jaborá e Concórdia, no meio Oeste catarinense. Para a formação da nova mistura reciclada, foi adicionado agregado virgem (pó de pedra) e cimento Portland. Dividiu-se em duas fases o estudo, a primeira em campo e a segunda em laboratório. Os ensaios de campo, contemplam a construção, monitoramento deflectométrico da estrutura ao longo do tempo e ensaios mecânicos da mistura reciclada com cimento. Em laboratório, avaliou-se o desempenho da mistura com a variação do teor de cimento em diferentes idades de cura, através de ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e resiliente, além do estudo da vida de fadiga da mistura reciclada. A grande variabilidade das condições das camadas estruturais do pavimento, dificultaram a escolha de segmentos considerados homogêneos, tanto em relação as espessuras das camadas, as características das mesmas e ao relevo. Prejudicando a simulação exata das condições de campo, sendo necessários ajustes ao longo da execução da via, além de reformulações no projeto. O controle executivo de todas as etapas do processo de reciclagem garantem a qualidade da estrutura, portanto é necessário o rigoroso acompanhamento de profissionais especializados. O aumento no teor de cimento tende a aumentar a resistência à compressão simples e a resistência à tração por compressão diametral, da mesma forma, com o decorrer do tempo de cura há o aumento na resistência, com acréscimo mais acentuado nas idades iniciais. O controle adequado de todos os processos garante a qualidade da rodovia restaurada.

Palavras-chave: Reciclagem profunda. Reciclagem com cimento. Fadiga. Segmentos monitorados.

ABSTRACT

This study evaluated the performance of a highway after the recycling process with cement, by monitoring the enforcement process, performance on the field and in the laboratory with the recycled mix, along the time and with the amount variation of the binder added. Currently the deep recycling with addition of cement has been a widely used technique in several countries as well in Brazil. However this alternative have been low studies on the relation of its performance and durability over the time. The research was developed on the Highway SC 355, located on Jabora and Concórdia Counties, on the middle west of Santa Catarina. For the formation of the new recycled mix, virgin aggregate (crushed stone) and Portland cement were added. The study was divided in two phases, the first in the field and the second in laboratory. The field trials, including the construction, the deflection monitoring of the structure over time, and the mechanical tests of the recycled mix with cement. On the laboratory the performance of the mix with the variation of the amount of cement in diferent ages of curing was evaluated, by trial of unconfined compressive strength, tensile strength by diametral compression and resilient modulus, besides the study of fatigue life of the recycled mix. The variability of structural pavement layers conditions, difficult the choice of homogeneous segments, regarding the thickness of the layers, their characteristics and relief. Harming the accurate simulation of field conditions, needing adjustments during the execution of the way, in addition of reformulation in the project. The executive control of all stages of the recycling process, ensure the structural quality, however the strict monitoring of skilled professionals is necessary. The increase in cement content tends to increase the compressive strength and tensile strength by diametral compression, as well, over the curing time there is the increase in strength, with more significant rise in the early ages. The adequate control of all processes insure the quality of restored highway

Keywords: Deep Recycling. Recycling with cement. Fatigue. Segments monitored.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo (a) Brasil, (b) Santa Catarina e (c) Rodovia.....	32
Figura 2: Localização dos três segmentos monitorado na SC 355.....	33
Figura 3: Seção transversal da estrutura das camadas do pavimento restaurado.....	34
Figura 4: Fases da vida estrutural do pavimento.....	40
Figura 5: Características da bacia de deflexão durante a aplicação da carga.....	41
Figura 6: Fatores ambientais na deterioração do pavimento.....	43
Figura 7: Variação da serventia com o tempo.....	44
Figura 8: Desempenho do pavimento ao longo do tempo.....	47
Figura 9: Influência da % de revestimento no valor do CBR (%).....	51
Figura 10: Estrutura semirrígida.....	52
Figura 11: Comportamento dos materiais do pavimento.....	55
Figura 12: Processo de hidratação do cimento.....	56
Figura 13: Espalhamento do agente estabilizador (a) sacos; (b) caminhão.....	58
Figura 14: Detalhe processo de reciclagem com adição de aglomerante.....	58
Figura 15: Módulos em laboratório (Teor de cimento de 5%).....	60
Figura 16: Módulos em campo.....	61
Figura 17: Estruturas encontradas.....	61
Figura 18: Influência do tempo de mistura na resistência à compressão.....	62
Figura 19: Resistência à Compressão simples por teor de cimento.....	63
Figura 20: Resistência à Compressão Simples de campo.....	63
Figura 21: Variação do Módulo de Resiliência com o teor de cimento e tempo de cura.....	64
Figura 22: Fluxograma do método da pesquisa.....	66
Figura 23: Principais patologias encontradas nos segmentos monitorados, antes da intervenção.....	73
Figura 24: Levantamento deflectométrico com viga Benkelman.....	74
Figura 25: (a) Extração do corpo de prova do revestimento, (b) verificação da sua espessura.....	75
Figura 26: (a) Retirada do material da base (b) Espessura base.....	76
Figura 27: Recicladora cortando material de revestimento.....	76
Figura 28: Determinação da massa específica aparente seca da camada de base.....	77

Figura 29: Escavação da base e sub-base com auxílio de um escavadeira.....	77
Figura 30: Espessura das camadas do pavimento existente.....	78
Figura 31: Espessura da camada reciclada.....	79
Figura 32: Coleta do material reciclado a ser dosado em laboratório....	79
Figura 33: (a) Lançamento do pó de pedra, (b) verificação da taxa de agregado virgem.....	81
Figura 34: Espalhamento do cimento.....	82
Figura 35: Verificação da espessura da camada reciclada.....	83
Figura 36: Compactação da camada reciclada, com rolo pé de carneiro e liso.....	83
Figura 37: (a) Coleta de material reciclado, (b) compactação do material em corpos de prova 10 x 20 cm.....	84
Figura 38: Espelhamento e nivelamento do pó de pedra.....	84
Figura 39: (a) Espalhamento do cimento, (b) Controle da taxa de aplicação cimento.....	85
Figura 40: (a) Reciclagem do pavimento (b) verificação da espessura reciclada.....	85
Figura 41: (a) Coleta material para compactação, (b) compactação dos corpos de prova.....	86
Figura 42: Execução da compactação da camada reciclada.....	86
Figura 43: (a) Compactação com rolo pé de carneiro, (b) determinação da massa específica aparente seca da camada reciclada.....	87
Figura 44: (a) verificação das inclinações, (b) regularização da camada.....	87
Figura 45: (a) Aplicação agregado virgem, (b) verificação da taxa de aplicação.....	89
Figura 46: (a) Espalhamento do cimento, (b) Verificação da taxa de aplicação do cimento.....	89
Figura 47: Verificação da espessura de corte reciclado.....	90
Figura 48: Determinação da massa específica aparente seca <i>in situ</i>	91
Figura 49: (a) Compactação dos corpos de prova, (b) rompimento dos corpos de prova.....	92
Figura 50: Levantamento deflectométrico (a) após a reciclagem (b) após a massa fina.....	93
Figura 51: (a) espalhamento da emulsão polimerizada (b) compactação do tratamento superficial.....	94
Figura 52: Remendo profundo - Segmento 2.....	95
Figura 53: Condições superficiais e estrutura nos remendos.....	96
Figura 54: (a) Compactação do subleito (b) Compactação da nova camada de base.....	96

Figura 55: Reciclagem dos remendos com nova adição de cimento.....	97
Figura 56: (a) verificação da temperatura de rolamento, (b) compactação do revestimento.....	98
Figura 57: (a) verificação da espessura de lançamento (b) compactação da camada de rolamento.....	99
Figura 58: Extração placas para ensaio de deformação permanente.....	99
Figura 59: (a) corpo de prova de mistura reciclado durante ensaio de módulo, (b) comportamento do material com a aplicação de carga....	102
Figura 60: Módulo elástico tangente da mistura reciclada.....	103
Figura 61: Módulo elástico secante da mistura reciclada.....	103
Figura 62: Ensaio de fadiga por compressão diametral.....	105
Figura 63: (a) equipamento para a determinação do módulo, (b) comportamento durante o ensaio.....	105
Figura 64: Preparação das placas para ensaio de deformação permanente.....	106
Figura 65: (a) medições de deformação, (b) placas ensaiadas.....	107
Figura 66: Localização do segmento 1.....	109
Figura 67: Localização do segmento 2.....	110
Figura 68: Localização do segmento 3.....	110
Figura 69: Espessuras das camadas projetada.....	111
Figura 70: Enquadramento faixa III da especificação ES-P-09 DEINFRA/SC.....	112
Figura 71: Principais patologias encontradas no segmento 1.....	113
Figura 72: Condições superficiais da camada de rolamento do segmento 2.....	114
Figura 73: Condições do revestimento no segmento 3.....	114
Figura 74: Deflexão antes da intervenção.....	120
Figura 75: Raio de curvatura antes da intervenção.....	121
Figura 76: Retroanálise da bacia de deflexão na estaca 2+200 LD.....	122
Figura 77: Módulos retroanalizado da Base, sub-base e subleito.....	124
Figura 78: Espessura da camada de corte.....	127
Figura 79: Relação da espessura do revestimento com a espessura total reciclada.....	128
Figura 80: Taxa de aplicação pó de pedra.....	129
Figura 81: Porcentagem de cimento lançado ao longo dos segmentos.....	130
Figura 82: Taxa de aplicação do teor de cimento.....	131
Figura 83: Variação da umidade de compactação ao longo dos segmentos.....	132
Figura 84: Umidade de compactação da mistura em cada segmento..	133
Figura 85: Grau de compactação da camada reciclada.....	134

Figura 86: Granulometria mistura reciclada separada por segmento...	135
Figura 87: Granulometria do material reciclado por posição de coleta.....	136
Figura 88: Granulometria mistura reciclada - Superior/Inferior.....	136
Figura 89: Resistência à compressão simples com corpos de prova moldados em campo.....	138
Figura 90: Resistência à compressão simples - média com desvio padrão.....	139
Figura 91: Resistência à tração por compressão diametral com corpos de prova de campo.....	141
Figura 92: Resistência à tração por compressão diametral - médios com desvio padrão.....	142
Figura 93: Características visuais da mistura reciclada (a) Segmento 1 (b) Segmento 3.....	143
Figura 94: RCS (7 dias) x RCS (28 dias) com corpos de prova moldados em campo.....	143
Figura 95: RTCD (7 dias) x RTCD (28 dias) com corpos de prova moldados em campo.....	144
Figura 96: RCS x RTCD - Segmento 1 com corpos de prova moldados em campo.....	145
Figura 97: RCS x RTCD - Segmento 2 com corpos de prova moldados em campo.....	146
Figura 98: RCS x RTCD - Segmento 3 com corpos de prova moldados em campo.....	146
Figura 99: RCS x RTCD - Segmento 2 e 3, com todos os corpos de prova moldados em campo.....	147
Figura 100: Comparativo entre resultados de RCS - Sotepa/Uoesc.....	150
Figura 101: Comparativos entre resultados de RTCD - Sotepa/Uoesc.....	150
Figura 102: Temperatura de espalhamento da mistura asfáltica.....	152
Figura 103: Temperatura de rolamento da mistura asfáltica.....	153
Figura 104: Teor de ligante na mistura asfáltica.....	154
Figura 105: Reconstituição de traço da camada de rolamento.....	155
Figura 106: Granulometria base de BGS.....	157
Figura 107: Granulometria do revestimento existente.....	159
Figura 108: Granulometria dos materiais utilizados na dosagem.....	160
Figura 109: Enquadramento na Faixa III do DEINFRA/SC.....	160
Figura 110: Curva de compactação das misturas recicladas.....	161
Figura 111: RCS x Idade de cura (teor de cimento) - Laboratório (a) Segmento 1; (b) Segmento 2 e (c) Segmento 3.....	163

Figura 112: RCS x Teor de cimento (a) Segmento 1; (b) Segmento 2; (c) Segmento 3.....	164
Figura 113: RCS (7 dias) x RCS (28 dias).....	165
Figura 114: RTCD x Idade (a) Segmento 1; (b) Segmento 2; (c) Segmento 3.....	167
Figura 115: RTCD (7 dias) x RTCD (28 dias).....	168
Figura 116: RCS (7 dias) x RTCD (7 dias).....	169
Figura 117: RCS (28 dias) x RTCD (28 dias).....	169
Figura 118: Módulo resiliente x Idade de cura - Segmentos 1 e 2.....	171
Figura 119: Módulo resiliente x Idade de cura – Segmento 3.....	174
Figura 120: Módulo resiliente x teor de cimento – Segmento 3.....	175
Figura 121: RCS x Módulo resiliente.....	175
Figura 122: Módulo resiliente x RCS - por idade.....	176
Figura 123: Acréscimo de RCS e Módulo com o tempo.....	177
Figura 124: Módulos tangente, secante e resiliente da mistura reciclada - Segmento 1.....	178
Figura 125: Módulos - Segmento 2.....	179
Figura 126: Módulos - Segmento 3.....	180
Figura 127: Relação entre módulos e RTCD.....	181
Figura 128: Fadiga da mistura reciclada.....	182
Figura 129: Deformação permanente segmento 1.....	184
Figura 130: Deformação permanente segmento 2.....	185
Figura 131: Deformação permanente segmento 3.....	185
Figura 132: Dano por umidade induzida – Moldado.....	187
Figura 133: Variação do módulo da camada de base, sub-base e subleito em diferentes momentos do processo de reciclagem.....	197
Figura 134: Variação do módulo do revestimento e base reciclada ao longo do tempo.....	198
Figura 135: Deflexões segmento 1.....	198
Figura 136: Deflexões segmento 2.....	199
Figura 137: Deflexões segmento 3.....	200
Figura 138: Variação da deflexão ao longo do tempo.....	201
Figura 139: Raio de curvatura calculado através do levantamento deflectométrico.....	202
Figura 140: Estrutura dos segmentos.....	203
Figura 141: Estimativa da vida útil do pavimento reciclado – Módulo retroanálise.....	205
Figura 142: Estimativa da vida útil do pavimento reciclado – módulos ensaiados.....	207

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores implicados no desempenho e na deterioração dos pavimentos asfálticos.....	45
Tabela 2: Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação.....	48
Tabela 3: Dosagens e controles de camadas recicladas com cimento...57	
Tabela 4: Resistência à compressão (MPa – trecho II).....	62
Tabela 5: Datas de execução.....	68
Tabela 6: Tempo decorrido entre a execução de cada camada.....	68
Tabela 7: Espessuras (cm) das camadas - Antes da reciclagem 2+000 a 3+200 (segmento 1).....	116
Tabela 8: Espessuras (cm) das camadas - Antes da reciclagem 4+300 a 5+500 (segmento 2).....	117
Tabela 9: Espessuras (cm) das camadas - Antes da reciclagem 7+600 a 8+800 (segmento 3).....	118
Tabela 10: Identificação das camadas do pavimento.....	119
Tabela 11: Deflexões antes da reciclagem.....	120
Tabela 12: Deflexões medidas e calculadas ($\times 10^{-2}$ mm) Segmento 1 km 2+200 LD.....	122
Tabela 13: Espessuras e Módulo retroanalisado na estaca 2+200 LD.....	122
Tabela 14: Retroanálise antes da intervenção. Valores dos Módulos em MPa.....	123
Tabela 15: Resultados da RCS e RTCD - Pista experimental 1.....	125
Tabela 16: Resultados da pista experimental 2.....	126
Tabela 17: Relação entre a espessura do revestimento e da base reciclada.....	128
Tabela 18: Resistência à compressão simples (campo).....	137
Tabela 19: Resistência à tração por compressão diametral com corpos de prova de campo.....	140
Tabela 20: Correlação RCS x RTCD – Campo.....	147
Tabela 21: Ensaios Mecânicos com corpos de prova moldados em campo - Sotepa/Unoesc.....	149
Tabela 22: Características do ligante asfáltico empregado.....	151
Tabela 23: Temperaturas de espalhamento e rolagem da mistura asfáltica.....	152
Tabela 24: Extração de ligante e granulometria.....	153
Tabela 25: Caracterização trincheira – Base.....	155
Tabela 26: Características da sub-base.....	157

Tabela 27: Caracterização trincheira – Subleito.....	158
Tabela 28: Curvas de compactação (energia do Proctor modificado) – Material reciclado.....	161
Tabela 29: Resultados da RCS – Laboratório.....	162
Tabela 30: Correlação entre RCS (7) x RCS (28) - Laboratório.....	165
Tabela 31: Resistência à tração por compressão diametral - Laboratório.....	166
Tabela 32: Correlação RTCD 7 e 28 dias de cura - Laboratório.....	168
Tabela 33: RCS x RTCD 7 e 28 dias.....	170
Tabela 34: Módulo resiliente e RCS - Segmento 1 e 2.....	170
Tabela 35: Módulo resiliente e RCS - Segmento 3.....	172
Tabela 36: Módulo resiliente da mistura asfáltica.....	183
Tabela 37: Deformação permanente.....	184
Tabela 38: Dano por umidade induzida – Moldado.....	186
Tabela 39: Dano por umidade induzida - extraído.....	187
Tabela 40: Espessuras camadas após a reciclagem - 2+000 - 3+200 LE.....	189
Tabela 41: Espessuras camadas após a reciclagem - 2+000 - 3+200 LD.....	190
Tabela 42: Espessuras camadas após a reciclagem - 4+300 - 5+500 LE.....	191
Tabela 43: Espessuras camadas após a reciclagem - 4+300 - 5+500 LD.....	192
Tabela 44: Espessuras camadas após a reciclagem - 7+600 - 8+800 LE.....	193
Tabela 45: Espessuras camadas após a reciclagem - 7+600 - 8+800 LD.....	194
Tabela 46: Retroanálise após a reciclagem.....	196
Tabela 47: Raio de curvatura.....	202
Tabela 48: Características da estrutura final com módulos retroanalizados.....	204
Tabela 49: Estimativa da vida útil (retroanálise).....	205
Tabela 50: Características da estrutura final com módulos ensaiados.....	206
Tabela 51: Estimativa da vida útil (ensaio).....	206

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DEINFRA	Departamento estadual de infraestrutura
SC	Santa Catarina
BR	Brasil
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
DCP	Cone de penetração Dinâmico
CBR	California Bearing Ratio
FWD	Falling Weight Deflectometer
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
TER	Terminologia
PRO	Procedimento
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
ES	Especificação de Serviço
ME	Método de ensaio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ISC	Índice de Suporte Califórnia
RCS	Resistência à Compressão Simples
RTCD	Resistência à Tração por Compressão Diametral
RF	Resistência à Flexão
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
MPa	Mega Pascal
kN	Quilo Newton
h	Hora
km	Quilometro
CNT	Confederação Nacional do Transporte
°C	Grau Celsius
m	Metro
PR	Paraná
SP	São Paulo
MG	Minas Gerais
mm	Milímetros
SAMI	Stress Absorbing Membrane Interlayer
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
USACE	Corpo de Engenheiros do Exército Americano
BGS	Brita Graduada Simples
cm	Centímetros
g/cm ³	Gramas por centímetros cúbicos
CP	Corpo de prova
kgf/m ²	Quilograma-força por metro quadrado
n°	Número
LD	Lado direito

LE	Lado esquerdo
MEAS	Massa específica aparente seca
V _v	Volume de vazios
s	Segundos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RAP	Recycled Asphalt Pavement
ARRA	Asphalt Recycling and Reclaiming Association
U\$	Dólar
AFNOR	Association Française de Normalisation
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	29
1.2	JUSTIFICATIVA.....	30
1.3	OBJETIVOS	31
1.3.1	Objetivo geral	31
1.3.2	Objetivos específicos	31
1.4	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
1.5	ESTRUTURA DE PAVIMENTO IMPLANTADA NA RODOVIA E NAS PISTAS EXPERIMENTAIS	33
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	34
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.1	PAVIMENTO	37
2.1.1	Características resiliente dos materiais	38
2.1.2	Avaliação funcional e estrutural do pavimento	39
2.1.2.1	Avaliação das condições estruturais.....	39
2.1.2.2	Medida da Deflexão	40
2.1.2.3	Retroanálise de pavimento	42
2.1.3	Condições ambientais	43
2.1.4	Patologias	44
2.2	RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS	45
2.2.1	Resíduo	47
2.2.2	Tipos de reciclagem	48
2.2.3	Reciclagem profunda	50
2.2.3.1	Relação revestimento/base	50
2.2.3.2	Comportamento camada reciclada	52
2.2.3.3	Teor de cimento e cura	54
2.2.3.4	Processo executivo	56
2.2.4	Estudos desenvolvidos no Brasil	59
3	MÉTODO DA PESQUISA	65
3.1	HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DA RODOVIA.....	67
3.2	ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA.....	69
3.3	FASE 1 - CAMPO	72
3.3.1	Etapa 1 – Projeto de restauração	72
3.3.2	Etapa 2 – Condições estruturais e funcionais do pavimento	73
3.3.2.1	Levantamento das patologias e das condições de drenagem.	73
3.3.2.2	Levantamento Deflectométrico	74
3.3.2.3	Abertura de poços de inspeção.....	75

3.3.3	Etapa 3 - Coleta de amostras para a dosagem da camada reciclada.....	78
3.3.4	Etapa 4 - Execução de pistas experimentais para calibração dos equipamentos	80
3.3.5	Etapa 5 - Execução da camada reciclada nos 3 segmentos monitorados.....	88
3.3.5.1	Taxa de aplicação do agregado virgem.....	88
3.3.5.2	Taxa de aplicação do cimento.....	89
3.3.5.3	Espessura de corte reciclado	90
3.3.5.4	Granulometria da mistura reciclada	90
3.3.5.5	Umidade da mistura reciclada.....	91
3.3.5.6	Grau de Compactação da camada reciclada.....	91
3.3.5.7	Comportamento mecânico da mistura reciclada em campo...	92
3.3.5.8	Determinação das deflexões	93
3.3.5.9	Tratamento superficial	94
3.3.5.10	Remendo profundo	94
3.3.6	Etapa 6 - Acompanhamento do processo executivo da camada de revestimento asfáltico	97
3.4	FASE 2 – LABORATÓRIO	100
3.4.1	Etapa 1 - Caracterização dos materiais coletados nas trincheiras.....	100
3.4.2	Etapa 2 - Dosagem da mistura reciclada	100
3.4.3	Etapa 3 - Determinação das características mecânicas da mistura reciclada.....	101
3.4.3.1	Resistência à compressão simples	101
3.4.3.2	Resistência à tração por compressão diametral.....	101
3.4.3.3	Módulo resiliente da mistura reciclada	101
3.4.3.4	Módulo elástico da mistura reciclada	102
3.4.3.5	Fadiga de mistura reciclada	104
3.4.4	Etapa 4 - Caracterização mecânica da camada asfáltica	105
3.4.4.1	Módulo resiliente da mistura asfáltica	105
3.4.4.2	Dano por umidade induzida	106
3.4.4.3	Deformação permanente.....	106
3.4.5	Etapa 5 - Estimativa da vida útil do pavimento	107
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	109
4.1	FASE 1 – CAMPO	109
4.1.1	Etapa 1 – Projeto de restauração	109
4.1.1.1	Características dos segmentos.....	109
4.1.1.2	Projeto de dosagem da mistura reciclada – Tecnopav	111

4.1.2	Etapa 2: Levantamento das condições estruturais e funcionais do pavimento	112
4.1.2.1	Patologias	113
4.1.2.2	Abertura dos poços de inspeção	114
4.1.2.3	Levantamento deflectométrico	119
4.1.2.4	Retroanálise das estruturas existentes	121
4.1.3	Etapa 4 - Execução de pistas experimentais para calibração dos equipamentos	125
4.1.4	Etapa 5: Acompanhamentos da execução da camada reciclada	126
4.1.4.1	Espessura de corte	126
4.1.4.2	Taxa de aplicação do pó de pedra	128
4.1.4.3	Taxa de aplicação do teor de cimento	130
4.1.4.4	Umidade de compactação	131
4.1.4.5	Grau de compactação	133
4.1.4.6	Granulometria da mistura reciclada	135
4.1.4.7	Caracterização mecânica da mistura em campo	137
4.1.5	Etapa 6: Acompanhamento do processo executivo da camada de revestimento asfáltico.	151
4.1.5.1	Características do ligante asfáltico	151
4.1.5.2	Temperatura de lançamento da mistura asfáltica (massa fina e CAUQ).....	151
4.1.5.3	Extração de ligante e reconstituição de traço	153
4.2	FASE 2 – LABORATÓRIO	155
4.2.1	Etapa 1 – Caracterização dos materiais das trincheiras	155
4.2.2	Etapa 2 - Dosagem da mistura reciclada.....	159
4.2.2.1	Enquadramento na faixa granulométrica do DEINFRA/SC	159
4.2.2.2	Curvas de Compactação	161
4.2.3	Etapa 3: Determinação das características mecânicas da mistura reciclada.....	162
4.2.3.1	Resistência à compressão simples.....	162
4.2.3.2	Resistência à tração por compressão diametral	165
4.2.3.3	Módulo resiliente mistura reciclada	170
4.2.3.4	Módulo de elasticidade	178
4.2.3.5	Fadiga da mistura reciclada.....	181
4.2.4	Etapa 4: Caracterização mecânica da camada asfáltica	182
4.2.4.1	Módulo resiliente da mistura asfáltica	183
4.2.4.2	Deformação permanente	184
4.2.4.3	Dano por umidade induzida	186
4.2.5	Etapa 5: Estimativa da vida útil do pavimento	188
4.2.5.1	Estrutura final após reciclagem	188

4.2.5.2	Retroanálise das bacias após reciclagem	195
4.2.5.3	Estimativa da vida útil do pavimento.....	202
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	209
5.1	CONCLUSÕES	209
5.2	COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	211
	REFERÊNCIAS	213
	APÊNDICES	221
	APÊNDICE A – LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DAS PATOLOGIAS	222
	APÊNDICE B - RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFLEXÃO - ANTES DA INTERVENÇÃO	234
	APÊNDICE C – ESPESSURA DE CORTE REICLADO	271
	APÊNDICE D – TAXA APLICAÇÃO AGREGADO VIRGEM	272
	APÊNDICE E – TAXA APLICAÇÃO CIMENTO	273
	APÊNDICE F – UMIDADE DE COMPACTAÇÃO	274
	APÊNDICE G – GRAU DE COMPACTAÇÃO DA MISTURA REICLADA	275
	APÊNDICE H – GRANULOMETRIA DA MISTURA REICLADA.....	277
	APÊNDICE I – ENSAIOS MECÂNICOS – CAMPO	281
	APÊNDICE J – RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇO DA MISTURA ASFÁLTICA	284
	APÊNDICE K – RETROANÁLISE 7 DIAS.....	287
	APÊNDICE L – RETROANÁLISE 28 DIAS	326
	APÊNDICE M – RETROANÁLISE APÓS REVESTIMENTO.....	365
	APÊNDICE N – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES LABORATÓRIO.....	402
	APÊNDICE O – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL LABORATÓRIO	404
	APÊNDICE P – MÓDULO RESILIENTE MISTURA REICLADA.....	406
	APÊNDICE Q – MÓDULO RESILIENTE MISTURA ASFÁLTICA.....	409
	APÊNDICE R – DEFORMAÇÃO PERMANENTE.....	411
	APÊNDICE S – DANO POR UMIDADE INDUZIDA	412
	APÊNDICE T – FADIGA DA MISTURA REICLADA	413

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil possui atualmente 1.713.885 quilômetros de rodovias, sendo que 11,8% (202.589 km) são pavimentadas, 79,3% (1.358.793 km) não pavimentadas e 8,9% (152.503 km) planejadas. Além da reduzida extensão pavimentada, encontram-se com graves problemas de conservação, proporcionando aumento no custo de operação e falta de segurança aos usuários. Elevando assim os custos para restaurar o pavimento (CNT, 2013).

A grande extensão rodoviária que necessita ser restaurada, apresenta não apenas condições desfavoráveis de rolamento e conforto, mas baixa condição estrutural das camadas inferiores. A camada de rolamento, na grande maioria, é de revestimento asfáltico e é a camada que recebe diretamente o carregamento oriundo do tráfego, tendo que dissipar as cargas para as camadas inferiores.

A ação do carregamento e do meio ambiente levam à degradação do revestimento asfáltico que aliada à falta de gestão da manutenção, tende a reduzir sua durabilidade. Da mesma forma, quando a camada de base não suporta mais os esforços atuantes sobre ela, reduzindo as condições estruturais e funcionais, torna-se necessária a intervenção também nesta camada.

Nesses casos é preciso remover as duas camadas e repor materiais adequados. Quando esta extensão é grande, a geração de resíduos também apresenta quantitativo elevado. Uma forma de reduzir esse passivo ambiental é a reciclagem destas duas camadas *in situ*, proporcionando uma agregação de capacidade estrutural ao pavimento, notadamente quando estas são estabilizadas quimicamente.

Quando se busca reciclar algum material, é necessário que se tenha uma visão holística do problema levando-se em consideração, se possível, todas as variáveis envolvidas, de tal forma que o resultado alcançado com a solução adotada leve, efetivamente, à economia de recursos naturais e não renováveis, menor consumo de energia e redução de emissões.

Para utilização em camadas de pavimentos, os materiais a serem reciclados devem possuir características mínimas quanto ao desempenho mecânico e durabilidade. Para isso, deve-se desenvolver estudos quanto a sua viabilidade de utilização.

Atualmente, a reciclagem profunda com adição de cimento vem sendo uma técnica muito utilizada em vários países e também no Brasil.

Porém esta alternativa tem sido pouco estudada em relação ao seu desempenho e durabilidade ao longo do tempo. Os poucos estudos desenvolvidos buscam apenas avaliar as condições de execução, controle tecnológico e parâmetros de Índice de Suporte Califórnia, Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração por Compressão Diametral.

Este estudo buscou avaliar o desempenho da rodovia após o processo de reciclagem com cimento, da camada de base e revestimento, através do acompanhamento do processo executivo, desempenho em campo e em laboratório da mistura reciclada, ao longo do tempo e com a variação da quantidade de aglomerante adicionado.

1.2 JUSTIFICATIVA

O escoamento dos produtos industrializados e agrícolas é efetuado exclusivamente pelo modal rodoviário no oeste catarinense, sobrecarregando a estrutura do pavimento.

Grande parte das rodovias da região construídas na década de 80, sob condições de restrição orçamentária, apresentam atualmente condições não satisfatórias quanto à trafegabilidade e segurança aos usuários. Essas condições elevam o custo dos transportes, provocando o aumento do valor do produto final transportado, além de causar acidentes com vítimas, elevando também os gastos com a manutenção dos veículos.

O DEINFRA/SC (Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina) está atualmente executando a restauração de várias destas rodovias empregando a técnica de reciclagem de base e revestimento com a adição de cimento (reciclagem profunda). Embora esta técnica já tenha sido empregada no Estado e em várias rodovias brasileiras, o fato é que são poucos os estudos realizados e divulgados sobre a avaliação do desempenho deste tipo de intervenção para a recuperação da capacidade estrutural de rodovias.

Este presente estudo se justifica na busca da caracterização do comportamento mecânico desses materiais reciclados, em campo e em laboratório, e na avaliação do desempenho desta técnica de intervenção a partir da abertura da rodovia ao tráfego e ao longo do tempo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho da restauração de um trecho de uma rodovia do estado de Santa Catarina com a técnica da reciclagem da base e revestimento com adição de cimento.

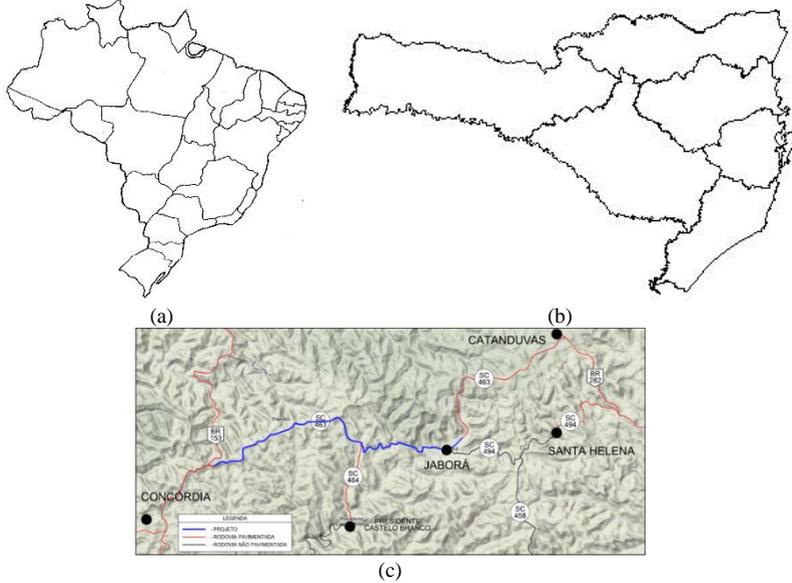
1.3.2 Objetivos específicos

- Definir segmentos a serem monitorados para avaliar o desempenho da reciclagem profunda com adição de cimento;
- Caracterizar os materiais da estrutura do pavimento a ser reciclada;
- Caracterizar o material reciclado;
- Avaliar e documentar o processo executivo da reciclagem;
- Avaliar o comportamento mecânico da camada reciclada através da realização de ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, módulo resiliente e fadiga;
- Analisar o efeito do teor de cimento e o tempo de cura nas propriedades mecânicas da mistura reciclada;
- Avaliar o processo executivo da mistura asfáltica;
- Avaliar o módulo resiliente, dano por umidade induzida e a resistência à tração da mistura asfáltica;
- Retroanalisar os segmentos monitorados;
- Estimar a vida útil da estrutura reciclada.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na SC 355 (antiga SC 463), trecho localizado entre a BR 153 e Jaborá, nos Municípios de Jaborá e Concórdia, em Santa Catarina. A Figura 1 ilustra a localização do trecho.

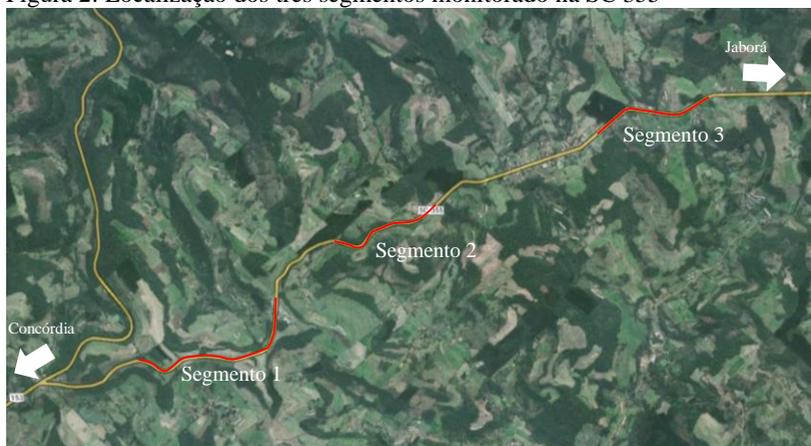
Figura 1: Localização da área de estudo (a) Brasil, (b) Santa Catarina e (c) Rodovia



Fonte: Projeto executivo (Sotepa Ltda.)

Nesta rodovia, foram selecionados 3 segmentos distintos ao longo dos 23 quilômetros que compõe a obra, para o acompanhamento do processo executivo, avaliação dos procedimentos de campo e monitoramento pós- execução. A Figura 2 apresenta a localização dos três segmentos monitorados.

Figura 2: Localização dos três segmentos monitorado na SC 355

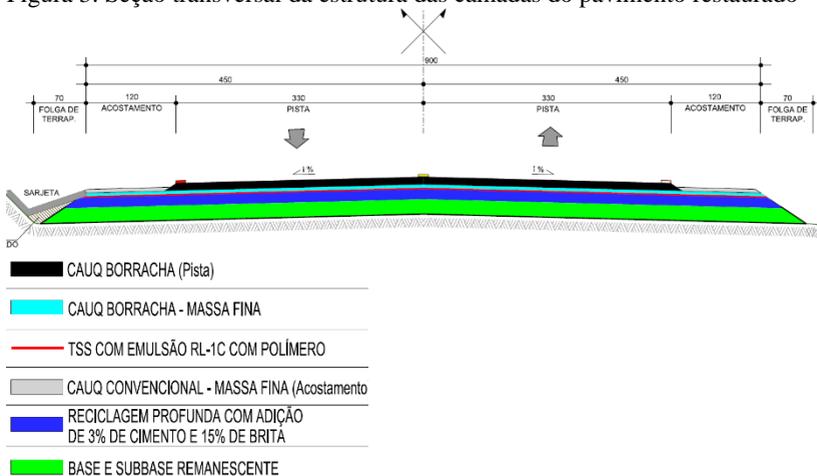


1.5 ESTRUTURA DE PAVIMENTO IMPLANTADA NA RODOVIA E NAS PISTAS EXPERIMENTAIS

A estrutura do pavimento nos segmentos monitorados resultaram nas seguintes camadas: subleito (material já existente), sub-base (macadame seco, material já existente), base remanescente (brita graduada, espessura variável dependendo do segmento), base nova (reciclagem brita graduada, revestimento, agregado virgem e cimento, totalizando 18,00 cm), revestimento (tratamento superficial simples, 3 cm de massa fina faixa C da especificação do DEINFRA-SC-ES-P-05B/05 e 5 cm de mistura asfáltica faixa D da especificação DEINFRA-SC-ES-P-05B/05).

A Figura 3 apresenta a seção transversal da estrutura reciclada nos três segmentos monitorados.

Figura 3: Seção transversal da estrutura das camadas do pavimento restaurado



Fonte: Sotepa (2011).

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A apresentação da dissertação está dividida em 5 capítulos descritos na sequência.

No Capítulo 1 – INTRODUÇÃO, apresenta-se o cenário nacional das condições das rodovias brasileiras, os objetivos que se pretende alcançar, as motivações que levaram ao desenvolvimento deste trabalho de dissertação e a localização da área de estudo.

No Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, apresenta-se o estado da arte sobre o tema desenvolvido nesta pesquisa. As bibliografias consultadas deram embasamento para o desenvolvimento da metodologia da pesquisa e para a sistematização e análise dos resultados obtidos.

No Capítulo 3 – MÉTODO DA PESQUISA, apresenta-se as etapas desenvolvidas para que se alcançasse os objetivos da pesquisa. Relacionam-se e descrevem-se os procedimentos, métodos de ensaios e normas à eles associadas.

No Capítulo 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS, apresentam-se os resultados e a análise dos mesmos obtidos em laboratório e em campo. Apresenta-se também a retroanálise da estrutura dos Segmentos Monitorados e a estimativa da sua vida útil.

No Capítulo 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, apresentam-se as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento

da pesquisa bem como recomendações para a continuação do referido estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTO

Pavimento é uma estrutura constituída de várias camadas, compostas por materiais diferentes. No Brasil, a estrutura corrente mais encontrada em pavimentos flexíveis é composta por subleito (camada de fundação do pavimento), sub-base, base e revestimento (concreto asfáltico).

O comportamento de um pavimento é determinado pelas ações impostas sobre ele, o tráfego e o clima. O número de camadas e as suas características também influenciam no desempenho do mesmo (PICADO - SANTOS et al., 2008).

A função essencial de um pavimento rodoviário é assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período, resistindo às ações do tráfego e das condições climáticas (BRANCO et al, 2008).

A escolha do tipo de pavimento a ser empregado em determinada obra depende das exigências estudadas para o trecho buscando a minimização de custos. Por isso, é necessário fazer uma pesquisa com os materiais disponíveis nas proximidades (considerando sua dificuldade de exploração e transporte) (BALBO, 2007).

O pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos (também denominados concreto-cimento) são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland, podendo ou não ser armadas com barras de aço. Já o revestimento dos pavimentos flexíveis (asfálticos), são compostos por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligante asfáltico (BERNUCCI et al, 2008).

Outro grupo de pavimento é chamado de semirrígido, composto por diversas camadas, onde o comportamento das mesmas é diferenciado, algumas com propriedades flexíveis e outras rígidas. Respondendo de forma diferenciada as tensões e deformações impostas (OLIVEIRA, 2003).

Nas últimas décadas, os carregamentos impostos no pavimento vêm aumentando consideravelmente, causando assim maiores danos à s camadas de suporte.

Para a aplicação de revestimentos betuminosos é necessário garantir determinadas características para se obter um comportamento adequado durante a construção e após a liberação ao tráfego. Freire (2004) destaca alguns:

- Estabilidade, para garantir a resistência à passagem dos veículos sem o surgimento de trilhas de roda;
- durabilidade, de forma a suportar o desgaste provocado pelos veículos e agentes atmosféricos;
- fadiga, para suportar as passagens repetidas impostas pelos veículos;
- flexibilidade, para minimizar o aparecimento de fissuras;
- impermeabilidade, para impedir a penetração de água nas camadas inferiores.

2.1.1 Características resiliente dos materiais

Resiliência significa energia armazenada num corpo deformado elasticamente, que é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações.

Segundo Simm Júnior (2007), a principal diferença entre materiais elásticos e resilientes é que o primeiro apresenta uma relação tensão x deformação praticamente linear (não importando o nível de tensão aplicado), enquanto o segundo tem total ligação com o nível de tensão imposta.

Materiais granulares não coesivos apresentam comportamento não linear quando submetidos aos esforços do tráfego. Há vários fatores que influenciam no comportamento desses materiais (SIMM JUNIOR, 2007):

- Tensão (o módulo aumenta com o aumento das tensões);
- densidade (o aumento da densidade aumenta a rigidez e a resistência quando carregado estaticamente, da mesma forma o módulo resiliente aumenta, porém em proporções menores);
- finos (o módulo diminui com o incremento de finos no material);
- tamanho máximo de partículas (quanto maior as partículas maior será o módulo, em função do maior contato grão a grão);
- granulometria (sua influência é ligada a umidade e a massa específica aparente seca do conjunto);
- teor de umidade (o aumento da umidade, mais próximo a saturação, faz com que o material tenha uma redução no seu módulo resiliente);
- história de tensões e número de ciclos (não há influência significativa no comportamento resiliente);

- formato das partículas (agregados angulares ou sub-angulares apresentam melhores capacidades de carga e módulos maiores);
- duração da carga, frequência e sequência de carregamento (não apresenta interferência nas propriedades).

Da mesma forma, os materiais coesivos apresentam comportamento mecânico não linear, sendo influenciados pelo:

- Nível de tensão (a tensão confinante não afeta o módulo, enquanto que a tensão-desvio tem uma influência muito elevada);
- umidade e massa específica (o módulo diminui com o aumento da umidade de compactação e a massa específica deve ser utilizada na umidade ótima ou um ponto abaixo da mesma);
- número de repetições e história de tensão (o período de pré-condicionamento provoca o enrijecimento e o rearranjo estrutural do material) (SIMM JUNIOR, 2007).

2.1.2 Avaliação funcional e estrutural do pavimento

A condição funcional do pavimento está associada ao conforto ao rolamento, às condições favoráveis da superfície, à boa interação pneu pavimento, aos defeitos e à irregularidade. Já a condição estrutural do pavimento está associada à capacidade de carga, projeto e dimensionamento da estrutura.

Segundo Bernucci et al. (2008), as deformações elásticas são avaliadas por equipamentos chamados defletômetros. Essas deformações são as principais causadoras das trincas nas camadas de revestimento. As deformações plásticas provocam as trilhas de rodas, e são medidas pela treliça ou perfilógrafo.

2.1.2.1 Avaliação das condições estruturais

Destrutivas

Entre as principais formas de avaliação das condições estruturais do pavimento de forma destrutiva, apresentam-se as sondagens a trado (manual), sondagem mecanizada com brocas e a abertura de valas e trincheiras para se ter acesso a todas as camadas.

Para a avaliação das condições estruturais do subleito, Fontes (2001) cita o DCP (Cone de Penetração Dinâmico) como um bom equipamento para esse fim, correlacionando seu índice com o CBR

(*California Bearing Ratio*). Sendo utilizado e normatizado pelo DEINFRA/SC.

Não destrutivas

Neste tipo de investigação não há a modificação ou intervenção na estrutura do pavimento.

Os ensaios mais comuns aplicados a investigações não destrutivas são (BERNUCCI et al., 2008):

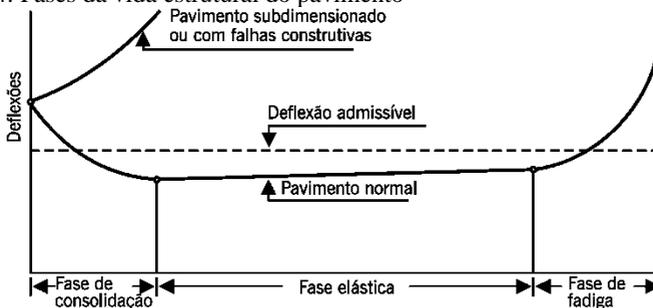
- Carregamento quase-estático: ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo;
- carregamento vibratório: dynaflect, por exemplo;
- carregamento por impacto: *falling weight deflectometer* (FWD).

2.1.2.2 Medida da Deflexão

Os levantamentos deflectométricos têm por objetivo auxiliar na análise do comportamento dos pavimentos por meio da avaliação de sua condição estrutural, sendo a deflexão da superfície uma das respostas do pavimento quando sujeito a aplicação de cargas temporárias (SIMM JUNIOR, 2007).

A deflexão do pavimento varia em função do tempo decorrente desde a execução das camadas e a intensidade que o tráfego vai sendo aplicado. A Figura 4 apresenta as 3 fases ao qual a estrutura do pavimento passa.

Figura 4: Fases da vida estrutural do pavimento



Fonte: DNER PRO 10 (DNER, 1979).

Inicia-se pela fase de consolidação, onde ocorre um decréscimo acentuado da deflexão em função da acomodação dos materiais nas camadas, decorrente da imposição do tráfego.

Posteriormente, a fase elástica, onde a deflexão não se altera. Basicamente define-se a vida útil do pavimento pela duração dessa fase.

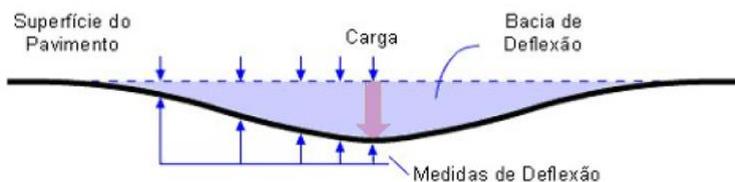
A última fase, de fadiga, há um acréscimo acelerado da deflexão, oriundas do acúmulo de deformações permanentes e acelerada degradação das camadas do pavimento (DNER PRO 10, DNER 1979).

Nos levantamentos deflectométricos determinam-se as deflexões máximas, bacias de deflexão e temperatura do revestimento.

O Raio de curvatura indica a capacidade do pavimento em distribuir as tensões das cargas do tráfego. Valores baixos de raios de curvatura indicam que a estrutura de pavimento apresenta baixa capacidade de distribuição de tensões, ou seja, que a mesma está sujeita a deformações elevadas. Valores elevados indicam estruturas de pavimento com deformações reduzidas. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte através da metodologia PRO 11 (1979) considera raios maiores que 100 m como sendo estruturas com boa capacidade estrutural (SIMM JUNIOR, 2007).

As bacias de deflexão representam as deflexões obtidas ao longo de uma distância em relação ao ponto de aplicação da carga. Uma forma de avaliar essas deflexões é através da retroanálise, que possibilita estimar os módulos resilientes dos materiais constituintes de cada camada (Figura 5).

Figura 5: Características da bacia de deflexão durante a aplicação da carga



Fonte: LUIS (2009)

A forma de apresentação das bacias depende de como é imposto o carregamento, das condições geométricas e elásticas das camadas.

Alguns trabalhos pioneiros no Brasil com a utilização da viga Benkelman, foram realizados por Aratangy (1962), Aratangy e Andreatini (1969), Carneiro (1965), Oliveira e Fabrício (1968) e Andreatini (1967, 1970), entre outros. Porto, em 1978, foi o pioneiro a utilizar e divulgar os resultados obtidos em campo com a viga Benkelman durante o controle executivo de rodovias (LUIS, 2009).

Segundo Simm Junior (2007), os principais fatores que influenciam na medida de deflexão são:

- Tipo de solo do subleito;
- teor de umidade e grau de compactação;
- temperatura e grau de compactação;
- incidência do tráfego;
- forma de aplicação do carregamento;
- modelo utilizado.

2.1.2.3 Retroanálise de pavimento

Segundo Nóbrega (2003), a retroanálise pode ser definida como um procedimento analítico que permite a estimativa dos módulos resilientes das camadas do pavimento através de medidas de bacias de deflexão em campo. Os valores modulares obtidos podem ser utilizados para projeto de dimensionamento, controle construtivo e conserva de rodovias.

Os procedimentos de retroanálise mais utilizados baseiam-se em conceitos gerais da Teoria da Elasticidade aplicada aos sistemas estratificados (SIMM JUNIOR, 2007).

Segundo Aranha (2013) a retroanálise das bacias de deflexão medidas na superfície da estrutura, associada ao módulo e as espessuras das camadas é feita através de uma análise mecanicista, onde se pressupõe que as camadas sejam homogêneas, elásticas e isotrópicas.

Segundo Macêdo (2003), os métodos iterativos buscam determinar os módulos de todas as camadas que compõem a estrutura do pavimento. Conhecendo-se o número de camadas, suas espessuras e as cargas impostas é possível calcular as tensões, deformações e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura.

Os dados principais de entrada nos programas que efetuam os cálculos de retroanálise são:

- As coordenadas das medidas em campo;
- a quantidade de camadas, espessuras, módulos e coeficiente de Poisson;
- o carregamento solicitante na estrutura;
- dependendo do programa, dados ambientais.

Os programas mais utilizados são aqueles que calculam os parâmetros, cujas bacias de deflexão são comparadas com as bacias medidas no campo. Essa análise mecanicista pode ser feita com os programas CHEVRON-N-X, BISAR, ELSYM5, FEPAVE2, ECOROUTE, NOEL8, ELIZE4, entre outros. Essa comparação é feita

por tentativa e erro, até que as duas curvas apresentem semelhança aceitáveis (MACÊDO, 2003).

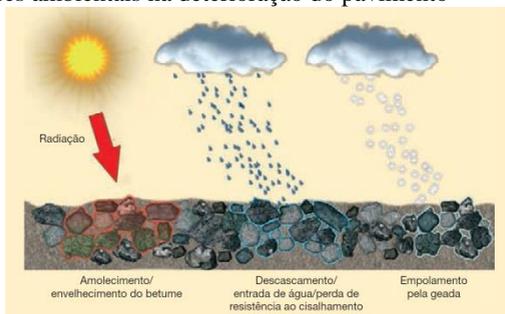
2.1.3 Condições ambientais

As camadas do pavimento sofrem interferência das condições ambientais de forma diferenciada. A camada de rolamento é a que recebe diretamente a incidência solar, chuva, congelamento além dos esforços oriundos do tráfego, que quando combinados produzem efeitos prejudiciais ao desempenho das camadas.

Segundo Wirtgen (2012), o gradiente térmico em um pavimento ao longo do dia, influencia na expansão e contração da camada asfáltica. Além disso, a radiação solar causa o envelhecimento do ligante, oxidando-o e danificando a estrutura da mistura asfáltica. Outro efeito causado pela ação do meio ambiente juntamente com a carga do tráfego é a geração de pressões nos poros (vazios da mistura) que ocasionam a quebra da ligação entre o betume e o agregado, causando fissuras e a própria quebra da camada (Figura 6).

Muitas das rodovias executadas apresentam locais com presença de água ou umidade em excesso. Com isso surge a necessidade de execução de sistema de drenagem bem eficiente para eliminar a água presente na estrutura, antes mesmo da execução da intervenção de restauração.

Figura 6: Fatores ambientais na deterioração do pavimento



Fonte: Wirtgen (2012).

Solos com características coesivas, podem apresentar capacidade expansiva elevada quando entram em contato com a água. Ao absorver a água, o material aumenta seu volume, deslocando assim a estrutura geral do pavimento. Ao secar, esse volume tende a reduzir. Porém, essa

redução não é total, deixando vazios na camada que ao ser solicitada pela ação do tráfego tende a iniciar o rompimento das suas ligações e reduzir a capacidade de carga das camadas. É muito importante o isolamento das camadas inferiores em relação a ação da água. Para isso ser possível, deve-se escolher os materiais e a concepção estrutural adequada em função do relevo, do clima e da região onde será implantada a rodovia (SIMM JUNIOR, 2007).

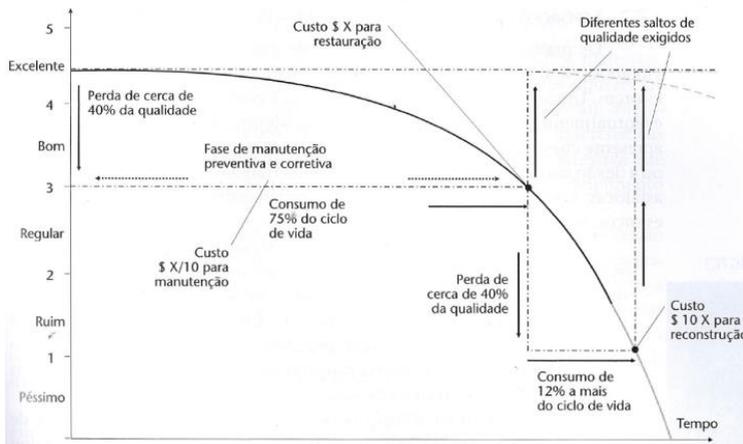
2.1.4 Patologias

Patologia é o nome dado aos defeitos que surgem no pavimento ao longo da vida útil do mesmo.

De acordo com Balbo (2007), não é possível definir um processo de deterioração do pavimento, pois há diferentes mecanismos de ruptura, os materiais empregados em cada situação diferem-se ao longo de toda a extensão rodoviária, as condições climáticas e morfológicas são distintas, além dos limites impostos sobre a política de cargas.

Uma forma de classificar as condições do revestimento asfáltico é através do conceito de serventia, que segundo Balbo (2007) é “uma medida indicativa de que o pavimento atende ao tráfego com conforto e segurança em dado instante de sua vida de serviço” (Figura 7).

Figura 7: Variação da serventia com o tempo



Fonte: Balbo (2007)

Todos os pavimentos devem atender ao desempenho funcional (relacionado às condições de rolamento da pista) e ao desempenho

estrutural (relacionado com as condições da estrutura do pavimento, desde o subleito até a camada de rolamento).

A Tabela 1 apresenta os principais fatores que influenciam no aparecimento de patologias nos pavimentos.

Tabela 1: Fatores implicados no desempenho e na deterioração dos pavimentos asfálticos

Causas Genéricas	Causas específicas	Tipos de defeitos encontrados
Relacionadas com o tráfego	Cargas repetidas (fadiga)	Trincamento
	Carga Excessiva	Ruptura do revestimento
	Escorregamento de capa	Trincas côncavas
	Fluência plástica	Deformação por deslocamento da capa
	Densificação (compactação)	Trilho de roda
	Degradação do agregado	Desagregação
Relacionadas com o clima	Mudanças de Umidade	Trincas
	Retração/Expansão	
	Mudanças térmicas	Exsudação
Relacionadas com os Métodos de construção	Compactação com temperatura inadequada	Trincas
	Pouca compactação	Deformação
Relacionadas com os materiais	Falta de qualidade dos materiais	Desagregações
Outras	Perda de resistência ao escorregamento	Deformações e trincas

Fonte: DNIT TER 005 (2003)

2.2 RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS

Antes de intervir no pavimento, é necessário avaliar alguns critérios, de forma a resultar em uma boa solução (BATISTA, 2004):

- Econômico: minimizar custos de projeto, execução e manutenção posterior ao início de seu funcionamento;
- técnico: eficácia da resolução do problema existente e qualidade no desempenho ao longo da vida de serviço;
- ambiental: menor impacto ambiental possível.

Wirtgen (2012) recomenda que sejam seguidas sete etapas para a investigação das condições do pavimento e a escolha da melhor solução de restauração:

- Coleta de informações disponíveis: vida útil do projeto, propriedades funcionais, orçamento, histórico e dados de tráfego;

- investigação preliminar e identificação de trechos uniformes: avaliação deflectométrica, inspeção visual das condições superficiais do pavimento;
- investigação detalhada de cada trecho uniforme e síntese de todos os dados: espessura de cada camada do pavimento, teor de umidade do material, massa específica aparente seca *in situ*, CBR em laboratório, análise das deflexões, medidas de trilha de roda;
- opções preliminares do projeto: métodos empíricos, métodos analíticos;
- projeto de mistura de laboratório: escolha do agente estabilizador, teor de aglomerante, compactação, cura, simulação das condições de campo;
- finalização do projeto do pavimento;
- análise econômica e outras análises para escolha da melhor solução.

Cunha (2010) salienta que as técnicas de reabilitação estrutural são soluções a longo prazo, geralmente entre 10 a 20 anos, que além de permitirem a reabilitação das características estruturais, possibilitam a melhoria das características funcionais, dado que estas técnicas implicam sempre na aplicação de uma nova camada de desgaste.

Há várias formas de melhorar as condições do pavimento, proporcionando a ele maior vida útil. Uma das alternativas utilizadas para a restauração das rodovias e que está sendo implantada em grande escala do Brasil é a reciclagem.

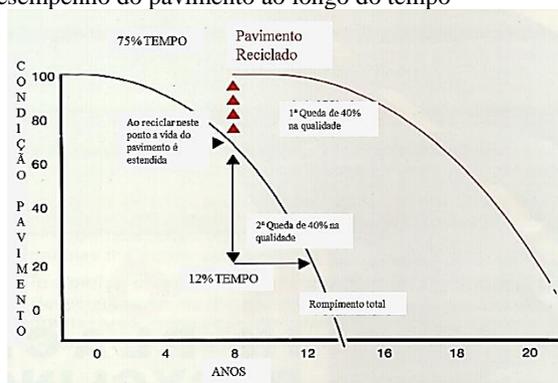
A reciclagem de pavimentos foi criada em 1915. Apesar de ter ficado algumas décadas desaparecida, voltou a ser utilizada na década de 70, quando o petróleo árabe foi embargado causando o aumento do custo das construções com utilização de ligantes asfálticos novos.

Segundo Prithvi S. K., Rajib B. M. (1997) é necessária a intervenção na rodovia, quando apresentar alguma necessidade, entre elas destacam-se:

- Qualidade baixa do pavimento;
- desconforto ao trafegar na via;
- baixo coeficiente de atrito entre pneu pavimento;
- necessidade de manutenção excessiva;
- custo operacional excessivo;
- capacidade estrutural inadequada.

De acordo com Prithvi S. K., Rajib B. M. (1997) muitos estudos têm mostrado que se o pavimento for mantido a um determinado nível de manutenção, o mesmo apresentará custos menores de operação. Como pode ser visualizado na Figura 8, se uma intervenção planejada para uma queda de desempenho de 40% for adiada para quando o mesmo tiver uma queda de 80%, o custo que seria de US\$ 1,00 passará a US\$ 4,00/US\$ 5,00.

Figura 8: Desempenho do pavimento ao longo do tempo



Fonte: Prithvi S. K., Rajib B. M. (1997)

2.2.1 Resíduo

Os resíduos de construção civil são classificados segundo a NBR 15114 (ABNT, 2004), atendendo à Resolução CONAMA 307. Sendo dividida em 4 classes:

- Classe A: resíduos de pavimentação e obras de infraestrutura, resíduos de edificações e resíduos de peças pré-moldadas em concreto;
- classe B: resíduos de plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeira e outros;
- classe C: resíduos de gesso, materiais que ainda não possuem tecnologias de reciclagem;
- classe D: resíduos perigosos (tintas, solventes, óleos e outros).

Para utilização de agregados reciclados em pavimentação a NBR 15116 (ABNT, 2004) apresenta alguns requisitos para os mesmos, os quais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação

Propriedades	Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $c_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão máxima característica	≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma	≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais de mesmas características ¹	2	Anexo A	Anexo B
	Materiais não minerais de características distintas ¹	3	Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2	ABNT NBR 9917	

¹ Para os efeitos desta norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Fonte: NBR 15116 (ABNT, 2004).

Segundo Cooley (2005) o processo de reciclagem garante ao governo a redução de custos de armazenagem de materiais velhos e inservíveis em aterros, transporte desses, além de quase eliminar a quantidade de agregados virgem para reconstrução da camada de base.

2.2.2 Tipos de reciclagem

De acordo com ARRA (2001), os tipos de reciclagem são divididos em função do mecanismo de estabilização do material reciclado, a qual indica quatro mecanismos diferentes de estabilização:

- Estabilização mecânica: dá-se através do entrosamento dos grãos na camada reciclada, seja pela adição de materiais granulares ou de RAP (*Recycled Asphalt Pavement*);
- estabilização química: ocorre pela adição de cal, cinza volante, cimento Portland e de produtos à base de cloreto de cálcio, cloreto de magnésio e de outros produtos químicos patenteados;
- estabilização betuminosa: a estabilização se dá pela incorporação de emulsão asfáltica ou espuma de asfalto no material reciclado;

- estabilização combinada: o material reciclado é estabilizado por mais de um dos mecanismos descritos.

Dentro de cada um desses tipos de reciclagem, existem diferentes divisões. Como o objetivo do trabalho é a reciclagem profunda com adição de cimento, apenas esta será detalhada.

A reciclagem *in situ* tem a vantagem de não necessitar de transporte e armazenamento dos materiais, que a torna mais econômica em relação à reciclagem em central. No entanto, em central, a vantagem é a de se obter misturas com mais qualidade, porém com custos mais elevados (AZEREDO, M.; CARDOSO, M, 2003).

De acordo com Abascal (2013), a reciclagem de pavimento *in situ* com adição de cimento, é uma forma de transformar uma estrada deteriorada em uma estrutura com capacidade estrutural adequada, aproveitando os materiais oriundos do local.

A reciclagem *in situ* apresenta algumas vantagens em relação à reciclagem em central. Picado - Santos et al. (2008), citam algumas dessas vantagens:

- Evita transporte de materiais antigos, retirados do trecho;
- reduz as solicitações que seriam impostas nos pavimentos das estradas utilizadas para o transporte dos materiais oriundos da rodovia;
- elimina quase totalmente os depósitos provisórios para armazenamento dos materiais;
- o tempo de execução da intervenção é inferior;
- aproveita todo o material existente no pavimento;
- o investimento total em equipamentos é inferior ao processo em central;
- em alguns casos terá menor consumo energético.

Em comparação com outras soluções de reabilitação, a reciclagem com adição de cimento permite o uso de camadas danificadas, conseguindo recuperar e até mesmo aumentar a sua capacidade de carga, fornecendo ao material obtido após a reciclagem algumas características físico-mecânicas adequadas para a sua utilização na infraestrutura de rodovias. Esse conjunto semirrígido, é muito mais durável, com menor susceptibilidade à água e maior resistência à erosão (ABASCAL, 2013).

2.2.3 Reciclagem profunda

De acordo com a especificação de serviço do DEINFRA/SC-ES-P-09 (DEINFRA/SC, 2012):

A reciclagem profunda de pavimento com adição de cimento Portland tem como objeto a obtenção de uma camada de pavimento “reciclada”, com aproveitamento dos materiais existentes e introdução de cimento Portland e agregados adicionais (quando necessário), conforme estabelecido no projeto de dosagem da mistura.

A reciclagem profunda é uma técnica de reabilitação na qual o revestimento asfáltico e uma quantidade predeterminada de material subjacente são triturados e misturados uniformemente para fornecer uma nova camada de base melhorada e homogeneizada (ARRA, 2001).

As principais patologias que podem ser solucionadas com esta técnica, de acordo com ARRA (2001) são:

- Trincas em bloco, longitudinal, transversais, de bordo, trincas de fadiga, por reflexão e pelo envelhecimento do ligante;
- irregularidades no pavimento devido à empolamentos, afundamentos e depressões;
- deformações permanentes na forma de trilhas de roda, corrugação e escorregamento;
- perda de aderência entre as camadas do pavimento e desagregação;
- perda da integridade devido à desintegração da superfície, buracos e exsudação;
- desnível excessivo do acostamento;
- capacidade estrutural insuficiente.

Recomenda-se a utilização da reciclagem com adição de cimento quando a estrutura (revestimento mais base) necessitem que mais de 20% de sua extensão seja corrigida ou substituída em sua profundidade (Brown, 2006).

2.2.3.1 Relação revestimento/base

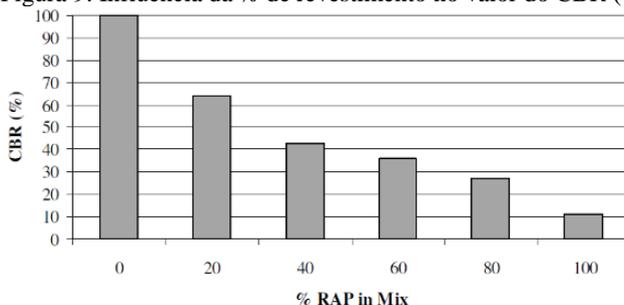
Cooley (2005) alerta para a necessidade da determinação exata da espessura a ser reciclada, de forma a se conhecer a espessura real de revestimento, para que este não ultrapasse a porcentagem adequada,

garantindo a não redução do desempenho mecânico da mistura após a reciclagem.

A quantidade de material de base a qual o revestimento é misturado depende da espessura a ser reciclada e da espessura da capa de revestimento que há sobre ela. Muitas vezes é necessário a fresagem de uma certa espessura, ou até mesmo a adição de revestimento, para se manter um padrão de relação entre espessura de revestimento e base na mistura reciclada.

Ao longo de um mesmo segmento há uma grande variação da relação entre as espessuras de base e revestimento. De acordo com Cooley (2005) a quantidade de revestimento presente na mistura influencia no comportamento mecânico da mistura, principalmente no Índice de Suporte Califórnia. Quanto maior a quantidade de revestimento menor é o ISC (%), conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9: Influência da % de revestimento no valor do CBR (%)



Fonte: Cooley (2005).

Brown (2006) estudou o comportamento de misturas recicladas, variando a porcentagem de revestimento triturado e a porcentagem de cimento utilizada. Identificou que o material apresenta uma redução de resistência à compressão simples de 2,93 para 1,43 MPa, quando passado de 0 para 100% de revestimento. E um aumento de resistência à compressão de 0,43 para 3,89 MPa, ao passar de 0 para 2% de cimento.

As condições de degradação da camada de revestimento, a angularidade dos agregados componentes do revestimento e da base, a origem dos agregados e do cimento asfáltico, as condições ambientais a qual foram submetidas, as cargas impostas, a proporção de material na mistura, a quantidade de agente estabilizador adicionado e a umidade de compactação, são pontos que devem ser avaliados e estudados quanto a reciclagem profunda de pavimentos (COOLEY, 2005).

Brown (2006) recomenda que seja utilizado entre 50 e 75% de revestimento e 1% de cimento na mistura reciclada, pois valores abaixo de 1% não garantem a estabilidade da mistura. Porém, esta porcentagem pode variar dependendo da quantidade de finos presente na mistura.

Nos estudos desenvolvidos por Brown (2006), ele chegou à conclusão que a adição de 25% de RAP provoca uma redução de 29% nos valores de resistência. A cada 25% (de RAP) adicionado, ou seja, de 25 para 50% de RAP ocorre a diminuição de 13 para 15% no valor da resistência. Para os valores de rigidez, com a adição de 0 e 25% de RAP houve a redução da mesma, porém com o aumento de 25 até 100% de RAP, houve um aumento na rigidez.

De acordo com Aranha (2013) a espessura da camada cimentada reciclada tem grande influência na rigidez do pavimento, interferindo nos resultados de deflexão.

2.2.3.2 Comportamento camada reciclada

Segundo Aranha (2013), a presença de uma camada cimentada (Figura 10), em substituição à uma camada granular, na estrutura do pavimento reduz a espessura da camada asfáltica, pois sua elevada rigidez faz com que a camada superior passe a trabalhar principalmente à compressão. Considerando-se que as tensões de tração são as críticas para misturas asfálticas, sua redução leva a menores espessuras dessas camadas, ou a uma maior vida de fadiga da mistura.

Figura 10: Estrutura semirrígida



Fonte: Balbo (2007, apud Aranha 2013)

Os pavimentos semirrígidos apresentam comportamento estrutural distinto dos pavimentos flexíveis convencionais. O

trincamento por fadiga que ocorre na camada cimentada, é decorrente de sua natureza frágil. Quando a camada cimentada atinge um elevado grau de fissuração ela passa a se comportar como uma base granular levando a camada asfáltica a sofrer tensões de tração e a propagação das trincas (BALBO, 2006).

Mallick et al. (2002) observaram que em segmentos experimentais com reciclagem profunda e com adição de 5% de cimento não ocorreu nenhum dano no primeiro ano de abertura do tráfego, diferentemente dos locais reciclados sem a adição de cimento. Concluiu que além do benefício de aumento na resistência, o cimento reduz a suscetibilidade à água das bases.

De acordo com ARRA (2001), a avaliação dos materiais constituintes da camada a ser reciclada, deve ser feita em todos os trechos homogêneos, e não apenas nos locais que apresentem problemas.

As características da mistura cimentada final são afetadas pelo tipo de agregado reciclado utilizado, pelo tipo e teor de cimento empregado, pela compactação e pela cura do material, sendo necessário o controle constante do processo executivo, além de investigação dos materiais ainda em fase de projeto (ENAMORADO, 1990).

Essas camadas podem sofrer degradação por perda de coesão, má qualidade da mistura cimentada, compactação deficiente, camadas de suporte com características deficientes e por perturbação da hidratação da mistura, devido à abertura antecipada ao tráfego (SANTOS, 2009).

Segundo Franco (2009), a resposta de um material sob carregamento depende muito de suas propriedades elásticas e das características da carga aplicada (magnitude, taxa de carregamento, etc.):

- Materiais granulares (brita e pedregulhos): a transferência de cargas se dá pelo imbricamento de partículas individuais ou pelo esqueleto da estrutura. Tal deformação normalmente se manifesta como sulcos na trilha de roda;
- materiais estabilizados por aglomerantes: por analogia, comportam-se como se fossem uma laje. As trincas se desenvolvem na parte inferior da camada, e então se propagam verticalmente à medida que as repetições de carga vão sendo aplicadas pelo tráfego.

2.2.3.3 Teor de cimento e cura

Para a escolha da quantidade ideal de cimento a ser adicionada na camada reciclada, devem ser levados em consideração os carregamentos impostos e o clima a que será submetido, além de proporcionar durabilidade em suas propriedades ao longo da vida de serviço (GUTHRIE, W.S.; SEBESTA, S.; SCULLION, T., 2002).

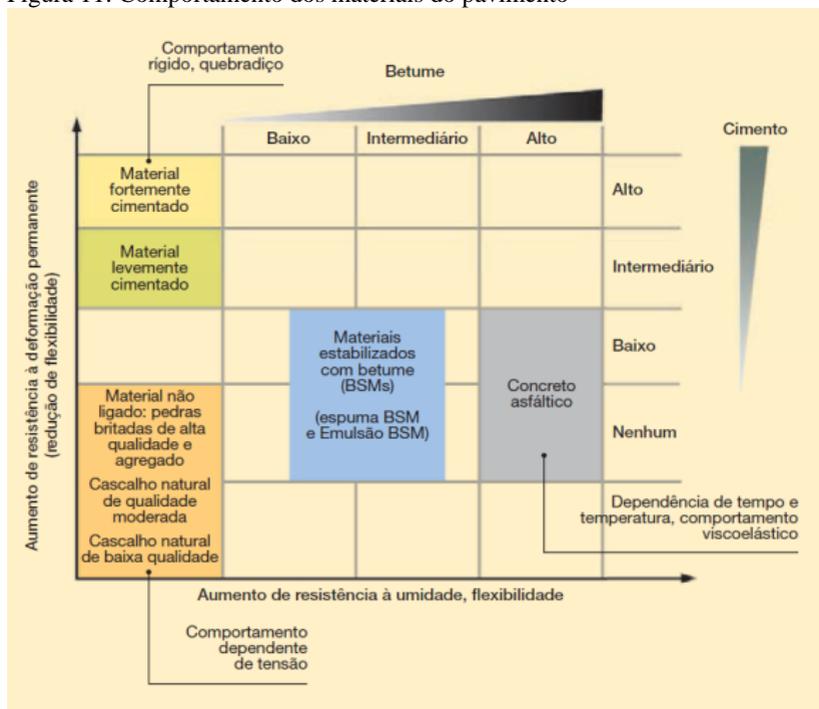
Segundo Franco (2009), não é recomendável o aumento no teor de cimento para atingir maior resistência, pois a camada poderá enrijecer mais que o recomendado, comprometendo a vida de serviço da camada através do surgimento de trincas de retração, tornando o material quebradiço com a ação do tráfego.

Para Luhr et. al. (2005), a utilização de camadas mais espessas com teores de cimento mais baixo, reduzem o efeito do enrijecimento das camadas cimentadas, tornando a mesma mais durável.

No Brasil, a maioria das obras executadas utilizaram entre 2,5 e 3,5% de cimento. Esses baixos teores justificam-se pela precaução no surgimento das trincas de retração hidráulica da camada reciclada.

A Figura 11 mostra o comportamento das misturas com a variação da porcentagem do agente estabilizador.

Figura 11: Comportamento dos materiais do pavimento



Fonte: Wirtgen (2012)

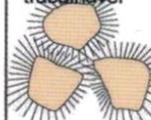
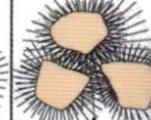
Segundo Balbo (2007), deve-se dosar a quantidade de cimento de forma a atender os parâmetros de resistência de projeto com a menor quantidade possível do mesmo. Mesmo sabendo que quanto maior o consumo de cimento, maior serão os valores de resistência obtidos, a quantidade muito elevada do aglomerante pode levar a mistura a apresentar fissuras ou trincas de retração prematuramente.

O processo de hidratação do cimento possui três fases principais (MEHTA; MONTEIRO, 2008), conforme ilustrado na Figura 12:

- Na primeira fase, a pasta plástica de cimento se torna não trabalhável e é denominada início de pega. Este ponto marca o fim do período onde é possível fazer a mistura e compactação da camada;
- na segunda fase, ocorre o fim da pega, onde é marcado o fim do processo de solitação da mistura, contudo sua resistência ainda é considerada muito baixa, podendo ainda compactá-la com menor eficiência;

- por fim, na terceira fase, acontece o endurecimento da mistura, processo no qual há o ganho de resistência pela hidratação do cimento, não sendo mais possível fazer a modificação da estrutura.

Figura 12: Processo de hidratação do cimento

Idade da hidratação			
< 10 min	10 - 45 min	1 - 2 horas	2 - 4 horas
trabalhável	trabalhável	menos trabalhável	pega normal
			

Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

Segundo Aranha (2013), a evolução nas propriedades das misturas recicladas com adição de cimento e as reações químicas que as provocam são dependentes dos variados tipos de materiais que compõem a mistura. Para cada obra é necessário avaliar-se o período de cura, em termos de aplicação em pavimentação rodoviária. A determinação da evolução das propriedades mecânicas define o tempo de abertura ao tráfego, ou seja, quando a camada atinge o mínimo de resistência compatível aos níveis de solicitações ao qual será submetido.

Tentando estimar o período de cura, estudos laboratoriais foram feitos analisando características mecânicas nas primeiras idades das misturas. Merighi e Fortes (2005), concluíram que uma camada reciclada com adição de 3% e 5% de cimento é capaz de suportar um eixo padrão (80 kN) após 24 h, comprovados através de ensaios de resistência à tração e resistência à compressão. Já Miller et. al. (2009) estimaram que após 2 dias de cura, a camada reciclada possui módulo elástico entre 200 e 700% superior ao material sem adição de cimento.

2.2.3.4 Processo executivo

Segundo ARRA (2001), deve-se fazer algumas verificações durante o processo executivo, entre eles:

- Profundidade de corte;
- granulometria da mistura;
- taxa de aplicação do agregado;

- umidade ótima da mistura;
- homogeneidade;
- grau de compactação;
- acabamento superficial.

Wirtgen (2002) sugere algumas normas para efetuar a dosagem, execução e fiscalização dos procedimentos efetuados em campo (Tabela 3).

Tabela 3: Dosagens e controles de camadas recicladas com cimento

Procedimento	Metodologia		
	Brasileira	Americana	Alemã
1 - DOSAGEM DA MISTURA			
1.1 - Determinação da curva granulométrica	DNER-ME 080/94	AASHTO-T 88	DIN-18 123
1.2 - Enquadramento na faixa granulométrica	DNER-ES 303/97	AASHTO-M 147	ZTV T-StB 95
1.3 - Determinação do teor de cimento	ABNT NBR 12253/92	ASTM D 2901	TP BF-stB, Part B. 11.6
1.4 - Determinação da umidade ótima/densidade máxima	ABNT NBR 12023/90	AASHTO-T 19	DIN-1048, Part 1
1.5 - Moldagem e cura de corpos de prova	DNER-ME 202/94	AASHTO-T 126	DIN-1048, Part 5
1.6 - Avaliação da resistência	DNER-ME 201/94	AASHTO-T 22	DIN-18 136
1.7 - Determinação do coeficiente de permeabilidade	ABNT NBR-13292	ASTM 293	DIN1048, Part 5
2 - ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO			
2.1 - Execução, critérios de aceitação/rejeição	DER/P-ES-P 33/05	-	-
3 - ENSAIOS DE CAMPO			
3.1 - Moldagens de CP (material coletado na pista)	DNER-ME 202/94	AASHTO-T 126	DIN - 1048, Part 5
3.2 - Avaliação da resistência (idem)	DNER-ME 201/94	AASHTO-T 22	DIN - 18 136
3.3 - Determinação do grau de compactação	DNER-ME 092/94	AASHTO-T 191	ZTV T - StB 95
3.4 - Avaliação deflectométrica	DNER-ME 024/94	ASTM-4694	-

Fonte: Wirtgen (2002).

Não se deve iniciar nenhum trabalho se a temperatura ambiente estiver abaixo de 5 °C, se as condições climáticas apresentem névoa, umidade elevada ou chuva, além de vento que impossibilitem o espalhamento dos agentes estabilizantes.

Wirtgen (2012) limita o tempo entre a mistura do cimento com o material triturado e água, até o final da compactação de no máximo 3 horas.

Antes de iniciar os serviços deve-se programar a extensão a ser executada (sempre verificando as condições climáticas), verificar o estaqueamento, limpar material solto que esteja sobre a superfície do pavimento e, no caso de possuir excesso de espessura de revestimento asfáltico, o mesmo deve ser removido previamente (fresado).

Após todas as etapas anteriores concluídas e atendidas, efetua-se o lançamento do agente estabilizante. Segundo a Wirtgen (2012), o processo de aplicação pode ser feito através de:

- Espalhamento a seco do agente, com caminhão específico ou com sacos, de modo a atender a quantidade (taxa) especificada em projeto;

- espalhar como pasta, misturando previamente com água e sendo lançada pela própria recicladora;
- pré-misturar o agregado virgem com o agente e posteriormente espalhar na superfície (Figura 13).

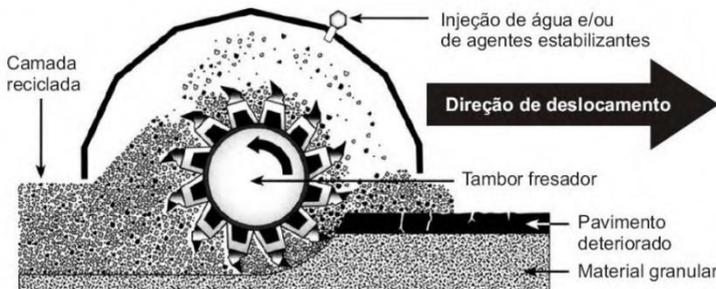
Figura 13: Espalhamento do agente estabilizador (a) sacos; (b) caminhão



Fonte: Oliveira (2007).

Segundo Oliveira (2011), o lançamento do agregado virgem deve atender as porcentagens indicadas em projeto, além do material estar seco e na granulometria especificada. Após o lançamento do agregado virgem e do agente estabilizador deve-se iniciar a reciclagem (trituração das camadas), pois salienta que o cimento por ser um material que obtém resistência estando em contato com a água, pode perder suas características com o passar do tempo exposto ao meio (Figura 14).

Figura 14: Detalhe processo de reciclagem com adição de aglomerante



Fonte: Fresar (2009).

O corte das camadas e mistura com os novos materiais deve ser projetado em função das investigações efetuadas durante a fase de

projeto e a necessidade de rigidez da mistura. A espessura de corte deve ser controlada durante toda a extensão da obra, a cada 100 metros. Segundo Oliveira (2011), a espessura da camada reciclada está diretamente relacionada à rigidez da camada, à vida útil da mesma, e às deflexões da estrutura.

Espessuras de corte superior ao projetado podem danificar a estrutura do pavimento, se a camada for contaminada com material oriundo do subleito ou com granulometria superior. As condições estudadas não caracterizarão o material utilizado, reduzindo o desempenho da estrutura (OLIVEIRA, 2011).

Segundo Oliveira (2003) e Franco (2009), a parada durante o processo de execução da reciclagem forma juntas transversais. Mesmo quando esse tempo é de apenas alguns minutos, muda-se a uniformidade do material reciclado e a quantidade de água.

Para tratar essas juntas e até mesmo as que surgem pelo uso excessivo de cimento, Oliveira (2003) sugere a utilização de asfaltos modificados, mantas geossintéticas, camadas granulares ou camadas mais espessas de revestimento sobre a camada reciclada.

Ao longo de cada dia de serviço é necessário a verificação constante da homogeneidade e da granulometria da mistura, através de ensaios granulométricos e reenquadramento na faixa de trabalho.

Segundo Oliveira (2011) e Wirtgen (2012), imediatamente após a passagem da recicladora deve-se efetuar a selagem da camada com passadas de rolo pé de carneiro, para evitar a evaporação rápida da água presente na mistura. Posteriormente à selagem, utilizar o mínimo de 3 rolos pé de carneiro (número em função da produção da recicladora) para a compactação final da camada. Antes de finalizar a compactação é necessário verificar as inclinações transversais, as quais são corrigidas com a motoniveladora. O acabamento final é dado através da irrigação (corrigir a água evaporada) e compactação com rolo liso.

2.2.4 Estudos desenvolvidos no Brasil

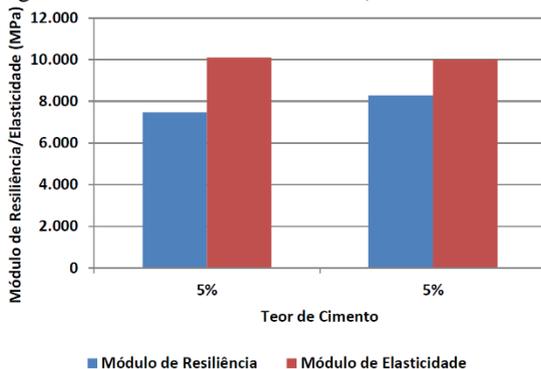
Poucos são os estudos desenvolvidos no Brasil em relação a reciclagem de pavimentos. Entre os estudos pode-se citar: Aranha (2013), Franco (2009), Oliveira (2003, 2007 e 2011), Trichês (2013), Sachet e Gonçalves (2008), Silva e Miranda Jr (1998) e Souza (2009).

No estudo desenvolvido por Aranha (2013), buscou avaliar a técnica de reciclagem com adição de cimento em uma base de solo-brita na rodovia Fernão Dias em São Paulo. Efetuou-se ensaios em campo e em laboratório. Em laboratório testou-se 5 misturas de material

reciclado com cimento, com variações do tipo de material reciclado, teor de cimento e energia de compactação. Em campo avaliou-se o comportamento mecânico através da extração de corpos de prova e o acompanhamento deflectométrico do pavimento durante um ano.

Nos ensaios desenvolvidos em laboratório relacionou-se os valores de módulo resiliente com módulo de elasticidade, resultando em valores de módulo de elasticidade superiores aos de resiliência (Figura 15).

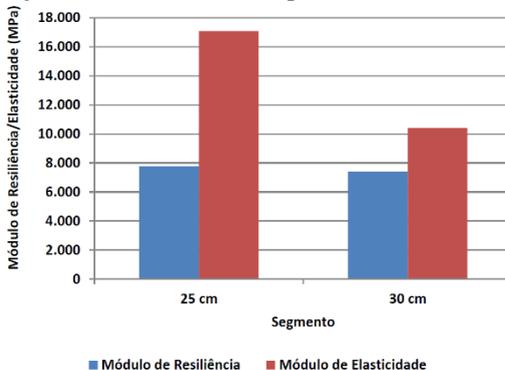
Figura 15: Módulos em laboratório (Teor de cimento de 5%)



Fonte: Aranha (2013).

Com os corpos de prova extraídos de campo também foi possível comparar os resultados de módulo em corpos de prova de 25 e 30 cm de espessura. Da mesma forma que os resultados de laboratório, os de campo apresentaram módulo de elasticidade superior ao de resiliência. Porém, com os corpos de prova com espessura de 25 cm obteve-se maior diferença entre os dois valores (Figura 16).

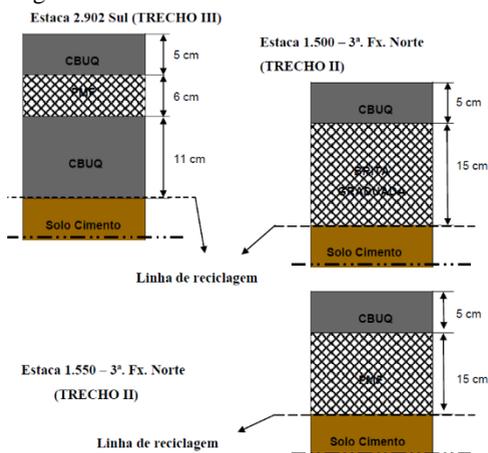
Figura 16: Módulos em campo



Fonte: Aranha (2013).

Franco (2009) estudou o comportamento da estrutura reciclada durante a restauração da BR 376/PR. O revestimento existente de aproximadamente 20 cm de espessura em alguns segmentos foi transformado em base, e a antiga base de solo cimento, preservada, ficou sendo a sub-base. As estruturas estão apresentadas na Figura 17.

Figura 17: Estruturas encontradas



Fonte: Franco (2009).

Com a reciclagem profunda nos diferentes segmentos e estruturas, Franco (2009) chegou a resultados de resistência à compressão simples de, aproximadamente, 2,2 MPa aos 7 dias de cura

com 2,5% de cimento e 2,6 MPa com 3% de cimento. Vale ressaltar que esses valores são referentes a mistura com brita graduada e CBUQ (Tabela 4).

Tabela 4: Resistência à compressão (MPa – trecho II)

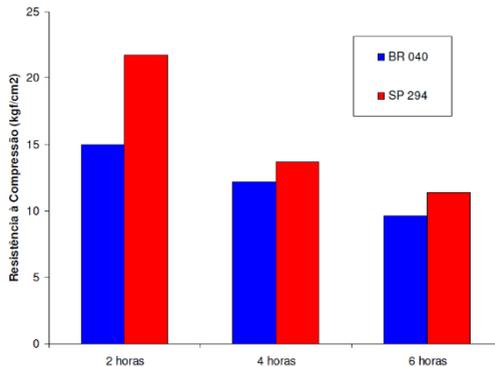
Estaca	Compressão – 3 dias		Compressão – 7 dias		Tração 7 dias	
	2,5%	3,0%	2,5%	3,0%	2,5%	3,0%
2.902 SUL	1,88	1,95	1,98	2,21	3,20	4,50
1.400 3ª Fx NORTE	1,88	2,14	2,22	2,60	2,60	3,70

Fonte: Franco (2009).

Oliveira (2003) desenvolveu um estudo com material reciclado coletado nas rodovias SP 294, no município de Tupã/SP, e na BR 040, no município de Felixlândia/MG.

A metodologia empregada para realização dos ensaios foi uma tentativa de simular em laboratório uma rotina que ocorre em campo, avaliando a influência do tempo em que o cimento é misturado ao material reciclado até a compactação da camada. Conclui-se que a falta de controle deste prazo pode prejudicar de forma significativa o comportamento da mistura (Figura 18).

Figura 18: Influência do tempo de mistura na resistência à compressão

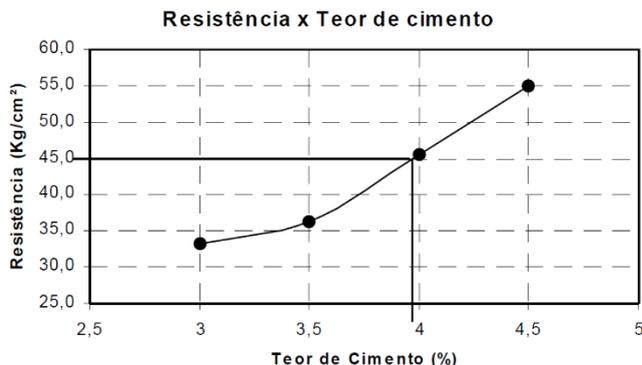


Fonte: Oliveira (2003).

Silva e Miranda Jr (1998) relataram a experiência de reciclagem da camada betuminosa da pista existente do Lote 8 nas obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias - BR 381. A dosagem da mistura foi efetuada com os teores de 3,0; 3,5; 4,0 e 4,5% de cimento, obtendo

resultados de resistência à compressão simples entre 3,3 e 5,5 MPa (Figura 19).

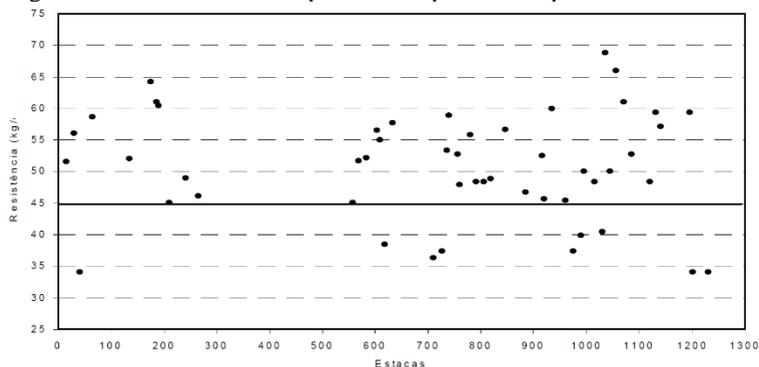
Figura 19: Resistência à Compressão simples por teor de cimento



Fonte: Silva e Miranda Jr (1998).

Durante o controle tecnológico da mistura reciclada efetuou-se ensaios para a determinação da resistência à compressão simples com a mistura de campo. Chegando a valores entre 3,4 e 6,9 MPa para teor de cimento de 4,2% (Figura 20).

Figura 20: Resistência à Compressão Simples de campo



Fonte: Silva e Miranda Jr (1998).

Souza (2009) estudou o desempenho de pavimentos restaurados por diferentes técnicas, na rodovia SP-351, ao longo de 10 anos. A reciclagem na referida rodovia chegou a valores médios de RCS de 2,74

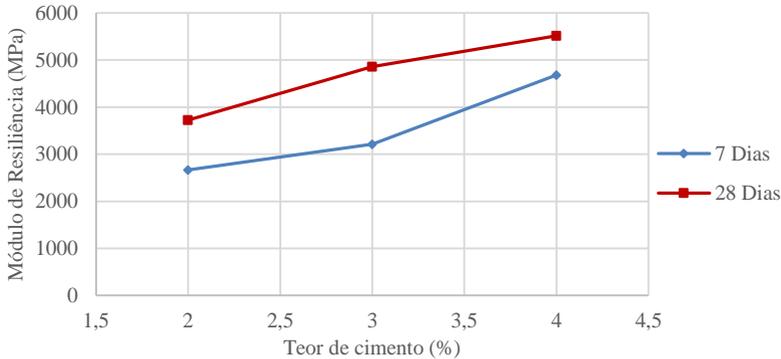
MPa, grau de compactação variaram entre 100 e 102,9% e deflexão máxima média de $36,8 \times 10^{-2}$ mm.

Trichês (2013) desenvolveu pesquisa com materiais coletados durante a reciclagem da rodovia SC 303 (atual 355) no trecho entre a BR – 282 (Joaçaba) até Lacerdópolis, numa extensão de 15,2 km. Além do acompanhamento do comportamento deflectométrico durante a execução realizou o levantamento das condições superficiais da estrutura do pavimento ao longo do tempo.

A reciclagem contemplou a adição de 15% de agregado virgem e 3% de cimento, sendo a espessura de corte de 20 cm (revestimento mais base existente).

Para o teor de cimento de 3%, a resistência à tração aos 28 dias da mistura reciclada estudada variou de 0,47 a 0,57 MPa. O módulo resiliente variou de 2600 MPa a 4500 MPa, em função do teor de cimento e idade de cura (Figura 21).

Figura 21: Variação do Módulo de Resiliência com o teor de cimento e tempo de cura



Fonte: Trichês (2013).

3 MÉTODO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida na Rodovia SC 355 (antiga SC 463), trecho localizado entre a BR 153 e Jaborá, nos Municípios de Jaborá e Concórdia, em Santa Catarina, que estava sendo restaurada pelo DEINFRA. Para o desenvolvimento da pesquisa foram relacionados três segmentos com extensão de 1,2 km cada. Nestes segmentos fez-se o acompanhamento deflectométrico e ensaios de campo e laboratório.

A pesquisa foi conduzida em duas frentes. A Fase 1, em campo e a Fase 2, desenvolvida em laboratório.

No desenvolvimento da Fase 1, foram realizados os levantamentos das condições funcionais e estruturais do pavimento e o acompanhamento da execução de um segmento teste, utilizado para a calibração dos equipamentos e treinamento dos funcionários, visto que poucos deles haviam trabalhado com esse processo.

Durante a reciclagem da camada de revestimento mais a base *in situ*, foi avaliada a espessura reciclada, a taxa de aplicação do pó de pedra e do cimento, a umidade da mistura, a granulometria do material triturado e o grau de compactação da camada. Foram moldados corpos de prova para a averiguação da resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral.

Efetuuou-se o levantamento das bacias de deflexão em diversas idades após a reciclagem da camada e acompanhou-se a execução da camada de massa fina e revestimento.

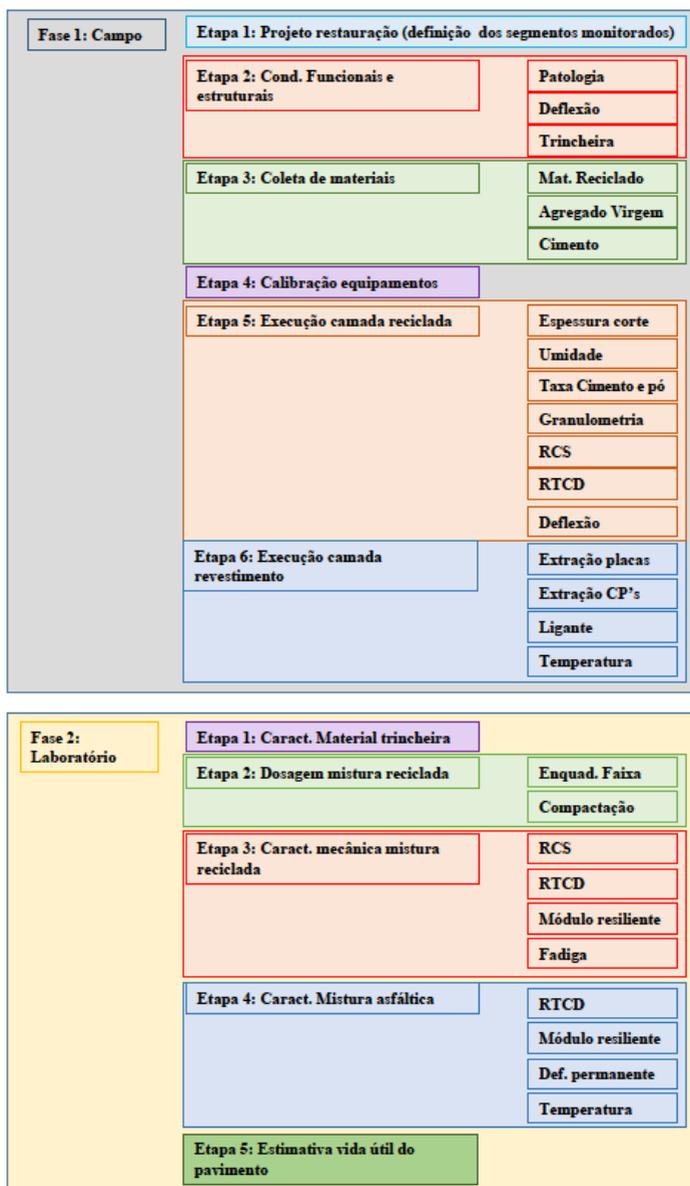
Na Fase 2, em laboratório, inicialmente caracterizou-se os materiais coletados nas trincheiras e o material reciclado. A granulometria da camada reciclada foi enquadrada na faixa III da especificação de serviço do DEINFRA/SC adicionando 15% de pó de pedra e diferentes teores de cimento.

Moldaram-se corpos de prova para a verificação do comportamento mecânico da mistura reciclada, com diferentes porcentagens de cimento e avaliou-se a resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, o módulo resiliente, o módulo elástico e a fadiga da mistura reciclada.

Foram realizados ensaios de deformação permanente, módulo resiliente e dano por umidade induzida da mistura asfáltica.

A Figura 22 apresenta o fluxograma das duas fases com suas respectivas etapas.

Figura 22: Fluxograma do método da pesquisa



3.1 HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DA RODOVIA

A SC 463, trecho entre Jaborá e a BR 153, teve investimentos do programa BID I (1980 – 1985) no montante de US\$ 4,5 milhões (US\$ 23,40 milhões atual), com conclusão em 30 de janeiro de 1985 em uma extensão de 30,166 km.

O Programa BID V, inclui a restauração da rodovia, com extensão de 22,8 km, entre Jaborá e a BR 153, a qual custará R\$ 31,1 milhões (aproximadamente US\$ 16,45 milhões atualmente), com prazo de execução de 24 meses.

O projeto de restauração da rodovia foi desenvolvido no ano de 2011, com conclusão em janeiro de 2012.

A obra foi executada pela empresa Pavia Brasil Ltda. e supervisionada pela Sotepa - Sociedade Técnica de Estudos, Projetos e Assessoria Ltda. No dia 17 de maio de 2013 executou-se a primeira pista teste, com a finalidade de testar os equipamentos e treinar os operadores. As condições ambientais não estavam favoráveis, apresentando temperaturas baixas e bastante neblina. Esta pista foi rejeitada pela fiscalização em função de problemas com equipamentos e qualidade da mistura (espalhamento heterogêneo do agregado, umidade abaixo do especificado, nivelamento, falta de rolos pé de carneiro e alto teor de cimento).

A restauração da pista de rolamento ficou parada até dia 10 de julho de 2013, quando foi executada a segunda pista experimental. Neste dia, as condições ambientais eram favoráveis, haviam equipamentos suficientes para efetuar a compactação. Os procedimentos e a qualidade da camada reciclada foram aprovados, liberando-se a execução da reciclagem no restante da rodovia.

O processo executivo da camada de reciclagem iniciou no km 11+100 em direção ao km 0+000. Com isso, primeiramente executou-se o segmento 3, posteriormente o segmento 2 e por último o segmento 1.

A partir da análise do projeto de restauração da rodovia e da geometria da mesma, foram selecionados três segmentos para serem monitorados quanto ao desempenho da reciclagem. Os Segmentos foram localizados em tangente, com declividade longitudinal menor que 2%, contemplando diferentes condições estruturais do pavimento existente e espessura de camada de reforço necessária. Os segmentos possuem extensão de 1200 metros, compreendidos entre os km 2+000 até o 8+800, divididos e identificados da seguinte forma:

- Segmento 1: entre km 2+000 até 3+200;
- Segmento 2: entre km 4+300 até 5+500;

- Segmento 3: entre km 7+600 até 8+800.

A reciclagem no segmento 3 iniciou no dia 20 de agosto, o segmento 2 no dia 10 de setembro e o segmento 1 no dia 3 de outubro de 2013. A Tabela 5 apresenta as datas de início e final de execução de cada camada.

Tabela 5: Datas de execução

Segmento	Camada	Início	Término
3	Reciclagem	20/08/2013	30/08/2013
	Massa fina	05/09/2013	19/09/2013
	Revestimento	13/09/2013	30/09/2013
2	Reciclagem	10/09/2013	27/09/2013
	Massa fina	26/09/2013	04/10/2013
	Revestimento	09/10/2013	18/10/2013
1	Reciclagem	03/10/2013	12/10/2013
	Massa fina	18/10/2013	31/10/2013
	Revestimento	04/11/2013	09/11/2013

A Tabela 6 apresenta os tempos decorridos entre a execução de reciclagem, massa fina e revestimento.

Tabela 6: Tempo decorrido entre a execução de cada camada

Segmento	Tempo entre as camadas (dias)		
	1	2	3
Reciclagem - Massa fina	15 - 19	7 - 16	16 - 20
Reciclagem - Revestimento	28 - 32	21 - 29	24 - 31
Massa fina - Revestimento	9 - 17	13 - 14	8 - 11

Após a reciclagem a camada ficava pelo menos três dias fechada ao tráfego. Durante esse período era executado o tratamento superficial com emulsão polimerizada e pedrisco. Após três dias a pista era liberada para a ação do tráfego, sendo solicitada até o sétimo dia, efetuava-se o levantamento deflectométrico. Com valores satisfatórios de deflexão, a pista era liberada para a execução da camada de massa fina (3 cm). Nos locais onde a deflexão era superior ao máximo admissível (68×10^{-2} mm), eram realizadas interferências, como remendo profundo, sendo necessária a nova reciclagem da camada.

Foi necessária a execução de remendo profundo em cinco pontos no segmento 3, um ponto no segmento 2 e um ponto no segmento 1.

No segmento 3 foram retiradas todas as camadas do pavimento, inclusive de quarenta a sessenta centímetros da camada de terraplenagem. O remendo foi executado até a camada de base. Sobre a

camada de base foi espalhado cimento e realizada a homogeneização com a recicladora.

No segmento 2, apenas executou-se novamente as camadas, não efetuou-se uma nova reciclagem. No segmento 1, removeu-se as camadas danificadas (base, sub-base e parte do subleito) e preencheu-se com mistura asfáltica, tipo massa fina.

A camada de revestimento com asfalto borracha foi executada após a conclusão da massa fina, com espessura mínima de 5 cm.

A reciclagem no segmento 3 foi executado por uma empresa terceirizada, sendo que ao longo do segmento 2 e em todo o segmento 1 mudou a empresa executora. Houve a redução no número de equipamentos e funcionários, o que pode ter prejudicado a qualidade do serviço executado.

3.2 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

A primeira fase da pesquisa (FASE 1), desenvolvida em campo está dividida em 6 Etapas, descritas a seguir.

Etapa 1: Projeto de restauração. Nesta fase fez-se um estudo do projeto de restauração da rodovia elaborado em 2011 pela empresa Sotepa Ltda. Nesta etapa foi definida a localização dos 3 Segmentos a serem monitorados.

Etapa 2: Levantamento das condições estruturais e funcionais do pavimento. Esta etapa constituiu-se em:

- Levantamento fotográfico das patologias, incluindo pista de rolamento, acostamento e drenagem antes da reciclagem;
- levantamento deflectométrico (viga Benkelman), com medidas de bacias de deflexão a cada 100 metros, para posterior estimativa dos módulos das camadas em campo;
- abertura de trincheiras para determinar as espessuras das camadas e suas características.

Etapa 3: Coleta dos materiais representativos de cada segmento para dosagem e caracterização. Esta etapa constituiu-se em:

- Coleta do material triturado sem adição de pó de pedra e cimento, em 3 (três) pontos distintos ao longo de cada segmento. Procurou-se distribuir a localização dos pontos para que fosse possível uma maior abrangência. Efetuou-se o corte na espessura especificada em projeto

(18 cm), com o mesmo equipamento utilizado na execução da reciclagem;

- coleta de agregado virgem para caracterização e composição granulométrica da mistura e dosagem da mistura reciclada.

Etapa 4: Execução dos segmentos para calibração dos equipamentos e liberação do início da obra. Esta etapa constituiu-se em:

- Calibração de equipamentos;
- verificação da espessura de corte;
- taxas de aplicação (cimento e pó de pedra);
- verificação da granulometria;
- teor de umidade;
- grau de compactação;
- resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral.

Etapa 5: Acompanhamento da execução da camada reciclada nos três segmentos monitorados. Esta etapa constituiu-se em:

- Verificação dos parâmetros de projeto;
- verificação da espessura de corte e da umidade da mistura;
- verificação das taxas de cimento e pó de pedra;
- verificação da granulometria da metade superior e da metade inferior da camada;
- verificação da resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias;
- verificação da resistência à tração por compressão diametral aos 7 e 28 dias;
- averiguação do grau de compactação;
- levantamento deflectométrico nos 3, 7, 28 dias de cura da mistura reciclada, após a execução da camada SAMI e após a execução da camada de revestimento.

Etapa 6: Acompanhamento do processo executivo da camada de revestimento asfáltico. Esta etapa constituiu-se em:

- Coleta de ligante virgem para determinação do ponto de amolecimento, penetração, viscosidade rotacional Brookfield;
- camada CAUQ massa fina: verificação da temperatura de espalhamento, moldagem de 10 corpos de prova por

segmento para a determinação do dano por umidade induzida;

- camada de revestimento: verificação da temperatura de espalhamento, moldagem de 10 corpos de prova por segmento, extração de 10 corpos de prova por segmento para determinação do módulo resiliente, extração de 2 placas por segmento monitorado para verificação da deformação permanente e coleta de material para extração de ligante.

A segunda fase desenvolvida em laboratório (FASE 2), está organizada em 6 Etapas, descritas a seguir.

Etapa 1: Caracterização dos materiais coletados nas trincheiras. Esta etapa constituiu-se em:

- Revestimento: extração de ligante e determinação da granulometria;
- base: granulometria, abrasão a Los Angeles, compactação;
- sub-base: abrasão a Los Angeles;
- subleito: compactação, CBR com expansão.

Etapa 2: Dosagem da mistura reciclada. Esta etapa constituiu-se em:

- Determinação da granulometria do material triturado (sem adição de pó de pedra e cimento);
- composição granulométrica para enquadramento na faixa III da especificação do DEINFRA/SC;
- curva de compactação da mistura com adição de 15% de pó de pedra e 3% de cimento.

Etapa 3: Verificação das características mecânicas da mistura reciclada. Esta etapa constituiu-se em:

- Verificação da resistência à compressão simples para os teores de 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro) % de cimento e com 15% de pó de pedra, nas idades de 3 (três), 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias de cura (3 corpos de prova por variação);
- verificação da resistência à tração por compressão diametral para os teores de 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro) % de cimento e com 15% de pó de pedra, nas idades de 3 (três), 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias de cura (3 corpos de prova por variação);

- realização dos ensaios de módulo resiliente nas idades de 7 (sete), 28 (vinte e oito) e 90 (noventa) dias de cura;
- realização de ensaio de fadiga no teor de 3% de cimento e com 15% de pó de pedra, com 28 dias, apenas para o segmento 3.

Etapa 4: Caracterização mecânica da camada asfáltica. Esta etapa constituiu-se em:

- Verificação da resistência à tração, dano por umidade induzida e módulo resiliente em corpos de prova extraídos da pista (camada CAUQ massa fina e Revestimento CAUQ asfalto-borracha);
- verificação da deformação permanente em placas extraídas da pista utilizando-se o simulador de tráfego francês.

Etapa 5: Estimativa da vida útil do pavimento. Esta etapa constituiu-se em:

- Estimativa dos módulos resilientes das camadas em campo através da retroanálise das bacias medidas em diferentes idade de cura da camada reciclada;
- estimativa da vida útil do pavimento executado a partir dos ensaios executados em laboratório e a retroanálise das bacias de deflexão.

3.3 FASE 1 - CAMPO

Nesta fase acompanhou-se todos os processos executados em campo, realizando-se ensaios para a caracterização das camadas e posterior avaliação dos serviços de reciclagem e revestimento.

3.3.1 Etapa 1 – Projeto de restauração

O projeto de restauração da rodovia foi desenvolvido pela empresa SOTEPA Ltda., em 2011. O levantamento de tráfego foi efetuado pela empresa com apoio de dados obtidos pelo DNIT nas rodovias federais próximas.

O valor do número de solicitações foi estimado pela metodologia USACE, resultando em um N de projeto de 1×10^7 , para um período de projeto de 10 anos.

O relevo da rodovia foi considerado ondulado, com superelevação máxima de 10,56%, velocidade de projeto de 60 km/h.

A faixa de tráfego reciclada foi limitada em 3,30 metros de largura e o acostamento, a 1,20 metros, nos locais onde não fosse implantada terceira faixa ou modificado o traçado.

De acordo com o projeto a data provável para abertura ao tráfego seria em 2015, com estimativa de 2.845 veículos mistos por dia, tendo como final da vida 2024, com 3.475 veículos mistos por dia.

3.3.2 Etapa 2 – Condições estruturais e funcionais do pavimento

O levantamento das condições estruturais e funcionais do pavimento foi efetuado através da avaliação das patologias superficiais presentes nos segmentos selecionados, condições de drenagem transversais e longitudinais, além da abertura de trincheiras para a verificação das espessuras das camadas e ensaios para a determinação das condições estruturais de cada camada.

3.3.2.1 Levantamento das patologias e das condições de drenagem

Nos três segmentos monitorados efetuou-se o levantamento fotográfico das patologias existentes tanto na pista de rolamento quanto nos acostamentos.

A Figura 23 apresenta algumas das patologias encontradas nos três segmentos monitorados.

Figura 23: Principais patologias encontradas nos segmentos monitorados, antes da intervenção



Dentre as patologias encontradas destacam-se as trincas tipo FC-3, panelas e remendos.

Além da investigação da superfície do pavimento, identificou-se os dispositivos de drenagem existentes, os projetados e os que seriam executados nesta intervenção.

O sistema de drenagem projetado está distribuído ao longo dos segmentos de forma a contemplar todos os locais que necessitem escoamento de água. Os drenos transversais foram locados a cada 40-60 metros distanciados entre si, enquanto os longitudinais foram executados nas bordas conforme projeto. Os dispositivos existentes apresentavam baixa eficiência, devido à falta de manutenção e limpeza.

3.3.2.2 Levantamento Deflectométrico

O levantamento deflectométrico foi realizado ao longo dos segmentos com auxílio de Viga Benkelman (relação 2:1) (Figura 24). Utilizou-se a metodologia normatizada pela DNER ME 024 (DNER, 2006).

Figura 24: Levantamento deflectométrico com viga Benkelman



O levantamento das bacias de deflexão foi efetuado a cada 100 metros, nos dois lados da pista de rolamento, posicionando a viga sobre a trilha de roda externa da pista. Em cada segmento foram levantadas 22 bacias de deflexão.

Em cada bacia foram obtidas 9 leituras, sendo elas: leitura inicial (L_0), $L_{12,5}$, L_{25} , L_{50} , L_{75} , L_{100} , L_{125} , L_{150} e Leitura final (L_f). Determinou-se o raio de curvatura e a deflexão máxima para cada ponto de análise.

As condições estruturais das camadas do pavimento, foram avaliadas através da retroanálise utilizando-se o software *Elsym5*[®]. Os

valores de espessuras das camadas foram determinados através de sondagens a cada 100 metros.

3.3.2.3 Abertura de poços de inspeção

Foram feitas duas formas diferentes de inspeção e verificação de espessuras das camadas: uma por sonda rotativa e outra por abertura de trincheiras.

Devido à diferença de espessura do revestimento e da base ao longo da rodovia, foi realizada abertura de poços de inspeção de 100 em 100 metros. Extraíu-se o material do revestimento, com auxílio de uma sonda rotativa, com diâmetro de 15 cm e determinou-se a espessura desta camada como mostra a Figura 25.

Figura 25: (a) Extração do corpo de prova do revestimento, (b) verificação da sua espessura



(a)



(b)

Nos casos em que a espessura do revestimento se encontrava acima da espessura de projeto (9,0 cm), foi efetuado a fresagem desta camada até que a mesma chegasse a espessura recomendada, não ultrapassando os 50% em relação ao total da espessura da camada reciclada.

Posteriormente, desagregou-se a camada da base para determinar a espessura da mesma, com uma talhadeira e uma maretá, e retirava-se o material até chegar à camada de sub-base (Figura 26).

Figura 26: (a) Retirada do material da base (b) Espessura base



O procedimento serviu para a determinação da espessura de fresagem e também para a retroanálise da estrutura do pavimento existente.

Além da investigação da espessura do revestimento e da base, foram abertas duas trincheiras em cada um dos três segmentos monitorados, com o objetivo de avaliar as condições da sub-base e do subleito.

Para facilitar a retirada da camada de revestimento, utilizou-se a recicladora. A espessura variava de segmento para segmento. O material foi coletado e levado ao laboratório para posterior análise (Figura 27).

Figura 27: Recicladora cortando material de revestimento



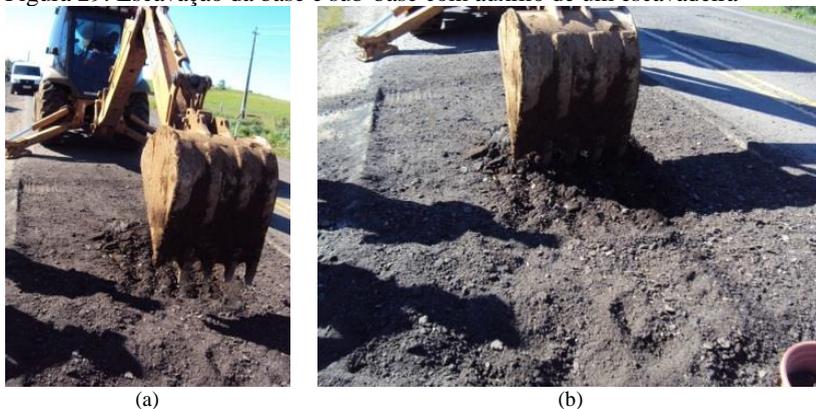
Retirou-se o excesso de material do revestimento que havia ficado sobre a camada de base, regularizou-se a mesma e determinou-se a massa específica aparente seca da camada de base pelo método do frasco de areia (Figura 28).

Figura 28: Determinação da massa específica aparente seca da camada de base



Para facilitar a retirada de material da base e sub-base, utilizou-se uma retroescavadeira. Escavou-se a camada de base até atingir a camada de sub-base e coletou-se o material necessário para efetuar os ensaios em laboratório (Figura 29).

Figura 29: Escavação da base e sub-base com auxílio de um escavadeira



A Figura 30 apresenta a espessura do revestimento, base e sub-base. É possível visualizar que as camadas de base e sub-base estavam contaminadas com solo, decorrente do bombeamento do material fino oriundo do subleito. Das seis trincheiras abertas (duas de cada segmento) todas apresentaram bombeamento de finos na sub-base, com umidade aparentemente elevada.

A grande quantidade de material do subleito observada entre as camadas de base e sub-base, pode ser decorrente da falta de dispositivos

de drenagem e da ausência de manutenção ao longo da vida deste pavimento.

Figura 30: Espessura das camadas do pavimento existente



Na camada final de terraplenagem (subleito) determinou-se a massa específica aparente seca *in situ*, através do ensaio de frasco de areia (DNER ME 092, DNER 1994). Em uma das trincheiras (segmento 1) não foi possível a determinação da massa específica aparente seca, pois a espessura de material argiloso era pequena, sendo composta por rocha em estado de decomposição juntamente com rocha aflorando.

Com os ensaios de campo (massa específica aparente seca e umidade) e os efetuados em laboratório (ensaio de compactação para a determinação da máxima massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de compactação) para a base e subleito, foi possível determinar o grau de compactação de cada camada em cada trincheira.

3.3.3 Etapa 3 - Coleta de amostras para a dosagem da camada reciclada

Para a dosagem da nova camada de base foi coletado o material com a própria recicladora em uma espessura de aproximadamente 18 cm, composto por material de revestimento mais base (Figura 31).

Figura 31: Espessura da camada reciclada



Inicialmente demarcou-se o local a ser coletado, cortou-se a camada de revestimento e base com equipamento “Recicladora RM 350B marca Caterpillar” (Figura 32). O tambor trabalhou com rotação de 115 rpm, a mesma rotação utilizada durante a reciclagem da camada.

Figura 32: Coleta do material reciclado a ser dosado em laboratório



(a)



(b)

Como a extensão de coleta foi de aproximadamente três metros, tomou-se o cuidado para homogeneizar bem o material triturado de forma a não descaracterizar a amostra coletada. Esse procedimento foi repetido ao longo de um mesmo segmento homogêneo mais duas vezes. Sendo que em cada segmento monitorado foram feitas três coletas de material triturado (base mais revestimento) sem a adição de aglomerante e agregado virgem.

Para cada um dos pontos foram coletados em torno de 400 kg de material. A mistura das três amostras de um mesmo segmento originou

uma amostra única de cada segmento com aproximadamente 1200 kg de material. Esse processo foi efetuado através de quarreamento manual.

O cimento foi coletado diretamente no caminhão transportador do material. Utilizou-se o cimento tipo CP II – F – 32 de marca Itambé. Coletou-se em torno de 120 kg do mesmo.

O agregado virgem (pó de pedra) foi coletado na Pedreira Kerber Mix (fornecedora dos agregados).

Em função da grande variabilidade das espessuras das camadas, em alguns casos o tambor da recicladora atingiu a camada de macadame seco (sub-base), pois a espessura da camada de revestimento mais base era inferior a 18 cm. Nestes locais, foi retirado a parte de sub-base (agregado grosseiro) e considerado apenas os outros dois materiais para a caracterização e dosagem da mistura.

Como mencionado anteriormente as amostras coletadas de um mesmo segmento foram misturadas resultando em apenas uma amostra, para que fosse possível uma homogeneidade do material.

Em cada segmento efetuou-se os seguintes ensaios:

- Granulometria base + revestimento triturado;
- granulometria do agregado virgem a ser adicionado;
- composição granulométrica da mistura reciclada (enquadramento na faixa de dosagem, adicionando-se agregado virgem e cimento);
- massa específica aparente seca máxima da mistura reciclada (capa + base + cimento (3%) + agregado virgem) e sua respectiva umidade ótima;
- resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral (3, 7 e 28 dias de cura).
- módulo resiliente (7, 28 e 90 dias de cura);
- fadiga da mistura reciclada (28 dias de cura).

3.3.4 Etapa 4 - Execução de pistas experimentais para calibração dos equipamentos

De acordo com o projeto executivo, a empresa executora precisa efetuar a calibração dos equipamentos, o dimensionamento da quantidade de pessoas e equipamentos, além de verificar as condições de funcionamento dos mesmos. Para a liberação do início dos serviços foi necessário que tudo estivesse funcionando corretamente e que a equipe estivesse treinada para o processo.

Para a liberação de início da reciclagem, foram executadas duas pistas experimentais com extensão de 200 metros cada, para fazer essas verificações e calibrações de equipamentos (número de passadas dos rolos, além da produtividade do serviço). A primeira pista experimental foi localizada entre os km 4+800 e 5+000, e a segunda, entre os km 10+900 e 11+100.

No dia 17 de maio de 2013 executaram-se os primeiros testes para liberação dos serviços. A pista escolhida foi entre os km 4+800 e 5+000, com inclinação ascendente leve, em tangente, localizado no lado direito da rodovia.

As condições climáticas neste dia não eram favoráveis ao serviço: temperatura baixa e bastante neblina, podendo prejudicar o espalhamento do aglomerante, o qual é muito sensível a umidade. Porém o experimento foi executado em função da mobilização dos equipamentos e dos funcionários.

Efetuu-se a marcação dos níveis a cada 10 metros e fez-se o levantamento deflectométrico intercalando trilha de roda interna com a externa.

Após a demarcação e avaliação das deflexões, iniciou-se o lançamento do agregado virgem (neste caso pó de pedra), na proporção de 15% de acordo com o especificado em projeto. O lançamento foi executado com um distribuidor de agregado, apresentando uma taxa de 57 kg/m², obtida através do método da bandeja. Entretanto, esta taxa não foi constante ao longo dos 200 metros, decorrente de problemas com o equipamento de distribuição (Figura 33).

Figura 33: (a) Lançamento do pó de pedra, (b) verificação da taxa de agregado virgem



(a)



(b)

O cimento foi aplicado com a utilização de um caminhão distribuidor de cimento. A especificação de projeto estipulava uma porcentagem de 3%, ou seja, 11,8 kg/m² nos casos em que a espessura a ser reciclada fosse de 18 cm. O controle do espalhamento foi feito através do método da bandeja (Figura 34).

Figura 34: Espalhamento do cimento

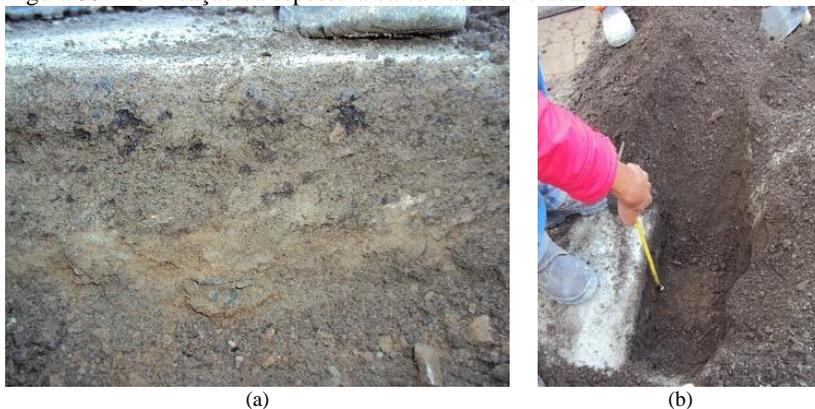


Após o lançamento do agregado virgem e do cimento iniciou-se a reciclagem propriamente dita. A água era lançada através de um dispositivo da recicladora, e alimentada por caminhões pipas. Em projeto, estava previsto umidade de mistura e compactação de 8,8%. No entanto, a mesma foi executada com 6,5%.

Uma vez que o tambor da recicladora não atinge a largura total da pista a ser reciclada, a mesma era feita em duas passadas com sobreposição em torno de 40 a 60 cm. Notava-se que nesta região a umidade do material era maior, em decorrência de ser umedecido duas vezes.

A espessura reciclada variou de 13 a 16 cm no eixo da pista, enquanto que em projeto estava previsto uma espessura de 18 cm (Figura 35). A diferença na espessura de reciclagem interfere na porcentagem de cimento e agregado virgem, pois quanto menor a espessura de corte em relação à projetada, maior será a porcentagem de cimento e agregado virgem.

Figura 35: Verificação da espessura da camada reciclada



A compactação iniciou posteriormente a reciclagem, de forma a reduzir a perda de umidade superficial da camada. Foi realizada com um rolo pé de carneiro e um rolo liso, totalizando 38 passadas. A compactação era intercalada, algumas passadas com o rolo pé de carneiro e algumas com o rolo liso. Para dar acabamento a superfície utilizou-se rolo liso (Figura 36).

Figura 36: Compactação da camada reciclada, com rolo pé de carneiro e liso



Conforme Figura 37, foram coletadas amostras para a moldagem de corpos de prova, verificação da granulometria e execução da curva de compactação.

Moldaram-se cinco corpos de prova de 10 cm (diâmetro) por 20 cm (altura), para a determinação da resistência à compressão simples (RCS) aos 7 e 28 dias de cura e cinco para a determinação da resistência à tração por compressão diametral (RTCD).

Figura 37: (a) Coleta de material reciclado, (b) compactação do material em corpos de prova 10 x 20 cm



(a)



(b)

Foi necessário a execução de uma segunda pista experimental, localizada entre os quilômetros 10+900 e 11+100.

Como objetivo de avaliar a homogeneidade da mistura reciclada, foi executada a granulometria da mistura. Além de fazer o ensaio de compactação (Proctor) para a determinação da massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de compactação.

O espalhamento do pó de pedra foi realizado com vibroacabadora (Figura 38).

Figura 38: Espelhamento e nivelamento do pó de pedra.



O espalhamento do cimento foi realizado empregando-se caminhão apropriado, com controle adequado da liberação de

aglomerante por metro quadrado. A determinação da taxa de aplicação foi feita a cada 20 m (Figura 39).

Figura 39: (a) Espalhamento do cimento, (b) Controle da taxa de aplicação cimento



Na sequência, a recicladora iniciava a trituração do revestimento e base juntamente com o pó de pedra e o cimento espalhado e adicionava água para atender às condições de umidade ótima de compactação (Figura 40).

Figura 40: (a) Reciclagem do pavimento (b) verificação da espessura reciclada



Logo atrás da recicladora, e em locais previamente definidos, era feita a coleta do material para a determinação da resistência em laboratório (Sotepa Ltda., empresa supervisora, moldava 18 cps; Pavia

Ltda., empresa executora, moldava 18 cps). Também eram moldados três corpos de prova para a determinação da massa específica aparente seca de campo que serviria de referência para a determinação do grau de compactação (Figura 41).

Figura 41: (a) Coleta material para compactação, (b) compactação dos corpos de prova



Após a reciclagem, um rolo pé de carneiro foi utilizado para efetuar uma pré-compactação da camada, com o objetivo de minimizar a evaporação da água da superfície da camada (Figura 42).

Figura 42: Execução da compactação da camada reciclada



A compactação foi executada com 3 rolos pé de carneiro, cada um efetuou 9 passadas. Determinou-se a massa específica com o frasco de areia, chegando à 93% de grau de compactação. Aplicou-se mais 2

passadas de cada rolo, chegando a 96% de compactação. Ao totalizar 12 passadas por rolo, foi possível atingir grau de compactação superior a 100%.

Com isso definiu-se que a compactação deveria ser executada com emprego de 3 rolos pé de carneiro, com um total de 12 passadas cada um, totalizando 36 passadas, de forma a se atingir grau de compactação especificado em projeto (Figura 43).

Figura 43: (a) Compactação com rolo pé de carneiro, (b) determinação da massa específica aparente seca da camada reciclada



(a)

(b)

Após o processo de compactação ser aprovado, a equipe de topografia demarcava os locais onde deveriam ser feitos cortes para a conformação transversal e longitudinal (Figura 44).

Figura 44: (a) verificação das inclinações, (b) regularização da camada



(a)

(b)

Finalizada a conformação longitudinal e transversal da pista, iniciava-se a compactação final da camada. A compactação era feita

com rolo de pneu e finalizada com rolo liso vibratório. Em média eram efetuadas 3 passadas de cada um dos rolos.

Após a conclusão da reciclagem e dentro do prazo de 3 dias (antes da liberação ao tráfego) foi aplicado tratamento superficial com emulsão polimerizada.

Aos 3 dias de cura, foi feito um levantamento deflectométrico e as deflexões medidas foram consideradas aceitáveis pela supervisão.

Com os resultados obtidos na segunda pista experimental, o DEINFRA/SC liberou a execução do serviço de reciclagem em toda a obra.

Ressalta-se que os segmentos das duas pistas experimentais receberam a ação do tráfego até que a frente de trabalho chegasse ao local. Os primeiros 200 metros (4+800 até 5+000) foram reciclados novamente, com adição de 1% de cimento.

Já o segundo segmento, recebeu camada de massa fina de mistura asfáltica com polímero e camada de revestimento de CAUQ (asfalto-borracha ecoflex). No asfalto-borracha foi adicionado aditivo para reduzir a temperatura de compactação da mistura.

3.3.5 Etapa 5 - Execução da camada reciclada nos 3 segmentos monitorados

Os segmentos acompanhados foram executados de agosto a dezembro de 2013. A produção linear da reciclagem foi bastante irregular ao longo do segmento, variando de 200 metros a 800 metros por dia de trabalho. Esse período variava em função da quantidade de material disponível, funcionários, equipamento e principalmente condições climáticas.

Durante o processo executivo acompanhou-se todas as etapas, efetuando-se a avaliação de cada uma.

Antes do início da reciclagem foi avaliada a espessura da camada de revestimento existente (fresado onde apresentava espessura superior a 9 cm). O material fresado era espalhado nos locais em que o desnível entre pista e acostamento era elevado ou onde o acostamento apresentava intenso processo erosivo.

3.3.5.1 Taxa de aplicação do agregado virgem

Para o enquadramento granulométrico na faixa III do DEINFRA/SC, foi necessário a adição de 15% de agregado virgem, de acordo com o projeto. A Figura 45 apresenta a distribuição do agregado

(pó de pedra) com auxílio de uma motoniveladora. A verificação da taxa era feita de duas formas: a primeira através da medição da espessura de espalhamento e a segunda, mais precisa, pelo método da bandeja.

Figura 45: (a) Aplicação agregado virgem, (b) verificação da taxa de aplicação



3.3.5.2 Taxa de aplicação do cimento

O cimento utilizado foi o tipo CP II F 32 (Itambé). O material era adquirido a granel e armazenado em tanque específico para o fim. Foi distribuído com caminhão, com controle digital de espalhamento. O controle da taxa de aplicação foi realizado pelo método da bandeja, intercalando-se o local de obtenção da taxa, entre a borda e o centro do caminhão (Figura 46). O controle era realizado a cada 100 metros.

Figura 46: (a) Espalhamento do cimento, (b) Verificação da taxa de aplicação do cimento.



3.3.5.3 Espessura de corte reciclado

A espessura de corte que a recicladora atinge, interfere na maioria dos parâmetros avaliados na pesquisa, pois a porcentagem de cimento e pó de pedra está diretamente relacionada com esta espessura.

Quanto maior a espessura de corte para uma mesma taxa de aplicação, menor será a porcentagem de cimento e pó de pedra. Portanto, se projetado com uma determinada espessura e executada com outra, pode interferir na vida útil e no desempenho da camada.

A cada 100 metros de camada reciclada era determinada a espessura de corte com auxílio de uma trena. A localização do ponto de inspeção foi sempre no eixo da pista, tendo como referência a pista existente do outro bordo (Figura 47).

Figura 47: Verificação da espessura de corte reciclado.



3.3.5.4 Granulometria da mistura reciclada

Para verificar a homogeneidade da amostra reciclada, efetuou-se análise granulométrica a cada dia de trabalho. A coleta do material ocorreu em duas etapas, na parte superior da camada reciclada (9 cm superficiais) e na parte inferior da camada (9 cm inferiores).

Além disso, fez-se a granulometria sem e com a lavagem da amostra na peneira nº 200 (0,075 mm), com a finalidade de avaliar qual é a interferência que a lavagem provoca na granulometria e se o local da coleta (superficial ou mais profunda) vai modificar a composição granulométrica (homogeneidade de trituração e mistura da recicladora).

Ensaio desenvolvido de acordo com a DNER ME 080 (DNER, 1994).

3.3.5.5 Umidade da mistura reciclada

A umidade ótima da mistura reciclada foi determinada em projeto como 8,8%. Porém, ao longo da execução dos segmentos monitorados, era determinada a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima. Desta forma, a comparação entre a umidade de execução e a ótima, foi efetuada não pela de projeto e sim pela umidade encontrada diariamente.

3.3.5.6 Grau de Compactação da camada reciclada

A determinação do grau de compactação *in situ*, se deu através da DNER ME 092 (DNER, 1994), método do frasco de areia.

Para a determinação do grau de compactação, as massas específicas aparentes secas encontradas em campo, foram relacionadas com as curvas de compactação obtidas a cada dia. Devido à heterogeneidade dos materiais, praticamente para cada dia se tinha uma massa específica aparente seca máxima e uma umidade ótima (Figura 48).

O grau de compactação era determinado a cada 100 metros, e a quantidade de ensaios por dia de serviço, dependia da produção diária, sempre respeitando os 100 metros entre cada determinação.

Figura 48: Determinação da massa específica aparente seca *in situ*



3.3.5.7 Comportamento mecânico da mistura reciclada em campo

Para a avaliação do comportamento mecânico da mistura reciclada em campo foram efetuados ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS) e Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD).

A determinação da RCS foi feita conforme DNER ME 201 (DNER, 1994). Foram moldados 4 corpos de prova por dia de trabalho com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. O material foi compactado em 5 camadas, aplicando-se 42 golpes em cada uma. O número de golpes adotado, foi definido para se reproduzir a massa específica aparente seca máxima da curva de compactação e representa energia modificada de compactação.

Os corpos de prova foram submetidos à cura úmida, proporcionando a hidratação do cimento e o enrijecimento da mistura. O período de cura variou de 7 a 28 dias.

Os corpos de prova foram capeados com enxofre, para corrigir imperfeições da moldagem e rompidos em prensa automatizada (Figura 49).

Figura 49: (a) Compactação dos corpos de prova, (b) rompimento dos corpos de prova



(a)



(b)

Para o ensaio de RTCD moldou-se 2 corpos de prova por dia de trabalho, empregando-se o mesmo processo de moldagem e cura que dos corpos de prova para a determinação da RCS. Este ensaio foi efetuado de acordo com o método de ensaio DNER ME 181 (DNER, 1994).

3.3.5.8 Determinação das deflexões

Para a determinação das deflexões do pavimento, foram demarcados, a cada 100 metros, os locais a serem medidas as bacias de deflexão.

Os levantamentos foram feitos antes da reciclagem, aos 3 dias após a reciclagem (idade onde ocorreu a liberação da pista para o tráfego), aos 7 dias após a reciclagem (idade onde liberava-se a pista para a execução da massa fina nos casos em que a deflexão era aceitável). Após a conclusão da massa fina era novamente feito o levantamento das bacias (Figura 50).

Figura 50: Levantamento deflectométrico (a) após a reciclagem (b) após a massa fina



Como o período entre a reciclagem e a execução do revestimento foi em torno de 28 dias, as leituras de deflexão após o revestimento e após os 28 dias da reciclagem, ficaram muito parecidas.

Todos esses levantamentos deflectométricos serviram para estimar as características modulares de cada camada, em função da idade de cura e das condições estruturais das camadas.

Utilizou-se o software Elsym5® para a determinação desses módulos através da técnica de retroanálise.

3.3.5.9 Tratamento superficial

Após a reciclagem da camada, a pista permanecia fechada durante 3 dias. Durante este tempo era aplicado o tratamento superficial da camada, empregando-se emulsão polimerizada.

Inicialmente era efetuada a limpeza da superfície com a utilização de *bobcat* (vassoura), seguida da pintura de imprimação com emulsão polimerizada e, na sequência, aplicado o pedrisco com distribuidor de agregado. O controle das taxas de emulsão e pedrisco foi feita através do método da bandeja. Após o espalhamento do pedrisco foi feita a compressão do pedrisco com um rolo liso sem vibração (Figura 51).

Após a execução do tratamento superficial a pista era liberada ao tráfego. Aos 7 dias após a reciclagem era determinada as deflexões para avaliar se havia surgido algum ponto deficiente (condição estrutural prejudicada) após a mesma estar exposta ao carregamento.

Figura 51: (a) espalhamento da emulsão polimerizada (b) compactação do tratamento superficial



(a)



(b)

Com a aprovação das deflexões aos 7 dias, a pista estava liberada para a execução da massa fina. Este período entre reciclagem e massa fina era variado em função da disponibilidade de mão de obra para executar, material, equipamento, condições ambientais e frente de trabalho.

3.3.5.10 Remendo profundo

Ao se fazer o levantamento deflectométrico aos 7 dias de cura, foi possível verificar que em alguns pontos a deflexão máxima era maior que a admissível. Em vários locais era possível ver na superfície que as condições estruturais das camadas estavam prejudicadas.

Uma das possíveis causas para o surgimento destas patologias, podem estar atreladas à contaminação das camadas de base e sub-base, onde estas apresentavam grande quantidade de solo oriundo do bombeamento do subleito. Outra causa pode estar ligada a locais onde o tambor atingiu a camada de sub-base, desestabilizando-a. Também a alta umidade da camada de subleito pode ter provocado o acréscimo das deflexões medidas.

Para corrigir estas patologias surgidas após o processo de reciclagem, foram executados remendos profundos.

No segmento 1 (km 2+000 – km 3+200), foi efetuado apenas um remendo, pelo fato de ser de pequenas proporções e não ser possível a compactação com rolos de grande porte e a entrada de maquinários. Foi retirada a camada reciclada, base remanescente, sub-base e em torno de 40 cm de subleito. Feito a regularização e posteriormente preenchida com massa fina, a mesma utilizada para a execução da camada de massa fina de regularização para o recebimento do revestimento asfáltico.

No segmento 2 (km 4+300 – km 5+500) foi identificado um ponto com alta deflexão. Foram retiradas as camadas deficientes, compactado a camada final de terraplenagem, lançada uma camada de macadame seco, a qual foi compactada com rolo liso, e posteriormente executada uma camada de brita graduada e compactada (Figura 52).

Figura 52: Remendo profundo - Segmento 2

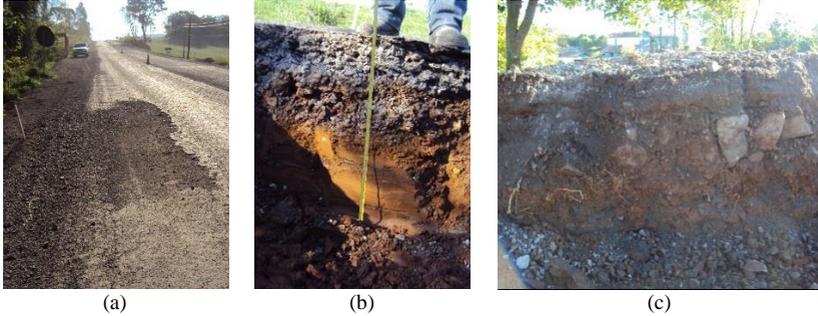


Neste segmento não foi executado a nova reciclagem da camada de base (adição de cimento), aplicando-se a massa fina e a camada de revestimento diretamente na base de brita graduada.

No segmento 3 (km 7+600 – km 8+800) surgiram 5 pontos que necessitaram a intervenção com remendo profundo. No lado esquerdo foi efetuado remendo em aproximadamente 110 metros ao longo dos 1200 metros que constituem o mesmo, para o lado direito foi necessário

intervir em 120 metros. A Figura 53 apresenta as condições superficiais que se encontravam os locais que necessitavam de intervenção e também as condições das camadas.

Figura 53: Condições superficiais e estrutura nos remendos



Pode-se visualizar na Figura 53 que a estrutura das camadas estava bastante prejudicada, podendo-se observar raízes (nos bordos em função da quantidade e proximidade das árvores), umidade elevada do subleito e contaminação da camada de sub-base com o bombeamento de argila.

Após a retirada das camadas com comprometimento estrutural, o subleito foi compactado com rolo pé de carneiro, lançada uma camada de macadame seco compactado com rolo liso, e executadas duas camadas de brita graduada e compactada com rolo liso. A Figura 54 ilustra a execução de um remendo profundo.

Figura 54: (a) Compactação do subleito (b) Compactação da nova camada de base



Com a camada de base finalizada, lançou-se 15% de pó de pedra e 3% de cimento sobre esses pontos. Com a recicladora efetuou-se a

mistura dos materiais. A compactação foi realizada com um rolo pé de carneiro e um liso (Figura 55).

Figura 55: Reciclagem dos remendos com nova adição de cimento



3.3.6 Etapa 6 - Acompanhamento do processo executivo da camada de revestimento asfáltico

O revestimento asfáltico foi dividido em duas camadas: a primeira com agregados menores, chamada de massa fina, com espessura de 3,0 cm e a segunda, CAUQ com asfalto borracha, com espessura de 5,0 cm.

A granulometria da massa fina era composta por 50% de pedrisco, 48% de pó de pedra e 2% de cal, com teor de 6,4% de ligante asfáltico, atendendo a Faixa C da especificação DEINFRA/SC-ES-P-05B/05. Os agregados de origem basáltica eram oriundos da pedreira Kerber Mix e o ligante da Greca Asfaltos SA.

A compactação da camada foi executada com 12 passadas de rolo de pneu e 8 passadas do liso. O controle de temperatura era verificado na usina, na caçamba (antes da descarga), na mesa da vibroacabadora e no espalhamento. Algumas etapas construtivas estão apresentadas na Figura 56.

Figura 56: (a) verificação da temperatura de rolamento, (b) compactação do revestimento



Para a massa fina foram avaliados os seguintes parâmetros de controle: teor de ligante, enquadramento na faixa de trabalho, temperatura de usinagem e compactação, além da moldagem de corpos de prova para a determinação do dano por umidade induzida.

A camada de rolamento foi executada com CAUQ com asfalto-borracha e com granulometria da faixa D da especificação do DEINFRA/SC-ES-P-05B/05, composta por 20% de brita I, 30% de pedrisco, 48% de pó de pedra, 2% de cal. A porcentagem de ligante foi diferenciada ao longo do segmento. Para o segmento 1 e 2 utilizou-se 6% de ecoflex enquanto que para o segmento 3 utilizou 5,8% (teor de projeto). A justificativa do aumento do teor de ligante em relação ao especificado em projeto, foi a quantidade de agregados graúdos que havia na mistura sem a cobertura de ligante. Visualmente esses 0,2% de ligante a mais, proporcionaram melhor cobertura dos agregados e melhor trabalhabilidade da mistura.

A camada de revestimento foi executada da mesma forma que na massa fina e com a mesma quantidade de passadas dos rolos (Figura 57).

Figura 57: (a) verificação da espessura de lançamento (b) compactação da camada de rolamento



Foram moldados 10 corpos de prova (metodologia Marshall) para cada segmento monitorado, com o objetivo de se avaliar o dano por umidade induzida da mistura.

Três dias após a camada de rolamento finalizada, determinou-se as deflexões e fez-se a extração de 10 amostras (por segmento) com sonda rotativa de 10 cm de diâmetro, para avaliação da espessura da camada de massa fina e de rolamento, determinação da massa específica aparente, execução do ensaio de dano por umidade induzida e determinação do módulo resiliente.

Para a avaliação da deformação permanente da mistura asfáltica, foram extraídas 2 placas (Figura 58) com dimensões de 25 x 60 cm, por segmento monitorado. Posteriormente as mesmas foram retificadas e reduzidas a 18 x 50 cm. A espessura das placas foi variada em função do local de coleta, porém todas superiores a 5 cm.

Figura 58: Extração placas para ensaio de deformação permanente.



3.4 FASE 2 – LABORATÓRIO

3.4.1 Etapa 1 - Caracterização dos materiais coletados nas trincheiras

O material de revestimento antigo foi obtido com a própria recicladora, onde cortou-se apenas a espessura da camada, sem contaminação com o material da base. Com esses materiais foram realizados os ensaios de extração de ligante e granulometria. O método de ensaio utilizado para a determinação da quantidade de ligante foi o DNER ME 053 (DNER 1994).

Para a caracterização do material de base foram realizados os ensaios de granulometria, Abrasão a Los Angeles e compactação (energia modificada).

Devido ao material de sub-base ser macadame seco, porém muito contaminado, foi efetuado apenas o ensaio de abrasão Los Angeles (DNER ME 035, DNER 1998).

Para a caracterização do material de subleito foram realizados os ensaios de compactação – Proctor normal, Índice de Suporte Califórnia – CBR com medidas de expansão.

3.4.2 Etapa 2 - Dosagem da mistura reciclada

A coleta de material triturado pela recicladora (revestimento e base, sem adição de agregado virgem e cimento) ocorreu em três pontos distintos de cada segmento. Posteriormente em laboratório, os materiais coletados foram homogeneizados formando apenas uma amostra por segmento. Com isso resultou em amostra 1 (segmento 1: 2+000 – 3+200), amostra 2 (segmento 2: 4+300 – 5+500) e amostra 3 (segmento 3: 7+600 – 8+800).

Inicialmente foi realizado o ensaio de granulometria do material triturado coletado em cada segmento. Para melhor caracterização do material, o mesmo foi lavado na peneira 0,075 mm (n° 200).

Na sequência, fez-se a composição granulométrica do material triturado com a adição de agregado virgem de modo que a mistura se enquadrasse na Faixa III da especificação de serviço DEINFRA/SC-ES-P-09 (2012).

Realizou-se a compactação da mistura, determinando-se a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de compactação.

Como cada segmento apresentou materiais diferentes, com granulometrias dispersas, efetuou-se uma curva de compactação para

cada segmento monitorado, com a adição de 15% de pó de pedra e 3% de cimento (valor intermediário aos 3 teores utilizados na dosagem, além de estar bem próximo ao utilizado em campo).

Depois de definida a granulometria da mistura, as adições, a umidade ótima de compactação e a massa específica aparente seca máxima, foram moldados corpos de prova para determinação das características mecânicas.

3.4.3 Etapa 3 - Determinação das características mecânicas da mistura reciclada

3.4.3.1 Resistência à compressão simples

Os corpos de prova para determinação da resistência à compressão simples foram moldados em 5 camadas com 42 golpes cada. O molde utilizado foi de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, utilizando-se a mesma metodologia de moldagem e cura mencionada nos ensaios de campo (DNER ME 201, DNER 1994).

Para cada segmento foram preparadas misturas com 2,0, 3,0 e 4,0% de cimento, e 15% de pó de pedra. As idades de ensaio foram com 3, 7 e 28 dias de cura úmida, sendo que para cada idade foram moldados 3 corpos de prova.

3.4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

Para a determinação da resistência à tração por compressão diametral foram moldados corpos de prova de 6,4 cm de altura por 10,16 cm de diâmetro, utilizando 40 golpes cada face do corpo de prova (determinados através de testes até se chegar a massa específica aparente seca máxima de projeto), de acordo com a metodologia Marshall. O ensaio foi baseado na DNIT ME 136 (DNIT, 2010).

3.4.3.3 Módulo resiliente da mistura reciclada

O ensaio de módulo foi realizado segundo o método DNIT ME 134 (DNIT, 2010) com as seguintes adaptações:

- Frequência do carregamento: 1 Hz
- Tempo de aplicação da carga: 0,1s
- Tempo de repouso: 0,9s
- Temperatura de ensaio: 22° C a 25°C
- Pressão de confinamento: 0 (sem confinamento)

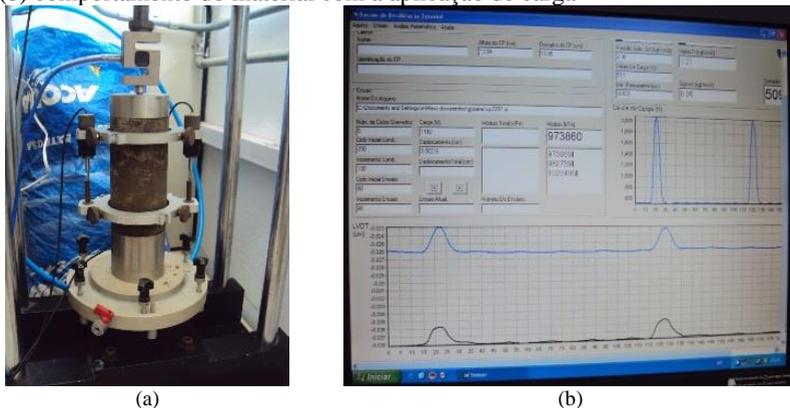
- Tensão desvio: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; e 5,0 kgf/cm²
- Módulo calculado após cada 100 ciclos de cada estado de tensão desvio.

Para a determinação do módulo resiliente das misturas recicladas, foram moldados corpos de prova de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, compactados em 5 camadas com 42 golpes por camada. A cura foi efetuada da mesma forma que os corpos de prova para a determinação da RCS e RTCD.

Para o segmento 1, foram moldados 9 corpos de prova com teor de cimento de 2,7%, sendo que 3 foram ensaiados aos 7 dias, 3 aos 28 e os outros 3 aos 90 dias. O mesmo procedimento para o segmento 2, mesmo teor e mesmas idades.

Para o segmento 3, foram moldados 27 corpos de prova, nos tempos de cura de 7, 28 e 90 dias, para os teores de 2, 3 e 4% de cimento. A Figura 59 apresenta um exemplo do comportamento do material durante a execução do ensaio e a montagem do equipamento para a determinação do módulo resiliente. Observa-se que os LVDT's foram fixados no corpo de prova através de alças permitindo assim uma melhor definição da deformação recuperável da amostra.

Figura 59: (a) corpo de prova de mistura reciclado durante ensaio de módulo, (b) comportamento do material com a aplicação de carga

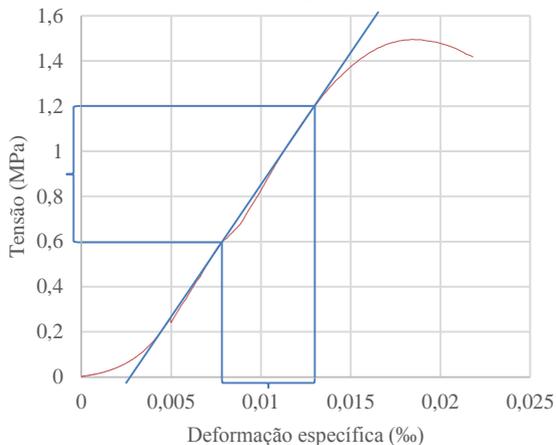


3.4.3.4 Módulo elástico da mistura reciclada

Para a determinação do módulo elástico da mistura reciclada, utilizou-se dos valores obtidos durante o rompimento à compressão simples dos corpos de prova. Através da elaboração da curva tensão x

deformação específica, obteve-se o valor do módulo tangente adotando um intervalo de tensão e dividindo pela diferença de deformação específica encontrada, como apresentada na Figura 60.

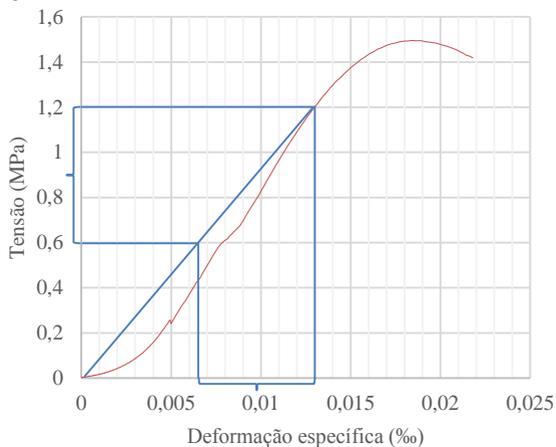
Figura 60: Módulo elástico tangente da mistura reciclada



$E: 1153,8 \text{ MPa}$

Para a determinação do módulo elástico secante, adotou-se como parâmetro o valor de 80% da resistência à compressão simples. Como indicado na Figura 61.

Figura 61: Módulo elástico secante da mistura reciclada



$E: 923,1 \text{ MPa}$

3.4.3.5 Fadiga de mistura reciclada

Para a determinação do comportamento à fadiga da mistura reciclada, foram moldados corpos de prova de 10,16 cm de diâmetro por 6,4 cm de altura, aplicando 40 golpes em cada face do mesmo (metodologia Marshall).

O ensaio foi efetuado apenas com o material oriundo do segmento 3, com adição de 3% de cimento e 15% de pó de pedra, com cura de 28 dias após a moldagem. O ensaio foi realizado à tensão controlada. Foram ensaiados 12 corpos de prova. Cada corpo de prova foi submetido a um carregamento cíclico com um nível de tensão correspondente a uma parcela da resistência à tração da mistura até a sua ruptura.

Os corpos de prova foram moldados em 3 conjuntos de 6 unidades. De cada conjunto, 2 corpos de prova foram rompidos à tração. A média da resistência destes dois corpos de prova foi admitida como sendo representativa dos outros quatro corpos de prova.

Para a realização do ensaio de fadiga um corpo de prova foi ensaiado com uma relação SR (relação entre tensão de tração /resistência à tração) ao redor de 0,9; um com SR ao redor de 0,8; um com SR ao redor de 0,7; um com SR ao redor de 0,6.

Os corpos de prova com mais de duas horas de ensaio, foram envolvidos com uma camada de estopa, que era constantemente molhada para se manter a umidade do corpo de prova e evitar a geração de gradientes de umidade no interior do corpo de prova. A temperatura de ensaio foi mantida em torno de 20 °C. Para o ensaio foi utilizado frequência de 4Hz. A Figura 62 apresenta etapas do desenvolvimento do ensaio.

Figura 62: Ensaio de fadiga por compressão diametral.



3.4.4 Etapa 4 - Caracterização mecânica da camada asfáltica

3.4.4.1 Módulo resiliente da mistura asfáltica

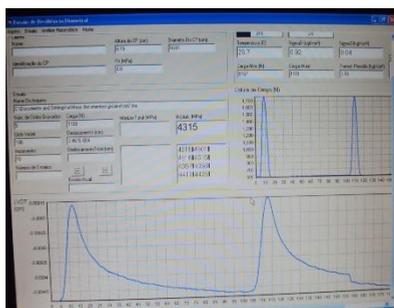
Para a determinação do módulo resiliente da mistura asfáltica, foram extraídas amostras de campo, com sonda rotativa de diâmetro 10 cm. Ensaio efetuado de acordo com a norma DNER ME 133 (1994).

Os corpos de prova foram cortados de forma a ficarem com altura em torno de 6 cm. Com isso, uma parte da massa fina ficou aderida ao CAUQ. Para cada segmento foram ensaiados 6 corpos de prova a 25 °C (Figura 63).

Figura 63: (a) equipamento para a determinação do módulo, (b) comportamento durante o ensaio



(a)



(b)

Após o ensaio para a determinação do módulo resiliente os corpos de prova foram rompidos a tração por compressão diametral.

3.4.4.2 Dano por umidade induzida

Para cada segmento monitorado foram realizados ensaios de dano por umidade induzida em corpos de prova extraídos em campo e em corpos de prova moldados em laboratório. Para cada segmento moldou-se 10 corpos de prova e foram extraídos 8 corpos de prova, os quais foram submetidos ao ensaio de dano por umidade induzida, de acordo com a NBR 15617 (ABNT, 2011).

3.4.4.3 Deformação permanente

Para a determinação da deformação permanente, foram extraídas duas placas por segmento monitorado. Posteriormente as placas foram retificadas até dimensões de 18 cm de largura por 50 cm de comprimento.

Como as placas foram retiradas contendo a camada de massa fina mais a de revestimento, a espessura total ficou entre 7 e 9 cm. Uma vez que os moldes para ensaio de deformação permanente possuem altura de 5 ou de 10 cm, foi necessário, então, o preenchimento desta espessura com argamassa no traço 1:2,5 em volume (1 de cimento para 2,5 de pó de pedra e areia). A Figura 64 mostra as placas regularizadas.

Figura 64: Preparação das placas para ensaio de deformação permanente



O ensaio de deformação foi a 60° C com condicionamento prévio. As leituras de deformação foram feitas após 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000 ciclos. A Figura 65, mostra como foram feitas as medições e a aparência das placas após os ensaios.

O ensaio seguiu as prescrições da norma AFNOR NF P 98-254-1 (1993).

Figura 65: (a) medições de deformação, (b) placas ensaiadas



3.4.5 Etapa 5 - Estimativa da vida útil do pavimento

A estimativa da vida de fadiga foi realizada através da análise tensão/deformação da estrutura dos segmentos monitorados utilizando-se o programa Elsym5®. Os dados necessários para esta análise foram obtidos nos ensaios de laboratório e na retroanálise das bacias medidas em campo.

Para a análise, considerou-se as espessuras de sub-base encontradas na abertura das trincheiras, base remanescente, nova base (reciclada) e o revestimento (massa fina e CAUQ asfalto-borracha).

Os módulos utilizados foram os obtidos na retroanálise efetuada antes da intervenção na via, para as camadas que não foram modificadas. Para a nova camada de base e revestimentos foram utilizados os valores encontrados nos ensaios de módulo resiliente em laboratório.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos em campo e em laboratório. A organização segue a mesma ordem descrita no método da pesquisa.

4.1 FASE 1 – CAMPO

Na fase de campo foram avaliados os resultados referentes as patologias, espessuras das camadas existentes, o controle do processo de reciclagem e a retroanálise das bacias de deflexão.

4.1.1 Etapa 1 – Projeto de restauração

4.1.1.1 Características dos segmentos

O segmento 1 (Figura 66), localizado entre os quilômetros 2+000 e 3+200, possui uma extensão total de 1200 metros. Em sua extensão possui inclinação máxima de 1,3%. Está localizado nas coordenadas: Início ($51^{\circ} 54' 00''$ W, $27^{\circ} 10' 41''$ S) Final ($51^{\circ} 53' 29''$ W, $27^{\circ} 10' 23''$ S) e altitude 845 m. A maior parte do segmento se desenvolveu em corte.

Figura 66: Localização do segmento 1.



O Segmento 2 (Figura 67) localizado entre os quilômetros 4+300 e o 5+500, possui inclinação longitudinal máxima de 2,1%. Tem como

coordenadas: Início ($51^{\circ} 53' 03''$ W, $27^{\circ} 10' 02''$ S) Final ($51^{\circ} 52' 26''$ W, $27^{\circ} 09' 48''$ S) e altitude de 790 metros.

Figura 67: Localização do segmento 2.



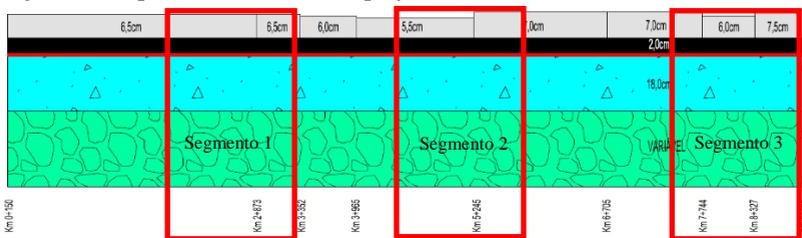
O Segmento 3 (Figura 68), está localizado entre os quilômetros 7+600 e 8+800, possui declividade longitudinal máxima de 2,0%. Tem como coordenadas: Início ($51^{\circ} 51' 18''$ W, $27^{\circ} 09' 20''$ S) Final ($51^{\circ} 50' 39''$ W, $27^{\circ} 09' 11''$ S) e altitude média de 820 metros. A grande maioria do segmento se desenvolveu em corte.

Figura 68: Localização do segmento 3.



Ao longo da rodovia, foram projetadas diferentes espessuras de revestimento em função da capacidade estrutural das camadas inferiores. A Figura 69 representa as espessuras resultantes em cada segmento.

Figura 69: Espessuras das camadas projetada.



Para o segmento 1 foram projetadas espessura reciclada de 18 cm, com 2 cm de massa fina e 6,5 cm de CAUQ. Para o segmento 2 a espessura de revestimento foi de 5,5 cm e 7 cm, em função da capacidade estrutural das camadas inferiores. No segmento 3 foram necessárias três espessuras diferentes de revestimento: entre o km 7+600 e km 7+744, 7 cm; entre o km 7+744 e o km 8+327, 6 cm; o restante do segmento, com 7,5 cm.

Porém, antes de iniciar a execução da obra, o projeto foi modificado e padronizadas as espessuras de massa fina e revestimento. Com isso, a estrutura executada resultou em, aproximadamente, 18 cm de camada reciclada, 3 cm de massa fina e 5 cm de CAUQ com asfalto borracha. As espessuras de sub-base e base remanescente foram variadas em função da estrutura existente da rodovia.

4.1.1.2 Projeto de dosagem da mistura reciclada – Tecnopav

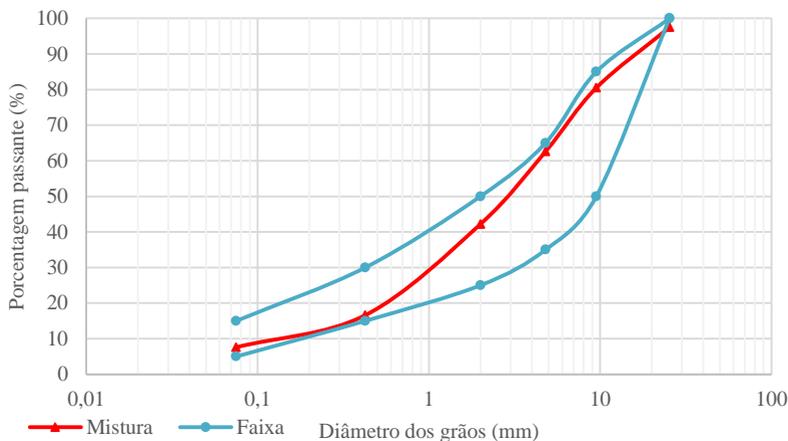
O projeto de dosagem da mistura reciclada foi efetuado pela empresa Tecnopav Ltda. (Campinas, São Paulo), executora da reciclagem das camadas.

Nos meses de fevereiro e março de 2013 foi realizada uma campanha de furos de sondagem para a definição das espessuras de capa asfáltica e base. Os furos foram feitos a cada 500 metros, alternando as faixas de tráfego. A espessura do revestimento variou entre 4,5 e 17,5 cm, e a da base variou de 5 e 22 cm.

Com o perfil longitudinal das espessuras definido, foram selecionados três pontos para fazer a coleta, considerados segmentos homogêneos. Porém o km 6+500 apresentou mais que 63% de material asfáltico e o km 12+500 apresentou 97% de revestimento asfáltico, com isso utilizou-se apenas o material coletado no km 7+000 com 49% de revestimento asfáltico e 51% de base para a realização da dosagem da mistura reciclada.

Com a adição de 15% de agregado virgem e 3% de cimento obteve-se a curva granulométrica com enquadramento satisfatório na faixa III da especificação de serviço DEINFRA-SC-ES-P-09, como apresentado na Figura 70.

Figura 70: Enquadramento faixa III da especificação ES-P-09 DEINFRA/SC



Fonte: Adaptado de Tecnopav (2013).

Na sequência, foi obtida a curva de compactação do material reciclado para a energia de Proctor modificado. A unidade ótima de compactação seria de 8,8% para uma massa específica aparente seca máxima de 2,188 g/cm³.

Foram moldados corpos de prova com diferentes teores de cimento. Com base nos resultados dos ensaios de resistência à compressão simples aos 7 dias de cura (2,4 MPa) e a resistência à tração diametral aos 7 dias (0,37 MPa), determinou-se como teor ótimo de cimento o valor de 3%.

Para a execução da reciclagem, limitou-se a 50% a porcentagem de mistura asfáltica presente na camada reciclada. A espessura de corte total foi estipulada em 18 centímetros.

4.1.2 Etapa 2: Levantamento das condições estruturais e funcionais do pavimento

O levantamento das condições estruturais baseou-se no levantamento deflectométrico e nas estruturas encontradas nas diferentes

trincheiras abertas, determinando-se espessura, umidade e densidade de campo de cada camada constituinte da estrutura do pavimento.

Posteriormente, com os ensaios de laboratório, determinou-se o grau de compactação de cada camada.

O levantamento do estado da superfície foi efetuado de forma visual, com registros fotográficos de cada segmento monitorado.

4.1.2.1 Patologias

As principais patologias encontradas nos 3 segmentos monitorados foram:

- Trincas por fadiga tipo couro de jacaré (JE), encontrada em quase toda a extensão dos segmentos;
- Fendas FC – 3 com aberturas superiores a 1,0 mm e com erosão nas bordas;
- Desgaste da superfície (D), presente em toda a extensão dos 3 segmentos;
- Panelas (P);
- Remendos superficiais (RS).

As Figuras 71 a 73 apresentam alguns exemplos de patologias encontradas nos três segmentos monitorados.

No Apêndice A, encontra-se um acervo fotográfico com as principais patologias observadas em cada segmento.

Figura 71: Principais patologias encontradas no segmento 1



Figura 72: Condições superficiais da camada de rolamento do segmento 2



Figura 73: Condições do revestimento no segmento 3



4.1.2.2 Abertura dos poços de inspeção

Como mencionado, inicialmente era feita uma sondagem com sonda rotativa de diâmetro 15 cm, retirando-se a camada de revestimento e com auxílio de uma talhadeira, eram retiradas as camadas de base e sub-base para a determinação das suas espessuras.

As Tabelas de 7 a 9, apresentam as espessuras das camadas encontradas pela sondagem rotativa, divididas em lado da pista, faixa da direita e faixa da esquerda.

Em todos os segmentos houve variabilidade significativa nas espessuras das camadas. O revestimento apresentou espessuras entre 5 e 16 cm. Muitos desses locais receberam algum tipo de recapeamento ao longo do tempo, apresentando assim espessura elevada. Em função destas elevadas espessuras, foi necessário a fresagem do revestimento em alguns pontos, de forma a se obter espessuras condizentes com o especificado em projeto. O segmento 1 apresentou maior média de espessura para o revestimento, com valor acima de 9,1 cm e o segmento 2, a menor média, com 8,4 cm.

A camada de base apresentou espessuras de 8 a 23 cm, com espessuras médias de 15 cm para os segmentos 1 e 3, e 13 cm para o segmento 2. A espessura de base deve ser suficiente para garantir que a mesma represente no mínimo 50% da mistura reciclada, o que em alguns pontos não foi conseguido, em função da sua pouca espessura.

Para a camada de sub-base foram encontradas espessuras de 6 a 27 cm. Locais com espessura muito pequena apresentaram total contaminação com material argiloso, oriundo do bombeamento de finos. O segmento 1 apresentou maiores espessuras (20,4 cm) e melhores condições, visto que o material de subleito é mais granular (rocha decomposta), reduzindo assim o bombeamento do subleito. O segmento 3 foi o que apresentou menores espessuras com valor médio de 16,4 cm. Também foi o segmento em que surgiram mais problemas após a reciclagem (necessidade de remendo profundo).

As espessuras elevadas encontradas em alguns pontos, podem ser decorrentes de restaurações executadas antes da intervenção, do tipo reforço, com aplicação de nova camada de mistura asfáltica.

Tabela 7: Espessuras (cm) das camadas - Antes da reciclagem 2+000 a 3+200 (segmento 1).

km		Lado esquerdo				Lado direito			
Inicial	Final	Revestimento	Base	Sub-base	Deflexão (x10 ⁻² mm)	Revestimento	Base	Sub-base	Deflexão (x10 ⁻² mm)
2+100	2+200	7,0	17,0	19,0	96	6,5	19,5	16,5	64
2+200	2+300	9,5	14,5	21,5	66	6,0	17,0	19,0	68
2+300	2+400	6,0	20,0	16,0	50	8,0	12,5	23,5	60
2+400	2+500	9,0	10,0	26,0	53	6,8	13,2	22,8	52
2+500	2+600	7,0	15,0	21,0	56	8,5	13,5	22,5	68
2+600	2+700	8,5	11,5	24,5	40	6,0	10,0	26,0	50
2+700	2+800	9,5	13,5	22,5	58	8,5	12,5	23,5	70
2+800	2+900	7,5	16,5	19,5	60	10,0	13,5	22,5	70
2+900	3+000	14,0	8,0	27,0	50	7,0	16,5	19,5	70
3+000	3+100	13,0	15,0	20,0	78	15,5	13,5	21,5	38
3+100	3+200	13,5	23,0	12,0	60	14,0	16,0	19,0	41
3+200		13,5	23,0	12,0	80	5,0	22,0	13,0	50
Máximo		14,0	23,0	27,0	96	16,0	22,0	26,0	70
Mínimo		6,0	8,0	12,0	40	5,0	10,0	13,0	38
Média		10,0	16,0	20,0	62	8,0	15,0	21,0	58
Desvio padrão		3,0	5,0	5,0	16	3,0	3,0	4,0	12

Revestimento: CAUQ

Base: Brita Graduada Simples

Sub-base: Macadame seco

Subleito: Rocha alterada

Tabela 8: Espessuras (cm) das camadas - Antes da reciclagem 4+300 a 5+500 (segmento 2).

km		Lado esquerdo				Lado direito			
Inicial	Final	Revestimento	Base	Sub-base	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)	Revestimento	Base	Sub-base	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)
4+300	4+400	6,5	13,5	18,5	88	6,0	16,0	16,0	80
4+400	4+500	8,0	14,0	18,0	46	7,0	12,0	20,0	75
4+500	4+600	8,0	13,0	19,0	47	7,5	16,5	15,5	86
4+600	4+700	9,0	12,0	20,0	64	10,0	9,0	23,0	88
4+700	4+800	11,0	11,0	21,0	60	12,0	15,0	17,0	56
4+800	4+900	8,0	12,0	20,0	75	8,0	12,0	20,0	35
4+900	5+000	8,0	12,0	20,0	64	8,0	11,3	20,7	48
5+000	5+100	8,0	19,0	13,0	50	9,0	16,0	16,0	50
5+100	5+200	8,0	11,0	21,0	42	8,0	14,0	18,0	62
5+200	5+300	8,0	18,0	17,0	56	10,0	12,0	23,0	56
5+300	5+400	7,0	16,0	19,0	72	9,0	13,0	22,0	119
5+400	5+500	8,0	12,0	23,0	55	8,0	14,0	21,0	86
5+500		8,0	12,0	23,0	78				
Máximo		11,0	19,0	23,0	88	12,0	16,5	23,0	119
Mínimo		6,5	11,0	13,0	42	6,0	9,0	15,5	35
Média		8,0	14,0	19,0	61	9,0	13,0	19,0	70
Desvio padrão		1,0	3,0	3,0	14	2,0	2,0	3,0	23

Revestimento: CAUQ

Base: Brita Graduada Simples

Sub-base: Macadame seco

Subleito: Solo argiloso

Tabela 9: Espessuras (cm) das camadas - Antes da reciclagem 7+600 a 8+800 (segmento 3).

km		Lado esquerdo				Lado direito			
Inicial	Final	Revestimento	Base	Sub-base	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)	Revestimento	Base	Sub-base	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)
7+700	7+800	9,5	14,5	19,5	54	16,0	8,0	26,0	64
7+800	7+900	7,0	16,0	13,0	42	11,0	11,0	23,0	70
7+900	8+000	9,0	14,0	15,0	88	7,0	15,0	14,0	74
8+000	8+100	7,0	23,0	6,0	50	8,0	11,0	18,0	70
8+100	8+200	6,0	19,0	10,0	74	8,0	15,0	14,0	74
8+200	8+300	10,0	14,5	14,5	42	7,0	14,5	14,5	88
8+300	8+400	10,0	13,5	15,5	40	9,0	13,0	16,0	72
8+400	8+500	9,0	13,0	19,0	76	8,0	14,0	15,0	76
8+500	8+600	8,0	15,0	20,0	52	7,5	15,5	16,5	94
8+600	8+700	11,0	14,0	21,0	62	9,0	19,0	16,0	73
8+700	8+800	8,5	19,5	15,5	62	7,0	18,0	17,0	106
8+800		8,5	19,5	15,5	70	10,0	16,0	19,0	64
Máximo		11,0	23,0	21,0	88	16,0	19,0	26,0	106
Mínimo		6,0	13,0	6,0	40	7,0	8,0	14,0	64
Média		9,0	16,0	15,0	59	9,0	14,0	17,0	77
Desvio padrão		1,0	3,0	4,0	15	3,0	3,0	4,0	13

Revestimento: CAUQ

Base: Brita Graduada Simples

Sub-base: Macadame seco

Subleito: Solo argiloso

Para melhor identificar e caracterizar a estrutura do pavimento existente, foram abertos poços de inspeção (trincheiras) que permitiram a determinação das espessuras de cada camada, além da execução do ensaio de densidade *in situ*. A Tabela 10 apresenta os resultados de espessura de cada camada, teor de umidade, massa específica aparente seca e o tipo de material constituinte.

Tabela 10: Identificação das camadas do pavimento.

Segmento	1		2		3	
	2+370	2+550	4+740	5+260	8+080	8+380
Estaca						
Espessura revestimento (cm)	8,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,0
Tipo	CAUQ	CAUQ	CAUQ	CAUQ	CAUQ	CAUQ
Espessura base (cm)	10,0	17,0	6,0	17,0	13,0	18,0
Tipo	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS
Umidade campo (%)	4,7	4,6	4,3	4,6	5,1	5,4
MEAS (g/cm ³)	2,328	2,339	2,511	2,431	2,240	2,292
Espessura sub-base (cm)	35,0	14,0	14,0	14,0	13,0	14,0
Tipo	MS	MS	MS	MS	MS	MS
Umidade Subleito (%)		8,8	35,1	31,2	37,7	42,0
MEAS (g/cm ³)	-	1,534	1,282	1,387	1,215	1,246

Analisando os valores obtidos na abertura das trincheiras, verificou-se que o revestimento dos três segmentos era constituído por mistura CAUQ, com espessura variando de 7 a 8 cm. Apresentava condições ruins de rolamento, além da superfície trincada. As espessuras da base variaram de 6 a 18 cm. A massa específica seca de campo também apresentou variação entre os segmentos. Para o segmento 3 chegou a valores de 2,290 g/cm³; para o segmento 2, aproximadamente, 2,450 g/cm³; e para o segmento 1; 2,330 g/cm³. A sub-base composta por macadame seco apresentou espessuras de 13 a 35 cm. Vale ressaltar que todas as trincheiras apresentaram contaminação da camada com argila, decorrente do bombeamento do material constituinte da camada de subleito.

Nos segmentos 2 e 3 a umidade encontrada apresentou-se alta, enquanto que para o segmento 1 a mesma foi baixa, umidade característica do tipo de material encontrado no local, rocha decomposta.

4.1.2.3 Levantamento deflectométrico

O levantamento deflectométrico realizado a cada 100 metros apresentou valores de deflexão máxima média entre 60 e 68 x 10⁻² mm, enquanto a deflexão característica ficou superior à admissível (68 x 10⁻²

mm). A Tabela 11 apresenta as deflexões médias, características levantadas nos três segmentos monitorados antes da execução da reciclagem.

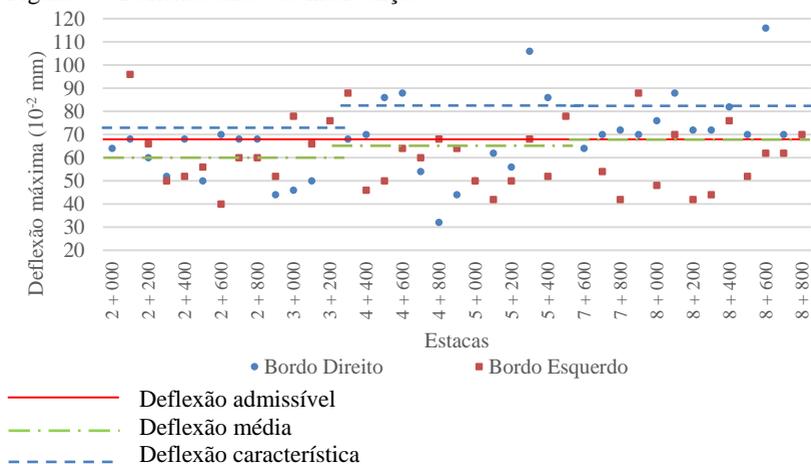
Tabela 11: Deflexões antes da reciclagem

Segmento	1	2	3
Deflexão média ($\times 10^{-2}$ mm)	60	65	68
Desvio Padrão ($\times 10^{-2}$ mm)	14	16	14
Deflexão característica ($\times 10^{-2}$ mm)	74	82	82
Deflexão admissível ($\times 10^{-2}$ mm)	68	68	68

A deflexão admissível foi determinada através do modelo do método de restauração PRO 011 (DNIT, 1979), relacionando a deflexão admissível com o valor do $N_{8,2 \text{ ton}}$, previsto para o novo período de projeto.

A Figura 74, apresenta as deflexões máximas encontradas nos segmentos monitorados antes da intervenção.

Figura 74: Deflexão antes da intervenção



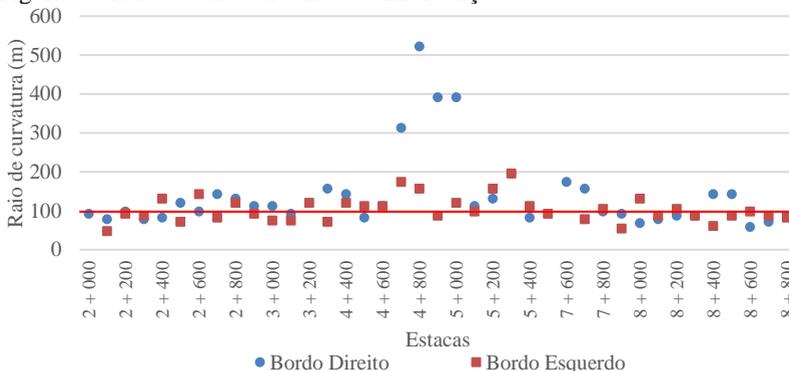
O bordo esquerdo da rodovia apresentou menores deflexões máximas comparadas com o bordo direito, indicando um melhor comportamento estrutural. O bordo direito do segmento 3 foi o que apresentou maiores valores de deflexão máxima.

Embora os valores das deflexões características não estejam tão acima da deflexão admissível, as péssimas condições da camada de

rolamento é que levaram o órgão a adotar a alternativa de reciclagem para a restauração desta rodovia.

A Figura 75 apresenta os resultados de Raio de curvatura dos três segmentos monitorados.

Figura 75: Raio de curvatura antes da intervenção



Quanto maior o raio de curvatura, melhor é a distribuição das tensões das cargas impostas no pavimento. Valores muito baixos indicam que o pavimento apresenta deficiência estrutural. Analisando o Gráfico 3, verifica-se que o segmento 2 apresentou melhores condições de distribuição de tensões, com raios acima de 100 m. Em contrapartida, o segmento 3 apresentou menores raios de curvatura, decorrentes das altas deflexões.

4.1.2.4 Retroanálise das estruturas existentes

Com os levantamentos deflectométricos realizados antes da intervenção na pista, foram efetuadas as retroanálises de cada bacia de deflexão com emprego do software Elsym5®.

Este software calcula as tensões, deformações e deflexões em um sistema de camadas elásticas, quando solicitado uniformemente sobre uma área circular.

A retroanálise por este software é feita por interações, adotando-se valores iniciais de módulos e calculando-se o erro relativo entre a bacia de deflexão medida e a calculada.

Para aceitação que uma bacia calculada representasse uma bacia medida em campo utilizou-se critério de erro relativo, comparando-se o valor calculado e o medido ao longo das bacias. Para as deflexões

medidas, próximo ao ponto de aplicação do carregamento, o erro admitido entre o valor calculado e o medido foi de 10%. Para os pontos mais afastados (calda da bacia) o erro admitido foi de 70%.

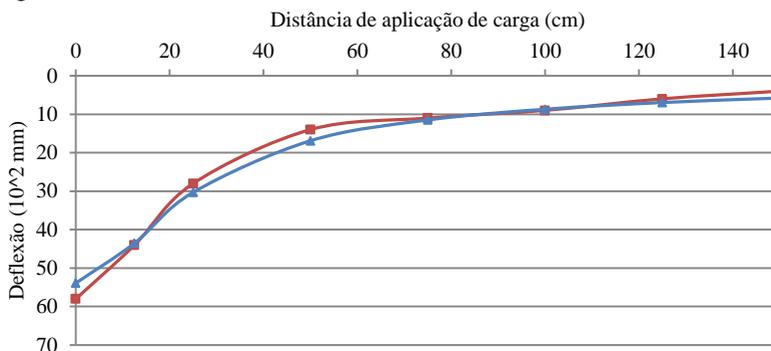
Na Tabela 12 apresenta-se um exemplo das deflexões medidas e calculadas para uma dada bacia.

Tabela 12: Deflexões medidas e calculadas ($\times 10^{-2}$ mm) Segmento 1 km 2+200 LD.

Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	58	44	28	14	11	9	6	4
Def. Calculada	54	44	30	17	12	9	7	6
ϵ (%)	7,1%	1,1%	8,2%	20,7%	4,5%	3,2%	16,0%	44,8%

Na Figura 76 pode-se visualizar o comportamento da bacia deflectométrica medida, comparada com a calculada.

Figura 76: Retroanálise da bacia de deflexão na estaca 2+200 LD



As espessuras das camadas foram determinadas nas sondagens executadas a cada 100 metros, ao longo de todos os segmentos. A Tabela 13 apresenta os valores de módulo obtidos pela retroanálise da bacia do km 2+200 LD.

Tabela 13: Espessuras e Módulo retroanalisado na estaca 2+200 LD.

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1900
Base BG	12,5	150
Sub-base	23,5	150
Subleito		120

A retroanálise de todas as bacias levantadas antes da intervenção na pista se encontra no Apêndice B.

A Tabela 14 apresenta um resumo da retroanálise dos 3 segmentos, com os valores de módulos do revestimento, base, sub-base e subleito.

Tabela 14: Retroanálise antes da intervenção. Valores dos Módulos em MPa

Segm	Lado	Parâm.	Deflexão (0,01mm)	Revest	Base	Sub-base	Subleito
1	LE	Máximo	96	1600	250	220	200
		Mínimo	40	700	60	30	60
		Média	62	1142	121	113	133
		DP	16	360	56	53	42
1	LD	Máximo	70	2400	220	190	190
		Mínimo	38	1000	80	70	100
		Média	59	1717	143	131	130
		DP	12	371	43	42	31
2	LE	Máximo	88	2600	200	250	250
		Mínimo	42	1400	60	40	80
		Média	61	1854	123	118	135
		DP	14	393	43	68	45
2	LD	Máximo	119	5000	300	250	100
		Mínimo	47	1800	50	50	30
		Média	72	2850	193	116	67
		DP	21	945	73	74	18
3	LE	Máximo	88	2300	180	220	250
		Mínimo	40	650	70	60	110
		Média	59	1104	133	133	169
		DP	15	530	42	52	43
3	LD	Máximo	106	2600	300	110	100
		Mínimo	64	1000	60	40	30
		Média	77	1700	129	74	81
		DP	13	501	63	23	21

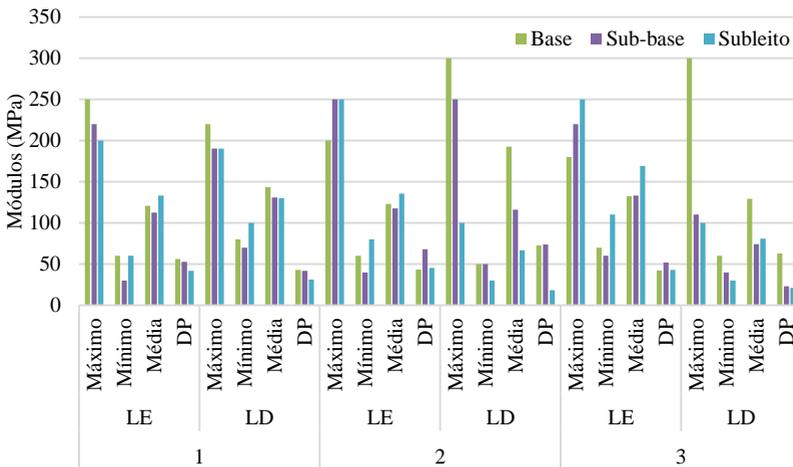
Avaliando-se os valores de módulo do subleito, pode-se inferir que a camada final de terraplenagem no segmento 1 apresenta comportamento estrutural de ruim a bom com valores entre 60 e 200 MPa. Nos segmentos 2 e 3, o lado esquerdo apresentou valores entre 80 e 250 MPa, enquanto que o lado direito apresentou condições estruturais ruins, com valores modulares entre 30 e 100 MPa.

Uma possível causa desta diferença entre os bordos, pode estar associada ao material do subleito. Nesses dois segmentos o lado direito se encontra em seção de aterro, enquanto o lado esquerdo em seção de corte (maioria da extensão do segmento).

A capacidade estrutural com melhores condições do segmento 1, justifica-se pela qualidade do material de subleito. O mesmo apresenta maior massa específica aparente seca em campo e a umidade do subleito (determinada na abertura das trincheiras) encontrava-se cerca de 10 a 20%, inferior aos outros dois segmentos. Material desta camada é composto por rocha em decomposição e fragmentos da rocha, reduzindo o bombeamento de finos para as camadas superiores.

Em relação às camadas de base e sub-base, observou-se que as mesmas estão em condições estruturais ruins, com os valores entre 30 e 200 MPa. Pontos isolados apresentaram valores acima de 200 MPa. A Figura 77 apresenta uma comparação entre os valores máximos, mínimos e médios dos módulos encontrados na retroanálise das bacias, para os três segmentos.

Figura 77: Módulos retroanalisado da Base, sub-base e subleito



Fica evidente na Figura 77 a baixa qualidade das camadas de suporte do pavimento, com valores modulares muito baixos. Locais isolados, que apresentaram condições insatisfatórias, foram executados remendos profundos antes de se realizar a reciclagem.

Durante a investigação em campo da estrutura do pavimento, através da abertura de trincheiras, ficou evidente a contaminação das camadas de base e sub-base por material argiloso, oriundo do bombeamento de finos das camadas inferiores.

A presença de raízes nas laterais (acostamento), umidade elevada do subleito e a contaminação das camadas de base e sub-base são as possíveis causas para a baixa capacidade estrutural destas duas camadas.

Os valores modulares encontrados nesta etapa (subleito, sub-base e parte da base) foram utilizados para estimar a vida útil da estrutura do pavimento reciclado.

Em análise geral das condições do pavimento, apenas o lado direito dos segmentos 2 e 3 não apresentariam deflexão aceitável antes da interferência. Desta forma se fosse apenas avaliado isto, a estrutura poderia ser considerada satisfatória. Porém a grande degradação da camada de rolamento, com inúmeras patologias, e após a abertura das trincheiras, ficava visível a precariedade das condições do pavimento.

4.1.3 Etapa 4 - Execução de pistas experimentais para calibração dos equipamentos

As pistas utilizadas para a calibração dos equipamentos, treinamentos de mão de obra e verificação das condições comportamentais dos materiais utilizados na camada reciclada, foram efetuadas em duas datas e locais diferentes.

Os resultados de resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral encontrados aos 7 dias de cura, foram considerados acima do estipulado em projeto (2,1 MPa), para a primeira pista executada. Como pode ser visualizado na Tabela 15, os valores ficaram acima dos 2,1 MPa de RCS aos 7 dias de cura.

Tabela 15: Resultados da RCS e RTCD - Pista experimental 1.

Idade Rompimento dias	RCS (MPa)	RTCD (MPa)
7	2,56	
7	2,37	
28	2,85	
28	2,94	
28	2,97	
7		0,28
7		0,25
28		1,89
28		2,19
28		1,95

Verificou-se que a granulometria da mistura, comparando com a Faixa de projeto (faixa III do DEINFRA/SC) e o equivalente de areia (DNER ME 054, DNER 1997), atendiam ao projeto.

A empresa fiscalizadora não aceitou a liberação dos serviços por 5 motivos:

1 - Espalhamento heterogêneo do agregado (equipamento inadequado para a execução do serviço);

2 - umidade não condizente com o especificado (abaixo do projetado);

3 - problemas com a equipe de topografia (prejudicando a inclinação transversal da via);

4 - falta de equipamento para compactação (apenas um rolo pé de carneiro e um liso);

5 - alto teor de cimento.

Foi necessário, então, a execução de uma segunda pista experimental, localizada entre os quilômetros 10+900 e 11+100. O segmento foi dividido em duas partes, sendo que a primeira foi executada com teor de cimento de 3% (100 m) e a segunda com teor de cimento de 2,7%. A Tabela 16 apresenta um resumo dos resultados obtidos nesta segunda pista.

Tabela 16: Resultados da pista experimental 2

Teor de cimento	3,0%	2,7%
Massa específica aparente seca laboratório (g/cm ³)	2,190	Não há projeto
Umidade de projeto (%)	8,8	
Massa específica aparente seca campo (g/cm ³)	2,300	2,080
Taxa de pó de pedra (kg/m ²)	61,5	66
Umidade em campo (%)	8,3	7,1
Grau de compactação (%)	99,2	98,2

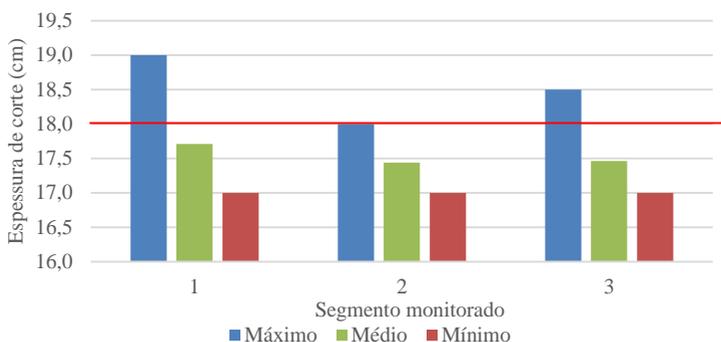
Os resultados de resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral foram satisfatórios e aprovados pela empresa fiscalizadora, liberando assim os serviços no restante da rodovia.

4.1.4 Etapa 5: Acompanhamentos da execução da camada reciclada

4.1.4.1 Espessura de corte

A Figura 78 apresenta a espessura de corte em cada segmento, comparando-a com a projetada (linha vermelha) (no Apêndice C apresentam-se as espessuras de corte a cada 100 metros).

Figura 78: Espessura da camada de corte



Pode-se verificar que as espessuras de corte médias ficaram abaixo do especificado nos três segmentos monitorados, porém em alguns pontos obteve-se maior espessura e em outros, menor (variando de 17 até 19 cm). A maioria dos pontos com espessura de corte inferior deve-se à pequena espessura da base mais revestimento, ocasionando o contato do tambor da recicladora com a sub-base (em macadame seco).

Nos locais onde a espessura de base mais revestimento era inferior aos 18 cm, o tambor da recicladora atingiu parte da sub-base, trazendo para a superfície material desta camada, sendo necessário a sua retirada antes de se iniciar a compactação.

Durante o processo executivo, em três pontos ao longo dos 1200 metros de extensão do segmento 2, a recicladora atingiu a sub-base. Nesses locais, retirou-se o material mais graúdo. Porém a contaminação da camada por materiais grosseiros, pode interferir no desempenho da camada reciclada.

Espessuras de corte menores acarretam em porcentagens de revestimento asfáltico superior a 50% da mistura total podendo prejudicar o desempenho mecânico da mistura reciclada em função da sua rigidez ou resistência alcançada. Em contrapartida, espessuras de corte menores, porém com taxas de aplicação de cimento iguais, irão proporcionar uma adição superior a projetada, enrijecendo a camada e podendo levar a uma maior incidência de trincas de retração. A Tabela 17 apresenta a relação entre a camada de revestimento e a espessura de base reciclada.

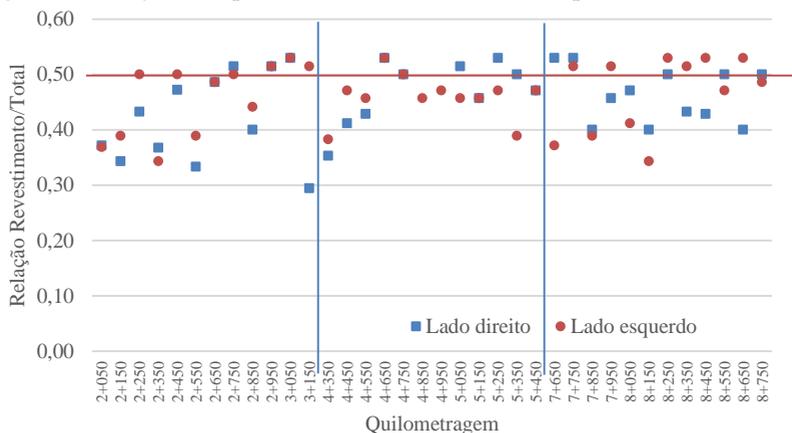
Tabela 17: Relação entre a espessura do revestimento e da base reciclada.

Segmento	Relação revestimento/base			
	LD		LE	
	Média	DP	Média	DP
1	0,79	0,30	0,88	0,23
2	1,01	0,43	0,91	0,25
3	0,87	0,17	1,02	0,39

Valores da relação revestimento/base superiores a 1, representam maior quantidade de material do revestimento que da base. Oliveira (2003) recomenda a utilização de no máximo 50% de revestimento em relação a espessura total reciclada, de forma a proporcionar maior resistência à mistura.

A Figura 79 apresenta a porcentagem de revestimento presente na mistura reciclada ao longo de cada segmento.

Figura 79: Relação da espessura do revestimento com a espessura total reciclada



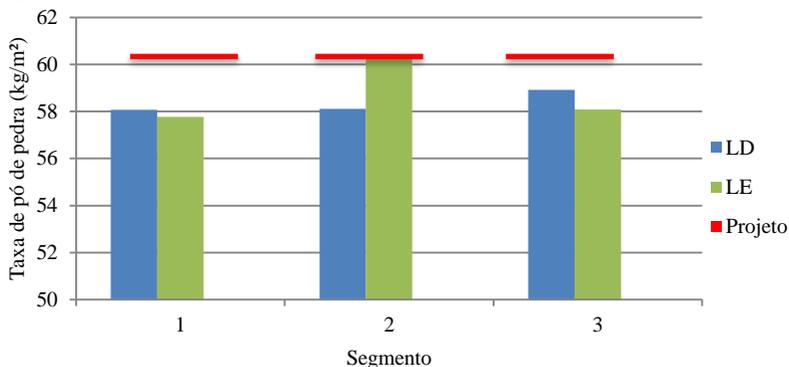
O lado direito do segmento 2 e o lado esquerdo do segmento 3 foram os que apresentaram maior variabilidade nos valores encontrados, sendo também os únicos dois locais que apresentam valores médios de revestimento superiores a 50% da mistura reciclada.

4.1.4.2 Taxa de aplicação do pó de pedra

A Figura 80 apresenta os resultados médios das taxas de aplicação do pó de pedra. Para cada segmento foi efetuado o cálculo da

taxa de projeto (15%) baseado na espessura reciclada (18,0 cm), resultando em 60 kg/m². Porém a espessura reciclada foi diferente de 18,0 cm. Para melhor caracterizar e avaliar esses resultados, calculou-se em relação a espessura de corte em campo (os valores individuais encontram-se no Apêndice D).

Figura 80: Taxa de aplicação pó de pedra



Em todos os segmentos a taxa de aplicação de pó de pedra foi ligeiramente inferior ao especificado em projeto.

Vale ressaltar que a determinação da taxa de aplicação era efetuada no bordo e no eixo da pista, e com isso, em função da inclinação existente na pista a espessura lançada variava. Nos locais em que se visualizava a diferença, eram feitas mais que uma determinação.

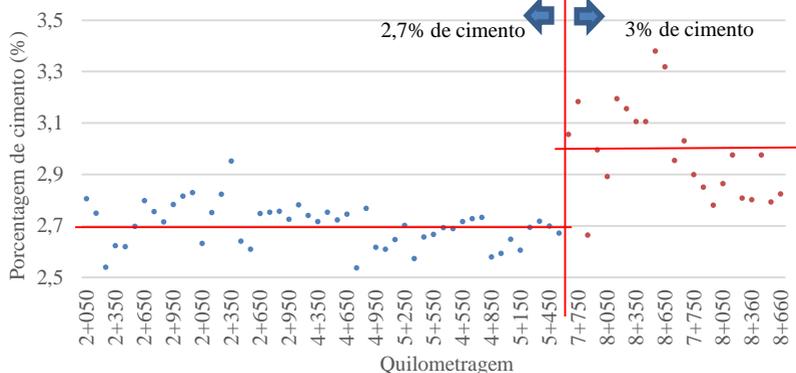
Quando se adiciona quantidade inferior desse material, há uma redução na porcentagem de material passante nas peneiras mais finas (0,425 até a 0,0075 mm). A falta de finos na mistura reciclada pode proporcionar a redução da resistência em função do pouco material para fazer a ligação entre agregados mais graúdos, tornando o contato grão a grão mais solicitado pelos esforços. Isso pode ser verificado ao se analisar as resistências à compressão simples no segmento 2 LE, onde a taxa de aplicação de pó de pedra foi correta. Os valores de resistência apresentaram valores superiores aos outros segmentos onde a taxa foi inferior, mesmo que a porcentagem de cimento tenha sido levemente inferior aos outros locais (com exceção do segmento 3 onde utilizou-se 3% de cimento).

4.1.4.3 Taxa de aplicação do teor de cimento

A Figura 81 apresenta a variação da porcentagem de cimento ao longo dos segmentos. Os dois primeiros segmentos foram executados com 2,7% de cimento enquanto o terceiro segmento foi executado com 3%.

Apesar de ser numerado como segmento 3, este foi executado primeiro. Ao longo deste segmento foi verificado que a mistura apresentava valores de resistência à compressão bem acima do especificado. A partir desta verificação, tomou-se a decisão de diminuir 0,3% o consumo de cimento.

Figura 81: Porcentagem de cimento lançado ao longo dos segmentos

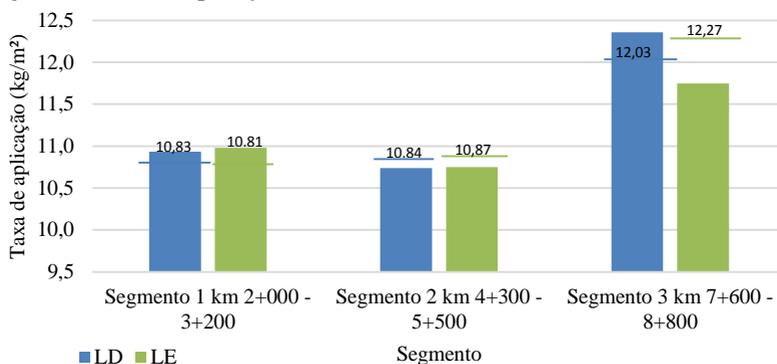


O espalhamento do cimento com caminhão apropriado garante certa homogeneidade nos resultados obtidos, em função do controle digital de liberação do material.

Nos dois primeiros segmentos monitorados, a variação do teor de cimento foi em torno de 0,2 pontos percentuais para mais e para menos, enquanto que no terceiro segmento, chegou a 0,3 pontos percentuais. A taxa de aplicação do cimento sempre foi constante, porém devido a variação na espessura de corte da camada reciclada há diferenças de porcentagens de cimento (valores individuais encontram-se no Apêndice E).

A Figura 82 apresenta uma comparação da taxa de aplicação do cimento entre os segmentos e o valor de projeto, levando em consideração a espessura real de corte.

Figura 82: Taxa de aplicação do teor de cimento



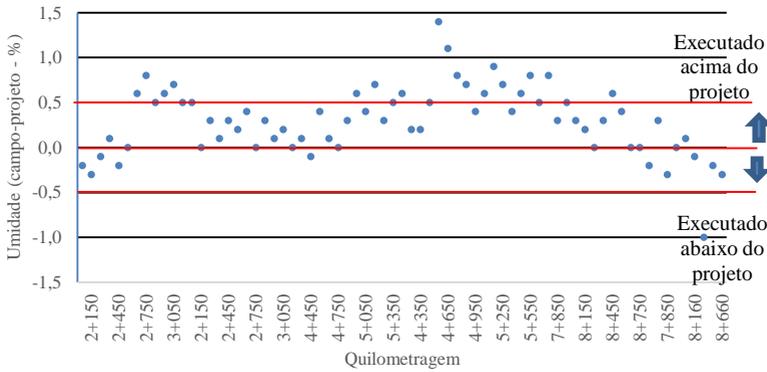
No segmento 1 as taxas médias permaneceram acima do especificado em projeto, enquanto que no segmento 2 ficaram abaixo. No segmento 3, o lado direito foi satisfatório e o esquerdo insatisfatório (encontrando-se abaixo do especificado).

Durante a execução do segmento 2 ocorreram alguns dias de chuva e a umidade relativa do ar era mais elevada do que nos outros segmentos. A umidade interfere no espalhamento (saída do cimento da barra espargidora do caminhão), sendo este um dos fatores que podem ter contribuído para a redução na porcentagem média de espalhamento.

4.1.4.4 Umidade de compactação

A Figura 83 apresenta as variações de umidade determinadas em campo, quando comparadas com a umidade ótima encontrada no ensaio de compactação executado a cada dia de serviço (as umidades individuais estão apresentadas no Apêndice F).

Figura 83: Variação da umidade de compactação ao longo dos segmentos

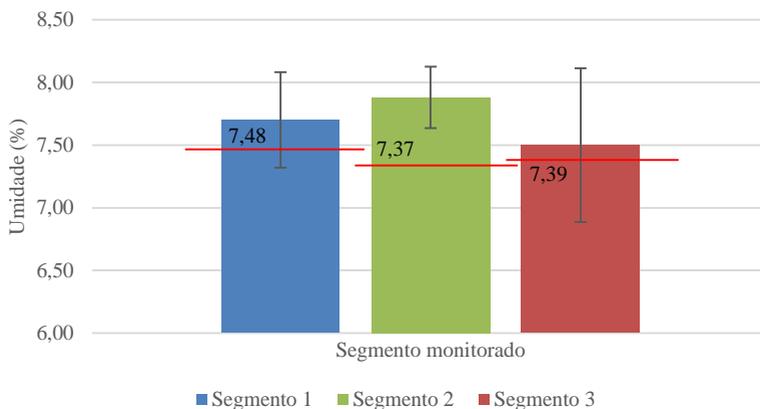


Grande parte dos pontos apresentaram umidades acima do especificado, com uma variação máxima de 1,5% acima da especificada e 1,0% abaixo da especificada (1 ponto apenas). A umidade da mistura interfere na compactação do material reciclado e na resistência final da mistura.

O cimento adicionado na mistura “trabalha” como um agente aglomerante, proporcionando maior resistência a mistura. Porém, para o seu desempenho ser adequado necessita de água para iniciar as reações químicas, adquirir consistência e resistência. Valores de umidades acima do especificado proporcionam maior trabalhabilidade da mistura, porém valores elevados reduzem a eficiência da compactação, e tornam a região susceptível ao aparecimento de fissuras por retração hidráulica.

A Figura 84 apresenta a comparação das umidades médias, máximas e mínimas por segmento monitorado.

Figura 84: Umidade de compactação da mistura em cada segmento



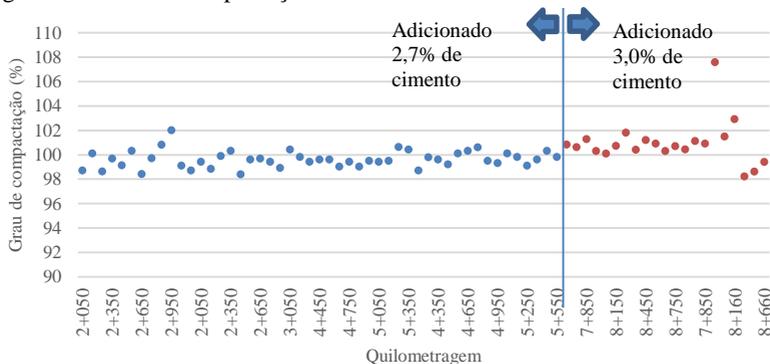
Em todos os segmentos, trabalhou-se com umidade média acima da indicada no ensaio de compactação. Com tolerância de mais ou menos 0,5 ponto percentual para mais e para menos em relação a umidade ótima, todos os segmentos apresentam médias dentro do especificado em projeto. O desvio padrão das umidades foi superior no segmento três, tendo maior variabilidade entre as verificações. Pode-se atribuir esta alta umidade em função do local de coleta da amostra.

A umidade foi determinada no centro da pista reciclada. Como a recicladora triturava uma faixa e posteriormente, com sobreposição da camada já triturada, reciclava a faixa lateral (largura do tambor menor que a largura da pista), verificou-se que a umidade neste ponto de sobreposição ficava superior a umidade ótima. Esta maior umidade pode interferir na compactação reduzindo a resistência da mistura e gerar zonas de fissuração, embora esta posição da pista não venha a receber fluxo de veículos pesados.

4.1.4.5 Grau de compactação

A Figura 85 apresenta os valores de grau de compactação determinados em campo através do ensaio de frasco de areia. A linha vermelha representa o mínimo de compactação exigido em projeto. Os dados coletados a cada 100 metros encontram-se no Apêndice G.

Figura 85: Grau de compactação da camada reciclada



Nos segmentos 1 e 2 foi adicionado 2,7% de cimento, enquanto no segmento 3 a adição foi de 3%. Com isso verifica-se que no segmento 3 o grau de compactação encontrado ficou entre 98 e 108% enquanto que nos segmentos 1 e 2 esse intervalo ficou entre 87 e 102%.

Eliminando-se dois pontos que ficaram dispersos (87 e 108%), pode-se verificar que os valores ficaram próximos a 100% e superiores a 98%, valor mínimo exigido pela especificação construtiva.

Para o segmento 1, o grau de compactação médio ficou em 99% com desvio padrão de 2,53; para o segmento 2, o grau de compactação apresentou-se em média com 99,7% com desvio padrão de 0,51; o segmento 3 apresentou o maior grau de compactação, com média de 101% e desvio de 1,83.

Todos os segmentos apresentaram valores de grau de compactação satisfatórios quanto a especificação construtiva. No segmento 2, obteve-se melhor homogeneidades nos resultados de densidade em campo, enquanto o segmento 1, apresentou maior dispersão nos valores de grau de compactação. Podendo estar relacionada, com o tamanho dos grãos gerados com a trituração das camadas e a produtividade diária, uma vez que neste segmento a velocidade de deslocamento da recicladora e dos rolos compactadores era maior.

Durante o processo executivo, os segmentos 2 e 3 foi compactado com três rolos pé de carneiro, um de pneu e um liso. Já o segmento 1 foi reduzido para dois rolos pé de carneiro. O período entre a reciclagem e a compactação foram inferiores aos outros segmentos. Trabalhos desenvolvidos por Oliveira (2003), mostraram que há perda de

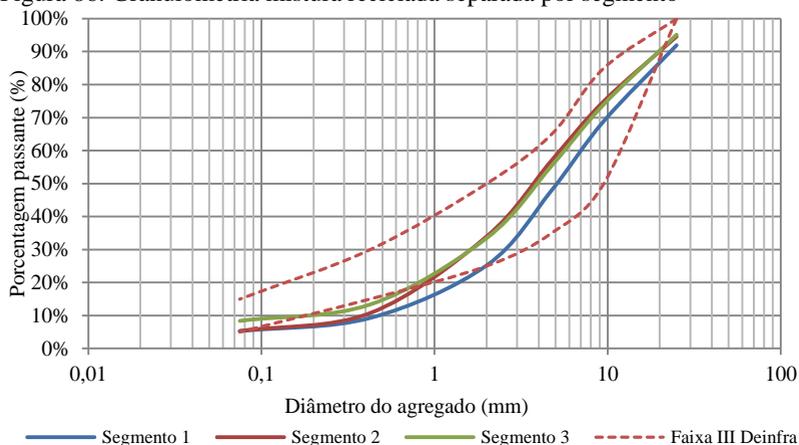
resistência e trabalhabilidade quando o período entre a reciclagem e compactação ultrapassar a 2 horas.

Outro fator a destacar é a diferença na porcentagem de cimento entre os segmentos. Apesar de ser apenas 0,3%, o cimento proporciona melhor trabalhabilidade, podendo aumentar a massa específica aparente seca em campo, aumentando assim a resistência da mistura.

4.1.4.6 Granulometria da mistura reciclada

A Figura 86 apresenta um comparativo da granulometria do material reciclado em campo, por segmento monitorado.

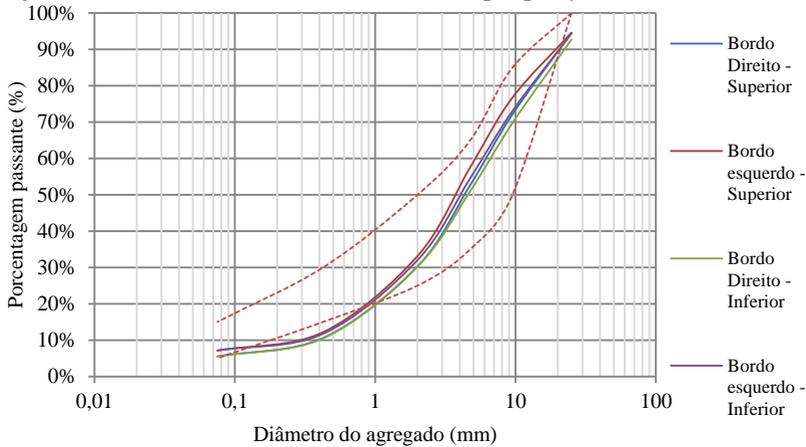
Figura 86: Granulometria mistura reciclada separada por segmento



Conforme visualizado na Figura 86, a granulometria do material reciclado no segmento 1, apresentou maior quantidade de material grosso. A velocidade de deslocamento da recicladora, pode gerar uma mistura mais grossa, devido à redução do número de giros em um mesmo ponto. A falta de finos na mistura pode prejudicar o desempenho da camada reciclada, em função do entrosamento das partículas.

Efetivou-se a granulometria da mistura, separando-se por bordo da pista e por posição vertical (9 cm superiores e 9 cm inferiores da camada). Com a finalidade de avaliar se a posição de coleta influencia na granulometria da mistura elaborou-se a Figura 87, a qual contempla todos os segmentos.

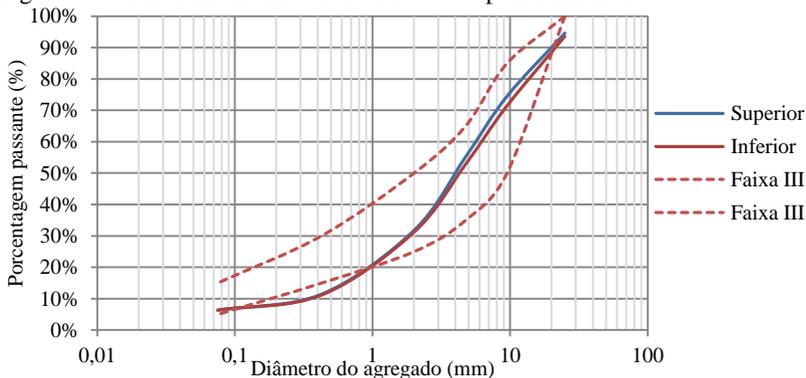
Figura 87: Granulometria do material reciclado por posição de coleta



A granulometria da mistura reciclada realizada com material coletado no bordo direito apresentou maior quantidade de material graúdo, enquanto o esquerdo, maior quantidade de material fino. Na maioria das granulometrias executadas, a porcentagem de material passante na peneira 0,42 mm foi inferior ao valor do limite inferior da faixa granulométrica da especificação de serviço, isso pode prejudicar o entrosamento entre as partículas, visto a baixa quantidade de material fino presente na mistura.

A Figura 88 apresenta um comparativo entre a granulometria encontrada na parte superior e inferior da camada (média de todos os segmentos monitorados).

Figura 88: Granulometria mistura reciclada - Superior/Inferior



Efetuuou-se a granulometria da parte superior da camada e da parte inferior separadamente, com a intenção de avaliar a interferência do local no comportamento granulométrico da mistura. A parte inferior da camada apresentou porcentagem de material graúdo um pouco maior que a parte superior. Embora esta variação possa ser pequena, ela poderia afetar a resistência final da mistura. Todas as curvas granulométricas estão relacionadas no Apêndice H.

4.1.4.7 Caracterização mecânica da mistura em campo

Para a verificação do comportamento mecânico da mistura reciclada em campo, foram realizados ensaios de resistência à compressão simples (RCS) e resistência à tração por compressão diametral (RTCD).

Resistência à compressão simples

A Tabela 18 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão simples (RCS) da camada reciclada, nas idades de 7 e 28 dias de cura, cada linha representa um dia de serviço e a média das resistências é referente a dois corpos de prova.

Tabela 18: Resistência à compressão simples (campo).

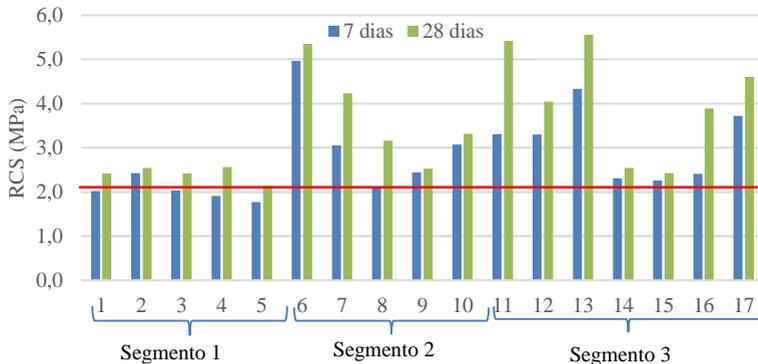
Segmento	CP	RCS (MPa)			
		Idade (dias)	Média	Idade (dias)	Média
1	1	7	2,02	28	2,42
	2	7	2,42	28	2,54
	3	7	2,04	28	2,42
	4	7	1,91	28	2,57
	5	7	1,77	28	2,15
Média			2,03		2,42
Desvio			0,24		0,17
2	1	7	4,97	28	5,35
	2	7	3,05	28	4,23
	3	7	2,11	28	3,16
	4	7	2,44	28	2,53
	5	7	3,07	28	3,31
Média			3,13		3,72
Desvio			1,11		1,10

Continua

Continuação					
	1	7	3,31	28	5,42
	2	7	3,30	28	4,04
	3	7	4,33	28	5,56
3	4	7	2,31	28	2,54
	5	7	2,26	28	2,42
	6	7	2,41	28	3,89
	7	7	3,72	28	4,60
Média			3,09		4,07
Desvio			0,80		1,25

Para melhor visualização e comparação dos resultados elaborou-se a Figura 89, com as resistências à compressão simples aos 7 e 28 dias de cura. A linha vermelha, representa o valor mínimo de resistência à compressão simples especificado em projeto.

Figura 89: Resistência à compressão simples com corpos de prova moldados em campo



No segmento 3, primeiro a ser executado, foi utilizado teor de cimento de 3%, enquanto que nos segmentos 1 e 2, o teor foi reduzido à 2,7%.

Valores inferiores de resistência no segmento 1, podem ser decorrentes do processo executivos, onde a produção diária, a velocidade da recicladora aumentaram, mudando também o operador do equipamento. A velocidade de reciclagem interfere na granulometria da mistura, devido ao impacto e número de vezes que o tambor gira misturando a amostra.

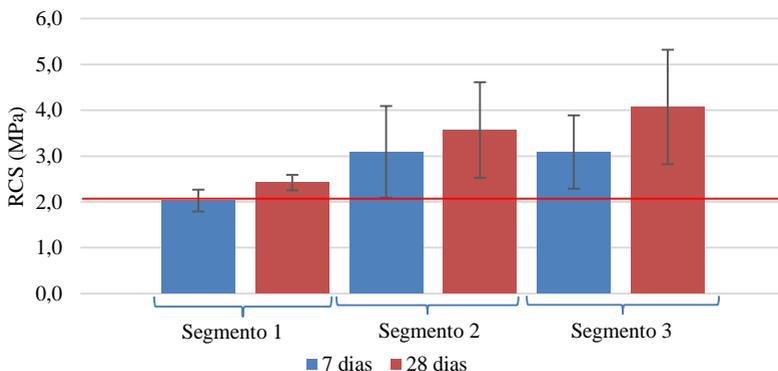
Os segmentos 2 e 3 apresentaram valores acima do mínimo estipulado, mesmo no segmento 2 tendo o teor aplicado de 2,7% de cimento. O segmento 1 ficou deficiente em 4 das 5 amostras ensaiadas, uma vez que aos 7 dias de cura a mistura deveria apresentar, segundo o projeto e a especificação de serviço, resistência à compressão superior a 2,1 MPa.

No segmento 1 a porcentagem de revestimento asfáltico na mistura reciclada foi a que apresentou menores valores, o que chama a atenção devido ao fato de apresentar as menores resistências à compressão simples e à tração por compressão diametral. Uma das causas da baixa resistência pode estar aliada à velocidade de trituração e a maior produção diária neste segmento, resultando em uma granulometria um pouco mais grosseira do material triturado, com deficiência de finos.

A baixa resistência poderá dar início a ruptura prematura da camada e levar a um trincamento maior ao estimado em projeto. A espessura da camada reciclada também influenciará no desempenho. No segmento 1 ela foi maior que nos outros segmentos, resultando em porcentagem de cimento e de pó de pedra inferior ao calculado.

A Figura 90 apresenta as médias de RCS aos 7 e 28 dias de cura, com seu respectivo desvio padrão, a linha vermelha representa a resistência à compressão mínima exigida aos 7 dias de cura, segundo a especificação para reciclagem de pavimentos do DEINFRA/SC.

Figura 90: Resistência à compressão simples - média com desvio padrão



O segmento 3, apresentou a maior média de resistência aos 28 dias entre os três segmentos executados, o que é justificado pela porcentagem de cimento ser mais elevada que nos outros dois

segmentos. Mas aos 7 dias de cura, a resistência se equipaleu com o segmento 2, o qual foi executado com 2,7% de cimento. Isto deve-se ao fato que o segmento 3 apresentou, em campo, porcentagens de cimento abaixo de 3% e o segmento 2, porcentagens acima de 2,7%,

O segmento 2, executado com adição de 2,7% de cimento apresentou resistência média em torno de 1,1 MPa acima do segmento 1, executado com as mesmas características. Uma das causas prováveis dessa diferença no resultado é a umidade de mistura e compactação do material, onde o segmento 2 obteve maior grau de compactação em relação ao segmento 1, além maior homogeneidade nos resultados.

Durante o processo executivo do segmento 1, a granulometria da mistura apresentou maior quantidade de material graúdo que os outros dois segmentos. A falta de material fino para formar a pasta de argamassa da mistura, pode levar à queda da resistência da mistura.

Neste mesmo segmento a temperatura ambiente durante a execução estava elevada, provocando evaporação rápida da água. Para a moldagem era necessária a correção da umidade, ou seja, adicionar mais água para chegar próximo a ótima. É possível que esta adição de água não tenha sido bem controlada, e com isso interferindo na resistência final da mistura.

Resistência à tração por compressão diametral

A Tabela 19 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral, ensaiados em corpos de prova de 10 x 20 cm (moldados em 5 camadas e reproduzindo-se a MEASmáx), cada linha representa um dia de serviço e a média das resistências é referente a dois corpos de prova.

Tabela 19: Resistência à tração por compressão diametral com corpos de prova de campo

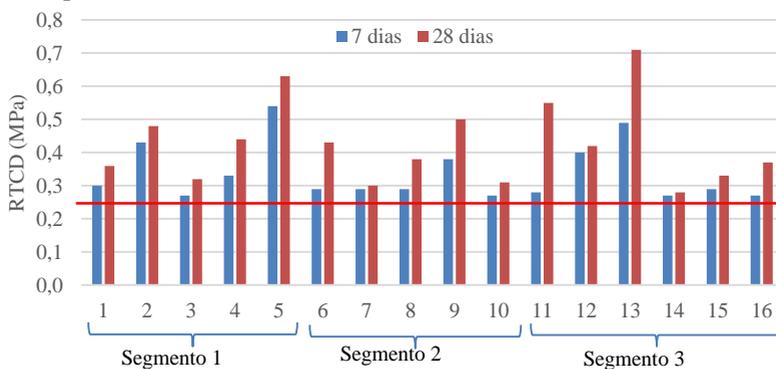
Segmento	CP	RTCD (MPa)			
		Idade (dias)	Média	Idade (dias)	Média
1	1	7	0,30	28	0,36
	2	7	0,43	28	0,48
	3	7	0,27	28	0,32
	4	7	0,33	28	0,44
	5	7	0,54	28	0,63
Média			0,37		0,45
Desvio			0,11		0,12

Continua

Continuação					
	1	7	0,29	28	0,43
	2	7	0,29	28	0,30
2	3	7	0,29	28	0,38
	4	7	0,38	28	0,50
	5	7	0,27	28	0,31
Média			0,30		0,38
Desvio			0,04		0,08
	1	7	0,28	28	0,55
	2	7	0,40	28	0,42
	3	7	0,49	28	0,71
3	4	7	0,27	28	0,28
	5	7	0,29	28	0,33
	6	7	0,27	28	0,37
	7	7	0,37	28	0,52
Média			0,34		0,45
Desvio			0,09		0,15

Os dados apresentados na Tabela 19 podem ser visualizados em forma gráfica na Figura 91, onde todos os valores apresentaram-se acima do mínimo de projeto, o qual especifica um valor de 0,25 MPa (linha vermelha).

Figura 91: Resistência à tração por compressão diametral com corpos de prova de campo

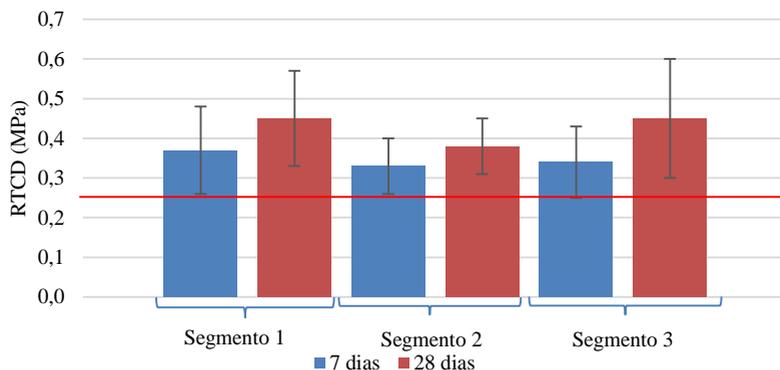


O segmento 2 apresentou menor dispersão entre os resultados, com desvio padrão de 0,04 e 0,08 para 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Aos 7 dias de cura a mistura reciclada chegou a 82%, 79% e 76% de resistência comparada com a resistência aos 28 dias, percentuais muito próximos aos obtidos no ensaio de RCS. Com isso pode-se dizer que o comportamento do ganho de resistência à tração com o tempo de cura segue o mesmo padrão para os ensaios de RCS.

A Figura 92 apresenta os valores de RTCD médios de cada segmento aos 7 e 28 dias, com seu respectivo desvio padrão. A linha vermelha, representa o valor mínimo de resistência à tração especificada em projeto.

Figura 92: Resistência à tração por compressão diametral - médios com desvio padrão



Apesar do segmento 3 ser executado com 3% de cimento, o mesmo não apresentou valores de resistência à tração acima dos demais, como apresentado na RCS. A quantidade de revestimento asfáltico na mistura reciclada tende a reduzir a sua resistência, com o aumento do teor. O segmento 3 apresentou espessuras de revestimento superiores aos outros 2 segmentos. Assim, mesmo com 0,3% de cimento a mais, a quantidade de mistura asfáltica pode ter interferido nos valores e reduzido a resistência final da mistura. O segmento 1 apresentou maior média de resistência à tração aos 7 dias, comparado com os demais segmentos, porém o mesmo apresentou maior dispersão nos resultados, com um coeficiente de variação em torno de 30%.

Portanto, é essencial o controle rigoroso da quantidade de material asfáltico na mistura reciclada, da mesma forma a umidade, taxa de aplicação de cimento e pó de pedra, além da velocidade de trituração das camadas (velocidade de deslocamento da recicladora).

Ao analisar os corpos de prova após o rompimento à tração, ficava bem definida a separação entre cada camada compactada, além de

apresentar de forma clara a quantidade de material betuminoso presente na mistura e certa contaminação de material argiloso, oriundo do bombeamento de finos do subleito (Figura 93).

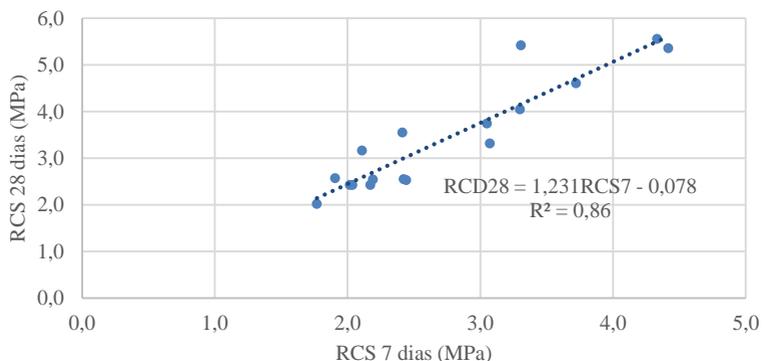
Figura 93: Características visuais da mistura reciclada (a) Segmento 1 (b) Segmento 3.



Correlações

A Figura 94 apresenta a correlação entre a resistência à compressão simples da camada reciclada obtida aos 7 dias de cura e aos 28 dias de cura.

Figura 94: RCS (7 dias) x RCS (28 dias) com corpos de prova moldados em campo



De acordo com a Figura 94 pode-se estimar a RCS aos 28 dias através da RCS aos 7 dias, levando em consideração uma tendência linear de crescimento com um R^2 de 0,86. A correlação que possibilita essa determinação é:

$$RCS_{28} = 1,231 \cdot RCS_7 - 0,078 \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

RCS₂₈: Resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa);

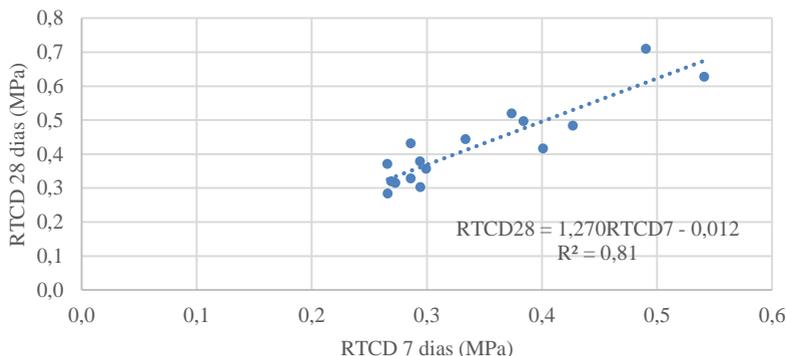
RCS₇: Resistência à compressão simples aos 7 dias (MPa).

De acordo com o processo executivo, a pista é liberada ao tráfego após os 3 dias de cura, após a verificação da resistência à compressão simples, sendo necessário que se obtenha no mínimo 70% da resistência esperada aos 7 dias de idade. Desta forma, deve-se obter no mínimo 1,47 MPa.

As correlações entre idades de cura, podem auxiliar na estimativa da resistência com 28 dias e nas liberações de serviços que dependam desses valores.

A Figura 95 apresenta a relação da resistência à tração por compressão diametral entre 7 e 28 dias.

Figura 95: RTCD (7 dias) x RTCD (28 dias) com corpos de prova moldados em campo



Com essa correlação é possível estimar a resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias, a partir do conhecimento da resistência aos 7 dias de cura, e ela é interessante para o controle de campo e liberação dos serviços posteriores a reciclagem, e para verificar se o dimensionamento da camada está coerente com o real

comportamento em campo, uma vez que seu dimensionamento baseia-se na resistência a tração na face inferior da camada reciclada. Pode-se estimar a RTCD aos 28 dias através da RTCD aos 7 dias, levando em consideração uma tendência linear de crescimento com um R^2 de 0,81. O modelo que possibilita essa determinação é:

$$RTCD_{28} = 1,270.RTCD_7 - 0,012 \quad (\text{eq. 2})$$

onde:

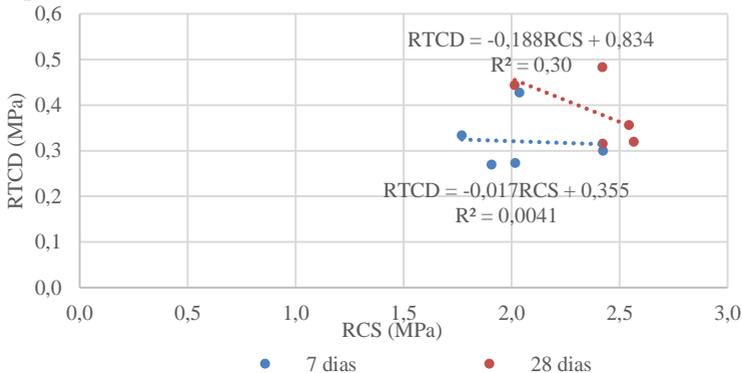
RTCD₂₈: Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias (MPa);

RTCD₇: Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias (MPa).

Como as camadas cimentadas trabalham essencialmente à tração, esse modelo de correlação é importante para a estimativa da RTCD aos 28 dias de cura, possibilitando ao supervisor verificar a qualidade do processo executivo e aos projetistas verificar se os esforços solicitados serão absorvidos pela camada.

A Figura 96 apresenta modelo de correlação entre a RCS e a RTCD para 7 e 28 dias, para o segmento 1.

Figura 96: RCS x RTCD - Segmento 1 com corpos de prova moldados em campo



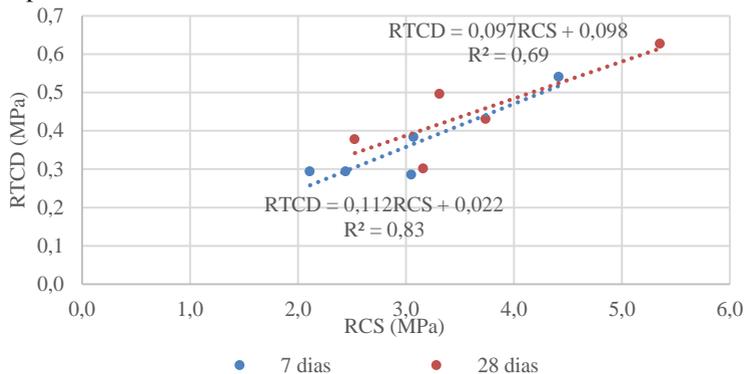
Como pode ser observado neste gráfico, o segmento 1 não apresentou correlação entre os resultados de RCS com RTCD. As altas temperaturas ambiente verificadas nos dias de execução deste segmento, aliada a alta produtividade diária da recicladora (maior velocidade), fazia com que a água evaporasse rapidamente, sendo necessária a irrigação, ao mesmo tempo em que se observa um aumento do tempo

entre a reciclagem e a compactação da camada. A combinação destes dois fatores pode ter contribuído para a redução da resistência.

Como esses corpos de prova foram moldados em campo, com a mistura efetuada no dia, não foi possível refazer os ensaios, pois a correlação só foi possível ser obtida após o rompimento.

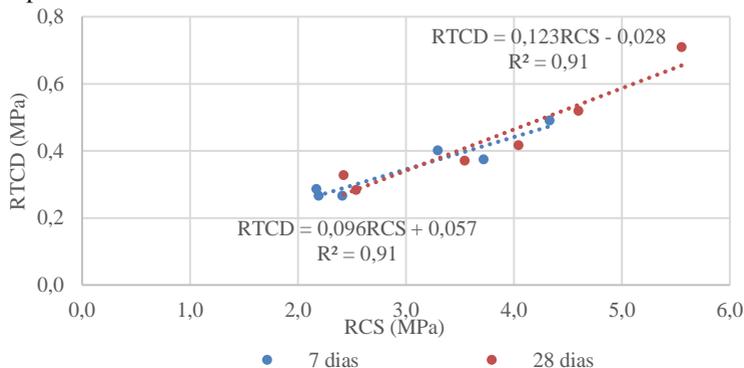
Para o segmento 2 obteve-se um modelo de correlação linear entre a RCS e a RTCD, com um R^2 bastante significativo (Figura 97).

Figura 97: RCS x RTCD - Segmento 2 com corpos de prova moldados em campo



Da mesma forma que o segmento 2, com o segmento 3 foi possível obter um modelo que correlaciona a RCS e RTCD (Figura 98).

Figura 98: RCS x RTCD - Segmento 3 com corpos de prova moldados em campo



Para o segmento 2 a resistência à tração por compressão diametral representa em média 0,12 da resistência à compressão simples. Enquanto que para o segmento 3 fica em torno de 0,11.

Valores de 0,15 foram encontrados por Trichês (1993) com concreto compactado com rolo, e 0,2 a 0,3 em misturas recicladas com adição de agregado e cimento.

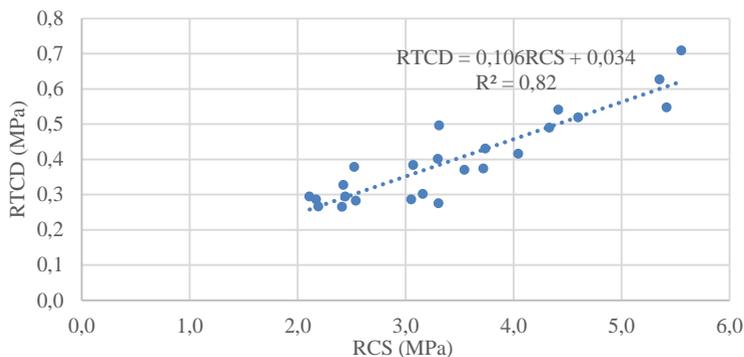
A Tabela 20 apresenta um resumo dos modelos de correlação de cada segmento.

Tabela 20: Correlação RCS x RTCD - Campo

Segmento	Idade	R ²	Parâmetros
2	7	Correlação	RTCD = 0,112 . RCS + 0,022
	28	Correlação	RTCD = 0,097 . RCS + 0,098
3	7	Correlação	RTCD = 0,096 . RCS + 0,057
	28	Correlação	RTCD = 0,123 . RCS + 0,028

Analisando-se as Figuras 96, 97 e 98, é possível verificar que apenas o segmento 1 não apresentou boa correlação entre os valores de RCS e RTCD. Assim optou-se por apresentar a Figura 99 o qual apresenta o modelo de correlação com todos os resultados dos segmentos 2 e 3 (incluídas as resistências determinadas aos 7 e 28 dias de cura).

Figura 99: RCS x RTCD - Segmento 2 e 3, com todos os corpos de prova moldados em campo



O modelo obtido que possibilita estimar a RTCD em função da RCS com R² de 0,82, é o seguinte:

$$RTCD = 0,106.RCS + 0,034 \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

RCS: Resistência à compressão simples (MPa);

RTCD: Resistência à tração por compressão diametral (MPa)

Os resultados apresentados, foram obtidos através das moldagens feitas em campo pela autora e ensaiadas no laboratório de engenharia civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc) em Joaçaba.

Como forma de comparação, foram consultados os valores obtidos pela empresa fiscalizadora, a qual realizou os ensaios de resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral, nas idades de 3, 7 e 28 dias de cura. Os locais de coleta do material para a moldagem dos corpos de prova, foram sempre no mesmo ponto coletado para os da pesquisa.

O número de golpes e de camadas executado pela empresa, foram os mesmos da pesquisa. O tempo deixado em campo antes da coleta e transporte até o laboratório também foi o mesmo. A diferença entre os dois procedimentos está em relação à cura dos corpos de prova, onde na pesquisa foi cura úmida e nas amostras da empresa fiscalizadora a cura foi com imersão total em água até o período de rompimento.

Os corpos de prova foram capeados com enxofre, de forma a regularizar as superfícies. A autora utilizou-se da técnica em todas as idades de cura, enquanto a empresa fiscalizadora só utilizou nas idades de 3 e 7 dias.

A empresa fiscalizadora utilizava prensa manual para fazer o rompimento, obtendo apenas o valor máximo da carga suportada, com certa precisão. Os corpos de prova rompidos no laboratório da Unoesc, foram ensaiadas em prensa automatizada, obtendo o comportamento de carga e deslocamento da amostra ao longo do tempo. Todos os resultados de ensaio mecânicos efetuados em campo estão apresentados no Apêndice I.

A Tabela 21 apresenta um resumo dos resultados obtidos pela empresa fiscalizadora e os resultados obtidos nessa pesquisa, separados por segmento, dia de serviço, idade e lado da pista.

Tabela 21: Ensaio Mecânicos com corpos de prova moldados em campo - Sotepa/Unoesc.

Seg	Lado	Km Inicial	Km Final	Méd esp. Rec.	Porcent.cimento (%)	Sotepa						Unoesc			
						RCS			RTCD			RCS		RTCD	
						cm	%		3 dias	7 Dias	28 Dias	3 dias	7 Dias	28 Dias	7 Dias
1	LE	2+000	2+400	18,1	2,7	2,21	3,00	3,11	0,48	0,50	0,53	2,04	2,42	0,43	0,48
		2+400	2+800	17,9	2,7	2,24	2,41	2,70	0,33	0,38	0,57	2,42	2,54	0,30	0,36
		2+800	3+200	17,3	2,7	2,15	2,29	2,51	0,30	0,41	0,45	2,02	2,42	0,27	0,31
	LD	2+000	2+600	18	2,7	2,13	2,97	3,29	0,42	0,57	0,68	1,77	2,15	0,33	0,44
		2+600	3+200	17,3	2,7	1,73	2,53	2,70	0,43	0,47	0,51	1,91	2,57	0,27	0,32
2	LE	4+300	4+800	17,3	2,7	2,06	2,29	2,48	0,38	0,43	0,48	2,88	2,86	0,44	0,35
		4+800	5+100	17,3	2,7	2,02	2,27	2,42	0,40	0,47	0,52	3,05	4,23	0,29	0,43
		5+100	5+500	17,4	2,7	1,71	2,08	2,37	0,35	0,36	0,41	4,97	5,35	0,54	0,63
	LD	4+300	4+600	17,2	2,7	1,83	2,23	2,68	0,46	0,43	0,48	3,07	3,31	0,38	0,50
		4+600	5+000	17,8	2,7	1,94	2,28	2,49	0,37	0,49	0,51	2,44	2,53	0,29	0,38
		5+000	5+500	17,6	2,7	2,35	3,01	3,08	0,47	0,49	0,51	2,11	3,16	0,29	0,30
3	LE	7+600	7+800	17,5	3,0	1,68	2,24	-	0,38	0,50	-	4,33	5,56	0,49	0,71
		7+800	8+300	17,4	3,0	-	-	-	-	-	-	3,30	4,04	0,40	0,42
		8+300	8+800	17,2	3,0	2,03	2,48	-	0,39	0,33	-	3,31	5,42	0,28	0,55
	LD	7+600	7+800	17	3,0	1,64	2,13	2,29	0,37	0,43	0,46	3,72	4,60	0,37	0,52
		7+800	8+000	17,5	3,0	-	-	-	-	-	-	2,41	3,89	0,27	0,37
		8+000	8+400	17,8	3,0	1,90	2,13	2,20	0,31	0,33	0,38	2,26	2,42	0,29	0,33
8+400	8+800	17,8	3,0	2,02	2,22	2,44	0,41	0,51	0,54	2,31	2,54	0,27	0,28		

As Figuras 100 e 101 apresentam uma comparação entre os resultados de RCS e RTCD, respectivamente, obtidos pela empresa supervisora e os obtidos nesta pesquisa. A linha vermelha apresentada nos gráficos representa o valor mínimo de resistência a ser obtido.

Figura 100: Comparativo entre resultados de RCS - Sotepa/Unoesc

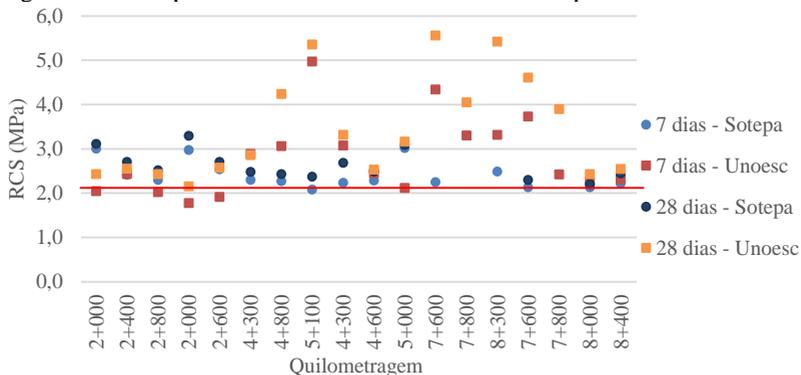
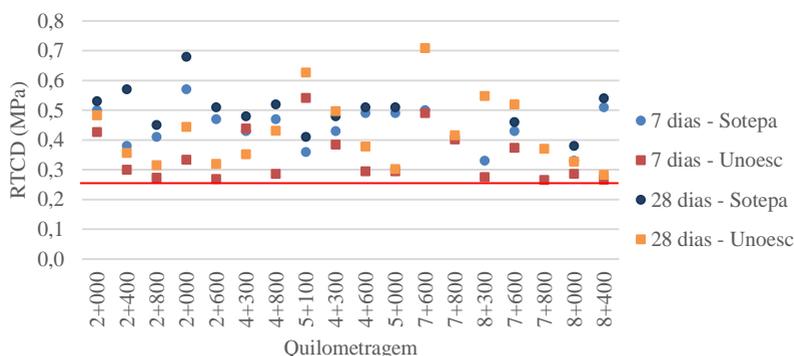


Figura 101: Comparativos entre resultados de RTCD - Sotepa/Unoesc



Avaliando-se os resultados obtidos é possível verificar que no segmento 1 os valores obtidos pela supervisora foram maiores que os da pesquisa, enquanto que nos segmentos 2 e 3 observou o contrário. Vale ressaltar que todos os corpos de prova foram moldados em conjunto, ou seja, foram moldados da mesma forma e pelas mesmas pessoas.

Por sua vez, os resultados de resistência à tração por compressão diametral obtidos pela supervisora apresentaram-se, na maioria, acima dos resultados obtidos pela autora.

Como mencionado, os corpos de prova foram rompidos em prensas diferenciadas, sendo que a taxa de aplicação de carga pode alterar a resistência final dos corpos de prova.

4.1.5 Etapa 6: Acompanhamento do processo executivo da camada de revestimento asfáltico.

O revestimento foi executado em duas camadas, a primeira chamada massa fina (3 cm de espessura) faixa C da especificação do DEINFRA/SC, e a segunda camada de CAUQ com espessura de 5 cm faixa D da especificação do DEINFRA/SC. Porém as duas com ligante asfáltico com adição de borracha (ecoflex).

4.1.5.1 Características do ligante asfáltico

A caracterização do ligante foi realizada através dos ensaios de viscosidade, penetração, ponto de amolecimento e densidade. A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 22: Características do ligante asfáltico empregado

Ensaio	Resultados
Viscosidade Brookfield à 175°C Spindle 3, 20 rpm (cP)	1660
Penetração (100g, 5s, 25°C) - (0,1 mm)	52
Ponto de amolecimento (°C)	58
Densidade Relativa (g/cm ³)	1,031

Os resultados obtidos enquadraram-se dentro da especificação referente ao ligante ecoflex. Os ensaios eram efetuados a cada carga de ligante que chegava na obra.

4.1.5.2 Temperatura de lançamento da mistura asfáltica (massa fina e CAUQ)

Durante o processo de lançamento, espalhamento e rolagem da mistura asfáltica mediu-se a temperatura. A Tabela 23 apresenta os valores obtidos.

Tabela 23: Temperaturas de espalhamento e rolagem da mistura asfáltica

Temperaturas (°C)				
Lado	LD	LE	LD	LE
Camada	Massa fina	Massa fina	CAUQ	CAUQ
Segmento	1		1	
Espalhamento	164,2	164,3	163,9	163,8
Desvio Padrão	0,99	0,96	1,01	0,99
Rolagem	154,0	153,9	153,9	154,2
Desvio Padrão	1,00	0,92	1,20	2,08
Segmento	2		2	
Espalhamento	163,7	164,0	164,0	164,3
Desvio Padrão	0,81	0,93	1,09	1,00
Rolagem	153,8	154,1	154,3	154,1
Desvio Padrão	0,96	0,87	1,19	1,00
Segmento	3		3	
Espalhamento	164,2	164,1	164,5	164,3
Desvio Padrão	0,84	1,43	1,31	1,06
Rolagem	154,2	153,8	154,4	154,0
Desvio Padrão	0,88	1,15	1,55	1,36

A perda de temperatura entre o lançamento e o espalhamento foi de aproximadamente 10° C para os dois tipos de mistura asfáltica. As temperaturas encontradas no lançamento e compactação apresentaram-se coerentes com o especificado em projeto, onde deve ser superior a 150°C. As Figuras 102 e 103 apresentam as temperaturas de rolamento e espalhamento, consecutivamente.

Figura 102: Temperatura de espalhamento da mistura asfáltica

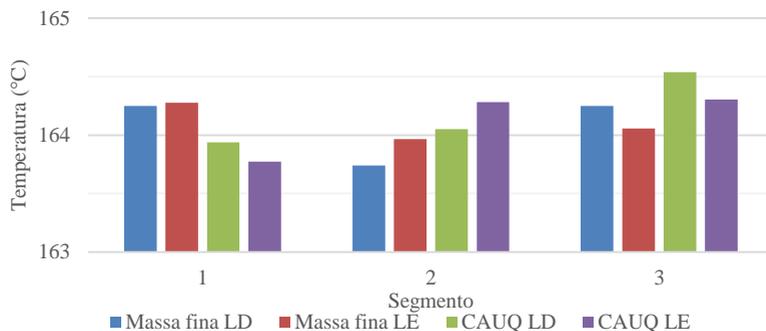
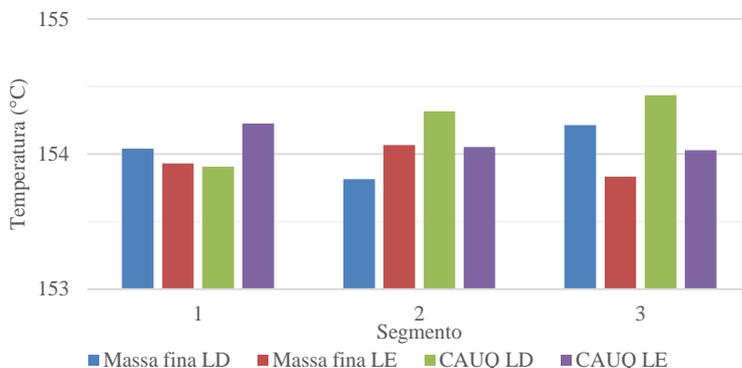


Figura 103: Temperatura de rolamento da mistura asfáltica



A baixa variabilidade das temperaturas medidas devem-se ao efetivo controle de produção e programação entre os tempos de mistura, transporte e lançamento, sendo que os caminhões que transportavam a mistura não permaneciam parados (espera pelo lançamento).

4.1.5.3 Extração de ligante e reconstituição de traço

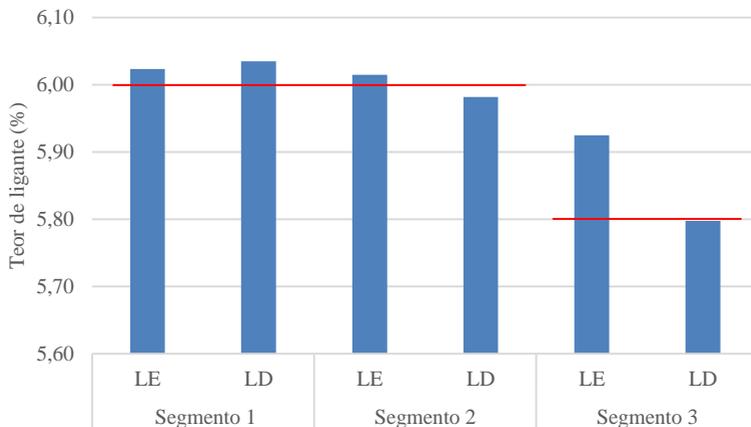
A cada dia de serviço eram coletadas amostras da mistura asfáltica de forma a verificar o real teor de ligante e a granulometria da mistura. A Tabela 24 apresenta um resumo do teor de ligante e da granulometria, separado por segmento e lado da pista.

Tabela 24: Extração de ligante e granulometria

Segmento	1		2		3	
	LE	LD	LE	LD	LE	LD
Teor de ligante (%)	6,02	6,04	6,02	5,98	5,93	5,80
Granulometria						
Peneiras						
19,1	100	100	100	100	100	100
12,7	93,7	93,6	93,9	93,6	93,7	93,5
9,52	87,7	88,0	87,8	87,6	87,8	87,8
4,76	59,8	58,8	59,6	64,1	59,2	57,8
2	39,8	39,8	37,8	38,4	37,3	35,4
0,42	15,4	14,2	16,0	15,4	15,6	15,0
0,18	11,1	10,3	10,8	11,0	10,8	10,6
0,075	8,2	7,9	8,2	7,8	8,2	8,1

O segmento 3 foi executado com teor de ligante de 5,8% conforme projeto de dosagem. Porém, ao longo do segmento notou-se a falta de cobrimento dos agregados. Com isso os segmentos 1 e 2 foram executados com teor de ligante de 6,0% (Figura 104).

Figura 104: Teor de ligante na mistura asfáltica

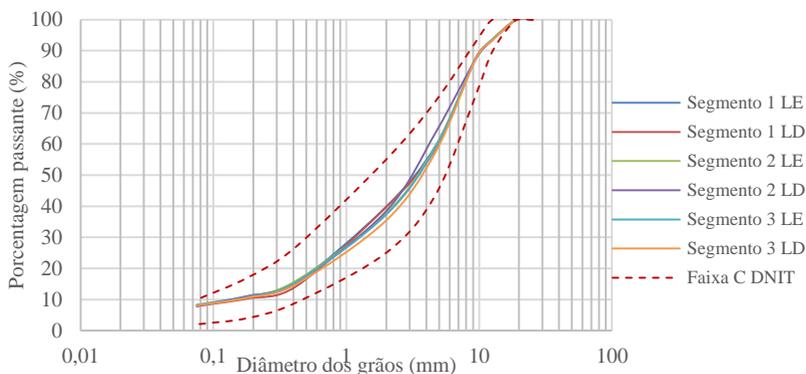


O segmento 1 apresentou teor de ligante levemente superior ao estipulado, para o segmento 2, obteve-se no lado esquerdo valor satisfatório e no lado direito levemente inferior, já no segmento 3 o lado esquerdo teve excesso de ligante e o direito exatamente o previsto.

Valores excessivos de ligante em uma mistura asfáltica, podem reduzir a vida útil do mesmo, surgindo patologias relacionadas à deformação permanente. O valor de ligante na mistura interfere na performance da camada, refletindo na deformação permanente e no módulo da mistura, além da vida de fadiga.

A Figura 105 apresenta as curvas granulométricas de reconstituição da granulometria das amostras da mistura asfáltica coletadas em campo.

Figura 105: Reconstituição de traço da camada de rolamento



Em todas as amostras analisadas as misturas apresentaram-se dentro da faixa especificada pelo projeto de dosagem. Todos os dados estão apresentados no Apêndice J.

4.2 FASE 2 – LABORATÓRIO

Nesta etapa da pesquisa, serão apresentados os resultados da caracterização das trincheiras, dosagem da mistura reciclada e o comportamento mecânico da mistura reciclada.

4.2.1 Etapa 1 – Caracterização dos materiais das trincheiras

A Tabela 25 apresenta os resultados de massa específica aparente seca em campo e em laboratório da camada de base, com seus respectivos graus de compactação.

Tabela 25: Caracterização trincheira – Base

Segmento	1		2		3	
Estaca	2+370	2+550	4+740	5+260	8+080	8+380
Espessura base (cm)	10,0	17,0	6,0	17,0	13,0	18,0
Tipo	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS
Umidade campo (%)	4,6	4,6	4,3	4,6	5,1	5,4
Massa específica aparente seca campo (g/cm ³)	2,328	2,339	2,511	2,431	2,240	2,292

Continua

Continuação

Massa específica aparente seca Lab (g/cm ³)	2,438	2,391	2,462	2,400	2,398	2,460
Umidade ótima (%)	6,2	6,5	5,1	7,0	6,3	7,5
Grau de compactação (%)	95,5	97,8	102,0	101,3	93,4	93,2
Abrasão a Los Angeles (%)	12,9	13,4	14,1	15,9	15,7	14,6

Avaliando-se os resultados da Tabela 25 é possível verificar que o segmento 3 foi o que apresentou menor grau de compactação, em relação aos outros dois segmentos.

As trincheiras do segmento 3 apresentaram bastante material argiloso no interior da camada de base, podendo ser uma das causas que ao reciclar a camada de base e revestimento, surgiram algumas patologias com a liberação do tráfego.

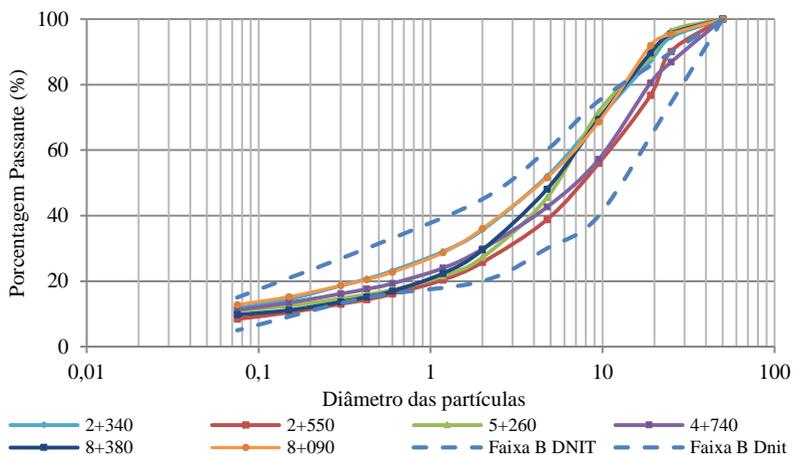
Os dispositivos de drenagem existentes encontravam-se na maioria em más condições de conservação, não se tornando eficientes para a drenagem e eliminação da água presente nas camadas inferiores do pavimento.

Nos corpos de prova moldados em campo e rompidos no laboratório ficou visível a presença de material argiloso no interior da camada. Como a argila tem massa específica aparente seca inferior ao agregado basáltico, justifica-se as massas específicas aparentes secas de campo serem menores que os outros segmentos.

Obtiveram-se valores considerados baixos de desgaste por abrasão Los Angeles, variando de 12 a 16%.

A Figura 106 apresenta as granulometrias obtidas com a reconstituição de traço da camada de base, composta por brita graduada simples.

Figura 106: Granulometria base de BGS



O enquadramento se deu na faixa B da especificação do DNIT para camadas de base com brita graduada simples. A maioria das amostras ensaiadas apresentaram falta de material graúdo e boa quantidade de material intermediário e fino.

A Tabela 26 apresenta os valores de abrasão Los Angeles do material de sub-base, onde obtiveram-se valores considerados satisfatórios para a utilização na referida camada.

A camada de sub-base é composta por macadame seco, com espessuras variadas como apresentado anteriormente.

Tabela 26: Características da sub-base

Segmento	1		2		3	
	Estaca	2+370 2+550	4+740	5+260	8+080	8+380
Espessura sub-base (cm)		35 14	14	14	13	14
Tipo		MS MS	MS	MS	MS	MS
Abrasão a Los Angeles (%)		10,8 11,2	13,4	13,1	13,9	13,5

A Tabela 27 mostra os resultados encontrados na caracterização dos materiais coletados na camada final de terraplenagem (subleito).

Tabela 27: Caracterização trincheira – Subleito

Segmento	1		2		3	
Estaca	2+370	2+550	4+740	5+260	8+080	8+380
Umidade Subleito (%)	8,8		35,1	31,2	37,7	42,0
Massa específica aparente seca campo (g/cm ³)	-	1,534	1,282	1,387	1,215	1,246
Massa específica aparente seca Lab (g/cm ³)	1,603	1,478	1,440	1,478	1,289	1,264
Umidade ótima (%)	21,5	10,5	29,0	24,5	37,7	33,0
Grau de compactação (%)	-	103,8	89,0	93,8	94,2	98,6
CBR (%)	8,0	14,0	6,4	5,9	11,7	15,0
Expansão (%)	0,15	0,09	0,45	0,59	1,09	0,23

No segmento 1 não foi possível determinar a massa específica aparente seca em campo de uma das trincheiras. O material era mais granular (grosseiro), com bastante pedregulho e rocha decomposta.

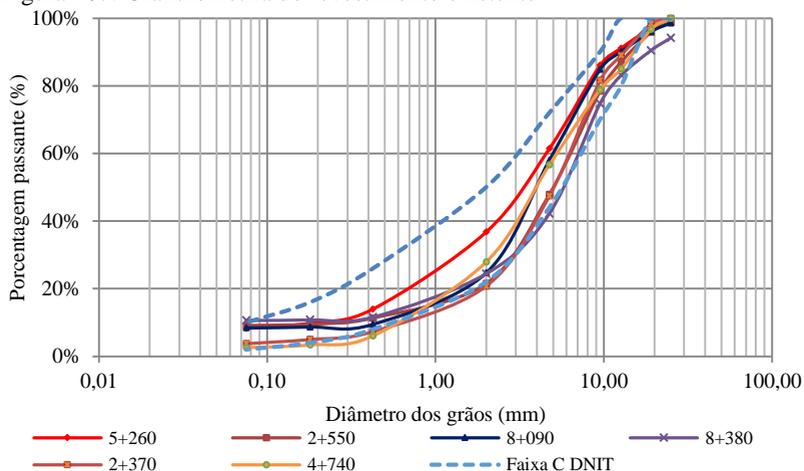
Os outros dois segmentos apresentaram valores bem próximos do grau de compactação. O que chama a atenção é a umidade que o material se apresenta em campo. Na maioria os valores estão bem acima da umidade ótima de compactação.

Umidades altas na camada de subleito geram deformações maiores na estrutura, isso pode ser identificado na retroanálise das bacias deflectométricas, onde os valores modulares obtidos para o subleito foram baixos.

Todas as trincheiras apresentaram valores de expansão, abaixo de 1%, porém o índice de suporte Califórnia variou de 6,0% até 15%.

A Figura 107 apresenta as curvas granulométricas do revestimento existente. Das seis amostras ensaiadas, três delas apresentaram pontos fora dos limites da faixa C da especificação do DNIT. O teor de ligante nas amostras foi em média 4%.

Figura 107: Granulometria do revestimento existente



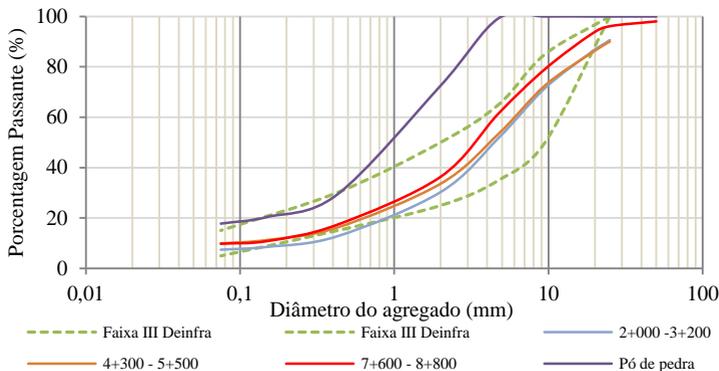
4.2.2 Etapa 2 - Dosagem da mistura reciclada

Para a dosagem da camada reciclada foram realizados ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral (Marshall), além do enquadramento na faixa e a determinação da curva de compactação.

4.2.2.1 Enquadramento na faixa granulométrica do DEINFRA/SC

A Figura 108 apresenta a granulometria dos materiais utilizados na dosagem da mistura reciclada.

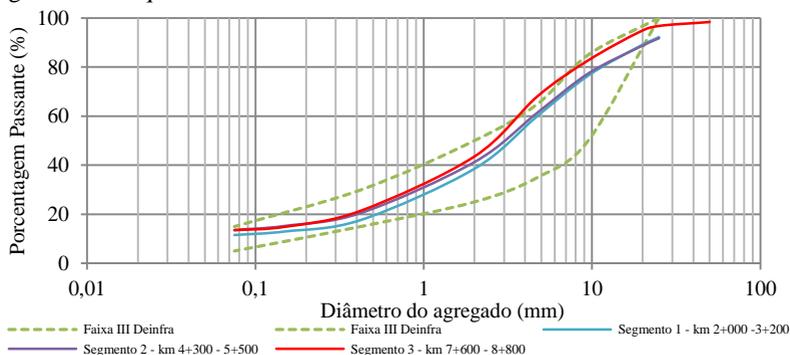
Figura 108: Granulometria dos materiais utilizados na dosagem



Pode-se visualizar na Figura 108 que o segmento 3 não necessitaria de adição da mesma quantidade de agregado virgem (pó de pedra) em relação aos segmentos 1 e 2, porém foi utilizada a mesma porcentagem de pó de pedra que os outros dois segmentos, para que fosse possível a comparação de resultados com o campo (o qual utilizou-se 15% de agregado virgem).

A Figura 109 apresenta as curvas granulométricas já com adição de 3% de cimento e 15% de agregado virgem. Portanto, as composições granulométricas adotadas para a execução dos demais ensaios foram as mencionadas acima.

Figura 109: Enquadramento na Faixa III do DEINFRA/SC



As proporções finais foram definidas em 3% de cimento e 15% de pó de pedra, mesmo que no segmento 3 a curva granulométrica se apresentasse um pouco fora da faixa na parte graúda da mistura.

4.2.2.2 Curvas de Compactação

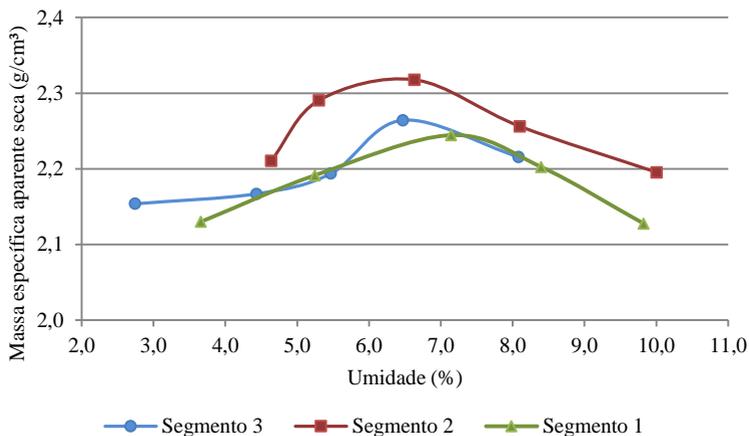
Os ensaios de compactação, foram realizados com o material reciclado mais as adições (15% de pó de pedra e 3% de cimento).

A Tabela 28 e a Figura 110 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de compactação.

Tabela 28: Curvas de compactação (energia do Proctor modificado) – Material reciclado

Segmento 1		Segmento 2		Segmento 3	
Umidade e	MEAS	Umidade e	MEAS	Umidade e	MEAS
%	g/cm ³	%	g/cm ³	%	g/cm ³
3,7	2,130	4,6	2,211	2,7	2,154
5,2	2,191	5,3	2,291	4,4	2,167
7,1	2,244	6,6	2,318	5,5	2,194
8,4	2,203	8,1	2,256	6,5	2,264
9,8	2,128	10,0	2,195	8,1	2,216
h ótima (%)	MEASmáx (g/cm ³)	h ótima (%)	MEASmáx (g/cm ³)	h ótima (%)	MEASmáx (g/cm ³)
7,4	2,244	6,5	2,318	6,5	2,264

Figura 110: Curva de compactação das misturas recicladas



Dentre os três segmentos é possível verificar que os segmentos 1 e 3 apresentaram valores de massa específica aparente seca máxima bem

próximas (2,244 e 2,264 g/cm³ respectivamente), enquanto que o segmento 2 apresentou valor mais elevado (2,318 g/cm³).

Os valores de umidade ótima de compactação para os segmentos 2 e 3 apresentaram o mesmo valor (6,5%) enquanto que o segmento 1 foi maior (7,4%).

A massa específica aparente seca máxima pode variar em função da granulometria do material, e da quantidade de revestimento asfáltico presente na mistura.

Todos os corpos de prova ensaiados para a determinação da resistência à compressão (RCS) e resistência à tração (RTCD) dos segmentos, foram moldados com os valores de umidade ótima e massa específica aparente obtidos nesta etapa da pesquisa.

4.2.3 Etapa 3: Determinação das características mecânicas da mistura reciclada

4.2.3.1 Resistência à compressão simples

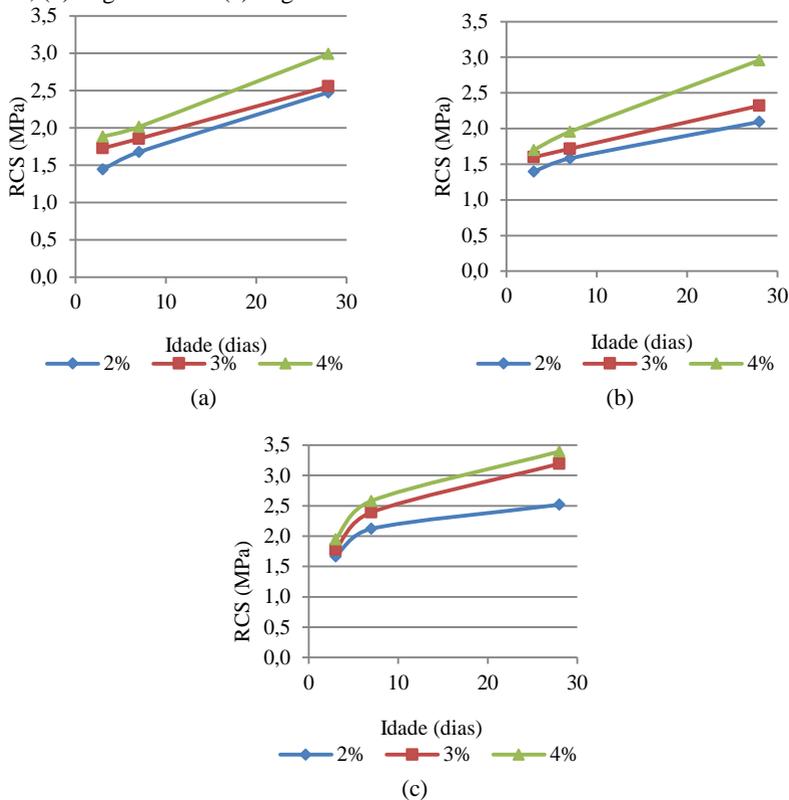
Para a determinação da resistência à compressão foram moldados 3 corpos de prova por teor de cimento e por idade de cura. As médias de cada determinação estão apresentadas na Tabela 29. Todos os resultados estão apresentados no Apêndice N.

Tabela 29: Resultados da RCS - Laboratório

Segmento	Teor de cimento (%)	Idade (dias)	RCS (MPa)	Idade (dias)	RCS (MPa)	Idade (dias)	RCS (MPa)
1	2	3	1,44	7	1,67	28	2,48
	3	3	1,73	7	1,85	28	2,55
	4	3	1,88	7	2,01	28	2,99
2	2	3	1,40	7	1,58	28	2,09
	3	3	1,60	7	1,72	28	2,32
	4	3	1,70	7	1,95	28	2,96
3	2	3	1,67	7	2,12	28	2,52
	3	3	1,78	7	2,39	28	3,19
	4	3	1,95	7	2,58	28	3,39

A Figura 111 apresenta os resultados de RCS versus Idade de cura, separados por segmento.

Figura 111: RCS x Idade de cura (teor de cimento) - Laboratório (a) Segmento 1; (b) Segmento 2 e (c) Segmento 3

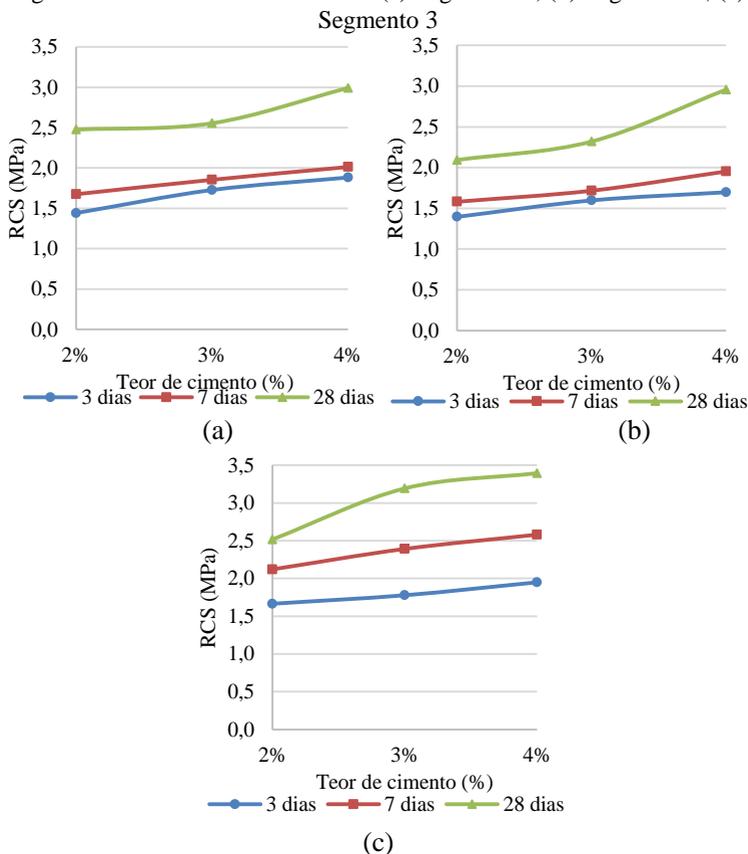


O aumento na resistência se apresenta de forma acentuada nas primeiras idades em função das reações químicas do cimento com a mistura. Durante o processo de hidratação do cimento a mistura adquire maior resistência. Este comportamento foi mais visível no segmento 3, o qual atingiu o valor de resistência mínima especificada em projeto.

Os segmentos 1 e 2, apresentaram resistências inferiores ao segmento 3 e ao valor de projeto, podendo ser decorrentes da menor quantidade de material fino presente na mistura reciclada. A idade tem grande interferência no acréscimo de resistência da mistura.

A Figura 112 apresenta a variação de RCS em relação ao teor de cimento adicionado.

Figura 112: RCS x Teor de cimento (a) Segmento 1; (b) Segmento 2; (c)

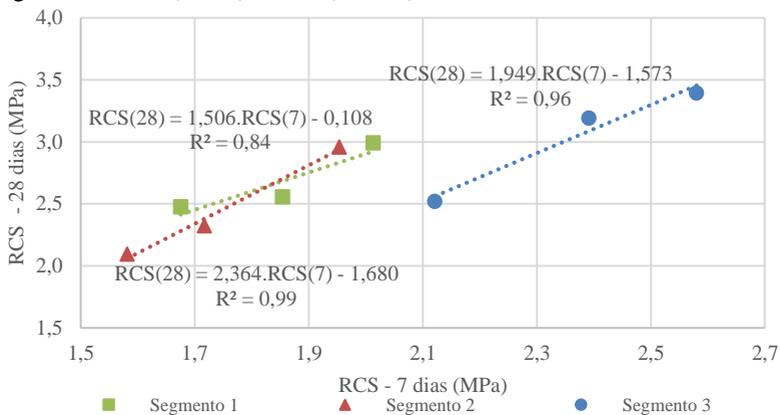


Na Figura 113 apresenta-se o comportamento de cada segmento quando relacionada a RCS ao 7 com 28 dias de cura.

Os segmentos 2 e 3 apresentaram comportamento parecidos, ou seja, quanto maior a RCS aos 7 dias de idade maior será a RCS aos 28 dias. Para uma variação de 0,2 MPa aos 7 dias há um aumento de 0,6 MPa aos 28 dias para o segmento 2. Para o segmento 3 a cada 0,2 MPa aos 7 dias aumenta-se 0,5 MPa aos 28 dias.

No segmento 1 o aumento de RCS aos 7 dias de 0,2 MPa, apresenta pouquíssimo aumento aos 28 dias, em torno de 0,25 MPa.

Figura 113: RCS (7 dias) x RCS (28 dias)



A Tabela 30 apresenta a correlação entre as resistências à compressão nas idades de 7 e 28 dias de cura para cada segmento.

Tabela 30: Correlação entre RCS (7) x RCS (28) - Laboratório.

Segmento	Parâmetros	
1	R^2	0,84
	Correlação	$RCS(28) = 1,506.RCS(7) - 0,108$
2	R^2	0,99
	Correlação	$RCS(28) = 2,364.RCS(7) - 1,680$
3	R^2	0,96
	Correlação	$RCS(28) = 1,949.RCS(7) - 1,573$

Com os modelos de correlação entre RCS aos 7 dias de cura e a RCS aos 28 dias de cura, é possível estimar a resistência aos 28 dias conhecendo a RCS aos 7 dias.

4.2.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de RTCD foi realizado através da metodologia Marshall, conforme descrito anteriormente. A Tabela 31 apresenta os valores obtidos em função da idade e do teor de cimento adicionado, separados por segmento. Os valores detalhados estão contidos no Apêndice O.

Tabela 31: Resistência à tração por compressão diametral - Laboratório.

Segmento	Teor de cimento (%)	Idade (dias)	RTCD (MPa)	Idade (dias)	RTCD (MPa)	Idade (dias)	RTCD (MPa)
1	2	3	0,22	7	0,26	28	0,33
	3	3	0,26	7	0,36	28	0,54
	4	3	0,35	7	0,53	28	0,75
2	2	3	0,21	7	0,36	28	0,46
	3	3	0,38	7	0,46	28	0,61
	4	3	0,52	7	0,58	28	0,75
3	2	3	0,15	7	0,25	28	0,31
	3	3	0,22	7	0,39	28	0,45
	4	3	0,25	7	0,44	28	0,60

Na Tabela 31 pode-se verificar que o segmento 1 teve uma maior variação nos resultados nas idades de 7 e 28 dias, enquanto que para a idade de 3 dias, foi o segmento 2 que apresentou maior variabilidade.

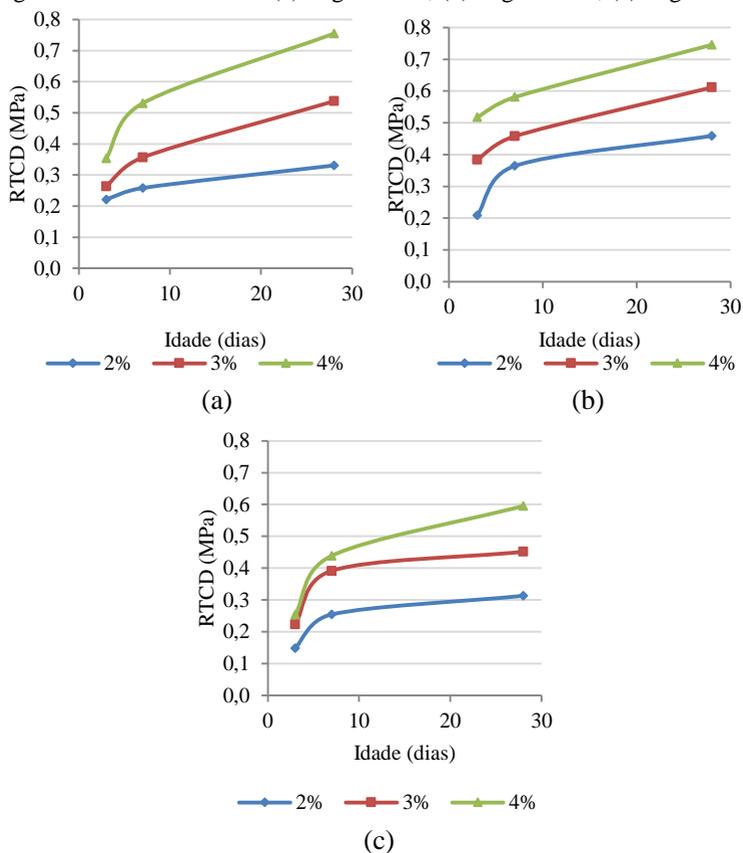
Para melhor visualização dos resultados da Tabela 31, elaborou-se a Figura 114, onde se apresenta o comportamento das misturas com a variação da idade de cura, e com o teor de cimento para cada segmento monitorado.

O segmento 1 apresentou acréscimo acentuado de 3 para 7 dias e de 7 para 28 dias, nas porcentagens de 3 e 4%, enquanto que com 2% esse acréscimo foi menos evidente. A variação de 3 para 28 dias foram de 0,11 MPa (2%), 0,28 MPa (3%) e 0,40 MPa (4%).

No segmento 2 todos os teores apresentaram o mesmo comportamento, sendo a variação de RCS de 3 para 28 dias de 0,25 MPa (2%), 0,23 MPa (3%) e 0,23 MPa (4%).

Para o segmento 3, o maior acréscimo foi entre os 3 e 7 dias de cura. A variação total entre 3 e 28 dias foram 0,16 MPa (2%), 0,23 MPa (3%) e 0,35 MPa (4%).

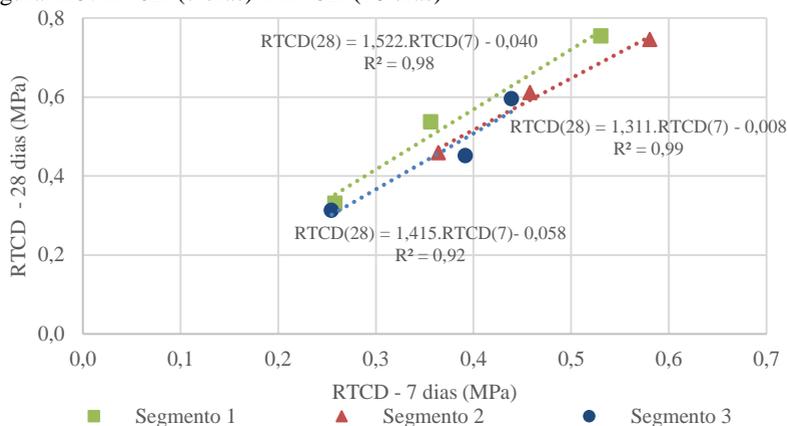
Figura 114: RTCD x Idade (a) Segmento 1; (b) Segmento 2; (c) Segmento 3



A Figura 115 apresenta a relação entre a RTCD aos 7 e 28 dias de cura.

Obteve-se uma boa relação entre a RTCD aos 7 dias e a RTCD aos 28 dias, sendo uma ferramenta importante para o acompanhamento do processo executivo em campo.

Figura 115: RTCD (7 dias) x RTCD (28 dias)



A Tabela 32 apresenta as correlações entre as resistências para diferentes períodos de cura para cada segmento.

Tabela 32: Correlação RTCD 7 e 28 dias de cura - Laboratório.

Segmento	Parâmetros	
1	R^2	0,98
	Correlação	$RTCD(28) = 1,522 \cdot RTCD(7) - 0,040$
2	R^2	0,99
	Correlação	$RTCD(28) = 1,311 \cdot RTCD(7) - 0,007$
3	R^2	0,92
	Correlação	$RTCD(28) = 1,415 \cdot RTCD(7) - 0,058$

A Figura 116 apresenta um comparativo entre a RCS e a RTCD aos 7 dias de cura, enquanto que a Figura 117, aos 28 dias de cura.

Figura 116: RCS (7 dias) x RTCD (7 dias)

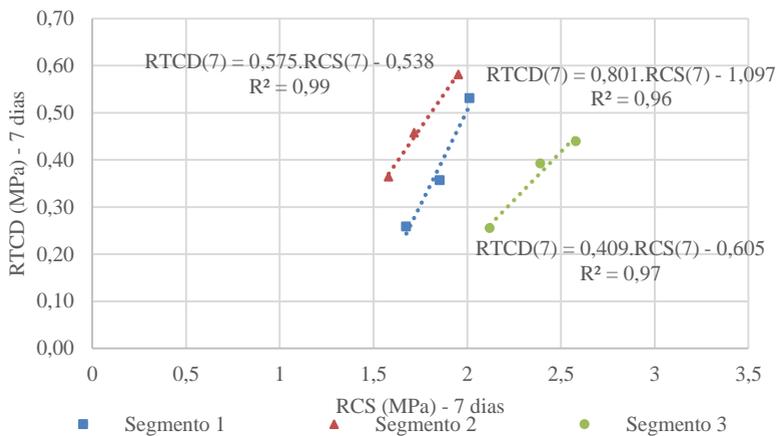
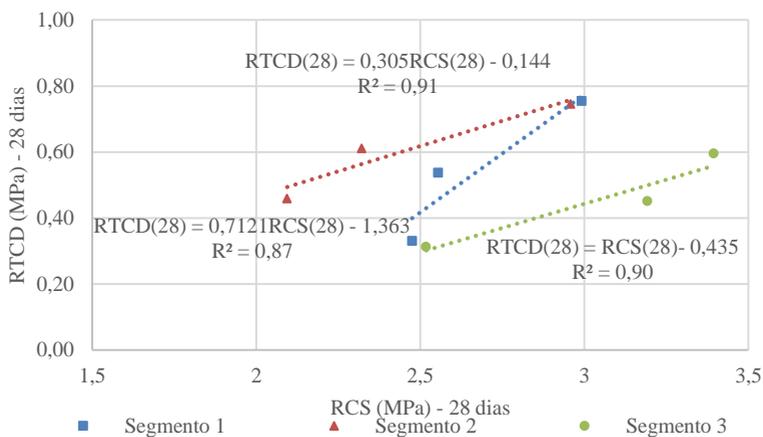


Figura 117: RCS (28 dias) x RTCD (28 dias)



A Tabela 33 apresenta as correlações para as duas idades (7 e 28 dias).

Tabela 33: RCS x RTCD 7 e 28 dias

Segmento	Idade		Parâmetros
1	7	R ²	0,96
		Correlação	RTCD = 0,801.RCS - 1,097
2	28	R ²	0,87
		Correlação	RTCD = 0,712.RCS - 1,363
2	7	R ²	0,99
		Correlação	RTCD = 0,575.RCS - 0,538
3	28	R ²	0,91
		Correlação	RTCD = 0,305.RCS - 0,144
3	7	R ²	0,97
		Correlação	RTCD = 0,409.RCS - 0,605
3	28	R ²	0,90
		Correlação	RTCD = 0,293.RCS - 0,435

4.2.3.3 Módulo resiliente mistura reciclada

O ensaio de módulo resiliente foi executado aos 7, 28 e 90 dias de cura. Para o segmento 1 e 2, moldou-se corpos de prova apenas com o teor de 2,7% de cimento, enquanto que para o segmento 3 moldou-se os corpos de prova com 2,0%, 3,0% e 4,0%, nas três idades. A Tabela 34 apresenta os resultados de módulo para os segmentos 1 e 2. Valores individuais estão contidos no Apêndice P.

Tabela 34: Módulo resiliente e RCS - Segmento 1 e 2.

Segmento	Teor de cimento (%)	Idade (dias)	Módulo Resiliente (MPa)	Desvio Padrão	Média Módulo (MPa)	RCS (MPa)	Média RCS
1	2,7	7	544	107		1,39	
	2,7	7	707	120	548	1,37	1,36
	2,7	7	394	36		1,31	
1	2,7	28	845	36		1,85	
	2,7	28	748	27	801	1,95	2,01
	2,7	28	809	38		2,22	
1	2,7	90	1427	114		3,20	
	2,7	90	1233	84	1272	3,00	3,10
	2,7	90	1156	107		3,10	
2	2,7	7	993	126		2,11	
	2,7	7	968	51	926	2,22	2,18
	2,7	7	818	53		2,21	

Continua

Continuação

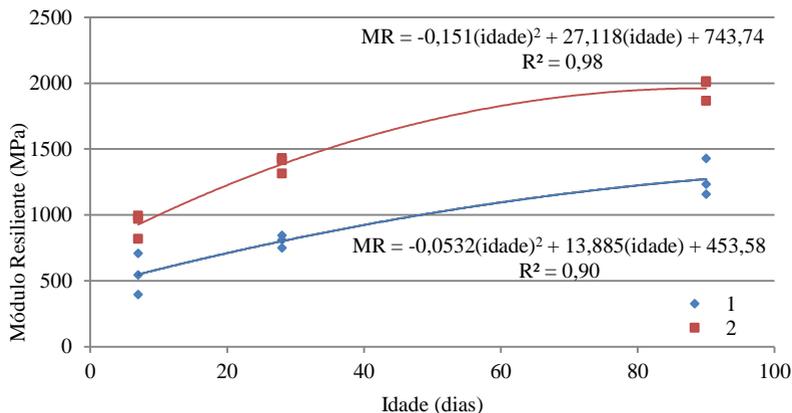
	2,7	28	1313	98		2,57	
2	2,7	28	1429	277	1385	2,74	2,67
	2,7	28	1412	76		2,7	
	2,7	90	2013	24		4,20	
2	2,7	90	2006	68	1961	3,90	4,07
	2,7	90	1864	58		4,10	

A Figura 118 apresenta o comportamento do módulo de resiliência para os segmentos 1 e 2, em relação a idade de cura da mistura.

Comparando os dois segmentos onde utilizou-se a mesma quantidade de cimento, é visível a diferença no comportamento do material. O segmento 2 apresentou módulos superiores ao segmento 1, chegando a atingir o dobro do seu valor.

O módulo resiliente encontrado para o segmento 1 teve um acréscimo de 46% passando de 7 para 28 dias de cura (252,47 MPa), da mesma forma a resistência à compressão simples, com aproximadamente 48% de acréscimo. Este segmento apresentou maior variabilidade entre os valores obtidos.

Figura 118: Módulo resiliente x Idade de cura - Segmentos 1 e 2



O segmento 2 apresentou 50% de acréscimo de módulo, porém a resistência à compressão simples apenas 22% dos 7 para os 28 dias de cura. Dos 28 para os 90 dias de cura, apresentou um acréscimo de 42% no valor do módulo e 52% na resistência à compressão simples.

O segmento 1 aumentou 59% no seu módulo e 54% na resistência à compressão simples.

Aos 90 dias de cura, os corpos de prova ensaiados atingiram valor de módulo de 2.000 MPa para o segmento 2 e 1.400 MPa para o segmento 1. O comportamento do acréscimo da rigidez foi semelhante, porém com valores reduzidos no segmento 1, fator que pode estar atrelado a velocidade de trituração da camada de revestimento e base, uma vez que a produção diária no segmento 1 foi maior que nos demais. A maior velocidade de deslocamento do tambor, resulta em partículas maiores e menor homogeneidade da mistura, visto que o mesmo aplica menor número de rotações em um mesmo local.

Este mesmo comportamento pode ser verificado em campo através da retroanálise das bacias de deflexão, onde o módulo da camada reciclada apresentou acréscimo com o tempo, e valores superiores no segmento 2 em relação ao segmento 1.

Os valores obtidos no ensaio de módulo para todas as idades, apresentou uma boa coerência com a resistência à compressão simples da mistura.

A Tabela 35 apresenta os valores obtidos no segmento 3, para as idades de 7, 28 e 90 dias de cura, com os diferentes teores de cimento.

Tabela 35: Módulo resiliente e RCS - Segmento 3.

Segm ento	Teor de cimento (%)	Idade (dias)	Módulo Resiliente (MPa)	Desvio Padrão	Média Módulo	RCS (MPa)	Média RCS
3	2	7	862	117	837	1,87	1,88
		7	89	134		1,95	
		7	754	158		1,82	
3	2	28	906	65	925	2,06	2,03
		28	929	17		2,15	
		28	941	43		1,89	
3	2	90	1371	89	1351	2,70	2,83
		90	1408	45		3,10	
		90	1272	102		2,70	
3	3	7	903	84	935	2,01	2,10
		7	919	68		2,09	
		7	984	17		2,20	
3	3	28	1107	63	1144	2,29	2,53
		28	1113	81		2,71	
		28	1211	66		2,58	

Continua

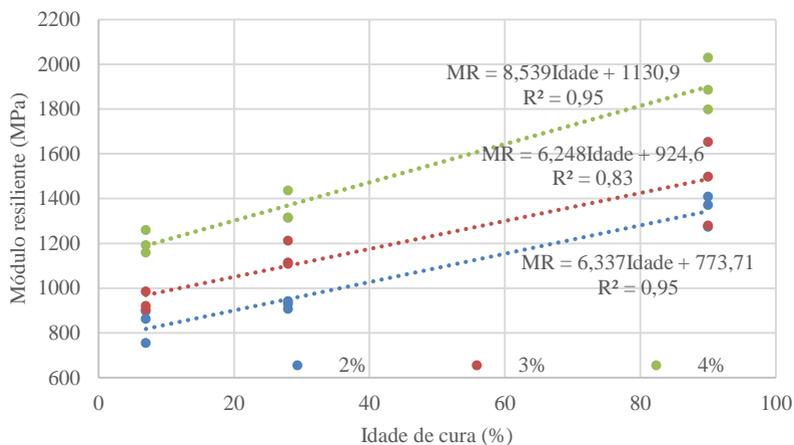
Continuação							
		90	1497	105		3,60	
3	3	90	1278	73	1476	3,10	3,60
		90	1652	56		4,10	
		7	1158	99		2,35	
3	4	7	1191	105	1203	2,58	2,50
		7	1258	176		2,56	
		28	1314	60		3,29	
3	4	28	1312	39	1354	3,42	3,38
		28	1435	44		3,42	
		90	1885	110		4,40	
3	4	90	1797	52	1904	4,10	4,27
		90	2028	110		4,30	

Analisando os valores de módulo com 7 dias de cura, pode-se verificar que ao passar de 2% para 3% de cimento o módulo aumentou em torno de 12%; de 2% para 4% o acréscimo foi de 44% e de 3% para 4% apresentou 29% de aumento no valor do módulo resiliente.

Pra a idade de 28 dias de cura os aumentos foram diferenciados, de 2% para 3% o aumento foi maior que aos 7 dias de cura (23%), passando de 2% para 4% o acréscimo apresentou valores parecidos com os de 7 dias (46%), já para teores passando de 3% para 4% o acréscimo de módulo foi de 18%, inferior ao encontrado com 7 dias de cura.

Em relação aos valores de 90 dias de cura, ao aumentar a quantidade de cimento de 2% para 3% obteve-se aumento de apenas 10% do valor do módulo, enquanto de 2% para 4% (2% a mais de cimento) o aumento foi considerável, na faixa de 40%, e entre 3% e 4% esse aumento foi de 29%. Comportamento muito parecido com os resultados obtidos aos 7 dias de cura. Esses valores estão plotados na Figura 119.

Figura 119: Módulo resiliente x Idade de cura – Segmento 3



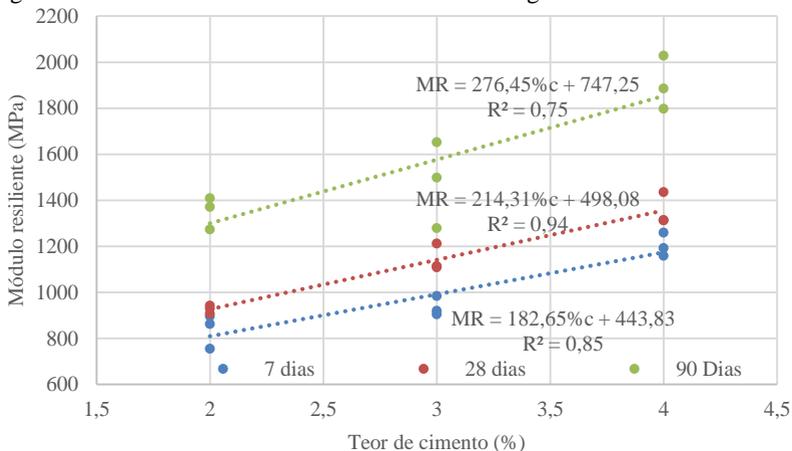
Os módulos encontrados aos 90 dias de cura, para o teor de 2% chega ao valor encontrado com teor de cimento de 4% aos 28 dias de cura.

A Figura 120 apresenta a relação entre o teor de cimento e o módulo resiliente por idade de cura.

Ao avaliar a evolução do módulo ao longo da idade fica evidente que o teor de 3% apresentou maior acréscimo entre os 7 e 28 dias de cura, com aproximadamente 23%.

Através dos resultados apresentados verifica-se a grande influência do tempo de cura e do teor de cimento aplicado na mistura, influenciando na rigidez da mistura.

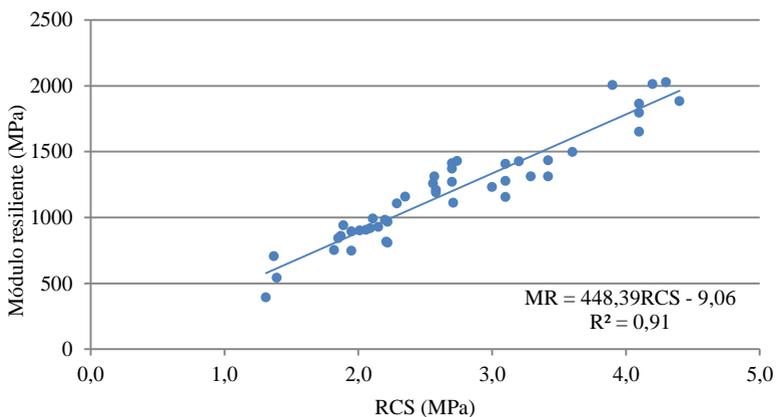
Figura 120: Módulo resiliente x teor de cimento – Segmento 3



A Figura 121 apresenta a correlação entre a resistência à compressão simples com o módulo resiliente da mistura reciclada, para as idades de 7, 28 e 90 dias de cura.

Uma das grandes dificuldades encontradas em campo, é a caracterização do comportamento dos materiais empregados nas camadas do pavimento. De forma a estimar o módulo resiliente, o qual auxilia no dimensionamento das camadas do pavimento, pode-se através de uma correlação entre o módulo e a resistência à compressão simples chegar a este valor.

Figura 121: RCS x Módulo resiliente



Através dos ensaios realizados com amostras de diferentes teores e locais de coleta, onde aferiu-se os valores de módulo resiliente e resistência à compressão simples (uma vez que o ensaio de módulo não é destrutivo, pode-se verificar os valores de RCS no mesmo corpo de prova), chegando a relação entre os dois parâmetros apresentados na Figura 121. Esta boa correlação proporciona aos projetistas estimar o valor do módulo através do ensaio de RCS através da seguinte correlação.

$$MR = 448,39.RCS - 9,06$$

onde:

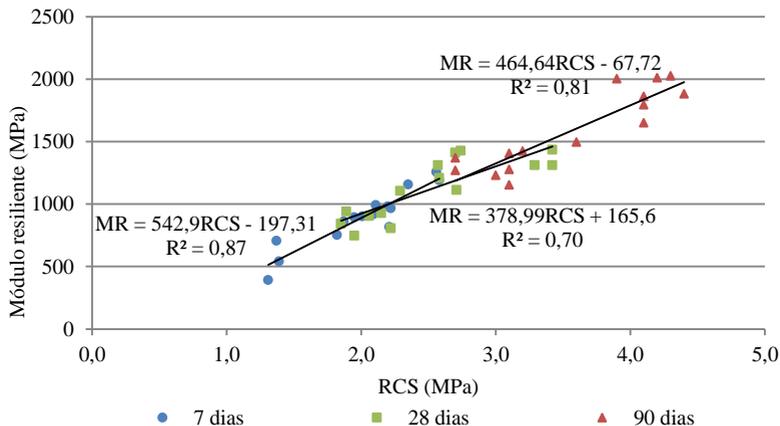
MR: Módulo resiliente em MPa

RCS: Resistência à Compressão Simples em MPa

Todas as correlações apresentadas nesta pesquisa devem ser utilizadas apenas com materiais que possuam características semelhantes aos materiais estudados, devido à grande variabilidade das composições das misturas recicladas.

A Figura 122 apresenta os mesmos valores do gráfico anterior, porém com a separação por idade.

Figura 122: Módulo resiliente x RCS - por idade

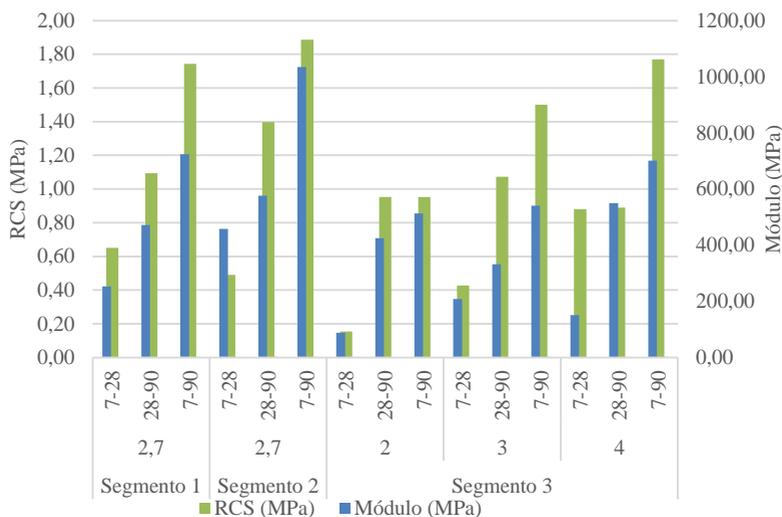


É possível verificar que o acréscimo de módulo aumenta de forma mais ascendente em relação a resistência à compressão simples para a idade de 7 dias, do que para 28 e 90 dias.

Esta relação permite chegar a valores de módulo através de ensaios de resistência à compressão simples. Possibilitando melhorar as ferramentas de dimensionamento das camadas do pavimento. Com 28 dias de cura, houve maior dispersão dos valores encontrados, mesmo assim estando dentro da tendência das demais idades.

A Figura 123 apresenta o aumento de módulo e RCS entre cada idade de cura e por segmento monitorado.

Figura 123: Acréscimo de RCS e Módulo com o tempo



Observando-se os resultados do Gráfico 50 é visível o aumento do módulo e da RCS com o passar do tempo e o aumento do teor de cimento.

No segmento 2, obteve-se aumento de aproximadamente 1.100 MPa no valor do módulo resiliente e 1,9 MPa na resistência à compressão simples, entre os 7 e 90 dias de cura.

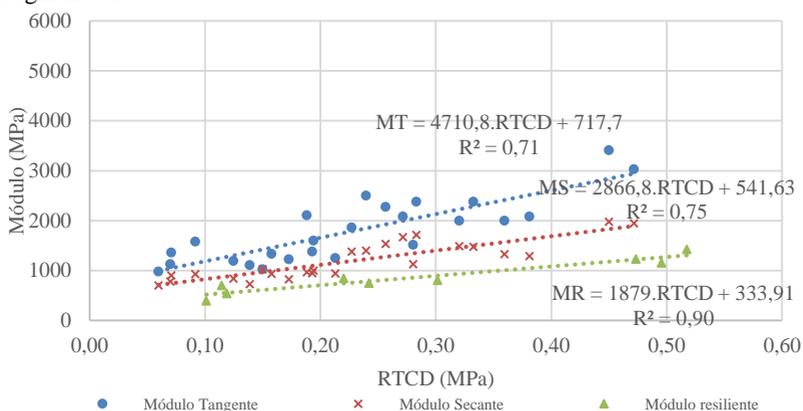
No segmento 3 nota-se que o ganho de resistência entre os 2% e 3% de cimento, foram muito parecidos, porém o aumento do módulo foi superior para o teor de 3%.

4.2.3.4 Módulo de elasticidade

Os valores de módulo de elasticidade foram determinados através da curva tensão x deformação específica obtidos no ensaio de resistência à compressão simples.

A Figura 124 apresenta a comparação entre a resistência à tração por compressão diametral e os módulos (tangente, secante e resiliente) para o segmento 1.

Figura 124: Módulos tangente, secante e resiliente da mistura reciclada - Segmento 1



O módulo tangente e secante, determinados na curva tensão x deformação específica, apresentam valores superiores ao módulo resiliente. Os valores de módulo secante são os que mais se aproximam do módulo resiliente, porém ainda acima.

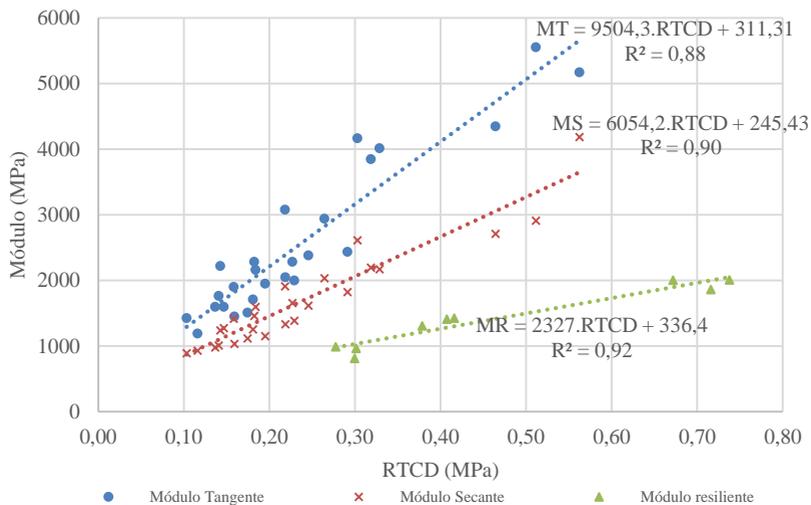
Aranha (2013) chegou a valores de módulo resiliente em torno de 7.500 MPa e módulos elásticos de 10.000 MPa para teor de cimento de 5% em misturas recicladas com solo-brita. Trichês (2013) obteve valores de módulo resiliente entre 2.800 MPa e 5.500 MPa, para misturas recicladas com teores entre 2 e 4% de cimento, respectivamente.

Entre módulos de resiliência e módulos elásticos Aranha (2013) obteve diferenças de 2.000 MPa à 2.500 MPa.

O segmento 1 foi o que apresentou menores módulos, comparados com os outros dois segmentos, e diferenças entre os módulos (tomando como referência a RTCD igual a 0,25 MPa) foi inferior a 1.000 MPa.

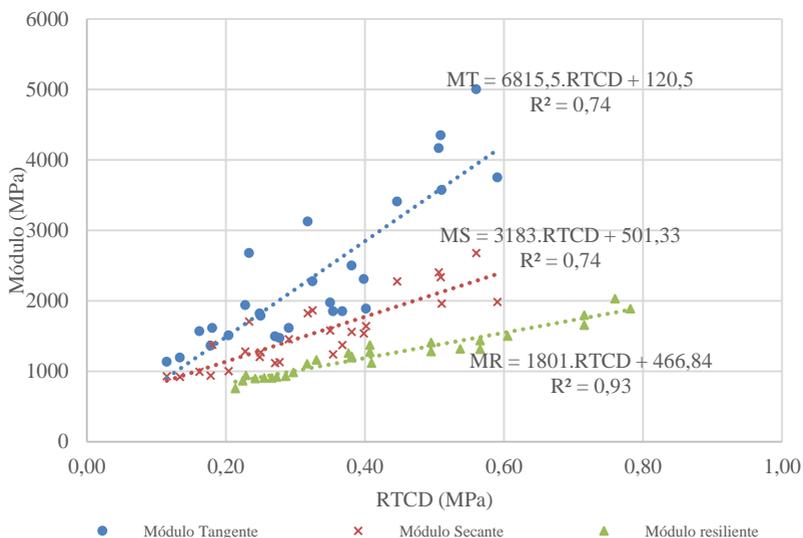
A Figura 125 apresenta a relação entre RTCD e módulos para o segmento 2, e a Figura 126 para o segmento 3.

Figura 125: Módulos - Segmento 2



O segmento 2 apresentou os maiores módulos de elasticidade (tangente e secante), e a diferença entre os módulos também foram superiores ao segmento 1, ficando na ordem de 1.000 MPa à 2.000 MPa.

Figura 126: Módulos - Segmento 3



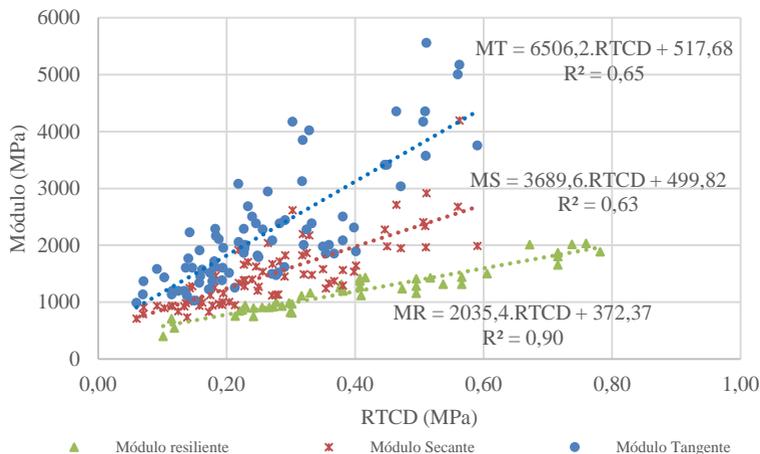
Para o segmento 3 onde efetuou-se maior número de ensaios de módulo resiliente, a comparação fica mais precisa, visto que é possível abranger intervalo maior de RCS.

Da mesma forma que nos outros dois segmentos, tendo como referência a RTCD de 0,25 MPa, a diferença entre os módulos variou de 500 MPa a 1.000 MPa.

Conforme aumenta-se a RTCD a diferença entre os módulos também aumenta. Quanto menor o valor da RTCD mais próximos são esses valores.

A Figura 127 correlaciona os módulos secantes, tangentes e resiliente encontrados em todos os segmentos, com a resistência à tração por compressão diametral encontrada através da relação entre a RCS e RTCD.

Figura 127: Relação entre módulos e RTCD

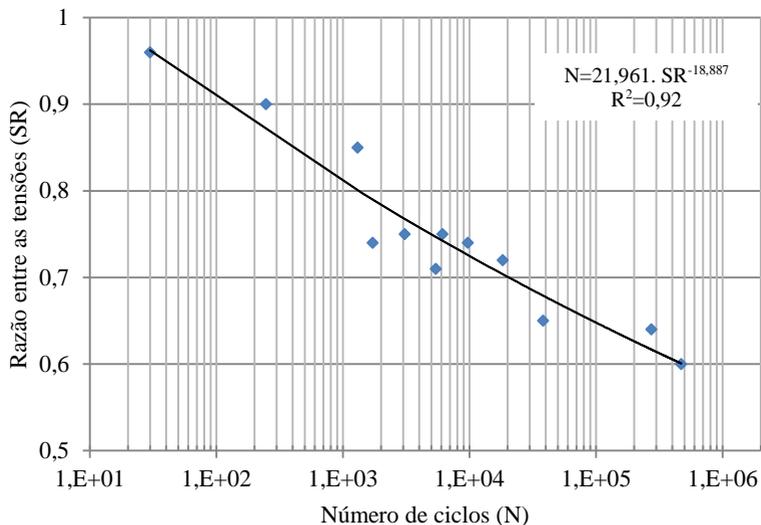


As melhores correlações foram encontradas entre a RTCD e os módulos resilientes, apresentando um R^2 de 0,90. A relação entre os outros módulos foi mais dispersa com R^2 em torno de 0,64.

4.2.3.5 Fadiga da mistura reciclada

A metodologia adotada para a realização dos ensaios de fadiga está descrita no capítulo 3. A Figura 128 apresenta os resultados obtidos nos 12 corpos de prova ensaiados. Os dados individuais estão contidos no Apêndice T.

Figura 128: Fadiga da mistura reciclada



O modelo de fadiga encontrado nesta pesquisa, referente aos ensaios com os materiais do segmento 3, com adição de 15% de cimento e 3% de cimento está descrito como:

$$N = 21,961 \cdot SR^{-18,887}$$

onde:

N: Número de ciclos de aplicação de carga;

SR: Razão entre as tensões.

Considera-se SR como sendo a relação entre a tensão de tração aplicada e a resistência à tração do material (mistura reciclada).

4.2.4 Etapa 4: Caracterização mecânica da camada asfáltica

A caracterização mecânica da mistura asfáltica, foi efetuada através dos ensaios de módulo resiliente, deformação permanente, resistência a tração indireta e dano por umidade induzida.

4.2.4.1 Módulo resiliente da mistura asfáltica

O módulo resiliente da mistura asfáltica, foi determinada com corpos de prova de 10 cm de diâmetro e altura aproximada de 6 cm. Os corpos de prova foram extraídos de campo com sonda rotativa.

Na Tabela 36 visualiza-se os resultados dos módulos obtidos através do ensaio efetuado a 25°C. Todos os valores estão apresentados no Apêndice Q.

Tabela 36: Módulo resiliente da mistura asfáltica

Segmento	1								
CP	2	4	5	7	8	10	Média	Desvio	
Módulo (MPa)	4290	3082	4495	4899	3291	4566	4104	740	
MEA (g/cm ³)	2,568	2,553	2,492	2,575	2,562	2,579	2,555	0,032	
RT (MPa)	0,77	0,75	0,77	0,77	0,78	0,75	0,77	0,01	
Segmento	2								
CP	12	16	17	18	20	21	Média	Desvio	
Módulo (MPa)	-	3672	4862	3893	4556	5313	4459	678	
MEA (g/cm ³)	2,603	2,516	2,537	2,532	2,561	2,549	2,549	0,030	
RT (MPa)	0,75	0,74	0,92	0,75	0,80	0,96	0,82	0,10	
Segmento	3								
CP	24	28	29	30	31	35	Média	Desvio	
Módulo (MPa)	3341	3386	2835	2570	4681	2969	3297	745	
MEA (g/cm ³)	2,543	2,551	2,465	2,500	2,560	2,533	2,525	0,036	
RT (MPa)	0,93	0,87	0,75	0,65	0,84	0,71	0,79	0,11	

MEA: Massa específica aparente

Foram selecionados 6 corpos de prova para a determinação do módulo. Para o segmento 1 obtiveram-se valores entre 3.000 MPa e 4.900 MPa, com resistência à tração de aproximadamente 0,77 MPa.

Para o segmento 2, obtiveram-se valores entre 3.600 MPa e 5.300 MPa, com resistência à tração de 0,82 MPa. Já para o segmento 3 os módulos variavam de 2.500 MPa a 4.600 MPa, com resistência à tração de aproximadamente 0,79 MPa.

Apesar dos três segmentos terem sido feitos com a mesma mistura asfáltica, em termos de granulometria e temperatura, apresentaram valores diferenciados para cada segmento executado.

Para a retroanálise das bacias de deflexão medidas sobre o revestimento utilizou-se destes intervalos para a estimativa dos módulos das camadas em campo.

4.2.4.2 Deformação permanente

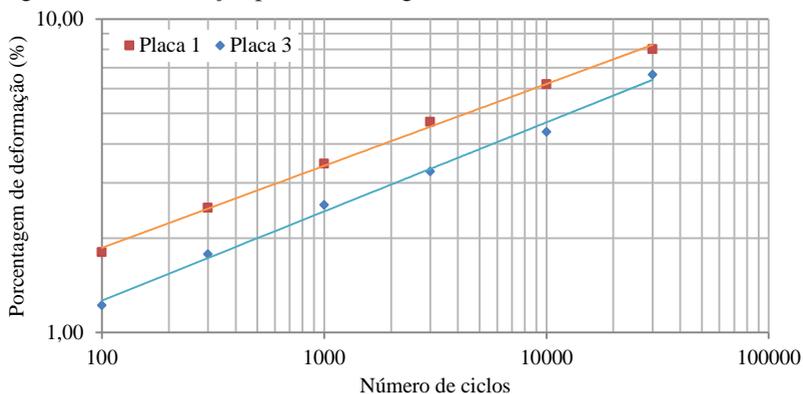
O ensaio de deformação permanente foi executado com placas extraídas do campo. A Tabela 37 apresenta os valores encontrados no ensaio de deformação permanente para os três segmentos. Todos os dados do ensaio estão apresentados no Apêndice R.

Tabela 37: Deformação permanente.

Segmento Placa	1		2		3	
	1	3	7	8	13	14
Altura média, mm	68,9	72,8	77,5	79,6	83,3	84,6
Volume de vazios, %	3,3	3	1,93	0,77	1,57	1,04
Ciclos	Deformação na trilha de roda, %					
100	1,81	1,22	1,45	1,19	0,97	1,02
300	2,51	1,78	1,89	1,62	1,42	1,46
1000	3,46	2,56	2,29	2,02	1,88	1,89
3000	4,70	3,27	2,72	2,35	2,46	2,32
10000	6,20	4,38	3,40	2,93	2,93	2,76
30000	8,04	6,65	4,31	4,09	3,76	3,64

A Figura 129 representa os valores obtidos no ensaio para as placas 1 e 3 extraídas do segmento 1.

Figura 129: Deformação permanente segmento 1



Com a aplicação de 30.000 ciclos de carga na placa de mistura asfáltica foi obtido 8,04% de deformação na trilha de roda para placa 1 e 6,65% para a placa 2.

A Figura 130 apresenta o comportamento das placas 7 e 8 referente ao segmento 2, e a Figura 131 os valores obtidos nas placas 13 e 14 para o segmento 3.

Figura 130: Deformação permanente segmento 2

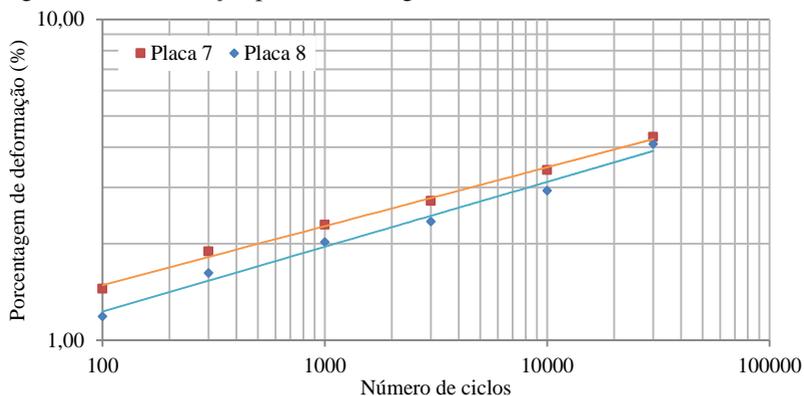
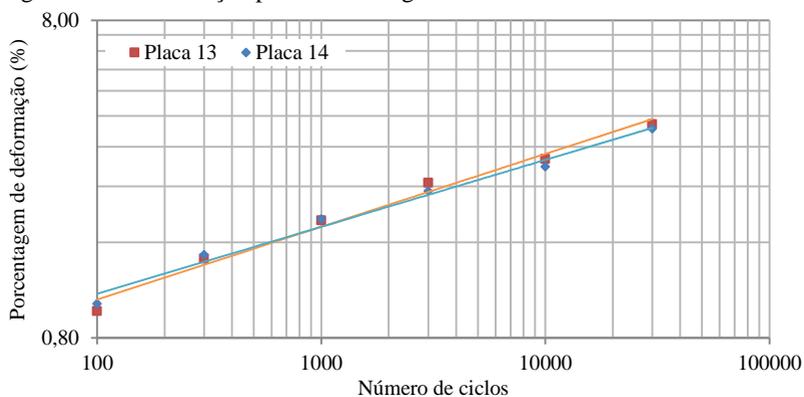


Figura 131: Deformação permanente segmento 3



As placas 7 e 8 apresentaram valores de deformação na trilha de roda bem próximos, 4,31% e 4,09%. Já as placas 13 e 14 obtiveram valores considerados iguais, 3,76% e 3,64%. Deformações na trilha de roda inferiores a 10% são consideradas boas para todas as amostras.

4.2.4.3 Dano por umidade induzida

Para verificar a eficiência da mistura asfáltica com a variação extrema das condições ambientais, submeteu-se corpos de prova ao ensaio de dano por umidade induzida (ensaio Lottmam), segundo a norma NBR 15617 (ABNT, 2011).

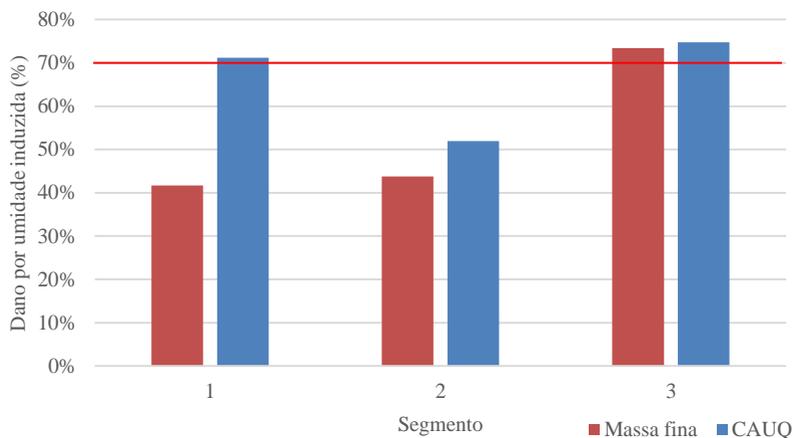
Para cada mistura moldou-se um conjunto de 6 corpos de prova por dia de trabalho em campo e por segmento monitorado. A Tabela 38 apresenta os valores obtidos no ensaio de dano por umidade induzida para a camada de massa fina e a de CAUQ.

Tabela 38: Dano por umidade induzida - Moldado

Massa fina		Condicionado		Não Condicionado		Dano por umidade (%)
Segmento	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)		
1	8,0%	0,26	8,0%	0,61	41,7%	
2	6,2%	0,36	6,2%	0,83	43,8%	
3	7,5%	0,43	7,3%	0,58	73,4%	
CAUQ		Condicionado		Não Condicionado		Dano por umidade (%)
Segmento	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)		
1	6,6%	0,51	6,8%	0,72	71,2%	
2	6,6%	0,45	6,1%	0,87	51,9%	
3	6,7%	0,64	6,6%	0,85	74,7%	

Para melhor visualização dos dados contidos na Tabela 38, elaborou-se a Figura 132, onde a linha vermelha indica o valor de dano por umidade induzida mínimo exigido pelas especificações de serviço vigentes.

Figura 132: Dano por umidade induzida - Moldado



A ação deletéria da água na mistura asfáltica, provoca a ruptura interna da estrutura da camada asfáltica pela falta de adesividade. Os valores obtidos no ensaio de dano por umidade induzida, mostram que a mistura asfáltica de massa fina nos segmentos 1 e 2, não atende a especificação de serviço, com valores abaixo de 70%. Para a mistura asfáltica de CAUQ, os segmentos 1 e 3 apresentam valores acima no mínimo estipulado em projeto, enquanto no segmento 2, obteve-se valor de 52%.

A Tabela 39 apresenta os resultados obtidos com corpos de prova extraídos de campo. Os corpos de prova eram compostos por uma camada de aproximadamente 5 cm de CAUQ e uma camada variável de massa fina com aproximadamente 1,5 cm.

Tabela 39: Dano por umidade induzida - extraído.

Segmento	Vv < 4%
1	63,7%
2	93,4%
3	82,8%

Com os dados obtidos nos ensaios dos corpos de prova extraídos de campo, verificou-se que a mistura apresentava volume de vazios inferior a 4%. Com isso apenas o segmento 1 apresentou valores de dano por umidade induzida inferiores ao mínimo recomendado por norma. Todos os dados do ensaio estão apresentados Apêndice S.

Através desses valores é possível relacionar a deformação permanente, a qual apresentou maiores deformações no segmento 1, além de maior perda de resistência com o condicionamento. O comportamento observado pode estar ligado ao processo de compactação, usinagem ou extração das amostras.

4.2.5 Etapa 5: Estimativa da vida útil do pavimento

4.2.5.1 Estrutura final após reciclagem

Após a execução da reciclagem, da massa fina e da camada de rolamento efetuou-se a extração de corpo de prova, com sonda rotativa, retirando-se apenas a camada de revestimento e massa fina. Para se determinar a real espessura destas camadas. As Tabelas 40 a 45 apresentam as espessuras existentes (antes da intervenção), os locais em que houve fresagem da camada de revestimento antiga e sua espessura, além das espessuras das camadas resultantes após a intervenção. Abaixo de cada tabela apresenta-se um gráfico das espessuras, avaliando-se a sua variação ao longo de cada segmento.

Tabela 40: Espessuras camadas após a reciclagem - 2+000 - 3+200 LE

Segmento		Existente			Mat. Fresado	Esp. Reciclada (cm)		Estrutura final				
Km Inicial	Km Final	Revest Esp. (cm)	Base Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)		Revest	base	Revest Esp. (cm)	MF Esp. (cm)	Reciclada Esp. (cm)	Base remanescente Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)
2+000	2+100	7,0	15,0	21,0	-	7,0	12,0	5,1	4,2	19,0	3,0	21,0
2+100	2+200	7,0	17,0	19,0	-	7,0	11,0	5,2	4,3	18,0	6,0	19,0
2+200	2+300	9,5	14,5	21,5	-	9,5	8,5	5,4	4,1	18,0	6,0	21,5
2+300	2+400	6,0	20,0	16,0	-	6,0	11,5	5,3	3,8	17,5	8,5	16,0
2+400	2+500	9,0	10,0	26,0	-	9,0	9,0	5,3	3,4	18,0	1,0	26,0
2+500	2+600	7,0	15,0	21,0	-	7,0	11,0	5,2	3,0	18,0	4,0	21,0
2+600	2+700	8,5	11,5	24,5	-	8,5	9,0	5,2	3,5	17,5	2,5	24,5
2+700	2+800	9,5	13,5	22,5	-	9,5	8,5	5,1	4,1	18,0	5,0	22,5
2+800	2+900	7,5	16,5	19,5	-	7,5	9,5	5,0	4,6	17,0	7,0	19,5
2+900	3+000	14,0	8,0	27,0	5,0	9,0	8,5	5,1	5,1	17,5	-0,5	26,5
3+000	3+100	13,0	15,0	20,0	4,0	9,0	8,0	5,3	4,1	17,0	7,0	20,0
3+100	3+200	13,5	23,0	12,0	4,5	9,0	8,5	5,1	3,2	17,5	14,5	12,0

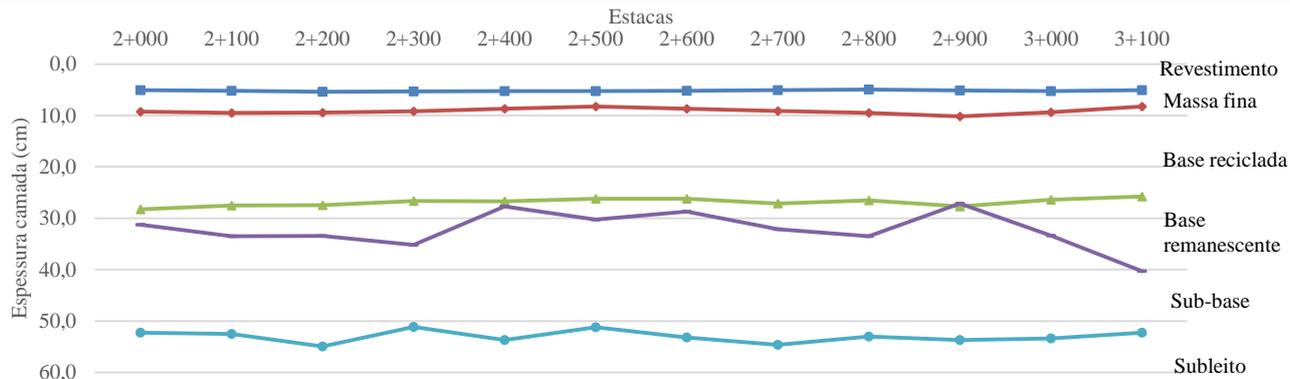


Tabela 41: Espessuras camadas após a reciclagem - 2+000 - 3+200 LD

Segmento		Existente			Mat. Fresado	Esp. Reciclada		Estrutura final				
Km Inicial	Km Final	Revest Esp. (cm)	Base Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)		Revest	base	Revest Esp. (cm)	MF Esp. (cm)	Reciclada Esp. (cm)	Base remanescente Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)
2+000	2+100	6,5	19,5	16,5	-	6,5	11,0	5,1	3,0	17,5	8,5	16,5
2+100	2+200	6,0	17,0	19,0	-	6,0	11,5	5,1	3,2	17,5	5,5	19,0
2+200	2+300	8,0	12,5	23,5	-	8,0	10,5	5,1	3,5	18,5	2,0	23,5
2+300	2+400	6,8	13,2	22,8	-	6,8	11,7	5,1	3,6	18,5	1,5	22,8
2+400	2+500	8,5	13,5	22,5	-	8,5	9,5	5,2	3,8	18,0	4,0	22,5
2+500	2+600	6,0	10,0	26,0	-	6,0	12,0	5,3	4,1	18,0	-2,0	24,0
2+600	2+700	8,5	12,5	23,5	-	8,5	9,0	5,2	4,4	17,5	3,5	23,5
2+700	2+800	10,0	13,5	22,5	-	10,0	7,5	5,2	4,2	17,5	6,0	22,5
2+800	2+900	7,0	16,5	19,5	-	7,0	10,5	5,0	4,0	17,5	6,0	19,5
2+900	3+000	15,5	13,5	21,5	6,0	9,5	8,0	4,9	4,0	17,5	5,5	21,5
3+000	3+100	14,0	16,0	19,0	5,0	9,0	8,0	5,0	4,1	17,0	8,0	19,0
3+100	3+200	5,0	22,0	13,0	-	5,0	12,0	-	-	17,0	10,0	13,0

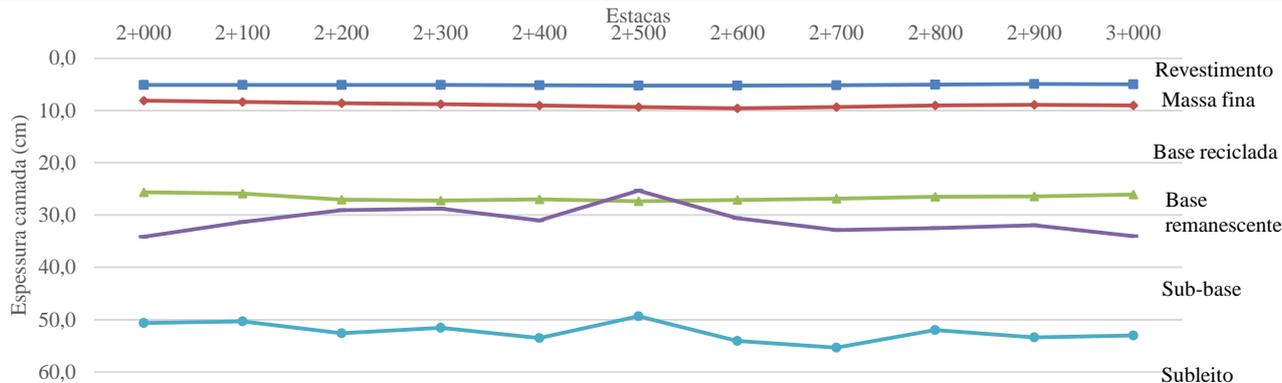


Tabela 42: Espessuras camadas após a reciclagem - 4+300 - 5+500 LE

Segmento		Existente			Mat. Fresado	Esp. Reciclada		Estrutura final				
Km Inicial	Km Final	Revest Esp. (cm)	Base Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)		Revest	base	Revest Esp. (cm)	MF Esp. (cm)	Reciclada Esp. (cm)	Base remanescente Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)
4+300	4+400	6,5	13,5	18,5	-	6,5	10,5	5,0	4,5	17,0	3,0	18,5
4+400	4+500	8,0	14,0	18,0	-	8,0	9,0	5,1	4,4	17,0	5,0	18,0
4+500	4+600	8,0	13,0	19,0	-	8,0	9,5	5,1	4,6	17,5	3,5	19,0
4+600	4+700	9,0	12,0	20,0	-	9,0	8,0	5,5	4,9	17,0	4,0	20,0
4+700	4+800	11,0	11,0	21,0	-	11,0	7,0	5,8	4,5	18,0	4,0	21,0
4+800	4+900	8,0	12,0	20,0	-	8,0	9,5	5,7	4,1	17,5	2,5	20,0
4+900	5+000	8,0	12,0	20,0	-	8,0	9,0	5,7	3,7	17,0	3,0	20,0
5+000	5+100	8,0	19,0	13,0	-	8,0	9,5	5,5	3,4	17,5	9,5	13,0
5+100	5+200	8,0	11,0	21,0	-	8,0	9,5	5,2	3,2	17,5	1,5	21,0
5+200	5+300	8,0	18,0	17,0	-	8,0	9,0	5,3	2,9	17,0	9,0	17,0
5+300	5+400	7,0	16,0	19,0	-	7,0	11,0	5,3	3,2	18,0	5,0	19,0
5+400	5+500	8,0	12,0	23,0	-	8,0	9,0	5,3	3,5	17,0	3,0	23,0

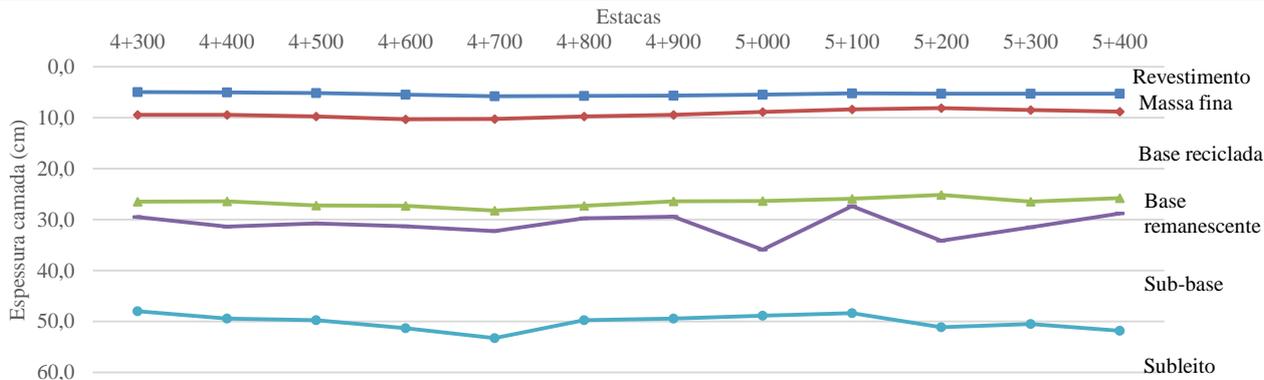


Tabela 43: Espessuras camadas após a reciclagem - 4+300 - 5+500 LD

Segmento		Existente			Mat. Fresado	Esp. Reciclada		Estrutura final				
Km Inicial	Km Final	Revest Esp. (cm)	Base Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)		Revest	base	Revest Esp. (cm)	MF Esp. (cm)	Reciclada Esp. (cm)	Base remanescente Esp. (cm)	Sub-base Esp. (cm)
4+300	4+400	6,0	16,0	16,0	-	6,0	11,0	6,0	4,8	17,0	5,0	16,0
4+400	4+500	7,0	12,0	20,0	-	7,0	10,5	6,1	4,0	17,5	1,5	20,0
4+500	4+600	7,5	16,5	15,5	-	7,5	9,5	5,8	3,2	17,0	7,0	15,5
4+600	4+700	10,0	9,0	23,0	-	10,0	8,0	5,6	3,2	18,0	1,0	23,0
4+700	4+800	12,0	15,0	17,0	-	12,0	5,5	5,6	3,2	17,5	9,5	17,0
4+800	4+900	8,0	12,0	20,0	-	8,0	10,0	5,6	3,5	18,0	2,0	20,0
4+900	5+000	8,0	11,3	20,7	-	8,0	9,5	5,6	3,9	17,5	1,8	20,7
5+000	5+100	9,0	16,0	16,0	-	9,0	9,0	5,7	4,1	18,0	7,0	16,0
5+100	5+200	8,0	14,0	18,0	-	8,0	10,0	5,5	4,3	18,0	4,0	18,0
5+200	5+300	10,0	12,0	23,0	-	10,0	7,5	5,4	4,8	17,5	4,5	23,0
5+300	5+400	9,0	13,0	22,0	-	9,0	8,0	5,6	5,3	17,0	5,0	22,0
5+400	5+500	8,0	14,0	21,0	-	8,0	9,5	5,7	5,1	17,5	4,5	21,0

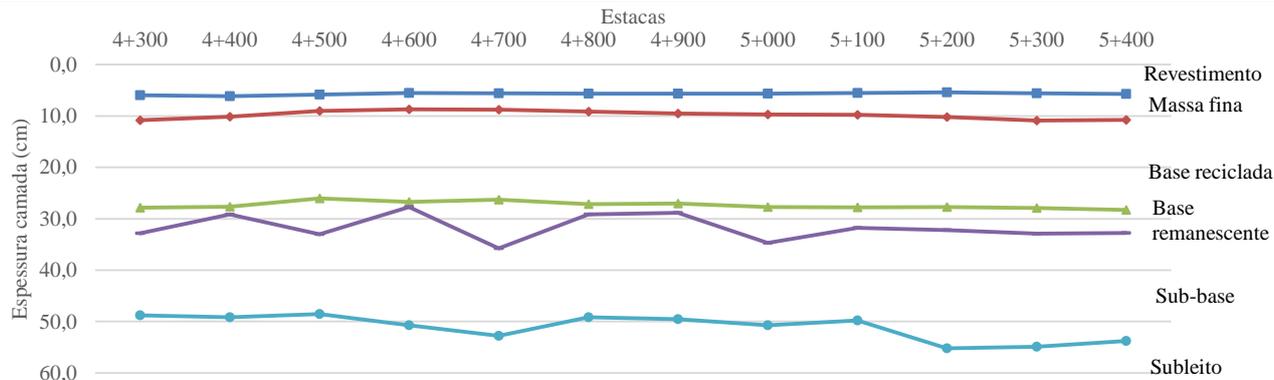


Tabela 44: Espessuras camadas após a reciclagem - 7+600 - 8+800 LE

Segmento		Existente			Mat. Fresado	Esp. Reciclada		Estrutura final				
Km Inicial	Km Final	Revest	Base	Sub-base		Revest	base	Revest	MF (Proj.)	Reciclada	Base remanescente	Sub-base
		Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)			Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)
7+600	7+700	6,5	18,5	15,5	-	6,5	11,0	5,3	3,0	17,5	7,5	15,5
7+700	7+800	9,5	14,5	19,5	-	9,5	8,0	5,3	3,0	17,5	6,5	19,5
7+800	7+900	7,0	16,0	13,0	-	7,0	11,0	5,3	3,0	18,0	5,0	13,0
7+900	8+000	9,0	14,0	15,0	-	9,0	8,5	5,3	3,0	17,5	5,5	15,0
8+000	8+100	7,0	23,0	6,0	-	7,0	10,0	5,2	3,0	17,0	13,0	6,0
8+100	8+200	6,0	19,0	10,0	-	6,0	11,5	5,2	3,0	17,5	7,5	10,0
8+200	8+300	10,0	14,5	14,5	-	10,0	7,0	5,4	3,0	17,0	7,5	14,5
8+300	8+400	10,0	13,5	15,5	-	10,0	7,5	5,5	3,0	17,5	6,0	15,5
8+400	8+500	9,0	13,0	19,0	-	9,0	8,0	5,3	3,0	17,0	5,0	19,0
8+500	8+600	8,0	15,0	20,0	-	8,0	9,0	5,1	3,0	17,0	6,0	20,0
8+600	8+700	11,0	14,0	21,0	-	11,0	6,0	5,3	3,0	17,0	8,0	21,0
8+700	8+800	8,5	19,5	15,5	-	8,5	9,0	5,5	3,0	17,5	10,5	15,5

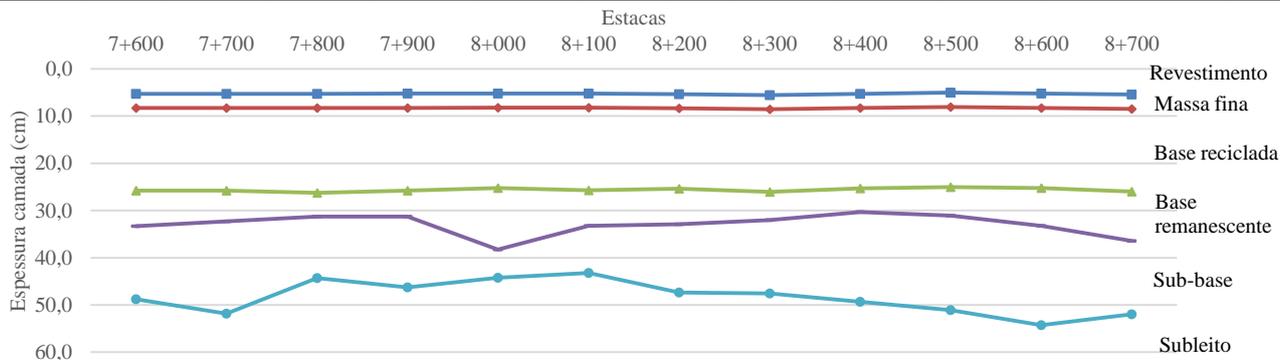
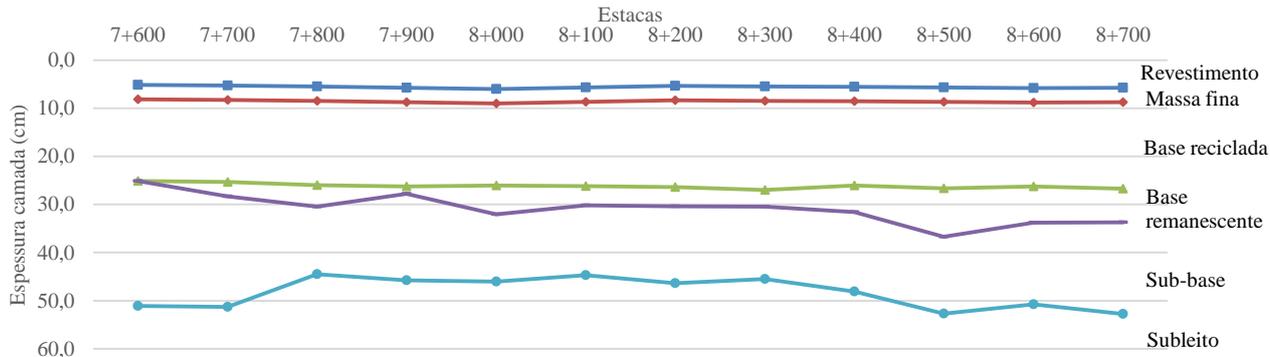


Tabela 45: Espessuras camadas após a reciclagem - 7+600 - 8+800 LD

Segmento		Existente			Mat. Fresado	Esp. Reciclada		Estrutura final				
Km Inicial	Km Final	Revest	Base	Sub-base				Revest	base	Revest	MF (Proj.)	Reciclada
		Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Revest	Revest	base	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)	Esp. (cm)
7+600	7+700	16,0	8,0	26,0	7,0	9,0	8,0	5,1	3,0	17,0	0,0	26,0
7+700	7+800	11,0	11,0	23,0	2,0	9,0	8,0	5,3	3,0	17,0	3,0	23,0
7+800	7+900	7,0	15,0	14,0	-	7,0	10,5	5,5	3,0	17,5	4,5	14,0
7+900	8+000	8,0	11,0	18,0	-	8,0	9,5	5,8	3,0	17,5	1,5	18,0
8+000	8+100	8,0	15,0	14,0	-	8,0	9,0	6,0	3,0	17,0	6,0	14,0
8+100	8+200	7,0	14,5	14,5	-	7,0	10,5	5,7	3,0	17,5	4,0	14,5
8+200	8+300	9,0	13,0	16,0	-	9,0	9,0	5,4	3,0	18,0	4,0	16,0
8+300	8+400	8,0	14,0	15,0	-	8,0	10,5	5,5	3,0	18,5	3,5	15,0
8+400	8+500	7,5	15,5	16,5	-	7,5	10,0	5,6	3,0	17,5	5,5	16,5
8+500	8+600	9,0	19,0	16,0	-	9,0	9,0	5,7	3,0	18,0	10,0	16,0
8+600	8+700	7,0	18,0	17,0	-	7,0	10,5	5,8	3,0	17,5	7,5	17,0
8+700	8+800	10,0	16,0	19,0	1,0	9,0	9,0	5,7	3,0	18,0	7,0	19,0



Locais que apresentaram valores negativos de camada remanescente, são aqueles em que o tambor da recicladora atingiu a camada de sub-base.

No segmento 3 não foi determinada a espessura real da massa fina. Com isso, adotou-se 3 cm em todo o segmento e nas duas faixas de rolamento.

4.2.5.2 Retroanálise das bacias após reciclagem

O levantamento deflectométrico com bacias de deflexão, foi efetuado nos três segmentos acompanhados. O espaçamento entre cada medida foi de 100 metros, totalizando 72 bacias por idade de cura.

Este levantamento foi efetuado antes da reciclagem, aos 3, 7 e 28 dias após a intervenção, (alguns locais quando a camada reciclada estava com 28 dias já havia sido executada a camada de revestimento, após a massa fina e após o revestimento).

Para efetuar a retroanálise das bacias de deflexão, utilizou-se os valores de módulo das camadas de subleito, sub-base e base remanescente encontrados na retroanálise feita antes da intervenção.

Para a camada de base reciclada, utilizou-se valores resultantes dos ensaios de módulo resiliente em laboratório, procurando utilizar valores que ficassem dentro do intervalo encontrado nos ensaios. Foram efetuados ensaios para as idades de 7, 28 e 90 dias de cura. Portanto para a retroanálise aos 7 (Apêndice K) e 28 (Apêndice L) dias utilizou-se desses valores.

A camada de revestimento foi composta por duas camadas, considerando a camada de massa fina em torno de 3 cm e a camada de CAUQ com no mínimo 5 cm de espessura (Apêndice M). Assumiu-se que as duas misturas apresentam o mesmo módulo resiliente adotou-se o valor obtido no ensaio (visto que o mesmo foi efetuado em corpos de prova com aproximadamente 5 cm de CAUQ e 1,5 cm de massa fina).

A Tabela 46 apresenta os resultados obtidos nas retroanálises das bacias de deflexão. Apresentam-se os valores médios e o desvio padrão encontrados para cada segmento e cada lado da pista avaliado. As idades de avaliação foram, antes da intervenção, com 7 e 28 dias de cura e após a aplicação do revestimento.

No segmento 1 e 2 o revestimento só foi executado após os 28 dias de cura. Por isso, a falta de valores na tabela. Já para o segmento 3, grande parte da extensão já possuía revestimento aos 28 dias.

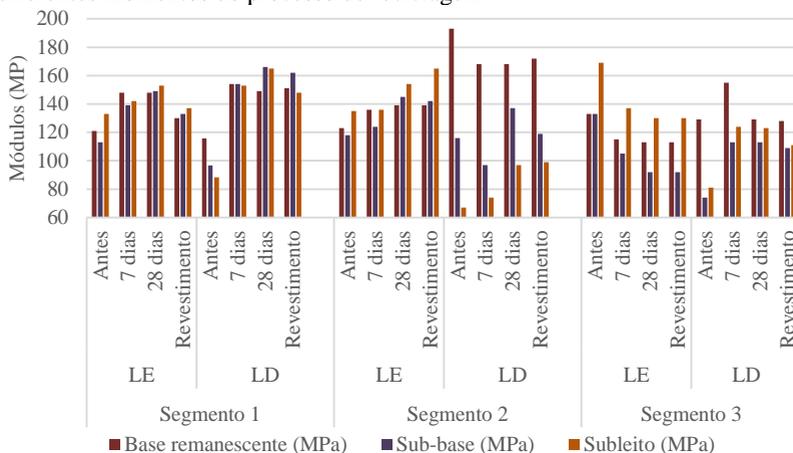
Tabela 46: Retroanálise após a reciclagem

Segmento	Lado	Parâmetros	Deflexão máxima (10 ⁻² mm)		Revestimento (MPa)		Base reciclada (MPa)		Base remanescente (MPa)		Sub-base (MPa)		Subleito (MPa)	
			Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
1	LE	Antes	62	16	1142	360	-	-	121	56	113	53	133	42
		7 dias	55	23	-	-	639	112	148	57	139	62	142	54
		28 dias	49	20	-	-	873	156	148	64	149	73	153	67
		Revestimento	32	10	2964	415	859	153	130	44	133	59	137	51
1	LD	Antes	58	12	1567	311	-	-	116	38	97	42	88	24
		7 dias	44	7	-	-	659	129	154	34	154	39	153	31
		28 dias	40	12	-	-	839	166	149	37	166	51	165	26
		Revestimento	30	9	3227	142	833	124	151	38	162	46	148	51
2	LE	Antes	61	14	1854	393	-	-	123	43	118	68	135	45
		7 dias	60	31	-	-	785	342	136	58	124	67	136	60
		28 dias	40	14	-	-	1485	134	139	58	145	67	154	60
		Revestimento	28	10	2769	588	1400	277	139	58	142	70	165	61
2	LD	Antes	72	21	2850	945	-	-	193	73	116	74	67	18
		7 dias	71	18	-	-	935	98	168	59	97	38	74	40
		28 dias	50	19	-	-	1567	167	168	63	137	68	97	60
		Revestimento	39	16	2750	421	1525	166	172	63	119	69	99	66
3	LE	Antes	59	15	1104	530	-	-	133	42	133	52	169	43
		7 dias	58	37	-	-	736	287	115	50	105	49	137	50
		28 dias	35	7	3133	261	825	122	113	36	92	37	130	35
		Revestimento	35	7	3133	261	825	122	113	36	92	37	130	35
3	LD	Antes	77	13	1700	501	-	-	129	63	74	23	81	21
		7 dias	58	24	-	-	817	265	155	75	113	63	124	57
		28 dias	39	10	2813	464	942	257	129	42	113	34	123	41
		Revestimento	37	9	2658	566	908	247	128	42	109	34	111	36

Com os dados apresentados na Tabela 46 elaborou-se gráficos para melhor interpretação dos valores encontrados.

A Figura 133 apresenta os valores de módulo do subleito, sub-base e base remanescente nas diferentes idades de levantamento.

Figura 133: Variação do módulo da camada de base, sub-base e subleito em diferentes momentos do processo de reciclagem

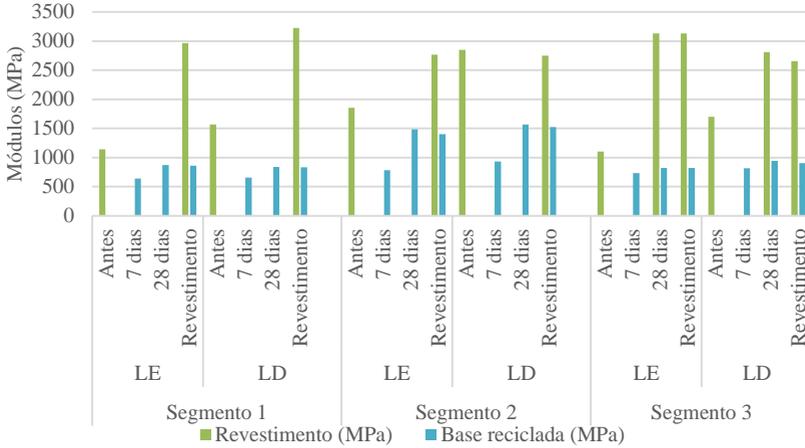


A redução do módulo na camada de subleito e sub-base pode ser justificada pela movimentação e perturbação das camadas quando efetuada a reciclagem, podendo alterar a estrutura das camadas inferiores. Outro fato pode estar ligado à execução da drenagem longitudinal, podendo desestabilizar essas camadas quando efetuadas as escavações e o preenchimento, uma vez que não era efetuada qualquer compactação. Além do aumento da rigidez da camada de base reciclada, a qual reduz a tensão que chega a camada de sub-base e subleito, de forma a reduzir o seu módulo retroanalizado. Quando visualizadas as condições das camadas durante a abertura das trincheiras, era notável a contaminação da sub-base e base com material oriundo do subleito.

Os maiores valores de módulo para o segmento 1 podem estar atrelados às características do material que compõe o subleito, fragmentos de rocha em decomposição e umidade inferior aos outros segmentos, além de se apresentar em altitude superior aos outros segmentos.

A Figura 134 apresenta o comportamento do módulo do revestimento e da base reciclada em diferentes momentos em que se fez a medida da deflexão.

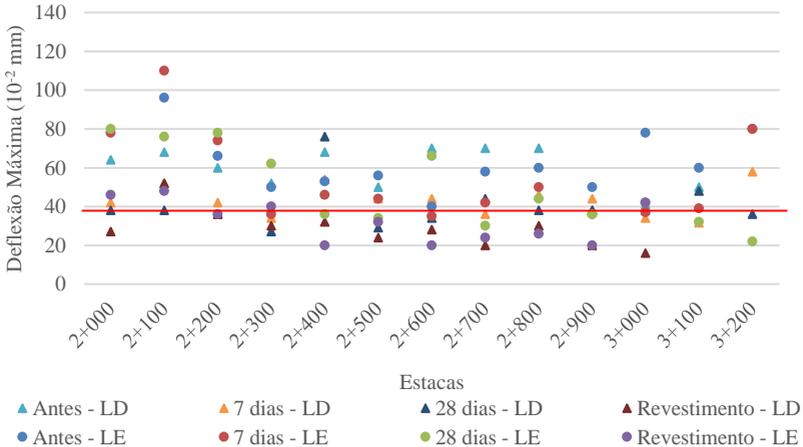
Figura 134: Variação do módulo do revestimento e base reciclada ao longo do tempo



O revestimento apresentou valores em torno de 3.000 MPa nos três segmentos. Já a camada de base reciclada apresentou módulos, em torno de 1.500 MPa no segmento 2, sendo que nos segmentos 1 e 3 os valores ficaram inferiores a 1.000 MPa.

A Figura 135 apresenta as deflexões máximas obtidas em campo nas diversas idades de levantamento no segmento 1. A linha vermelha representa a deflexão admissível de projeto, medida sobre a camada de revestimento.

Figura 135: Deflexões segmento 1



As deflexões encontradas no segmento 1 aos 28 dias apresentaram-se, na maioria, abaixo do limite adotado no dimensionamento das camadas, de forma a ser considerado aceitável para a estrutura projetada. Os valores das deflexões encontradas aos 28 dias variaram de 20 a 50 x 10⁻² mm.

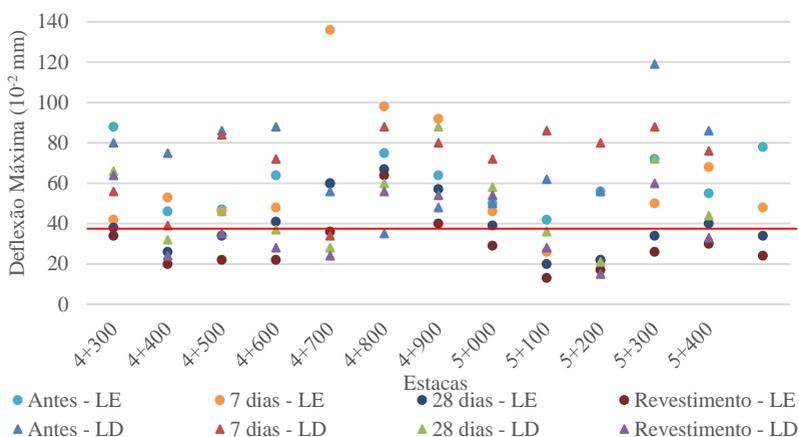
Vale salientar que a estrutura adquiriu rigidez ao longo do tempo, reduzindo os valores de deflexão, visto que a ação do tráfego produz maior compactação e rearranjo da estrutura, além das reações químicas que ocorrem na mistura reciclada, devido as características do aglomerante.

Entre as estacas 2+000 e 2+200 LE as deflexões encontradas foram maiores que a máxima projetada, até mesmo aos 28 dias, estes valores podem estar atrelados a localização, encontrando-se em corte além da grande quantidade de chuvas que teve neste período. Verificou-se que após a execução da camada de revestimento as deflexões reduziram.

Observou-se uma boa homogeneidade das leituras obtidas ao longo do segmento, em função do lado da pista analisado e em relação a idade de cura. Sendo que no lado direito obteve-se valores inferiores ao lado esquerdo, para todas as idades, apresentando assim melhores condições estruturais.

A Figura 136 apresenta os resultados obtidos nos levantamentos efetuados no segmento 2.

Figura 136: Deflexões segmento 2



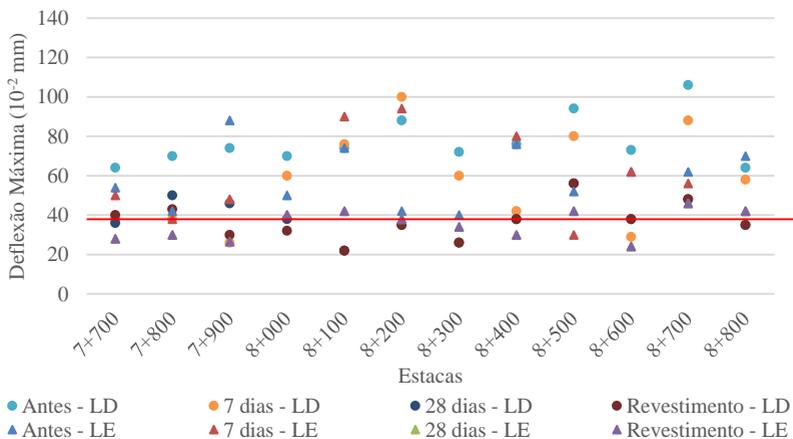
É possível identificar na Figura 136 a localização onde foi necessário executar um remendo profundo em função da baixa capacidade estrutural das camadas de suporte e da camada reciclada. Neste ponto (4+700 LE) foram retiradas todas as camadas e executado remendo profundo. Porém a camada de base não recebeu cimento, ficando como camada flexível de brita graduada.

O segmento 2 resultou em deflexões aos 7 dias maiores que o 1, uma das causas prováveis pode ser decorrente das condições da camada de subleito e sub-base, com características estruturais inferiores ao do segmento 1.

Entre as estacas 4+800 e 5+000 a reciclagem foi executada duas vezes, uma durante a calibração dos equipamentos e outra durante a execução do segmento, na segunda vez também houve adição de cimento.

A Figura 137 apresenta os resultados obtidos no levantamento deflectométrico no segmento 3 nas diferentes idades de cura.

Figura 137: Deflexões segmento 3



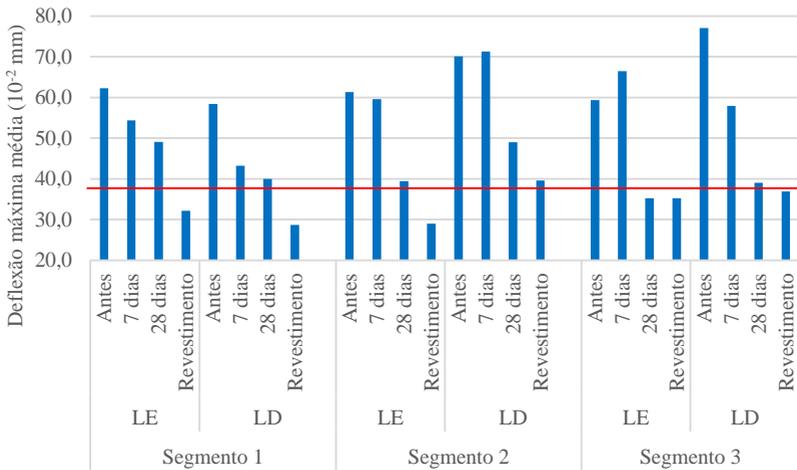
O segmento 3 foi o que apresentou maior deficiência estrutural ao longo das idades de cura, sendo necessária a execução de remendos profundos em cinco locais, os quais podem ser identificados na Figura 135. No lado esquerdo foram dois locais (triângulo vermelho) e no lado direito mais três (círculo laranja).

Após a intervenção com remendo profundo e nova reciclagem com adição de cimento, a estrutura se comportou igualmente ao restante do segmento. Vale salientar que as medidas de deflexão aos 28 dias de

cura e após o revestimento foram quase idênticas, em função de já estar pronto o revestimento aos 28 dias de cura.

A Figura 138 faz um resumo das deflexões máximas ao longo do segmento, considerando a média entre as 12 leituras por lado de cada segmento. Apresentam-se os valores separados por lado de levantamento, por segmento acompanhado e por idade de cura da camada reciclada. A linha vermelha representa a deflexão admissível de projeto.

Figura 138: Variação da deflexão ao longo do tempo



O segmento 1 apresentou comportamento típico, onde as deflexões reduzem com o passar do tempo, tanto em função da obtenção de resistência da camada reciclada, quanto da ação do tráfego sobre a pista, melhorando a acomodação da estrutura, e a eficiência dos dispositivos de drenagem que foram executados, tanto transversalmente quanto longitudinalmente.

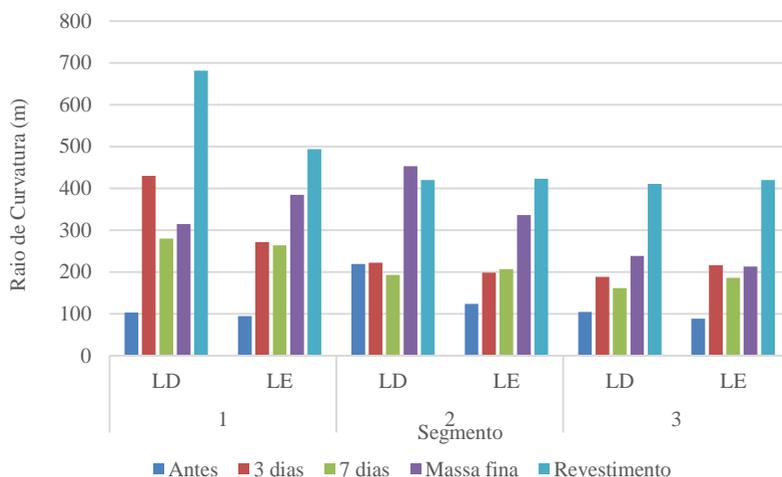
Para melhor visualização das condições estruturais das camadas do pavimento. A Tabela 47 apresenta um resumo dos raios de curvatura calculados através do levantamento deflectométrico.

Tabela 47: Raio de curvatura (m)

Segmento	Lado	Antes	3 dias	7 dias	Massa fina	Revestimento
1	LD	102,77	430,13	279,58	314,70	681,82
	LE	94,39	271,64	264,07	384,76	493,84
2	LD	218,84	222,39	192,80	452,79	419,67
	LE	123,39	198,29	206,98	335,65	422,96
3	LD	104,34	188,45	161,36	237,94	410,62
	LE	88,15	216,07	185,66	213,01	419,65

A Figura 139 apresenta de forma gráfica os valores de raio de curvatura, separados por segmento e por tempo de levantamento após a reciclagem da camada.

Figura 139: Raio de curvatura calculado através do levantamento deflectométrico



O segmento 1 apresentou melhor distribuição das tensões, com maior raio de curvatura. As melhores condições iniciais do segmento 1 pode estar ligada a melhores características dos materiais do subleito, sendo composto por fragmentos de rocha, além de umidade inferior às outras camadas.

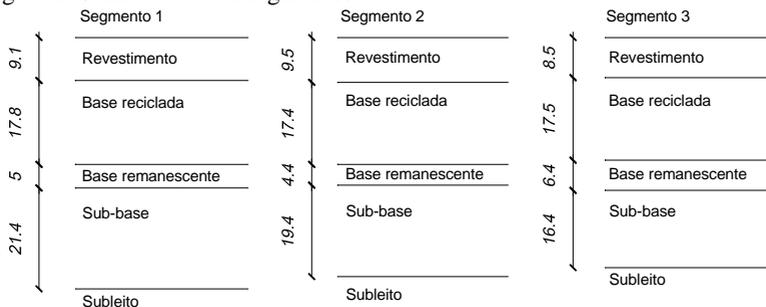
4.2.5.3 Estimativa da vida útil do pavimento

Com os valores obtidos nas retroanálises das bacias de deflexão, efetuou-se uma análise mecanicista da estrutura do pavimento após a reciclagem, com o objetivo de estimar a vida útil da estrutura. Para tal

análise tomou-se como principal parâmetro avaliado a tensão de tração na face inferior da camada reciclada, pelo fato do revestimento apresentar níveis de deformação à tração muito baixos. As simulações foram conduzidas empregando-se o software Elsym5®, com carregamento do eixo padrão de 82 kN e pressão de contato dos pneus igual a 0,56 MPa.

A Figura 140 apresenta a estrutura final do pavimento restaurado de cada segmento que foi utilizada para estimar a vida útil do mesmo.

Figura 140: Estrutura dos segmentos



O tráfego previsto para o período de projeto é de $9,98 \times 10^6$ segundo o método USACE. Assim, de acordo com os resultados obtidos em campo e com as análises efetuadas e modelo obtido por Trichês (1993), é de se esperar que a intervenção executada para a restauração da rodovia atenderá ao tráfego projetado para o período de 10 anos.

Os modelos utilizados foram:

1 – Modelo de fadiga para materiais reciclados, desenvolvido nesta pesquisa:

$$N = 21,961 \cdot SR^{-18,887}$$

onde:

N: Número de ciclos de aplicação de carga (equivalente ao eixo de 8,2 ton para fator campo laboratório igual a 1);

SR: Tensão de tração na face inferior da camada cimentada/resistência à tração na flexão da camada reciclada.

2 – Modelo de fadiga para Concreto Compactado a Rolo, desenvolvido por Trichês em 1993:

$$N = 10^{(14,961 - 15,014 SR)}$$

onde:

N - Número de ciclos de carregamento para a ruptura;

SR - Tensão de tração na face inferior da camada cimentada/resistência à tração na flexão da camada cimentada.

A Tabela 48 apresenta os coeficientes de Poisson, módulos e espessuras utilizados para a verificação da vida útil do pavimento reciclado utilizando os valores de módulo encontrados na retroanálise das bacias de deflexão.

Tabela 48: Características da estrutura final com módulos retroanalizados

Segmento		1		2		3	
Camada	Coef. Poisson	Esp. cm	Mód. MPa	Esp. cm	Mód. MPa	Esp. cm	Mód. MPa
Revestimento	0,27	9,1	3096	9,5	2760	8,5	2896
Base reciclada	0,20	17,8	871	17,4	1462	17,5	866
Base remanescente	0,35	5,0	140	4,4	156	6,4	120
Sub-base	0,45	21,4	148	19,4	130	16,4	100
Subleito	0,45		142		132		120

Para o Segmento 1:

- Revestimento com espessura média de 9,1 cm, módulo de 3095,5 MPa e coeficiente de Poisson de 0,27. Nesta camada está contida uma camada de massa fina acima de 3 cm e de CAUQ acima de 5 cm, considerando mesmo módulo resiliente e mesmo coeficiente de Poisson;
- Base reciclada, com espessura média de 17,8 cm e módulo resiliente de 871 MPa, para um coeficiente de Poisson de 0,20;
- Base remanescente com espessura média de 5,0 cm, módulo resiliente de 140,5 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35;
- Sub-base apresentou em média 21,4 cm de espessura, para um módulo resiliente de 147,5 MPa e coeficiente de Poisson de 0,45;
- Subleito com módulo médio de 142,5 MPa e coeficiente de Poisson de 0,45.

Para as condições apresentadas e considerando-se os valores médios dos módulos retroanalizados, a tensão de tração obtida na face inferior da camada reciclada é de 0,165 MPa e a deflexão máxima da estrutura de $28,3 \times 10^{-2}$ mm.

Considerando-se que a resistência à tração aos 28 dias da camada reciclada (campo) é de 0,38 MPa, a relação SR é igual a 0,43. Desta forma, a vida útil estimada para o pavimento reciclado será de $1,81 \times 10^8$ solicitações do eixo de 82 kN. Considerando-se a resistência à tração aos 28 dias da camada reciclada (laboratório) de 0,48 MPa, a relação SR é igual a 0,34, e estima-se que a vida útil seja em $1,26 \times 10^{10}$ solicitações do eixo padrão.

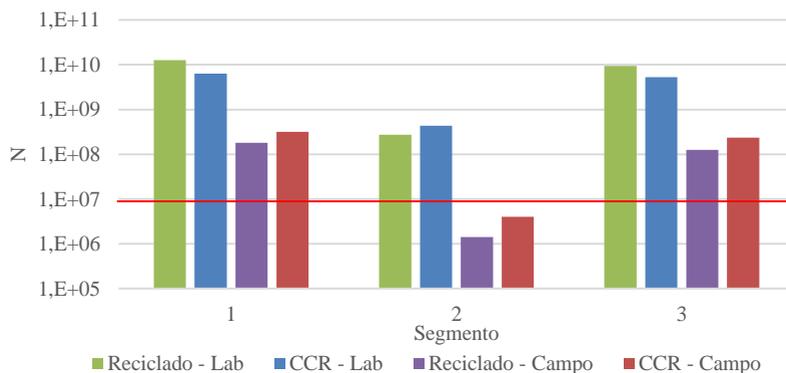
Da mesma forma que o segmento 1, para o segmento 2 e 3 foi estimada a vida útil da estrutura restaurada. A Tabela 49 apresenta os resultados obtidos para os três segmentos.

Tabela 49: Estimativa da vida útil (retroanálise)

Modelo	Reciclado			CCR		
Segmento	1	2	3	1	2	3
Tensão de tração (MPa)	0,17	0,24	0,20	0,17	0,24	0,20
Def. calculada (10^{-2} mm)	28,30	27,10	33,40	28,30	27,10	33,40
Deflexão campo (10^{-2} mm)	30,80	33,50	37,00	30,80	33,50	37,00
Campo						
RTCD (MPa)	0,38	0,43	0,45	0,38	0,43	0,45
SR	0,43	0,56	0,44	0,43	0,56	0,44
N	1,8E+08	1,4E+06	1,2E+08	3,2E+08	4,0E+06	2,4E+08
Laboratório						
RTCD (MPa)	0,48	0,57	0,57	0,48	0,57	0,57
SR	0,34	0,42	0,35	0,34	0,42	0,35
N	1,3E+10	2,7E+08	9,4E+09	6,3E+09	4,4E+08	5,2E+09

Para melhor visualização dos resultados apresenta-se a Figura 141.

Figura 141: Estimativa da vida útil do pavimento reciclado – Módulo retroanálise



Levando-se em consideração os valores de RTCD obtidos em campo, o segmento 2 não atenderiam o tráfego previsto nos 10 anos considerados em projeto. Porém se esta avaliação for em relação a valores de RTCD em laboratório, todos os segmentos atenderiam ao tráfego projetado.

A Tabela 50 apresenta os coeficientes de Poisson, módulos e espessuras utilizados para a verificação da vida útil do pavimento reciclado utilizando os valores de módulo da mistura asfáltica e da camada reciclada encontrados nos ensaios de laboratório.

Tabela 50: Características da estrutura final com módulos ensaiados

Segmento		1		2		3	
Camada	Coef. Poisson	Esp. cm	Mód. MPa	Esp. cm	Mód. MPa	Esp. cm	Mód. MPa
Revestimento	0,27	9,1	4104	9,5	4459	8,5	3297
Base reciclada	0,20	17,8	801	17,4	1385	17,5	1144
Base remanescente	0,35	5,0	140	4,4	156	6,4	120
Sub-base	0,45	21,4	148	19,4	130	16,4	100
Subleito	0,45		142		132		120

Adotou-se os mesmos valores de coeficiente de Poisson e espessura para todas as camadas, mantiveram-se os valores de módulo das camadas de subleito, sub-base e base remanescente. Para as camadas de base reciclada e revestimento asfáltico utilizaram-se os valores obtidos em ensaio.

A Tabela 51 apresenta os resultados da estimativa da vida útil da estrutura do pavimento, obtidos através do modelo de fadiga de mistura reciclada e o modelo obtido por Trichês (1993) para CCR.

Tabela 51: Estimativa da vida útil (ensaio)

Modelo	Reciclado			CCR			
	Segmento	1	2	3	1	2	3
Tensão de tração (MPa)		0,15	0,22	0,23	0,15	0,22	0,23
Def. calculada (10^{-2} mm)		27,80	25,50	31,00	27,80	25,50	31,00
Deflexão campo (10^{-2} mm)		30,80	33,50	37,00	30,80	33,50	37,00
		Campo					
RTCD (MPa)		0,38	0,43	0,45	0,38	0,43	0,45
SR		0,39	0,50	0,51	0,39	0,50	0,51
N		1E+09	9E+06	6E+06	1E+09	3E+07	2E+07

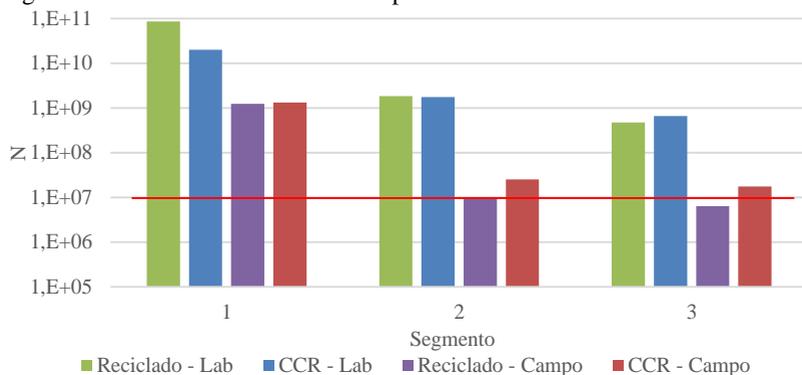
Continua

Continuação

RTCD (MPa)	Laboratório					
	0,48	0,57	0,57	0,48	0,57	0,57
SR	0,31	0,38	0,41	0,31	0,38	0,41
N	9E+10	2E+09	5E+08	2E+10	2E+09	7E+08

A Figura 142, apresenta a estimativa da vida útil da estrutura com do pavimento.

Figura 142: Estimativa da vida útil do pavimento reciclado – módulos ensaiados



Todas as estruturas apresentaram vida útil superior ao estipulado em projeto para 10 anos. Apenas a simulação com o método de fadiga para misturas recicladas adotando RTCD de campo, resultou em valor abaixo do previsto em projeto.

Pela falta de modelos de fadiga relacionados a camadas recicladas, muitos dos projetos executados eram baseados em modelo obtido para Concreto Compactado a Rolo.

A comprovação do modelo de fadiga obtido nesta pesquisa, se dará ao longo dos anos de utilização da via, a qual pretende-se acompanhar o desempenho da mesma no decorrer da vida de serviço da mesma.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

A partir do acompanhamento do processo executivo e dos ensaios realizados tanto em campo quanto em laboratório, é possível chegar a algumas conclusões referentes ao comportamento e desempenho da estrutura do pavimento reciclado.

A grande variabilidade das condições das camadas estruturais do pavimento, dificultaram a escolha de segmentos considerados homogêneos. Tanto em relação as espessuras das camadas, as características das mesmas e ao relevo.

Verificou-se diferença das características das camadas do pavimento entre cada segmento monitorado, através da abertura de trincheiras. O segmento 1 apresentou melhores condições estruturais do subleito, com valores de CBR chegando a 14% e umidades em torno de 8%, aproximadamente 22% abaixo dos outros dois segmentos. Visualizou-se a grande quantidade de materiais oriundos do bombeamento de finos da camada de suporte (subleito), presente nas camadas superiores de base e sub-base, podendo reduzir assim o desempenho dessas e da nova camada reciclada executada.

A caracterização adequada dos materiais a serem utilizados na camada reciclada, garantem um projeto coerente em obra. A grande variabilidade das espessuras e características das camadas do pavimento, prejudicaram a simulação exata das condições de campo, sendo necessários ajustes ao longo da execução da via, além de reformulações no projeto.

Os principais ensaios executados em campo para o controle da execução da camada reciclada, visam avaliar a resistência à compressão simples e a resistência à tração por compressão diametral. Aos 7 dias de cura da mistura reciclada chegou-se a atingir 81% da resistência à compressão simples obtida aos 28 dias, da mesma forma para a resistência à tração por compressão diametral em torno de 79%. Visto a dificuldade de moldagem de número elevado de corpos de prova, uma ferramenta importante para os projetistas avaliarem o desempenho da camada ao longo da vida, é a projeção da resistência obtida aos 7 dias de cura, estimando-se a resistência aos 28, encontrando-se nesta pesquisa correlações satisfatórias para o material estudado. Através dos ensaios de campo obteve-se uma boa relação entre a RCS e a RTCD, sendo que a RTCD representou em média 0,19 da RCS para o segmento 1; 0,12 para o segmento 2 e 0,11 para o segmento 3.

Ao longo da execução dos segmentos monitorados, ficou visível a diferença no comportamento das camadas, visto que apresentaram granulometrias diferentes, quantidade de revestimento diferenciado para cada segmento, massa específica aparente seca máxima variadas, umidades ótimas de compactação variando dia a dia.

É visível o acréscimo na RCS e na RTCD com o aumento do teor de cimento adicionado e com o passar do tempo. As maiores resistências à compressão simples foram obtidas no segmento 3, atingindo o mínimo especificado em projeto (2,1 MPa) aos 7 dias de cura, com 2% de cimento. Os segmentos 1 e 2 não atingiram o mínimo com os teores utilizados para a dosagem. Para a RTCD de todos os segmentos atingiram 0,25 MPa com 2% de cimento aos 7 dias de cura. Para a RTCD houve acréscimo mais acentuado de resistência entre os 3 e 7 dias de cura. O aumento do teor de cimento e o decorrer do tempo de cura, proporcionaram a mistura reciclada o aumento da resistência à compressão simples e a resistência à tração por compressão diametral.

Através dos resultados de módulo resiliente verifica-se a grande influência do tempo de cura e do teor de cimento aplicado na mistura. Da mesma forma com o aumento do tempo de cura, sendo que ao passar de 3% para 4% de cimento obtém-se valores mais acentuados, maior rigidez da camada. Sendo que o segmento 1 chegou a valores de 800 MPa aos 28 dias de cura, enquanto o segmento 2, próximo a 1300 MPa e o segmento 3 atingiu 1100 MPa (apesar de ser executado com 3% de cimento e os outros dois segmentos com 2,7%).

Ao avaliar os módulos elásticos tangentes e secantes, obtidos através do ensaio de resistência à compressão simples, ficou comprovado o aumento do módulo com o aumento da resistência, apresentando maiores acréscimos para as resistências mais elevadas.

O modelo de fadiga encontrado nesta pesquisa apresentou comportamento semelhante ao utilizado para estimar a vida útil de estruturas recicladas. O modelo até então utilizado era baseado em misturas de concreto compactado a rolo. Porém a resistência à fadiga do material reciclado é menor que a do CCR. A comprovação deste modelo se dará ao longo da vida útil da estrutura, com o acompanhamento da evolução e desempenho da camada.

O processo executivo da camada de revestimento, composto por duas camadas, foi efetuado de forma coerente com o recomendado. O ensaio de módulo resiliente da mistura asfáltica apresentaram valores semelhantes para os segmentos 1 e 2 (4300 MPa) e valores mais baixos para o segmento 3 (3300 MPa), além de apresentarem boa correlação com a resistência à tração da mistura. Valores os quais foram utilizados

na regressão das bacias de deflexão e na estimativa da vida útil do pavimento restaurado.

A mistura asfáltica comportou-se bem à deformação permanente, apresentando valores inferiores a 10%. Para o segmento 1 atingiu 8%, para o segmento 2 alcançou 4,3% e o segmento 3, com menor deformação entre os três segmentos, com 3,7%. Verificou-se no ensaio de dano por umidade induzida, a baixa adesividade da mistura asfáltica.

A mistura asfáltica apresentou valores de volume de vazios abaixo de 4%, representando grau de compactação superiores a 100%. Esses valores podem levar ao aparecimento de patologias no revestimento, principalmente a exsudação.

Com as bacias deflectométricas obtidas em campo, nas diferentes idades de cura, foi possível avaliar as condições estruturais do pavimento antes da intervenção, após a reciclagem e acompanhar o desempenho da mesma até 28 dias após a reciclagem e após a execução do revestimento. Os valores de módulo obtidos com a retroanálise, para as camadas de revestimento e base, foram semelhantes aos encontrados nos ensaios de laboratório, comprovando assim a eficiência dos levantamentos deflectométricos utilizados a anos, na estimativa e controle construtivos de camadas do pavimento.

A estimativa da vida útil do pavimento, foi avaliada pelo modelo de fadiga até então utilizado (CCR) e pelo modelo desenvolvido nesta pesquisa, específico para misturas recicladas com cimento. Levando-se em consideração os valores de resistência à tração obtidos nos ensaios com materiais misturados em campo apenas o segmento 2 não atenderá ao tráfego previsto durante o período de projeto. Ao considerar os valores de resistência à tração de laboratório, todos os segmentos atenderão ao tráfego previsto para esta rodovia, chegando a N em torno de 10^{10} para RTCD de laboratório e 10^8 para RTCD de campo, enquanto o projeto prevê 10^7 eixos padrões.

5.2 COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

O controle adequado durante a construção/restauração das rodovias, torna a estrutura mais durável e segura. O conhecimento do comportamento dos materiais utilizados nas camadas, torna a escolha e o dimensionamento mais preciso e coerente com a realidade da obra. Com o intuito de melhorar o entendimento no comportamento das camadas recicladas com cimento, este estudo buscou relacionar e qualificar os serviços e desempenho dos materiais utilizados.

Em complemento aos resultados aqui obtidos sugere-se:

- Avaliar o desempenho da estrutura monitorada, ao longo do tempo, através de levantamentos deflectométricos e extração de testemunhos, de forma a determinar o fator campo-laboratório da estrutura reciclada;
- Desenvolver modelos de fadiga com diferentes teores de cimento e diferentes proporções de camada asfáltica na mistura, de forma a avaliar a influência desse parâmetro no desempenho da camada;
- Avaliar a resistência à tração na flexão de misturas recicladas;
- Efetuar a extração de testemunhos em campo de forma a avaliar o real comportamento e homogeneidade da mistura, ao receber as ações impostas pelo tráfego.

REFERÊNCIAS

1. ABASCAL, J.. **Reciclado de firmes in situ con cemento**. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, Madrid, 2013.
2. ARANHA, A. L. **Avaliação laboratorial e em campo da tecnologia de reciclagem de base com cimento para a reabilitação de pavimentos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013 127p.
3. ARRA – Asphalt Recycling and Reclaiming Association. **Basic Asphalt Recycling Manual**. Annapolis/ EUA, 2001.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604: **Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento**. Rio de Janeiro, Brasil, 1986.
5. _____ NBR 12142: **Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
6. _____ NBR 15114: **Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
7. _____ NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
8. _____ NBR 15617: **Misturas asfálticas — Determinação do dano por umidade induzida**. Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
9. ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **98-254-1. Eddais relatifs aux chaussées: déformation permanente des mélanges hydrocarbonés – partie 1: Essai d’orniérage**. 1993.
10. AZEREDO, M.; CARDOSO, M. **Reciclagem a quente em central betuminosa**. II Jornadas técnicas de pavimentação rodoviários. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2003.

11. BALBO J.T. **Britas graduadas tratadas com cimento: uma avaliação de sua durabilidade sob o enfoque de porosidade, tenacidade e fratura.** Transportes. 2006.
12. BALBO J.T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de textos. 2007.
13. BATISTA, F. A. **Misturas betuminosas densas a frio.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.
14. BERNUCCI, L. B. [et al.]. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** – Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008. 504 f.
15. BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, . P. **Pavimentos Rodoviários.** Coimbra, Portugal: Almedina, 2008. 388p.
16. BROWN, A. V. **Cement stabilization of aggregate base material blend with reclaimed asphalt pavement.** Department of civil and environmental engineering, Brigham Young University. 2006.
17. CNT, **Pesquisa CNT de rodovias 2013: relatório gerencial.** Brasília, 2013.
18. COOLEY, D. A. **Effects of reclaimed asphalt pavement on mechanical properties of base materials.** Tese submetida ao Department of Civil and Environmental Engineering, Brigham Young University, 2005.
19. CUNHA. C. M. **Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem,** 2010.
20. DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA. DEINFRA – SC – ES – P – 09. **Reciclagem profunda de pavimento com adição de cimento Portland.** Florianópolis, Brasil, 2012.
21. ____ DEINFRA – SC – ES – P – 05B. **Camadas de mistura asfálticas usinadas a quente com Borracha.** Florianópolis, Brasil, 2005.

22. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT TER 005. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – terminologia**. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

23.____ DNIT PRO 008. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento**. Rio de Janeiro, Brasil, 2003

24.____ DNER PRO 010. **Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Volume I**. Rio de Janeiro, Brasil, 1979.

25.____ DNER PRO 011. **Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Volume I Procedimento B**. Rio de Janeiro, Brasil, 1979.

26.____ DNER ME 024. **Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelan**. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

27.____ DNER ME 035. **Agregado – Determinação da abrasão “Lis Angeles”**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

28.____ DNER ME 053. **Misturas betuminosas – porcentagem de betume**. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

29.____ DNER 054 ME. **Equivalente de areia**. Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

30.____ DNER 080 ME. **Solos – Análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

31.____ DNER 092 ME. **Solo – determinação da massa específica aparente “*in situ*”, com emprego do frasco de areia**. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

32.____ DNER 134 ME. **Solos – determinação do módulo resiliente**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

33.____ DNER 133 ME. **Misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência**. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

34. ____DNIT 136 ME. **Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
35. ____DNER 181 ME. **Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – Determinação da resistência à tração por compressão diametral.** Rio de Janeiro, Brasil, 1994.
36. ____DNER 201 ME. **Solo-cimento – Compressão axial de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, Brasil, 1994.
37. ____DNER 303 ES. **Pavimentação – base estabilizada granulometricamente.** Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
38. ENAMORADO, M. A. **Estudo comparativo entre o método mecânico e o método físico-químico para dosagem de solo-cimento.** Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 1990.
39. FONTES, L. P. T. L. **Contribuição à investigação geotécnica de vias urbanas não pavimentadas através do emprego do penetrômetro dinâmico de cone.** Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis. 2001.
40. FRANCO, V. **Reconstrução Parcial de Pavimentos com Reaproveitamento dos Matérias Existentes na Pista. Estudo de Caso BR 376/PR.** Ribeirão Preto, 2009. 142 p.
41. FREIRE, A. C. **Agregados para misturas betuminosas.** Faculdade de Ciência e tecnologia da Universidade Nova Lisboa, Caparica, 2004.
42. FRESAR Tecnologia de Pavimentos Ltda. **Manual de reciclagem de pavimentos.** Belo horizonte, Brasil, 2009.
43. GUTHRIE W.S., SEBESTA S., SCULLION, T. **Selecting Optimum Cement Contents for stabilizing Aggregate Base Materials.** Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas, 2002.
44. JOFRÉ, C. **La técnica del reciclado de firmas com cemento.** Anais... 1º Simpósio internacional sobre estabilización de Explanadas y Reciclado in situ de Firmas Com Cemento. Espanha, 2001.

45. JOFRÉ, C.; KRAEMER, C.; MINGUELA, J. D. **Manual de Firmes Reciclados In Situ conCemento**. IECA – Instituto Espanhol Del Cemento Y Sus Aplicaciones. España, 1999.
46. KANDHALL, M. et al. **Foamed Bitumen Stabilisation**. In: Southern Region Symposium, Department of Transportation, Washington, DC 1999.
47. KANDHALL, P.S.; MALLICK, R.B. **Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Publications No FHWA-SA-98-042, FHWA, US**. Department of Transportation, Washington, DC 1997
48. LIMA, A.T. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transporte, Universidade Federal do Ceará – Fortaleza CE, 2003. 99 f.
49. LUIS, A. D. **Utilização do equipamento tipo Falling Weight Deflectometer para a medição de deflexão recuperável para diferentes tipos de pavimentos asfálticos**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.
50. LOUNDON A. A. & PARTNERS CONSULTING ENGINEERS. **Deep In Place Recycling with Foamed Bitumen**. Kloof, África do Sul, 1998.
51. LUHR, D. R.; ADASKA, W. S.; HALSTED, G. E. **Guide to Full Depth Reclamation (FDR) With Cement**. EB 234, PCA - Portland Cement Association. Illinois/EUA, 2005.
52. Luis, A. D. **Utilização do equipamento tipo Falling Weight Deflectometer para medição de deflexão recuperável para diferentes tipos de pavimentos asfálticos**. Campinas, São Paulo, 2009.
53. MACÊDO, F. N. **Retroanálise de bacias de deflexão reais e teóricas obtidas por métodos estáticos e dinâmicos**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2003.

54. MALLICK, R. B, BONNER, D. S, BRADBURY, R. L., ANDREWS, J. O., KANDHAL, P. S., KEARNEY, E. J. **Evaluation of performance of Full-Depth Reclamation Mixes.** Transportation Research Record, v. 1809. 2002.
55. MARTINHO, F. PICADO-SANTOS, L. G. PAIS, J.C. **Reciclagem de pavimentos rodoviários – seleção do processo construtivo.** 3º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, Novembro 2004.
56. MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M, **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª ed. São Paulo. 2008.
57. MERIGHI, J.V., FORTES, R.M. **Some aspects resistance's effect in the flexible pavements recycled with cement Portland.** International Symposium on pavement recycling. 2005.
58. MILLER, H.J., GUTHRIE, W.S., CRANE, R.A., SMITH, B. **Evaluation of cement-stabilized full-depth-recycled base materials for frost and early traffic conditions.** 2009.
59. MOREIRA, J. P. M. V. **Contribuição para a Reutilização de Material Fresado em Camadas Estruturais de Pavimentos.** Lisboa/Portugal 1998.
60. NÓBREGA, E. S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos.** Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
61. OLIVEIRA, P. C. A. **Contribuição ao Estudo da Técnica de Reciclagem Profunda na Recuperação de Pavimentos Flexíveis.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 2003.
62. OLIVEIRA, P. C. A. **Controles construtivos utilizados em obras de reciclagem profunda.** Pavisian, 2007.
63. OLIVEIRA, P. C. A. **Critérios e parâmetros de projeto utilizados em obras de reciclagem com adição de brita e cimento.** Tecnopav, 2011

64. PRITHVI S. K., RAJIB B. M.. **Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book**. Washington, DC, 1997.
65. PICADO-SANTOS, L.; BRANCO, F.; PEREIRA, P. **Pavimentos rodoviários**. Almedina, Coimbra, 2008.
66. PRESTES, M. P. **Métodos de Avaliação Visual de Pavimentos Flexíveis: Um estudo comparativo**. Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
67. SACHET, t. GONÇALVES, f p. **Reciclagem in situ de bases granulares de pavimentos asfálticos**. Artigo. UPF – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, Brasil, 2008.
68. SANTOS, A.G.B. **Bases Granulares de agregados reciclados**. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro. Departamento de engenharia civil. 2009.
69. SILVA, C. A. R.; MIRANDA Jr, J. **Reciclagem de Camada Betuminosa como Sub-Base estabilizada com Cimento na BR 381/MG**. Relatório Técnico, 1998.
70. SIMM JUNIOR, G. P.. **Estudo do comportamento de estruturas de pavimento com materiais alternativos visando a redução dos custos de pavimentação no estado de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Civil, Florianópolis, 2007.
71. SOTEP. **Projeto de rrestauração da SC 355 – Jaborá / Concórdia**, 2011.
72. SOUZA, F.S.V. **Avaliação do desempenho de pavimentos restaurados por meio de técnicas de reciclagem de materiais de pavimentação**. Dissertação de Mestrado. UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Brasil, 2009.
73. SOUZA, M. J. **Patologias em pavimentos flexíveis**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2004.

74. SUZUKI, C.Y. **Contribuição ao estudo de pavimentos rodoviários com estrutura invertida (sub-base cimentada)**. Tese de doutorado, escola Politécnica da USP, São Paulo. 1992.
75. TRICHÊS. G. **Concreto compactado a rolo para a aplicação em pavimentação: estudo do comportamento na fadiga e proposição de metodologia de dimensionamento**. ITA, São José dos Campos, SP, 1993.
76. TRICHÊS. G. **Desempenho da reciclagem com adição de cimento da rodovia SC 303, trecho BR 282 - Capinzal (SC)**. UFSC, Florianópolis, 2013.
77. VIEIRA, J.P. **Interação Cimento Superplastificante: Avaliação da estabilidade do comportamento**. Dissertação de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2010.
78. WIRTGEN Group. **Manual de reciclagem a frio**. 2^a ed. Windhagen/ Alemanha, 2004.
79. WIRTGEN GROUP. **Wirtgen Road Construction Manual - Internal Training Brochure for sales Managers and service Engineers**. Windhagen/Alemanha, 2002.
80. WIRTGEN Group. **Wirtgen Cold Recycling Technology**. 1^a ed. Windhagen/ Alemanha, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DAS PATOLOGIAS

Segmento 1 – Bordo Esquerdo





Segmento 1 – Bordo Esquerdo





Segmento 2 – Bordo Esquerdo





Bordo Direito





Segmento 3 – Bordo Esquerdo



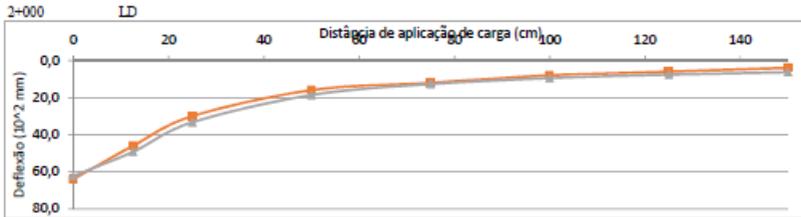


Bordo Direito



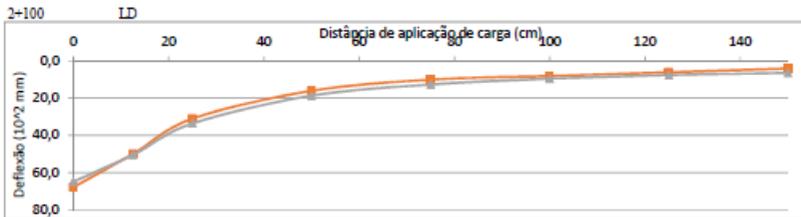


APÊNDICE B - RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFLEXÃO - ANTES DA INTERVENÇÃO



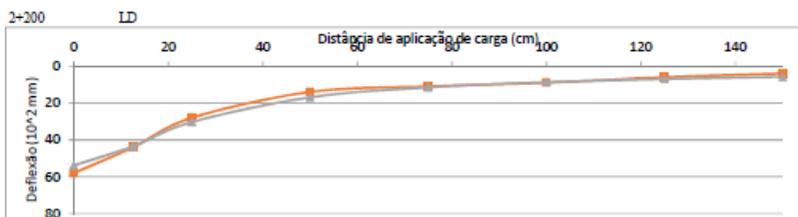
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	64,0	46,0	30,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	62,3	49,2	33,3	18,6	12,7	9,51	7,59	6,31
ϵ (%)	2,7%	7,0%	11,0%	16,3%	5,8%	18,9%	26,5%	57,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6,5	2000
Base BG	19,5	150
Sub-base	16,5	120
Subleito		110



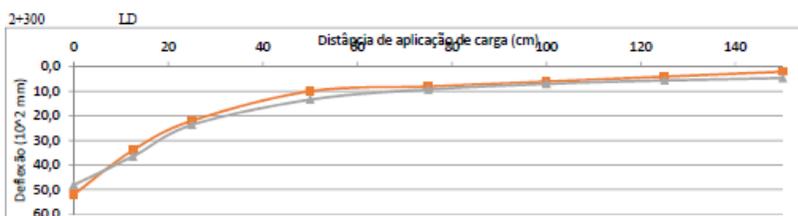
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	68,0	50,0	31,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	64,9	50,5	33,6	18,6	12,6	9,43	7,53	6,28
ϵ (%)	4,6%	1,0%	8,4%	16,3%	26,0%	17,9%	25,5%	57,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6	1900
Base BG	17	160
Sub-base	19	110
Subleito		110



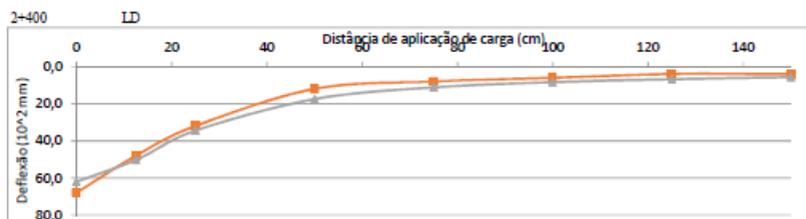
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	58	44	28	14	11	9	6	4
Def. Calculada	54	44	30	17	12	9	7	6
ε (%)	7,1%	1,1%	8,2%	20,7%	4,5%	3,2%	16,0%	44,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1900
Base BG	12,5	150
Sub-base	23,5	150
Subleito		120



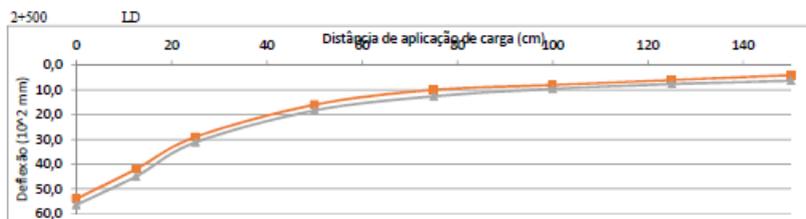
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	52,0	34,0	22,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	48,1	36,5	23,7	13,4	9,24	6,98	5,57	4,63
ε (%)	7,5%	7,4%	7,7%	34,0%	15,5%	16,3%	39,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6,8	1600
Base BG	13,2	200
Sub-base	22,8	190
Subleito		150



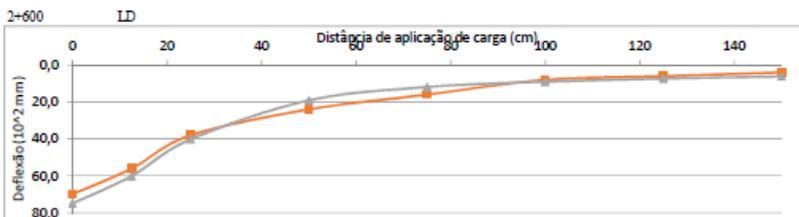
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	68,0	48,0	32,0	12,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	62,1	50,3	34,5	17,5	11,2	8,41	6,78	5,69
ϵ (%)	8,7%	4,8%	7,8%	45,8%	40,0%	40,2%	69,5%	42,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	1700
Base BG	13,5	110
Sub-base	22,5	100
Subleito		120



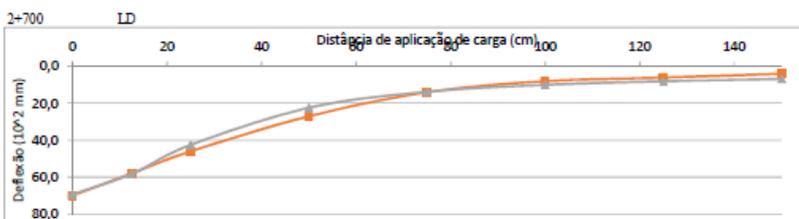
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	42,0	29,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	56,4	45	31,2	18,3	12,6	9,55	7,62	6,33
ϵ (%)	4,4%	7,1%	7,6%	14,4%	26,0%	19,4%	27,0%	58,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6	2400
Base BG	10	220
Sub-base	26	150
Subleito		110



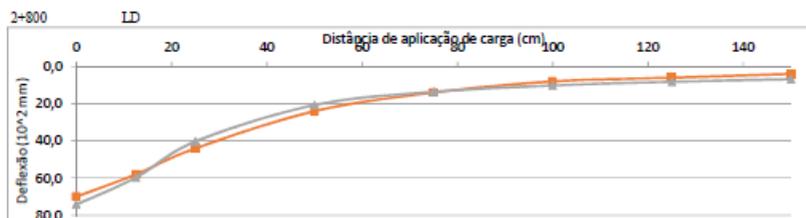
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	56,0	38,0	24,0	16,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	75	60,1	40,2	19,1	11,9	9,01	7,33	6,18
ϵ (%)	7,1%	7,3%	5,8%	20,4%	25,6%	12,6%	22,2%	54,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	1400
Base BG	12,5	80
Sub-base	23,5	80
Subleito		110



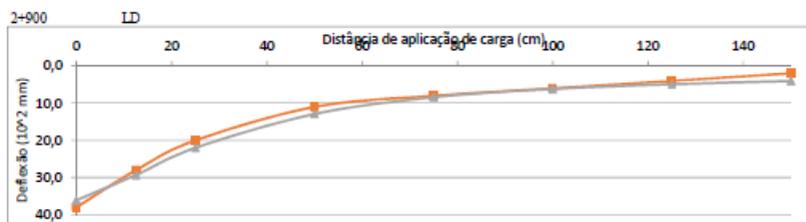
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	58,0	46,0	27,0	14,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	69,3	58,2	42,5	22,4	13,7	9,98	8,03	6,77
ϵ (%)	1,0%	0,3%	7,6%	17,0%	2,1%	24,8%	33,8%	69,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10	1600
Base BG	13,5	90
Sub-base	22,5	70
Subleito		100



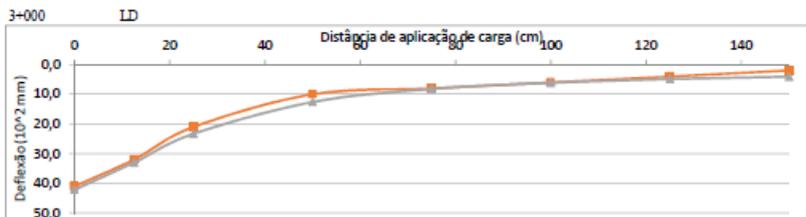
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	58,0	44,0	34,0	24,0	14,0	8,0	4,0
Def. Calculada	74,2	59,7	40,3	20,7	13,6	10,2	8,2	6,86
ϵ (%)	6,0%	2,9%	8,4%	13,8%	2,9%	27,5%	36,7%	71,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	2000
Base BG	16,5	100
Sub-base	19,5	90
Subleito		100



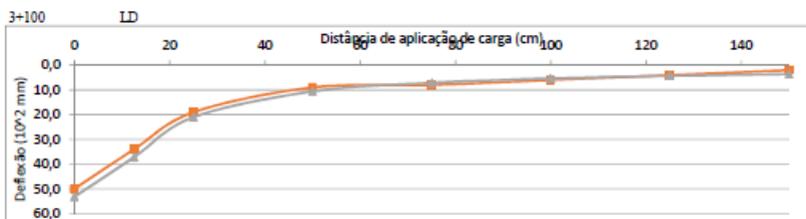
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	28,0	20,0	11,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	36,1	29,3	22	12,9	8,41	6,16	4,88	4,06
ϵ (%)	5,0%	4,6%	10,0%	17,3%	5,1%	2,7%	22,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	15,5	1300
Base BG	13,5	160
Sub-base	21,5	170
Subleito		170



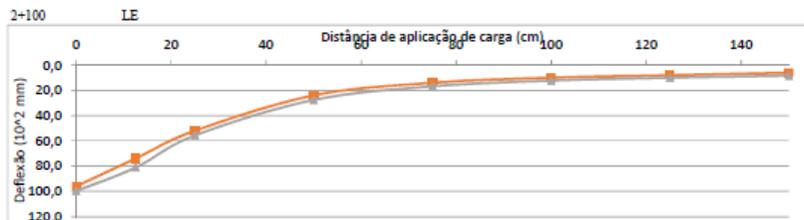
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	41,0	32,0	21,0	10,0	8,0	6,0	4,0	3,0
Def. Calculada	42,1	33	23,3	12,6	8,2	6,11	4,88	4,07
ϵ (%)	2,7%	3,1%	11,0%	26,0%	2,5%	1,8%	22,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	14	1000
Base BG	16	130
Sub-base	19	190
Subleito		170



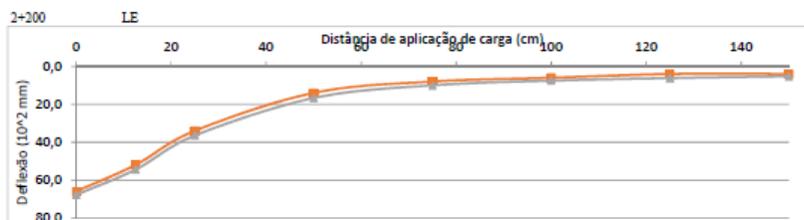
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	50,0	34,0	19,0	9,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	53,2	37,2	21	10,6	7,12	5,38	4,32	3,62
ϵ (%)	6,4%	9,4%	10,5%	17,8%	11,0%	10,3%	8,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	5	1800
Base BG	22	170
Sub-base	13	150
Subleito		190



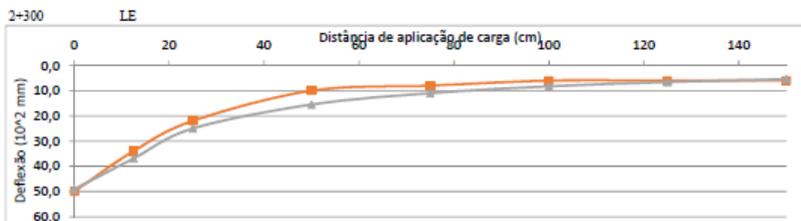
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	96,0	74,0	52,0	24,0	14,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	99,8	81,2	55,7	27,6	16,8	12,3	9,93	8,41
ϵ (%)	4,0%	9,7%	7,1%	15,0%	20,0%	23,0%	24,1%	40,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	1600
Base BG	17	90
Sub-base	19	40
Subleito		80



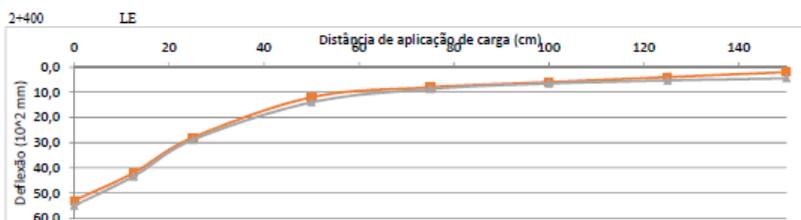
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	66,0	52,0	34,0	14,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	67,8	54,5	36,5	16,7	10	7,55	6,18	5,22
ϵ (%)	2,7%	4,8%	7,4%	19,3%	25,0%	25,8%	54,5%	30,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,5	1400
Base BG	14,5	70
Sub-base	21,5	90
Subleito		130



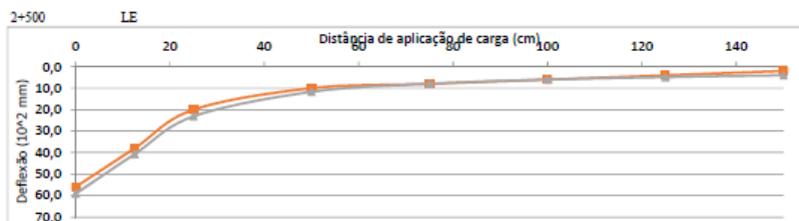
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	50,0	34,0	22,0	10,0	8,0	6,0	6,0	6,0
Def. Calculada	49,1	36,9	25	15,5	11	8,28	6,57	5,43
ϵ (%)	1,8%	8,5%	13,6%	55,0%	37,5%	38,0%	9,5%	9,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6	1400
Base BG	20	250
Sub-base	16	220
Subleito		130



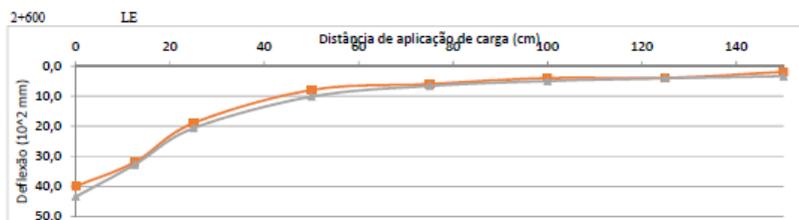
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	53,0	42,0	28,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	55	43,4	28,9	14	8,73	6,55	5,34	4,51
ϵ (%)	3,8%	3,3%	3,2%	16,7%	9,1%	9,2%	33,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	1400
Base BG	10	150
Sub-base	26	100
Subleito		150



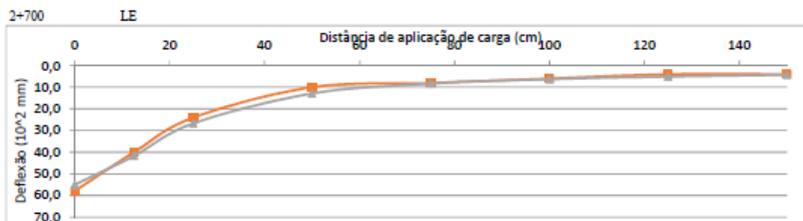
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	38,0	20,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	59,1	40,7	23,1	11,7	7,93	6,02	4,83	4,04
ϵ (%)	5,5%	7,1%	15,5%	17,0%	0,9%	0,3%	20,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	800
Base BG	15	140
Sub-base	21	160
Subleito		170



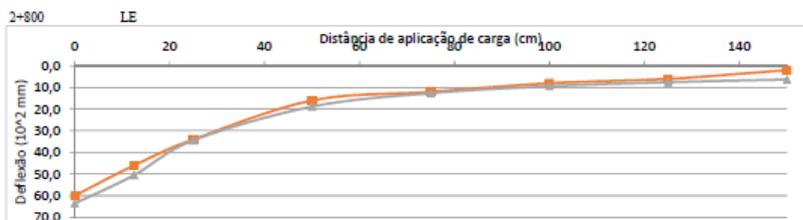
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	32,0	19,0	8,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	43,5	32,8	20,7	10,2	6,64	5,03	4,06	3,41
ϵ (%)	8,7%	2,5%	8,9%	27,5%	10,7%	25,8%	1,5%	70,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	1400
Base BG	11,5	180
Sub-base	24,5	160
Subleito		200



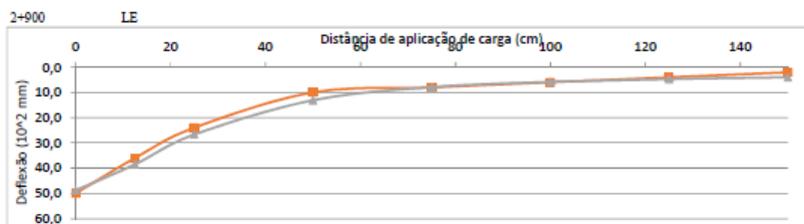
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	58,0	40,0	24,0	10,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	55,1	41,7	26,7	12,9	8,3	6,26	5,06	4,26
ϵ (%)	5,0%	4,3%	11,3%	29,0%	3,8%	4,3%	26,5%	6,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,5	1000
Base BG	13,5	130
Sub-base	22,5	120
Subleito		160



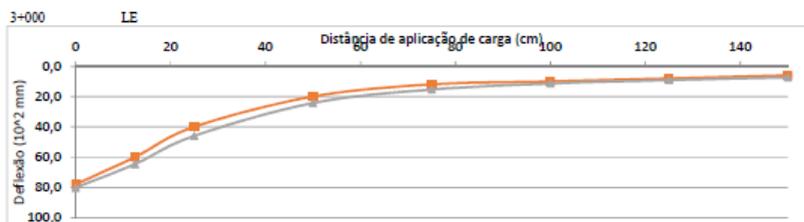
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	46,0	34,0	16,0	12,0	8,0	6,0	2,0
Def. Calculada	63,6	50,5	34,4	18,8	12,6	9,41	7,53	6,27
ϵ (%)	6,0%	9,8%	1,2%	17,5%	5,0%	17,6%	25,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7,5	1600
Base BG	16,5	140
Sub-base	19,5	110
Subleito		110



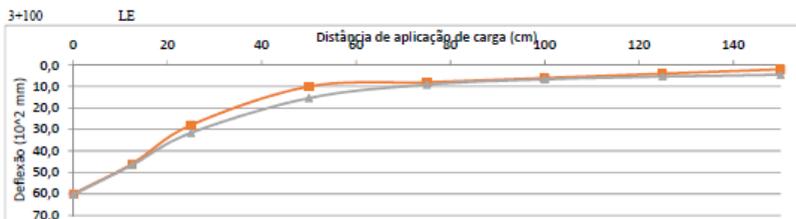
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	50,0	36,0	24,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	48,8	38,5	26,7	13,1	7,91	5,85	4,74	4
ϵ (%)	2,4%	6,9%	11,3%	31,0%	1,1%	2,5%	18,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	14	1000
Base BG	8	60
Sub-base	27	140
Subleito		170



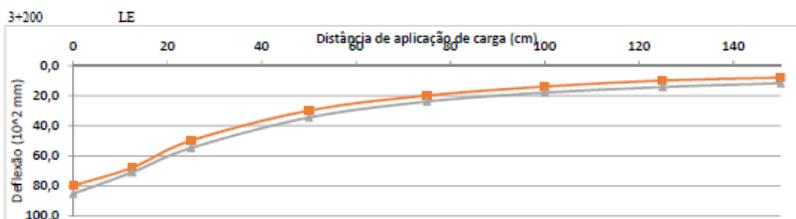
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	78,0	60,0	40,0	20,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	80,2	64,6	46	24,3	15,4	11,4	9,13	7,4
ϵ (%)	2,8%	7,7%	15,0%	21,5%	28,3%	14,0%	14,1%	23,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	13	700
Base BG	15	60
Sub-base	20	90
Subleito		90



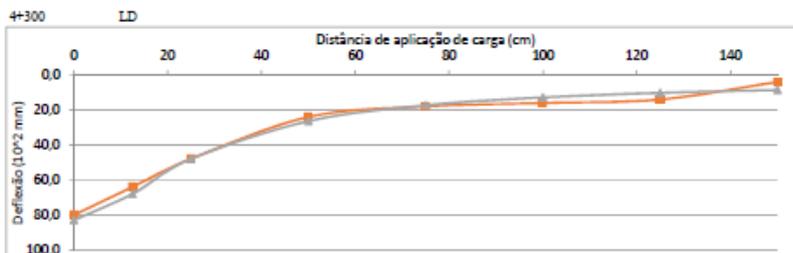
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	46,0	28,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	60,4	46,6	31,6	15,4	9,14	6,66	5,36	4,53
ϵ (%)	0,7%	1,3%	12,9%	54,0%	14,3%	11,0%	34,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	13,5	700
Base BG	23	90
Sub-base	12	90
Subleito		150



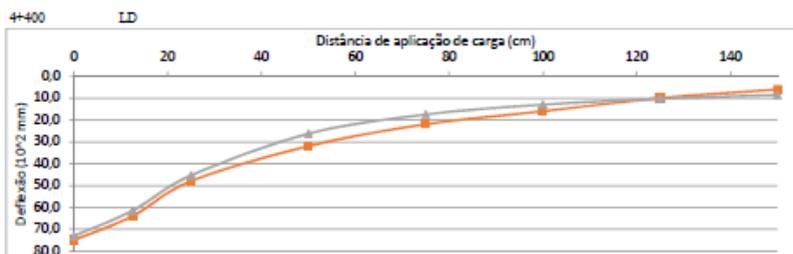
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	80,0	68,0	50,0	30,0	20,0	14,0	10,0	8,0
Def. Calculada	85,4	71,1	54,9	34,6	24	18,1	14,3	11,8
ϵ (%)	6,8%	4,6%	9,8%	15,3%	20,0%	29,3%	43,0%	47,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	13,5	700
Base BG	23	90
Sub-base	12	90
Subleito		60



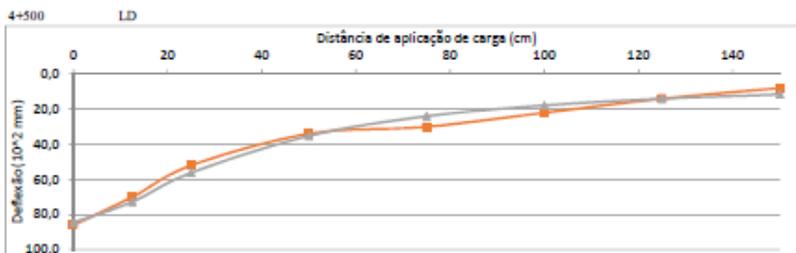
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	80,0	64,0	48,0	24,0	18,0	16,0	14,0	4,0
Def. Calculada	83	68	47,9	26,4	17,3	12,8	10,2	8,55
E (%)	3,8%	6,3%	0,2%	10,0%	3,9%	20,0%	27,1%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6	2400
Base BG	16	140
Sub-base	16	60
Subleito		80



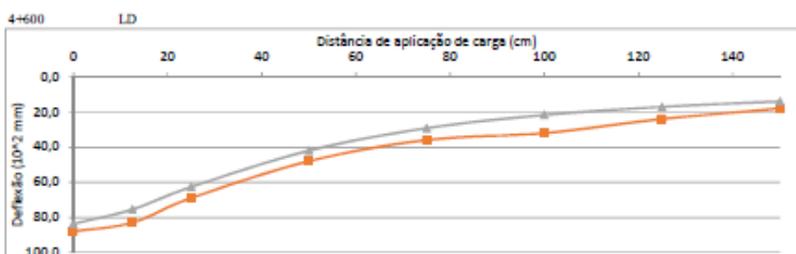
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	75,0	64,0	48,0	32,0	22,0	16,0	10,0	6,0
Def. Calculada	73,1	61,5	45,4	26,3	17,5	13	10,3	8,6
E (%)	2,5%	3,9%	5,4%	17,8%	20,7%	18,8%	3,0%	43,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	2400
Base BG	12	180
Sub-base	20	80
Subleito		80



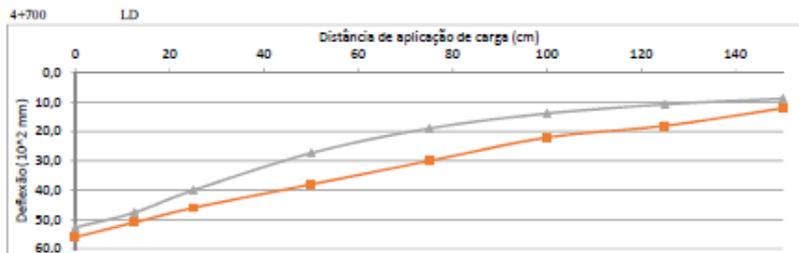
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	86,0	70,0	52,0	34,0	30,0	22,0	14,0	8,0
Def. Calculada	84,6	72,7	56,2	35,2	24	17,8	14	11,6
E (%)	1,6%	3,9%	8,1%	3,5%	20,0%	19,1%	0,0%	45,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7,5	2000
Base BG	16,5	170
Sub-base	15,5	60
Subleito		60



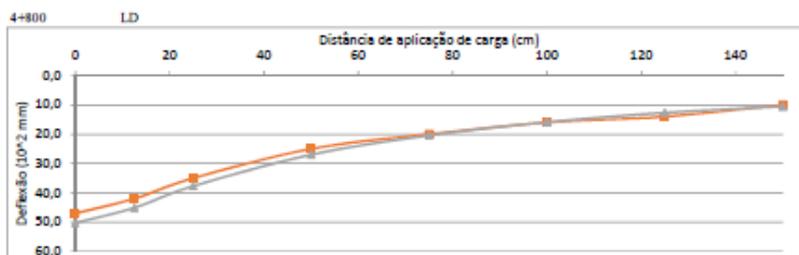
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	83,0	69,0	48,0	36,0	32,0	24,0	18,0
Def. Calculada	83,7	75,5	62,7	42	29,2	21,7	17,1	14
E (%)	4,9%	9,0%	9,1%	12,5%	18,9%	32,2%	28,8%	22,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10	2400
Base BG	9	180
Sub-base	23	70
Subleito		50



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	51,0	46,0	38,0	30,0	22,0	18,0	12,0
Def. Calculada	52,7	47,6	40	27,3	18,9	13,8	10,7	8,72
E (%)	5,9%	6,7%	13,0%	28,2%	37,0%	37,3%	40,6%	27,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	12	2800
Base BG	15	250
Sub-base	17	60
Subleito		80

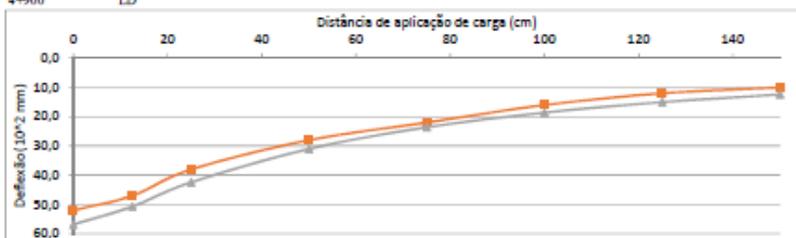


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	47,0	42,0	35,0	25,0	20,0	16,0	14,0	10,0
Def. Calculada	50,3	45,1	37,7	27	20,4	15,9	12,7	10,5
E (%)	7,0%	7,4%	7,7%	8,0%	2,0%	0,6%	9,3%	5,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	5000
Base BG	12	300
Sub-base	20	250
Subleito		70

4+900

LD

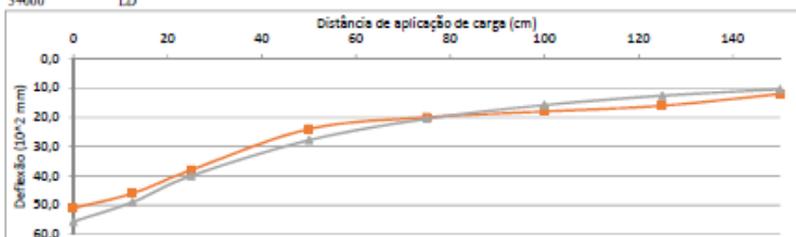


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	52,0	47,0	38,0	28,0	22,0	16,0	12,0	10,0
Def. Calculada	56,8	50,7	42,4	31	23,6	18,6	15	12,4
E (%)	9,2%	7,9%	11,6%	10,7%	7,3%	16,3%	25,0%	24,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	3700
Base BG	11,3	300
Sub-base	20,7	250
Subleito		60

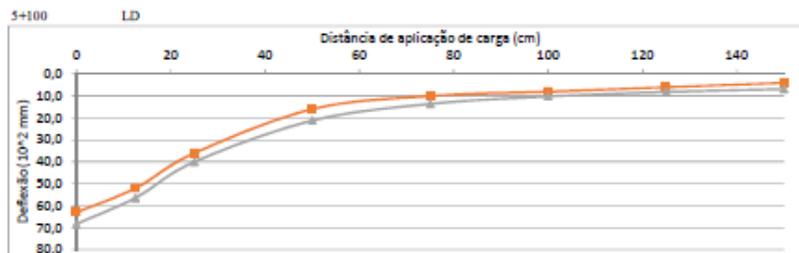
5+000

LD



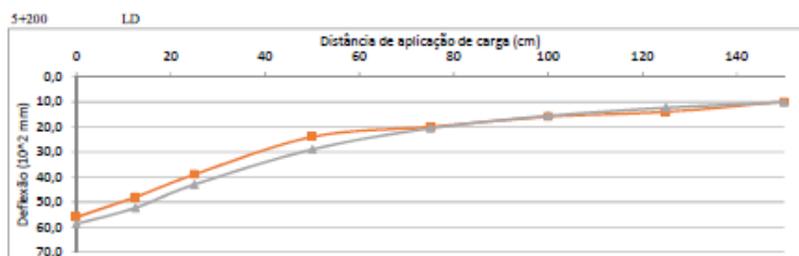
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	51,0	46,0	38,0	24,0	20,0	18,0	16,0	12,0
Def. Calculada	55,6	49	40	27,8	20,5	15,8	12,6	10,4
E (%)	9,0%	6,5%	5,3%	15,8%	2,5%	12,2%	21,3%	13,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	2800
Base BG	16	240
Sub-base	16	190
Subleito		70



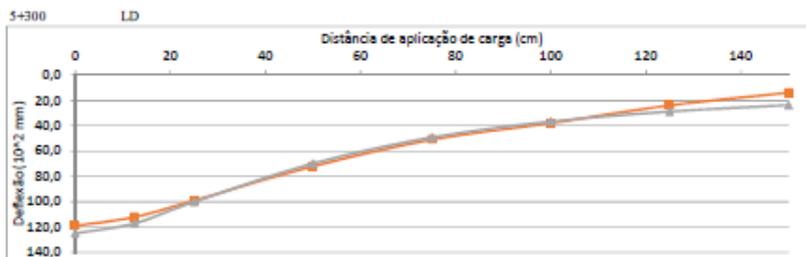
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	63,0	52,0	36,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	68,3	56,4	40	21,2	13,6	10,2	8,16	6,84
ε (%)	8,4%	8,5%	11,1%	32,5%	36,0%	27,5%	36,0%	71,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	2000
Base BG	14	120
Sub-base	18	80
Subleito		100



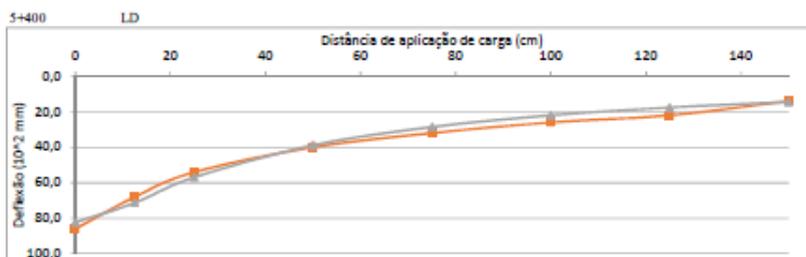
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	48,0	39,0	24,0	20,0	16,0	14,0	10,0
Def. Calculada	58,7	52,3	43	29	20,6	15,6	12,4	10,2
ε (%)	4,8%	9,0%	10,3%	20,8%	3,0%	2,5%	11,4%	2,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10	2900
Base BG	12	200
Sub-base	23	120
Subleito		70



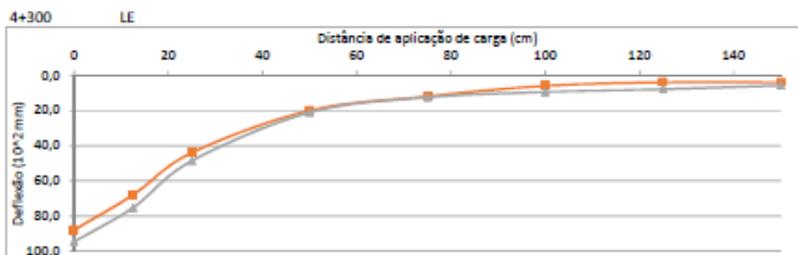
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	119,0	112,0	99,0	72,0	51,0	38,0	24,0	14,0
Def. Calculada	125	117	100	69,8	49,3	36,7	28,9	23,7
E (%)	5,0%	4,5%	1,0%	3,1%	3,3%	3,4%	20,4%	69,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	4000
Base BG	13	50
Sub-base	22	50
Subleito		30



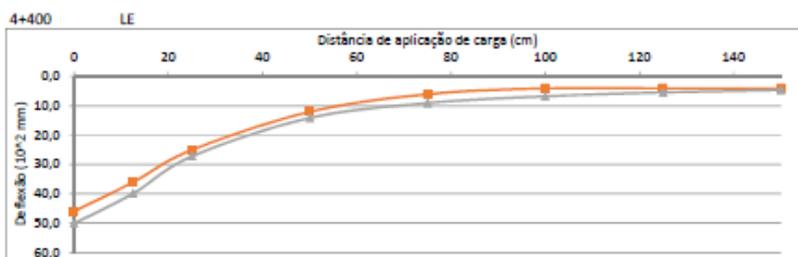
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	86,0	68,0	54,0	40,0	32,0	26,0	22,0	14,0
Def. Calculada	82,3	71,3	56,9	38,9	28,6	22	17,6	14,5
E (%)	4,3%	4,9%	5,4%	2,8%	10,6%	15,4%	20,0%	3,6%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1800
Base BG	14	180
Sub-base	21	120
Subleito		50



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	68,0	44,0	20,0	12,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	94,6	75,3	48,6	21,1	12,5	9,49	7,9	5,75
ϵ (%)	7,5%	10,7%	10,5%	5,5%	4,2%	58,2%	97,5%	43,8%

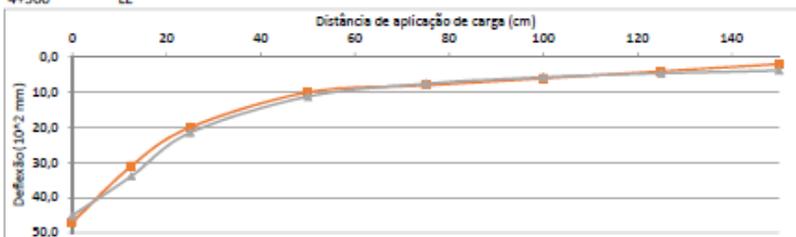
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6,5	1800
Base BG	13,5	90
Sub-base	18,5	40
Subleito		100



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	36,0	25,0	12,0	6,0	4,0	4,0	4,0
Def. Calculada	50,1	39,9	27,2	14,1	9	6,7	5,4	4,54
ϵ (%)	8,9%	10,8%	8,8%	17,5%	50,0%	67,5%	35,0%	13,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1800
Base BG	14	200
Sub-base	18	100
Subleito		150

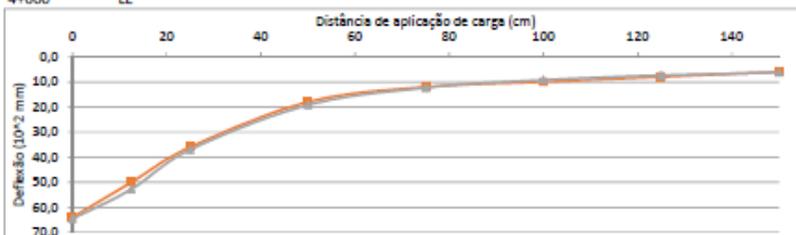
4+500 LE



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	47,0	31,0	20,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	45,1	33,9	21,5	11,2	7,55	5,71	4,58	3,82
ϵ (%)	4,0%	9,4%	7,5%	12,0%	5,6%	4,8%	14,5%	-

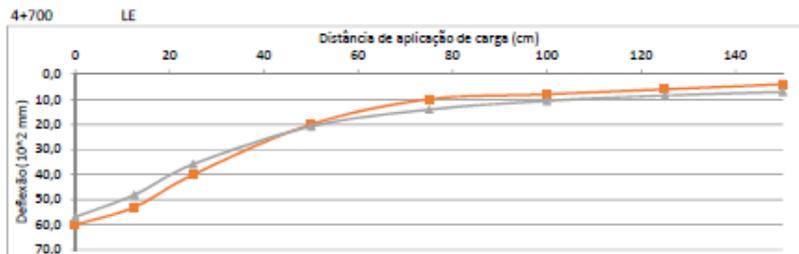
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1400
Base BG	13	180
Sub-base	19	180
Subleito		180

4+600 LE



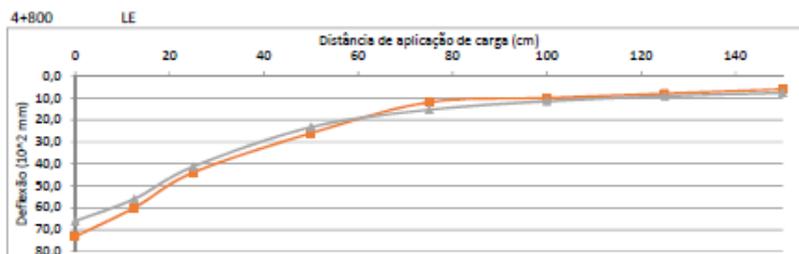
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	64,0	50,0	36,0	18,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	64,6	52,8	37	19,2	12,3	9,18	7,4	6,21
ϵ (%)	0,9%	5,6%	2,8%	6,7%	2,5%	8,2%	7,5%	3,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	1600
Base BG	12	110
Sub-base	20	90
Subleito		110



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	53,0	40,0	20,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	56,9	48,1	35,9	20,8	14,1	10,6	8,5	7,05
ϵ (%)	5,2%	9,2%	10,3%	4,0%	41,0%	32,5%	41,7%	76,3%

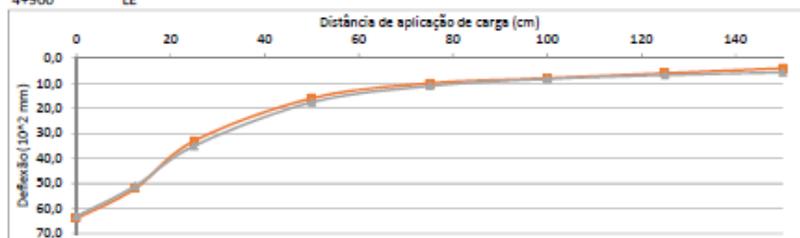
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	11	1800
Base BG	11	60
Sub-base	21	250
Subleito		100



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	73,0	60,0	44,0	26,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	66,1	56	41,3	23,3	15,4	11,5	9,2	7,66
ϵ (%)	9,5%	6,7%	6,1%	10,4%	28,3%	15,0%	15,0%	27,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	2600
Base BG	12	120
Sub-base	20	100
Subleito		90

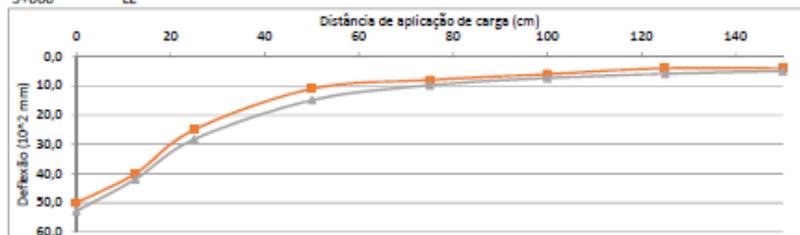
4+900 LE



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	64,0	52,0	33,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	63,1	51	35	17,6	11,1	8,29	6,72	5,67
ϵ (%)	1,4%	1,9%	6,1%	10,0%	11,0%	3,6%	12,0%	41,8%

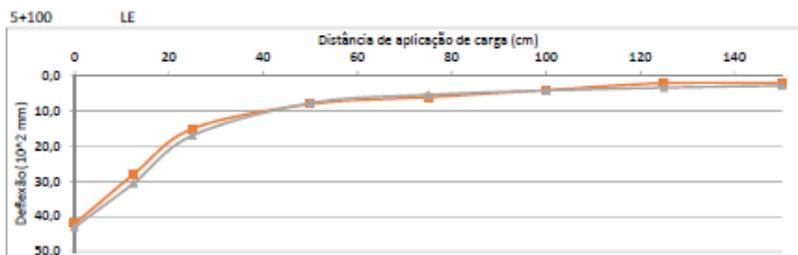
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1800
Base BG	12	140
Sub-base	20	80
Subleito		120

5+000 LE



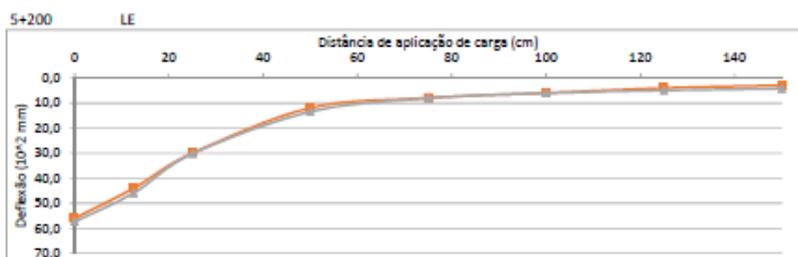
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	50,0	40,0	25,0	11,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	52,8	41,9	28,3	14,9	9,81	7,35	5,89	4,92
ϵ (%)	5,6%	4,7%	13,2%	35,5%	22,6%	22,5%	47,3%	23,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1800
Base BG	19	150
Sub-base	13	120
Subleito		140



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	28,0	15,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	43	30,5	16,9	7,67	5,32	4,08	3,28	2,74
ε (%)	2,4%	8,9%	12,7%	4,1%	11,3%	2,0%	64,0%	37,0%

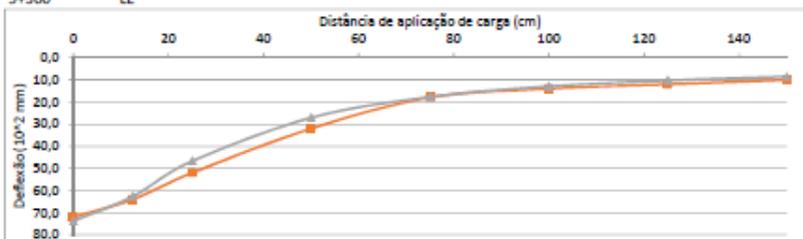
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1400
Base BG	11	110
Sub-base	21	250
Subleito		250



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	44,0	30,0	12,0	8,0	6,0	4,0	3,0
Def. Calculada	57,3	45,9	30,2	13,5	8,09	6,09	5	4,23
ε (%)	2,3%	4,3%	0,7%	12,5%	1,1%	1,5%	25,0%	41,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	2200
Base BG	18	100
Sub-base	17	90
Subleito		160

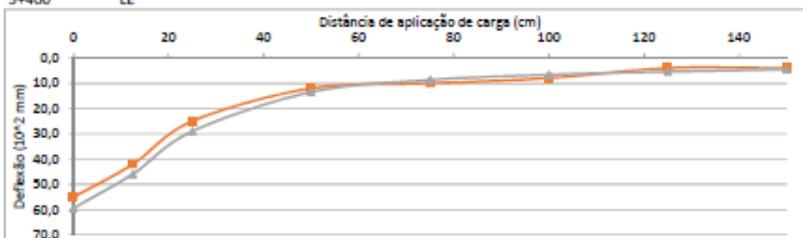
5+300 LE



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	72,0	64,0	52,0	32,0	18,0	14,0	12,0	10,0
Def. Calculada	73,8	62,6	46,7	27,1	17,7	12,9	10,3	8,54
ϵ (%)	2,5%	2,2%	10,2%	15,3%	1,7%	7,9%	14,2%	14,6%

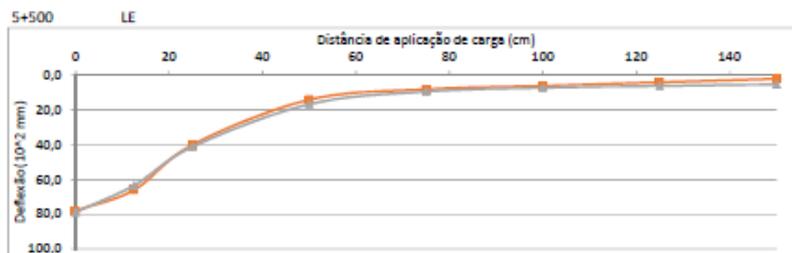
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	2600
Base BG	16	170
Sub-base	19	60
Subleito		80

5+400 LE



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	55,0	42,0	25,0	12,0	10,0	8,0	4,0	4,0
Def. Calculada	59,4	45,9	29	13,5	8,71	6,64	5,39	4,54
ϵ (%)	8,0%	9,3%	16,0%	12,5%	12,9%	17,0%	34,8%	13,5%

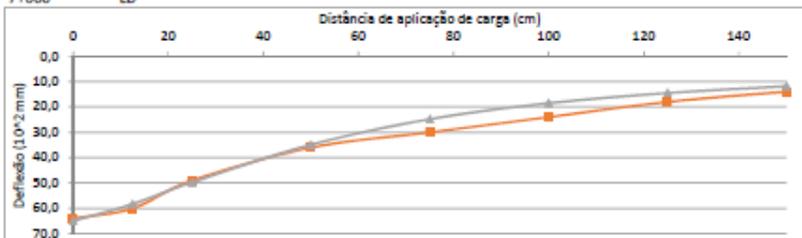
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1500
Base BG	12	110
Sub-base	23	110
Subleito		150



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	78,0	66,0	40,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	78,9	63,4	41,1	16,6	9,3	7,16	6,04	5,18
ϵ (%)	1,2%	3,9%	2,8%	18,6%	16,3%	19,3%	51,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1800
Base B/G	12	60
Sub-base	23	60
Subleito		130

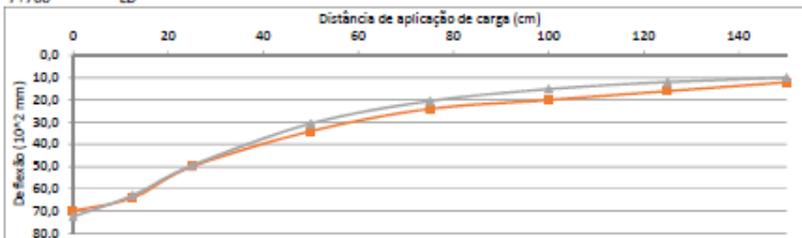
7+600 LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	64,0	60,0	49,0	36,0	30,0	24,0	18,0	14,0
Def. Calculada	64,9	58,3	49,7	34,9	24,8	18,5	14,5	11,8
ϵ (%)	1,4%	2,8%	1,4%	3,1%	17,3%	22,9%	19,4%	15,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	16	1600
Base BG	8	110
Sub-base	26	80
Subleito		60

7+700 LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	64,0	50,0	34,0	24,0	20,0	16,0	12,0
Def. Calculada	72,5	63	49,5	30,6	20,5	15,1	11,9	9,91
ϵ (%)	3,6%	1,6%	1,0%	10,0%	14,6%	24,5%	25,6%	17,4%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	11	1600
Base BG	11	120
Sub-base	23	80
Subleito		70

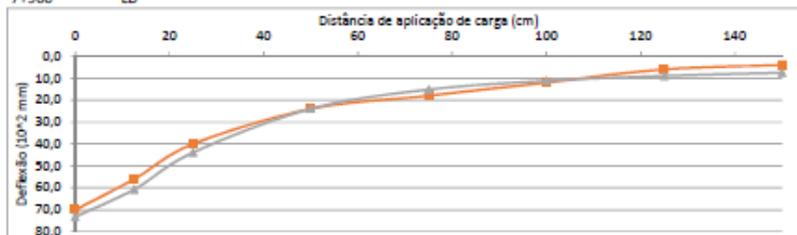
7+800 LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	74,0	64,0	42,0	26,0	18,0	14,0	14,0	8,0
Def. Calculada	79,1	63,8	44,6	25,6	17,5	13,1	10,5	8,68
ϵ (%)	6,9%	0,3%	6,2%	1,5%	2,8%	6,4%	25,0%	8,5%

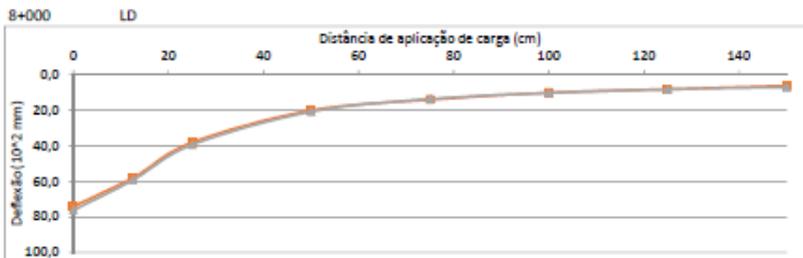
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	1600
Base BG	15	120
Sub-base	14	110
Subleito		80

7+900 LD



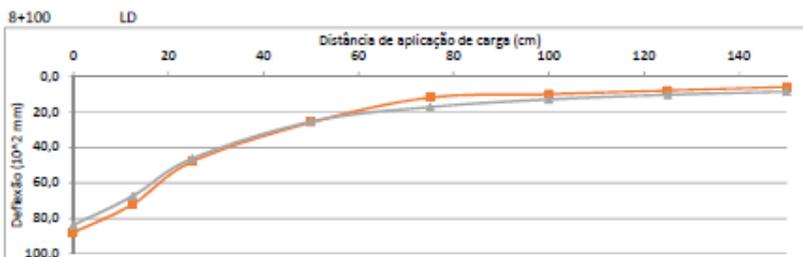
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	56,0	40,0	24,0	18,0	12,0	6,0	4,0
Def. Calculada	73,2	60,7	43,9	23,9	15,2	11,2	8,99	7,56
ϵ (%)	4,6%	8,4%	9,7%	0,4%	15,6%	6,7%	49,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1600
Base BG	11	190
Sub-base	18	60
Subleito		90



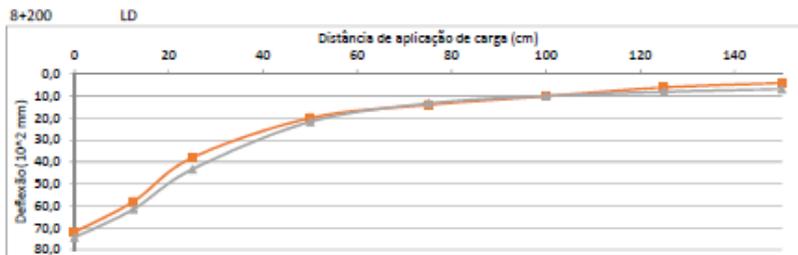
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	74,0	58,0	38,0	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	76,2	59,2	39,3	20,7	13,6	10,2	8,2	6,86
ϵ (%)	3,0%	2,1%	3,4%	3,5%	2,9%	2,0%	2,5%	14,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1000
Base BG	15	120
Sub-base	14	80
Subleito		100



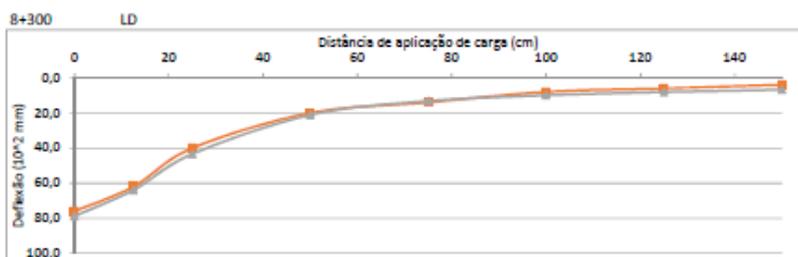
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	72,0	48,0	26,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	83,8	67,4	46,3	25,5	17,3	13	10,4	8,65
ϵ (%)	4,8%	6,4%	3,5%	1,9%	44,2%	30,0%	30,0%	44,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	1600
Base BG	14,5	100
Sub-base	14,5	100
Subleito		80



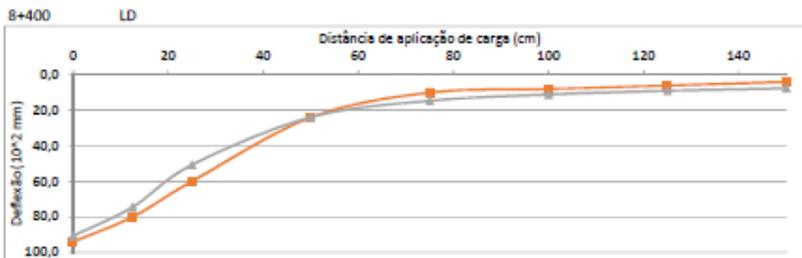
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	72,0	58,0	38,0	20,0	14,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	74,4	61,5	43,3	21,7	13,3	9,91	8,05	6,8
ϵ (%)	3,3%	6,0%	13,9%	8,5%	5,0%	0,9%	34,2%	70,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	1600
Base BG	13	90
Sub-base	16	60
Subleito		100



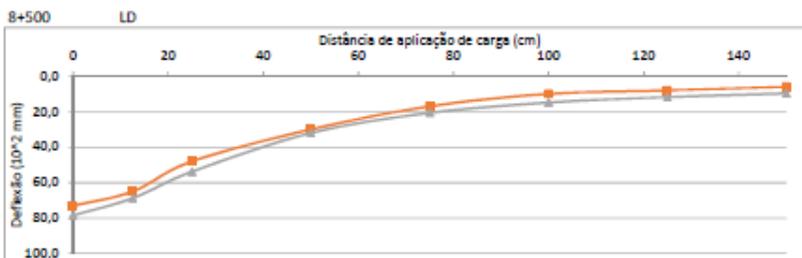
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	76,0	62,0	40,0	20,0	14,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	78,8	63,9	43,4	21,1	13,2	9,93	8,08	6,81
ϵ (%)	3,7%	3,1%	8,5%	5,5%	5,7%	24,1%	34,7%	70,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1600
Base BG	14	90
Sub-base	15	60
Subleito		100



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	94,0	80,0	60,0	24,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	90,7	74,5	50,7	23,8	14,6	11	8,97	7,56
ϵ (%)	3,5%	6,9%	15,5%	0,8%	46,0%	37,5%	49,5%	-

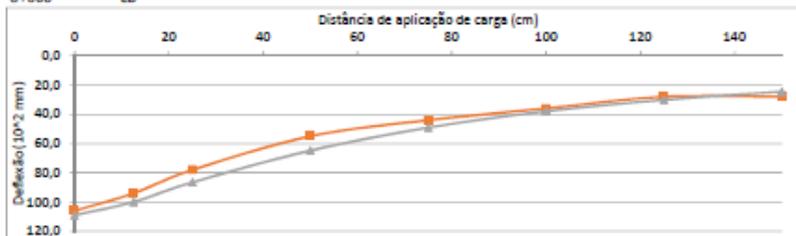
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7,5	2000
Base BG	15,5	60
Sub-base	16,5	60
Subleito		90



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	73,0	65,0	48,0	30,0	17,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	78,4	68,8	53,8	32	20,7	14,9	11,8	9,77
ϵ (%)	7,4%	5,8%	12,1%	6,7%	21,8%	49,0%	47,5%	62,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	2600
Base BG	19	100
Sub-base	16	50
Subleito		70

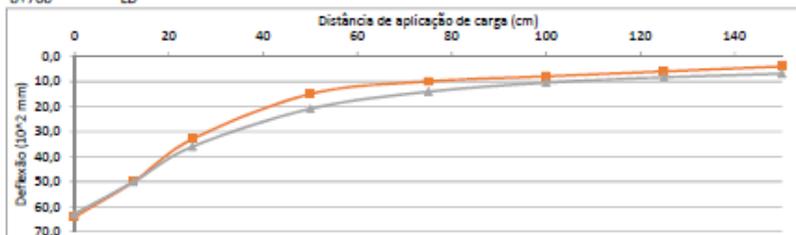
8+600 LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	106,0	94,0	78,0	55,0	44,0	36,0	28,0	28,0
Def. Calculada	109	99,9	86,5	64,8	49,1	37,9	30,1	24,5
ϵ (%)	2,8%	6,3%	10,9%	17,8%	11,6%	5,3%	7,5%	12,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	2600
Base BG	18	300
Sub-base	17	40
Subleito		30

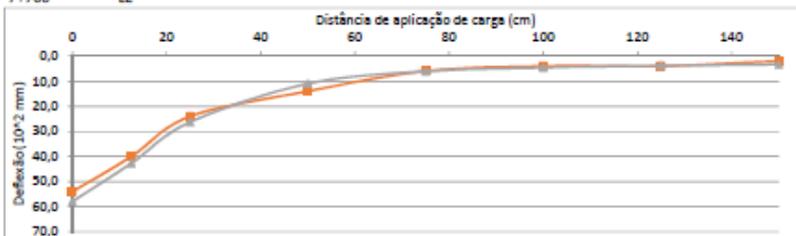
8+700 LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	64,0	50,0	33,0	15,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	62,8	50,03	36	20,9	14,1	10,5	8,36	6,94
ϵ (%)	1,9%	0,1%	9,1%	39,3%	41,0%	31,3%	39,3%	73,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10	1000
Base BG	16	150
Sub-base	19	110
Subleito		100

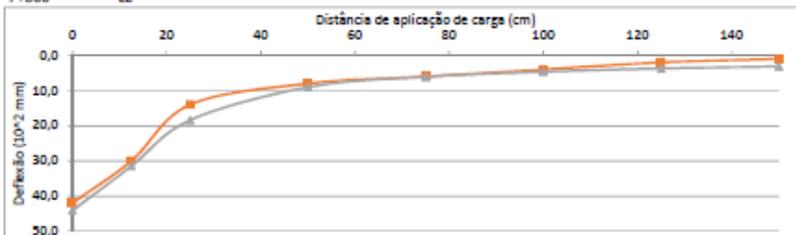
7+700 LE



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	40,0	24,0	14,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	57,9	42,7	26,3	11	6,1	4,57	3,85	3,33
ϵ (%)	7,2%	6,8%	9,6%	21,4%	1,7%	14,3%	3,8%	66,5%

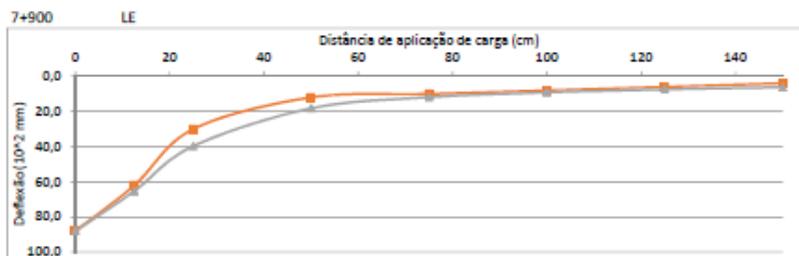
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,5	800
Base BG	14,5	170
Sub-base	19,5	60
Subleito		200

7+800 LE



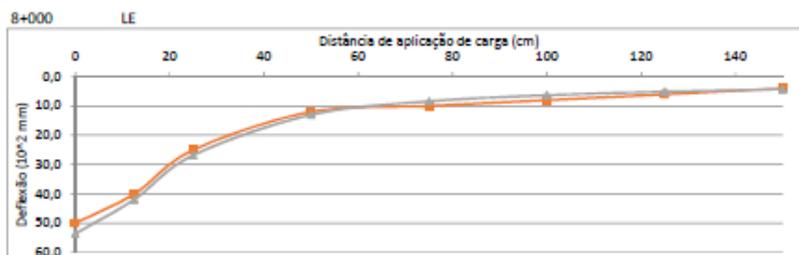
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	30,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0	1,0
Def. Calculada	44,1	31,5	18,4	9,03	6,08	4,63	3,73	3,12
ϵ (%)	5,0%	5,0%	31,4%	12,9%	1,3%	15,8%	-	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	1400
Base BG	16	180
Sub-base	13	180
Subleito		220



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	62,0	30,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	88	65,3	39,7	18,2	11,9	9,14	7,41	6,22
ϵ (%)	0,0%	5,3%	32,3%	51,7%	19,0%	14,3%	23,5%	55,5%

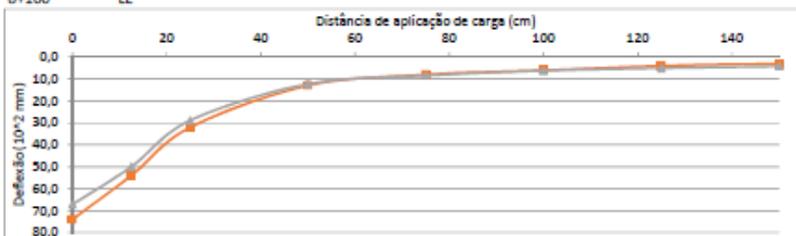
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	650
Base BG	14	70
Sub-base	15	80
Subleito		110



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	50,0	40,0	25,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	53,6	41,9	26,8	13	8,42	6,36	5,13	4,3
ϵ (%)	7,2%	4,7%	7,2%	8,3%	15,8%	20,5%	14,5%	7,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	7	2300
Base BG	23	130
Sub-base	6	100
Subleito		160

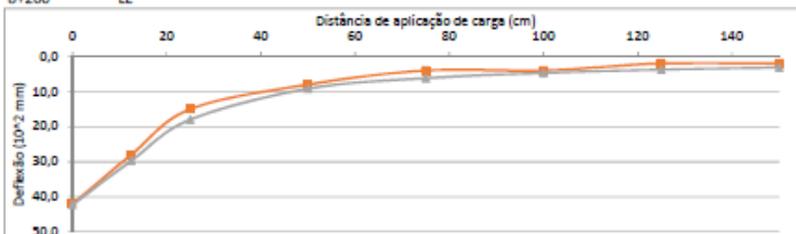
8+100 LE



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	74,0	54,0	32,0	13,0	8,0	6,0	4,0	3,0
Def. Calculada	67,2	50	28,9	12,3	8,5	6,22	5,08	4,27
ϵ (%)	9,2%	7,4%	9,7%	5,4%	6,3%	3,7%	27,0%	42,3%

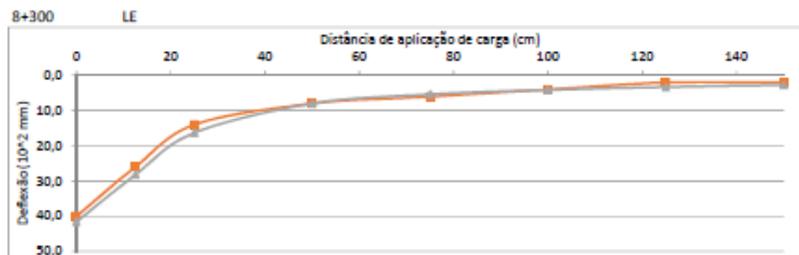
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	6	2000
Base BG	19	100
Sub-base	10	80
Subleito		160

8+200 LE



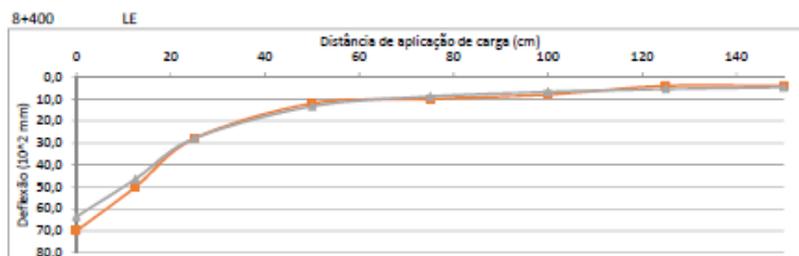
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	28,0	15,0	8,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	42,2	29,7	18	9,17	6,18	4,68	3,75	3,13
ϵ (%)	0,5%	6,1%	20,0%	14,6%	54,5%	17,0%	87,5%	56,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10	800
Base BG	14,5	180
Sub-base	14,5	220
Subleito		220



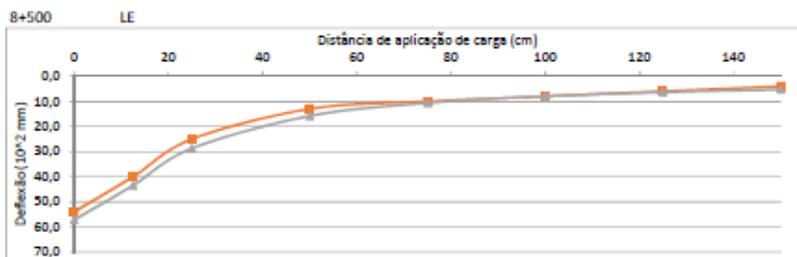
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	26,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	41,6	28,2	16,3	7,97	5,36	4,09	3,28	2,74
ε (%)	4,0%	8,5%	16,4%	0,4%	10,7%	2,3%	64,0%	37,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10	700
Base BG	13,5	180
Sub-base	15,5	220
Subleito		250



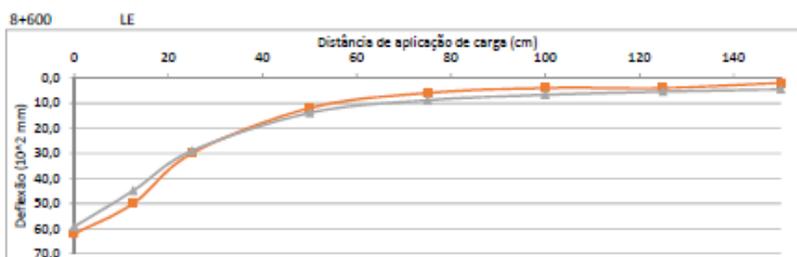
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	50,0	28,0	12,0	10,0	8,0	4,0	4,0
Def. Calculada	63,5	46,4	27,9	13,3	8,86	6,76	5,46	4,57
ε (%)	9,3%	7,2%	0,4%	10,8%	11,4%	15,5%	36,5%	14,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	800
Base BG	13	100
Sub-base	19	130
Subleito		150



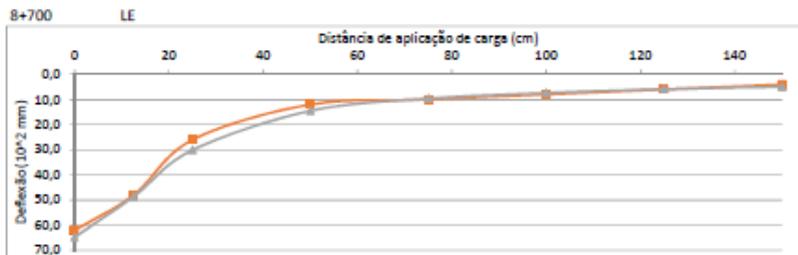
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	40,0	25,0	13,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	57,2	43,4	28,7	15,8	10,6	7,97	6,36	5,3
ϵ (%)	5,9%	8,5%	14,8%	21,5%	6,0%	0,4%	6,0%	32,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8	1000
Base BG	15	180
Sub-base	20	130
Subleito		130



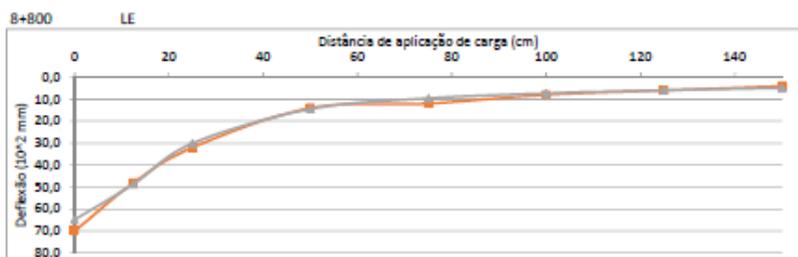
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	62,0	50,0	30,0	12,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	59,2	44,9	29	13,9	8,88	6,71	5,42	4,55
ϵ (%)	4,5%	10,2%	3,3%	15,8%	48,0%	67,8%	35,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	11	800
Base BG	14	100
Sub-base	21	120
Subleito		150



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	62,0	48,0	26,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	64,8	48,6	30,1	14,5	9,64	7,33	5,89	4,92
ϵ (%)	4,5%	1,3%	15,8%	20,8%	3,6%	8,4%	1,8%	23,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	1000
Base BG	19,5	100
Sub-base	15,5	140
Subleito		140



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	70,0	48,0	32,0	14,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	64,8	48,6	30,1	14,5	9,64	7,33	5,89	4,92
ϵ (%)	7,4%	1,3%	5,9%	3,6%	19,7%	8,4%	1,8%	23,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	1000
Base BG	19,5	100
Sub-base	15,5	140
Subleito		140

APÊNDICE C – ESPESSURA DE CORTE RECICLADO

Estaca	Espessura	Bordo
3+150	17,5	Esquerdo
3+050	17	Esquerdo
2+950	17,5	Esquerdo
2+850	17	Esquerdo
2+750	18	Esquerdo
2+650	17,5	Esquerdo
2+550	18	Esquerdo
2+450	18	Esquerdo
2+350	17,5	Esquerdo
2+250	18	Esquerdo
2+150	18	Esquerdo
2+050	19	Esquerdo

Estaca	Espessura	Bordo
5+450	17	Esquerdo
5+350	18	Esquerdo
5+250	17	Esquerdo
5+150	17,5	Esquerdo
5+050	17,5	Esquerdo
4+950	17	Esquerdo
4+850	17,5	Esquerdo
4+750	18	Esquerdo
4+650	17	Esquerdo
4+550	17,5	Esquerdo
4+450	17	Esquerdo
4+350	17	Esquerdo

Estaca	Espessura	Bordo
8+760	17,5	Esquerdo
8+660	17	Esquerdo
8+560	17	Esquerdo
8+450	17	Esquerdo
8+350	17,5	Esquerdo
8+250	17	Esquerdo
8+150	17,5	Esquerdo
8+050	17	Esquerdo
7+950	17,5	Esquerdo
7+850	18	Esquerdo
7+750	17,5	Esquerdo
7+650	17,5	Esquerdo

Estaca	Espessura	Bordo
3+150	17	Direito
3+050	17	Direito
2+950	17,5	Direito
2+850	17,5	Direito
2+750	17,5	Direito
2+650	17,5	Direito
2+550	18	Direito
2+450	18	Direito
2+350	18,5	Direito
2+250	18,5	Direito
2+150	17,5	Direito
2+050	17,5	Direito

Estaca	Espessura	Bordo
5+450	17,5	Direito
5+350	17	Direito
5+250	17,5	Direito
5+150	18	Direito
5+050	18	Direito
4+950	17,5	Direito
4+850	18	Direito
4+750	17,5	Direito
4+650	18	Direito
4+550	17	Direito
4+450	17,5	Direito
4+350	17	Direito

Estaca	Espessura	Bordo
8+750	18	Direito
8+650	17,5	Direito
8+550	18	Direito
8+450	17,5	Direito
8+350	18,5	Direito
8+250	18	Direito
8+150	17,5	Direito
8+050	17	Direito
7+950	17,5	Direito
7+850	17,5	Direito
7+750	17	Direito
7+650	17	Direito

APÊNDICE D – TAXA APLICAÇÃO AGREGADO VIRGEM

ESTACA	BORDO	TAXA (kg/m ²)	% de agregado virgem	ESTACA	BORDO	TAXA (kg/m ²)	% de agregado virgem
2+050	LE	57,8	13,6	2+050	LD	58,6	14,7
2+150	LE	56,4	14,0	2+150	LD	59,3	14,9
2+250	LE	55,4	13,7	2+250	LD	56,8	13,5
2+350	LE	59,8	15,2	2+350	LD	58,6	13,9
2+450	LE	58,0	14,2	2+450	LD	58,1	14,2
2+550	LE	59,3	14,5	2+550	LD	55,7	13,6
2+650	LE	57,2	14,4	2+650	LD	56,5	14,2
2+750	LE	57,9	14,1	2+750	LD	58,3	14,7
2+850	LE	57,6	15,1	2+850	LD	59,6	15,0
2+950	LE	55,9	14,2	2+950	LD	58,6	14,8
3+050	LE	59,1	15,5	3+050	LD	59,0	15,3
3+150	LE	58,7	14,9	3+150	LD	57,6	14,9
4+350	LE	57,9	15,1	4+350	LD	58,2	15,2
4+450	LE	58,4	15,2	4+450	LD	58,6	14,8
4+550	LE	58,0	14,2	4+550	LD	58,0	15,1
4+650	LE	57,4	14,4	4+650	LD	57,9	14,3
4+750	LE	57,8	13,7	4+750	LD	57,0	14,4
4+850	LE	63,1	15,4	4+850			
4+950	LE	59,4	15,0	4+950			
5+050	LE	57,9	14,2	5+050	LD	59,7	14,4
5+150	LE	72,0	17,6	5+150	LD	56,9	13,7
5+250	LE	60,2	15,1	5+250	LD	59,6	14,8
5+350	LE	59,6	14,2	5+350	LD	58,6	14,9
5+450	LE	60,4	15,2	5+450	LD	58,0	14,3
5+550	LE	61,2	15,4	5+550	LD	56,7	14,0
7+650	LE	47,4	11,7	7+650	LD	56,4	14,2
7+750	LE	60,5	14,9	7+750	LD	57,4	14,5
7+850	LE	69,7	16,7	7+850	LD	60,2	14,8
7+950	LE	64,9	16,0	7+950	LD	60,0	14,7
8+050	LE	56,0	14,3	8+050	LD	60,0	15,1
8+150	LE	46,9	11,6	8+150	LD	57,9	14,2
8+250	LE	65,7	16,7	8+250	LD	56,7	13,5
8+350	LE	50,8	12,6	8+350	LD	61,0	14,1
8+450	LE	57,5	14,6	8+450	LD	59,1	14,5
8+560	LE	63,8	16,2	8+550	LD	60,7	14,5
8+660	LE	54,6	13,9	8+650	LD	58,8	14,4
8+760	LE	59,1	14,7				

APÊNDICE E – TAXA APLICAÇÃO CIMENTO

ESTACA	BORDO	TAXA (kg/m ²)	% de Cimento
2+050	LD	11,2	2,8
2+150	LD	10,9	2,8
2+250	LD	10,7	2,5
2+350	LD	11,0	2,6
2+450	LD	10,7	2,6
2+550	LD	11,0	2,7
2+650	LD	11,1	2,8
2+750	LD	10,9	2,8
2+850	LD	10,8	2,7
2+950	LD	11,1	2,8
3+050	LD	10,9	2,8
3+150	LD	10,9	2,8
4+350	LD	10,3	2,7
4+450	LD	10,6	2,7
4+550	LD	10,4	2,7
4+650	LD	11,1	2,7
4+750	LD	10,8	2,7
4+850	LD	10,7	2,6
4+950	LD	10,5	2,6
5+050	LD	11,0	2,6
5+150	LD	10,8	2,6
5+250	LD	10,9	2,7
5+350	LD	10,7	2,7
5+450	LD	10,9	2,7
5+550	LD	10,8	2,7
7+620	LD	12,4	3,1
7+720	LD	12,9	3,2
7+820	LD	11,1	2,7
7+920	LD	12,2	3,0
8+020	LD	11,4	2,9
8+120	LD	12,9	3,2
8+220	LD	12,4	3,2
8+320	LD	12,6	3,1
8+420	LD	12,2	3,1
8+520	LD	13,3	3,4
8+620	LD	13,0	3,3
8+720	LD	11,9	3,0

ESTACA	BORDO	TAXA (kg/m ²)	% de Cimento
2+050	LE	11,2	2,6
2+150	LE	11,1	2,8
2+250	LE	11,4	2,8
2+350	LE	11,6	3,0
2+450	LE	10,8	2,6
2+550	LE	10,7	2,6
2+650	LE	10,9	2,7
2+750	LE	11,3	2,8
2+850	LE	10,5	2,8
2+950	LE	10,7	2,7
3+050	LE	10,6	2,8
3+150	LE	10,8	2,7
4+350	LE	10,4	2,7
4+450	LE	10,6	2,8
4+550	LE	11,2	2,7
4+650	LE	10,9	2,7
4+750	LE	10,7	2,5
4+850	LE	11,3	2,8
4+950	LE	10,4	2,6
5+050	LE	10,7	2,6
5+150	LE	10,8	2,6
5+250	LE	10,7	2,7
5+350	LE	10,8	2,6
5+450	LE	10,6	2,7
5+550	LE	10,6	2,7
7+650	LE	12,0	3,0
7+750	LE	11,5	2,9
7+850	LE	11,6	2,9
7+950	LE	11,3	2,8
8+050	LE	11,4	2,9
8+150	LE	12,1	3,0
8+250	LE	11,8	2,8
8+350	LE	12,1	2,8
8+450	LE	12,1	3,0
8+550	LE	11,7	2,8
8+650	LE	11,5	2,8

APÊNDICE F – UMIDADE DE COMPACTAÇÃO

Estaca	Umidade (%)	Bordo	Projeto (%)	Estaca	Umidade (%)	Bordo	Projeto (%)
2+050	8,50	LE	7,70	2+050	7,50	LD	8,00
2+150	8,00	LE	7,70	2+150	7,40	LD	8,00
2+250	8,30	LE	7,70	2+250	7,60	LD	8,00
2+350	8,10	LE	7,70	2+350	7,80	LD	8,00
2+450	8,20	LE	7,70	2+450	7,50	LD	7,90
2+550	8,10	LE	7,70	2+550	7,70	LD	7,90
2+650	8,30	LE	6,80	2+650	7,40	LD	7,90
2+750	7,90	LE	6,80	2+750	7,60	LD	7,90
2+850	7,50	LE	6,80	2+850	7,30	LD	7,20
2+950	7,30	LE	6,80	2+950	7,40	LD	7,20
3+050	7,40	LE	6,80	3+050	7,50	LD	7,20
3+150	7,20	LE	6,80	3+150	7,30	LD	7,20
4+350	7,90	LE	7,70	4+350	7,60	LD	7,50
4+450	8,20	LE	7,70	4+450	7,40	LD	7,50
4+550	8,20	LE	6,80	4+550	7,90	LD	7,50
4+650	7,90	LE	6,80	4+650	7,60	LD	7,50
4+750	7,60	LE	6,80	4+750	7,50	LD	7,50
4+850	7,90	LE	7,20	4+850	7,90	LD	7,60
4+950	7,60	LE	7,20	4+950	8,20	LD	7,60
5+050	7,80	LE	7,20	5+050	8,00	LD	7,60
5+150	8,10	LE	7,20	5+150	8,30	LD	7,60
5+250	7,90	LE	7,20	5+250	7,90	LD	7,60
5+350	7,60	LE	7,20	5+350	8,10	LD	7,60
5+450	7,80	LE	7,20	5+450	8,20	LD	7,60
5+550	8,00	LE	7,20	5+550	7,80	LD	7,60
7+650	6,9	LE	7,10	7+650	8	LD	7,50
7+750	7,4	LE	7,10	7+750	8,3	LD	7,50
7+850	6,8	LE	7,10	7+850	7,8	LD	7,50
7+950	7,1	LE	7,10	7+950	8	LD	7,50
8+050	7,2	LE	7,10	8+050	8	LD	7,70
8+160	7	LE	7,10	8+150	7,9	LD	7,70
8+260	6,1	LE	7,10	8+250	7,7	LD	7,70
8+460	6,9	LE	7,10	8+350	8	LD	7,70
8+660	6,8	LE	7,10	8+450	8,3	LD	7,70
				8+550	8,1	LD	7,70
				8+650	7,7	LD	7,70

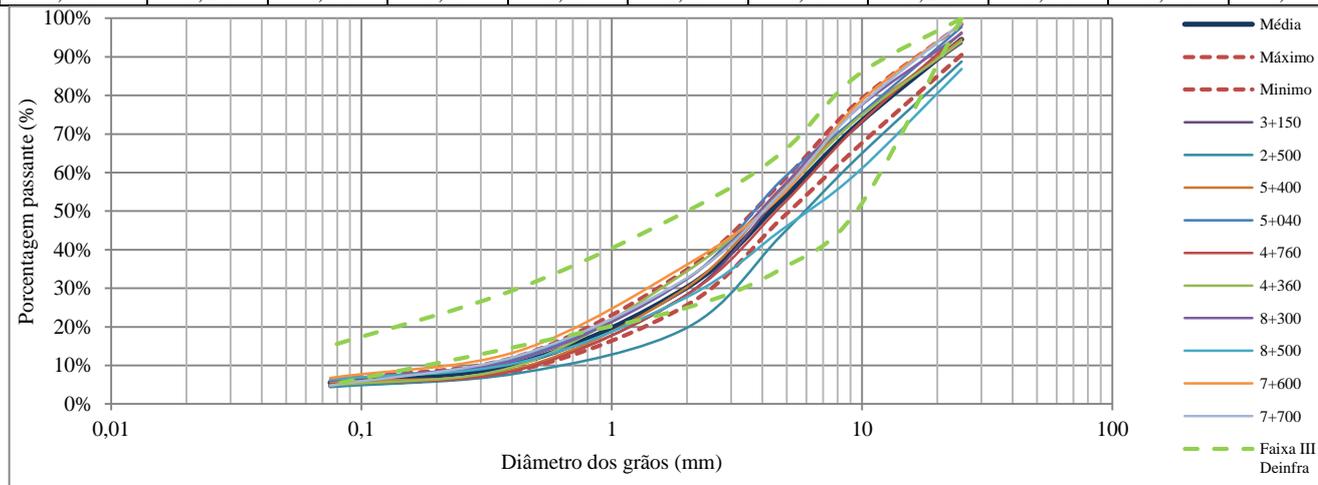
APÊNDICE G – GRAU DE COMPACTAÇÃO DA MISTURA REICLADA

Estaca	Projeto		Campo		Bordo	Grau de Compactação
	Umidade (%)	MEASmax (g/cm ³)	Umidade (%)	MEASmax (g/cm ³)		
2+050	8,0	2,245	8,5	2,216	LE	98,69
2+150	8,0	2,245	8,0	2,247	LE	100,11
2+250	8,0	2,245	8,3	2,214	LE	98,61
2+350	8,0	2,245	8,1	2,237	LE	99,67
2+450	7,9	2,274	8,2	2,254	LE	99,11
2+550	7,9	2,274	8,1	2,281	LE	100,29
2+650	7,9	2,274	8,3	2,238	LE	98,40
2+750	7,9	2,274	7,9	2,267	LE	99,70
2+850	7,2	2,249	7,5	2,267	LE	100,80
2+950	7,2	2,249	7,3	2,294	LE	101,98
3+050	7,2	2,249	7,4	2,229	LE	99,10
3+150	7,2	2,249	7,2	2,220	LE	98,71
2+050	7,7	2,273	7,5	2,259	LD	99,40
2+150	7,7	2,273	7,4	2,246	LD	98,82
2+250	7,7	2,273	7,6	2,271	LD	99,89
2+350	7,7	2,273	7,8	2,280	LD	100,31
2+450	7,7	2,273	7,5	2,236	LD	98,38
2+550	7,7	2,273	7,7	2,264	LD	99,60
2+650	6,8	2,268	7,4	2,261	LD	99,68
2+750	6,8	2,268	7,6	2,254	LD	99,40
2+850	6,8	2,268	7,3	2,243	LD	98,90
2+950	6,8	2,268	7,4	1,992	LD	87,84
3+050	6,8	2,268	7,5	2,277	LD	100,41
3+150	6,8	2,268	7,3	2,263	LD	99,80
4+350	7,7	2,258	7,9	2,249	LD	99,40
4+450	7,7	2,258	8,2	2,240	LD	99,60
4+550	6,8	2,341	8,2	2,343	LD	99,60
4+650	6,8	2,341	7,9	2,348	LD	99,00
4+750	6,8	2,341	7,6	2,355	LD	99,40
4+850	7,2	2,338	7,9	2,326	LD	99,00
4+950	7,2	2,338	7,6	2,321	LD	99,50
5+050	7,2	2,338	7,8	2,340	LD	99,42
5+150	7,2	2,338	8,1	2,333	LD	99,49
5+250	7,2	2,338	7,9	2,317	LD	100,63
5+350	7,2	2,338	7,6	2,329	LD	100,40
5+450	7,2	2,338	7,8	2,345	LD	98,70
5+550	7,2	2,338	8,0	2,333	LD	99,78

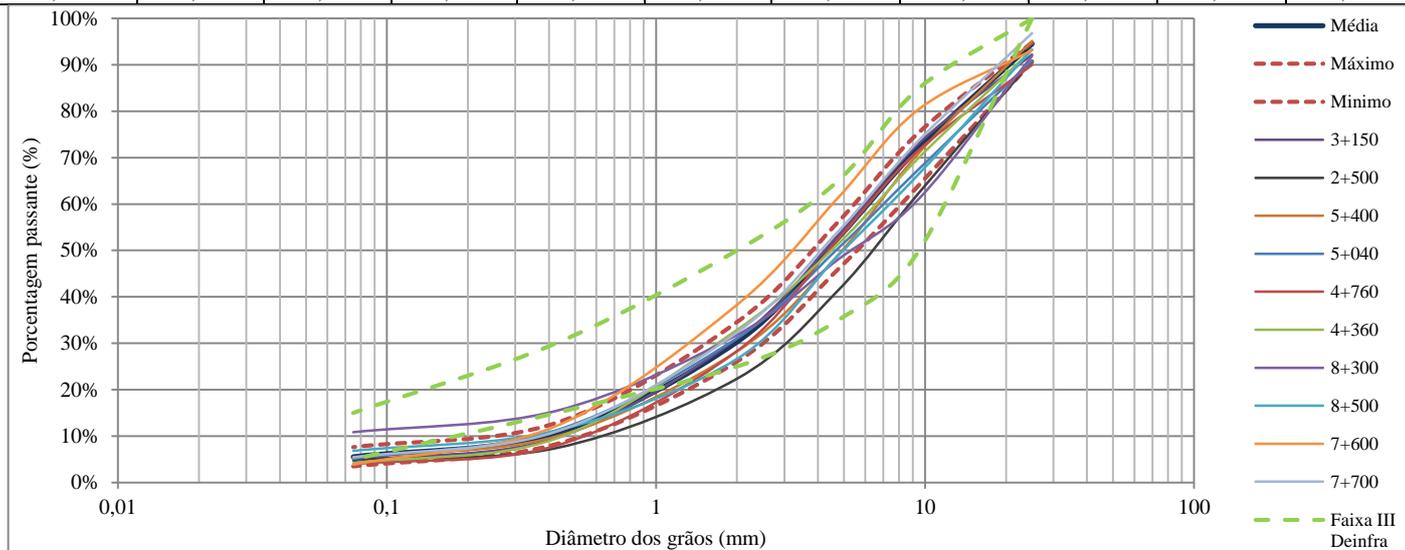
Estaca	Projeto		Campo		Bordo	Grau de Compactação
	Umidade (%)	MEASmax (g/cm³)	Umidade (%)	MEASmax (g/cm³)		
4+350	7,5	2,258	7,6	2,245	LE	99,60
4+450	7,5	2,258	7,4	2,249	LE	99,21
4+550	7,5	2,258	7,9	2,249	LE	100,08
4+650	7,5	2,258	7,6	2,235	LE	100,31
4+750	7,5	2,258	7,5	2,244	LE	100,60
4+850	7,6	2,309	7,9	2,286	LE	99,50
4+950	7,6	2,309	8,2	2,297	LE	99,29
5+050	7,6	2,309	8,0	2,296	LE	100,10
5+150	7,6	2,309	8,3	2,297	LE	99,80
5+250	7,6	2,309	7,9	2,324	LE	99,09
5+350	7,6	2,309	8,1	2,318	LE	99,60
5+450	7,6	2,309	8,2	2,279	LE	100,31
5+550	7,6	2,309	7,8	2,304	LE	99,81
7+650	7,1	2,331	6,9	2,341	LD	100,41
7+750	7,1	2,331	7,4	2,357	LD	101,10
7+850	7,1	2,331	6,8	2,352	LD	100,90
7+950	7,1	2,331	7,1	2,507	LD	107,57
8+050	7,1	2,331	7,2	2,366	LD	101,48
8+160	7,1	2,331	7,0	2,399	LD	102,90
8+260	7,1	2,331	6,1	2,289	LD	98,20
8+460	7,1	2,331	6,9	2,298	LD	98,60
8+660	7,1	2,331	6,8	2,317	LD	99,40
7+650	7,5	2,319	8,0	2,338	LE	100,82
7+750	7,5	2,319	8,3	2,333	LE	100,60
7+850	7,5	2,319	7,8	2,349	LE	101,28
7+950	7,5	2,319	8,0	2,326	LE	100,30
8+050	7,7	2,311	8,0	2,313	LE	100,08
8+150	7,7	2,311	7,9	2,327	LE	100,70
8+250	7,7	2,311	7,7	2,352	LE	101,80
8+350	7,7	2,311	8,0	2,320	LE	100,39
8+450	7,7	2,311	8,3	2,339	LE	101,20
8+550	7,7	2,311	8,1	2,332	LE	100,90
8+650	7,7	2,311	7,7	2,318	LE	100,30
8+750	7,5	2,305	7,5	2,321	LE	100,69

APÊNDICE H – GRANULOMETRIA DA MISTURA RECICLADA

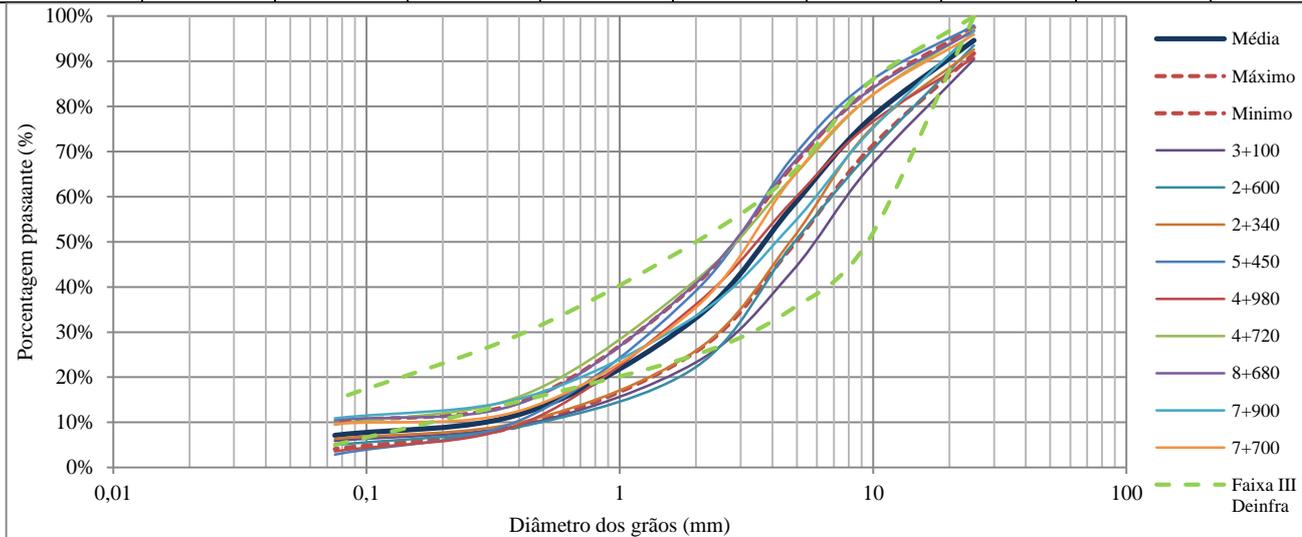
Bordo Direito - Superior						Superior				
Peneiras	3+150	2+500	5+400	5+040	4+760	4+360	8+300	8+500	7+600	7+700
25	93,54	88,77	94,56	97,74	96,30	94,03	96,04	86,85	98,62	98,80
9,5	74,12	63,61	74,10	74,28	71,87	73,78	76,36	59,78	77,46	76,42
4,75	54,46	43,67	55,36	57,92	51,29	54,57	55,97	45,04	53,88	54,70
2	28,40	19,78	30,26	32,43	28,35	34,44	32,47	27,73	36,15	32,70
0,425	9,19	7,99	9,23	12,05	8,85	10,02	11,56	10,75	13,74	12,53
0,075	5,14	4,38	5,69	6,03	5,03	4,75	6,21	6,38	6,74	4,77



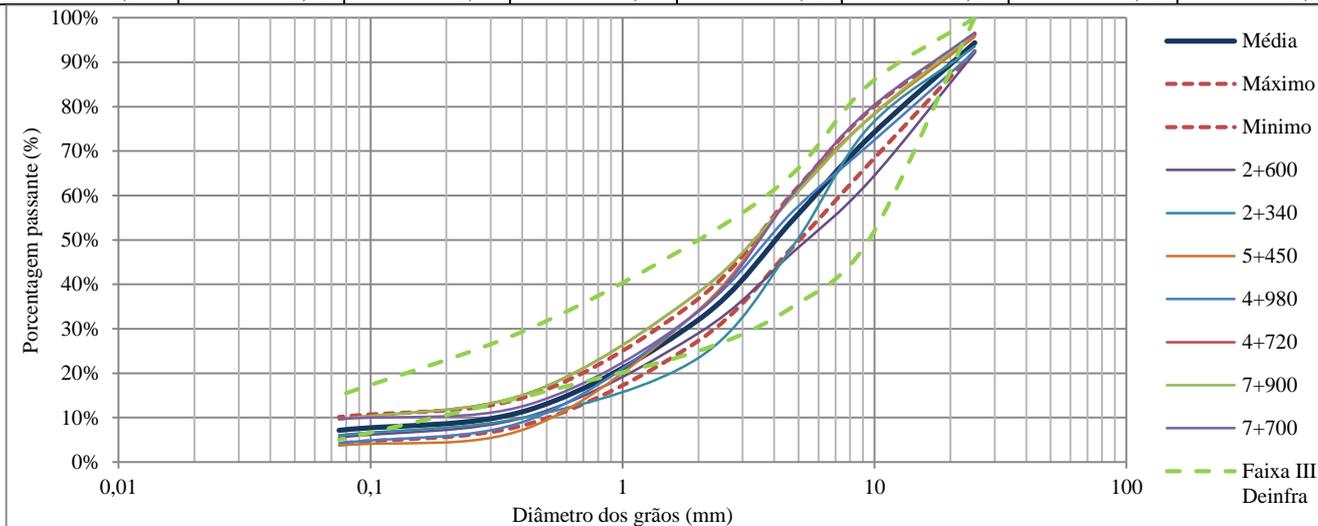
Bordo Direito - Inferior						Inferior				
Peneiras	3+150	2+500	5+400	5+040	4+760	4+360	8+300	8+500	7+600	7+700
25	92,20	90,86	95,13	90,92	89,99	93,26	91,92	93,30	93,14	96,82
9,5	73,13	62,44	71,05	67,57	71,67	70,03	61,15	66,52	80,47	73,75
4,75	53,25	41,38	48,98	50,43	52,41	51,37	48,05	48,89	61,35	54,08
2	30,94	22,35	28,25	31,09	28,28	32,87	31,78	26,63	38,28	32,31
0,425	9,58	7,39	9,90	11,22	7,91	9,45	15,41	11,16	12,13	10,92
0,075	4,67	4,96	5,43	5,09	3,93	4,13	10,82	6,80	3,86	5,39



Bordo esquerdo - Superior						Superior			
Peneiras	3+100	2+600	2+340	5+450	4+980	4+720	8+680	7+900	7+700
25	90,42	93,52	92,60	97,93	90,77	97,12	96,79	96,65	95,93
9,5	66,03	69,21	74,26	85,21	75,73	81,67	83,23	73,93	81,71
4,75	43,26	49,09	50,33	68,37	58,80	64,03	66,96	53,65	63,91
2	23,32	22,29	25,91	39,19	36,18	41,56	40,85	33,61	35,51
0,425	9,59	9,29	10,29	11,01	10,03	16,25	14,67	15,60	12,98
0,075	5,88	4,97	6,36	2,86	3,56	9,49	10,45	10,89	9,63



Peneiras	Bordo esquerdo - Inferior						Inferior	
	2+600	2+340	5+450	4+980	4+720	7+900	7+700	
25	92,13	93,57	95,74	92,44	96,61	93,63	96,66	
9,5	63,13	75,42	77,30	71,41	77,39	67,47	79,33	
4,75	47,27	48,69	60,43	56,47	59,82	48,81	60,47	
2	29,01	23,45	34,19	33,87	38,22	31,44	33,98	
0,425	10,32	10,25	7,76	9,51	15,57	15,92	12,97	
0,075	5,55	6,07	3,72	4,23	9,61	11,23	9,68	



APÊNDICE I – ENSAIOS MECÂNICOS – CAMPO

Segmento 1 – RCS e RTCD

Segmento	Estaca	Bordo	Idade	Densidade	Carga máxima	RCS	RTCD
			Dias	g/cm ³	N	MPa	MPa
1	3+100	LE	7	2,21	16308,0	2,08	
	3+100	LE	7	2,20	15397,0	1,96	
	3+100	LE	7	2,20	8574,9		0,27
	3+100	LE	28	2,20	9895,6		0,31
	3+100	LE	28	2,21	18207,0	2,32	
	3+100	LE	28	2,23	19847,0	2,53	
1	2 +600	LE	7	2,38	19589,0	2,49	
	2 +600	LE	7	2,27	18501,0	2,36	
	2 +600	LE	7	2,32	9415,0		0,30
	2 +600	LE	28	2,32	19970,0	2,54	
	2 +600	LE	28	2,36	19991,0	2,55	
	2 +600	LE	28	2,29	11196,0		0,36
1	2 + 340	LE	7	2,39	15209,0	1,94	
	2 + 340	LE	7	2,37	16790,0	2,14	
	2 + 340	LE	7	2,40	13418,0		0,43
	2 + 340	LE	28	2,38	18831,0	2,40	
	2 + 340	LE	28	2,36	19201,0	2,44	
	2 + 340	LE	28	2,35	15169,0		0,48
1	3 + 150	LD	7	2,43	14937,0	1,90	
	3 + 150	LD	7	2,37	8454,8		0,27
	3 + 150	LD	7	2,33	15027,0	1,91	
	3 + 150	LD	28	2,33	10026,0		0,32
	3 + 150	LD	28	2,44	20392,0	2,60	
	3 + 150	LD	28	2,38	19927,0	2,54	
1	2 + 500	LD	7	2,37	10486,0		0,33
	2 + 500	LD	7	2,36	13378,0	1,70	
	2 + 500	LD	7	2,35	14418,0	1,84	
	2 + 500	LD	28	2,38	13938,0		0,44
	2 + 500	LD	28	2,34	14798,0	1,88	
	2 + 500	LD	28	2,35	16847,0	2,15	

Segmento 2 – RCS e RTCD

Segmento	Estaca	Bordo	Idade	Densidade	Carga máxima	RCS	RTCD
			Dias	g/cm ³	N	MPa	MPa
2	5 + 450	LE	7	2,39	39022,0	4,97	
	5 + 450	LE	7	2,36	17000,0		0,54
	5 + 450	LE	7	2,31	30367,0	3,87	
	5 + 450	LE	28	2,40	40843,0	5,20	
	5 + 450	LE	28	2,34	43255,0	5,51	
	5 + 450	LE	28	2,37	19701,0		0,63
2	4 + 980	LE	7	2,30	8995,1		0,29
	4 + 980	LE	7	2,34	23323,0	2,97	
	4 + 980	LE	7	2,34	24624,0	3,14	
	4 + 980	LE	28	2,38	25505,0	3,25	
	4 + 980	LE	28	2,42	33249,0	4,23	
	4 + 980	LE	28	2,37	13548,0		0,43
2	4 + 720	LE	7	2,39	24024,0	3,06	
	4 + 720	LE	7	2,29	21232,0	2,70	
	4 + 720	LE	7	2,40	13778,0		0,44
	4 + 720	LE	28	2,30	22253,0	2,83	
	4 + 720	LE	28	2,29	22603,0	2,88	
	4 + 720	LE	28	2,35	11066,0		0,35
2	5 + 400	LD	7	2,32	17340,0	2,21	
	5 + 400	LD	7	2,37	15819,0	2,01	
	5 + 400	LD	7	2,33	9255,3		0,29
	5 + 400	LD	28	2,41	23844,0	3,04	
	5 + 400	LD	28	2,32	25805,0	3,29	
	5 + 400	LD	28	2,30	9495,4		0,30
2	4 + 760	LD	7	2,26	19501,0	2,48	
	4 + 760	LD	7	2,24	18861,0	2,40	
	4 + 760	LD	7	2,27	9245,3		0,29
	4 + 760	LD	28	2,27	19750,0	2,51	
	4 + 760	LD	28	2,26	19928,0	2,54	
	4 + 760	LD	28	2,23	11887,0		0,38
2	4 + 360	LD	7	2,37	23844,0	3,04	
	4 + 360	LD	7	2,42	24414,0	3,11	
	4 + 360	LD	7	2,41	12067,0		0,38
	4 + 360	LD	28	2,47	25648,0	3,27	
	4 + 360	LD	28	2,52	26381,0	3,36	
	4 + 360	LD	28	2,36	15599,0		0,50

Segmento 3 – RCS e RTCD

Segmento	Estaca	Bordo	Idade	Densidade	Carga máxima	RCS	RTCD
			Dias	g/cm ³	N	MPa	MPa
3	8 + 680	LE	7	2,30	27065,0	3,45	
	8 + 680	LE	7	2,29	24874,0	3,17	
	8 + 680	LE	7	2,21	8654,9		0,28
	8 + 680	LE	28	2,34	42704,0	5,44	
	8 + 680	LE	28	2,31	42404,0	5,40	
	8 + 680	LE	28	2,20	17220,0		0,55
3	7 + 900	LE	7	2,41	12607,0		0,40
	7 + 900	LE	7	2,42	24804,0	3,16	
	7 + 900	LE	7	2,41	27015,0	3,44	
	7 + 900	LE	28	2,42	13077,0		0,42
	7 + 900	LE	28	2,40	33039,0	4,21	
	7 + 900	LE	28	2,41	30497,0	3,88	
3	7 + 700	LE	7	2,32	34310,0	4,37	
	7 + 700	LE	7	2,39	33759,0	4,30	
	7 + 700	LE	7	2,36	15409,0		0,49
	7 + 700	LE	28	2,38	22283,0		0,71
	7 + 700	LE	28	2,32	43895,0	5,59	
	7 + 700	LE	28	2,33	43365,0	5,52	
3	8 + 200	LD	7	2,42	16329,0	2,08	
	8 + 200	LD	7	2,43	18120,0	2,31	
	8 + 200	LD	7	2,40	8365,0		0,27
	8 + 200	LD	28	2,35	20792,0	2,65	
	8 + 200	LD	28	2,29	19111,0	2,43	
	8 + 200	LD	28	2,48	8894,5		0,28
3	8 + 800	LD	7	2,30	17730,0	2,26	
	8 + 800	LD	7	2,25	16406,0	2,09	
	8 + 800	LD	7	2,30	8993,4		0,29
	8 + 800	LD	28	2,29	18338,0	2,33	
	8 + 800	LD	28	2,26	19748,0	2,51	
	8 + 800	LD	28	2,30	10293,0		0,33
3	7 + 700	LD	7	2,36	19611,0	2,50	
	7 + 700	LD	7	2,32	18300,0	2,33	
	7 + 700	LD	7	2,41	8354,0		0,27
	7 + 700	LD	28	2,43	30577,0	3,89	
	7 + 700	LD	28	2,38	25124,0	3,20	
	7 + 700	LD	28	2,35	11627,0		0,37
3	7 + 900	LD	7	2,37	29167,0	3,71	
	7 + 900	LD	7	2,35	29287,0	3,73	
	7 + 900	LD	7	2,36	11747,0		0,37
	7 + 900	LD	28	2,38	35810,0	4,56	
	7 + 900	LD	28	2,39	36451,0	4,64	
	7 + 900	LD	28	2,39	16309,0		0,52

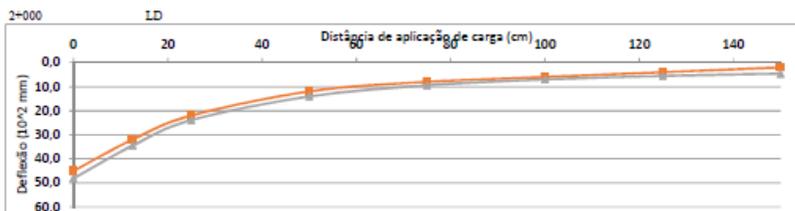
APÊNDICE J – RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇO DA MISTURA ASFÁLTICA

CAUQ Borracha								
Estaca	7+650	7+950	7+600	7+850	8+250	8+650	8+800	8+450
Lado	LE	LE	LD	LD	LE	LE	LD	LD
% betume	5,89	5,93	5,78	5,66	5,95	5,93	5,84	5,91
Densidade aparente (g/cm ³)	2,473	2,471	2,473	2,471	2,461	2,474	2,477	2,481
VV (%)	4,11	4,19	4,11	4,17	3,81	4,06	3,97	3,81
VCB (%)	14,14	14,23	13,88	13,58	14,33	14,25	14,04	14,73
VAM (%)	20,55	20,64	20,47	20,43	20,35	20,55	20,39	20,33
RBV (%)	80	79,71	79,952	79,56	81,27	80,25	80,54	81,24
Fluência (mm)	11,93	11,83	11,8	11,93	11,8	12,23	11,67	12,17
Estabilidade (kgf)	1623	1629	1621	1627	1622	1623	1616	1623
Equivalente de areia (%)	68,9	67,2	68,9	70,7	67,9	68,6	66,7	69,8
Peneiras (mm)	Granulometria							
25,4	100	100	100	100	100	100	100	100
19,1	100	100	100	100	100	100	100	100
12,7	93,5	94	93,1	93,5	93,5	93,8	93,5	94
9,52	89,3	88,3	88,1	87,5	86,5	87	87,3	88,3
4,76	60,2	60,5	58,3	57,4	58	58,3	57,4	58,3
2	35,4	36	37,5	37,8	39,3	38,5	38	28,5
0,42	15,8	15,1	15,2	14,9	15,9	15,6	15,2	14,5
0,18	10,1	10,6	10,6	10,1	11,3	11,1	11,3	10,2
0,075	8	8,1	8	7,9	8,4	8,2	8,4	8,1

CAUQ Borracha										
Estaca	5+050	5+500	5+500	5+260	5+050	4+750	4+650	4+450	4+400	4+350
Lado	LE	LE	LD	LD	LD	LD	LE	LD	LE	LD
% betume	5,95	6	5,99	5,95	5,93	5,96	6,02	5,99	6,09	6,07
Densidade aparente (g/cm ³)	2,478	2,476	2,475	2,476	2,478	2,475	2,476	2,474	2,488	2,468
VV (%)	3,93	3,96	4,05	3,98	3,83	4,05	4,05	4,07	4,37	4,29
VCB (%)	14,31	14,43	14,39	14,31	14,28	14,32	14,46	14,39	14,58	14,55
VAM (%)	20,45	20,53	20,58	20,47	20,43	20,55	20,59	20,6	20,91	20,84
RBV (%)	80,78	80,61	80,34	80,56	80,77	80,31	80,35	80,24	79,11	79,41
Fluência (mm)	12,07	12,13	11,93	12,2	11,86	12	12	11,73	11,89	12,06
Estabilidade (kgf)	1625	1632	1627	1620	1721	1612	1621	1528	1625	1487
Equivalente de areia (%)	68,8	70,1	69,7	70,9	70,4	69,2	69,7	68,7	66,8	70,7
Peneiras (mm)	Granulometria									
25,4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
19,1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12,7	94,6	93,4	93,5	93,9	93,2	93	93,5	94,2	94,1	93,5
9,52	88,3	87,5	88,1	88	86,5	87,1	87,3	88,3	88,2	88
4,76	60,2	61	60,2	61,3	80,1	62,3	60,2	60	57,3	60,5
2	38,5	37,4	39,3	40,2	38,6	39	37,3	37,1	37,8	36,5
0,42	15,2	14,5	14,3	15,1	15,5	15	18,2	16,9	16,3	15,9
0,18	10,6	10,2	10,8	11,3	11,5	10,3	11,3	11,1	10,9	11,3
0,075	8,1	7,9	8,1	8,4	6,1	7,9	8,4	8,1	8,5	8,2

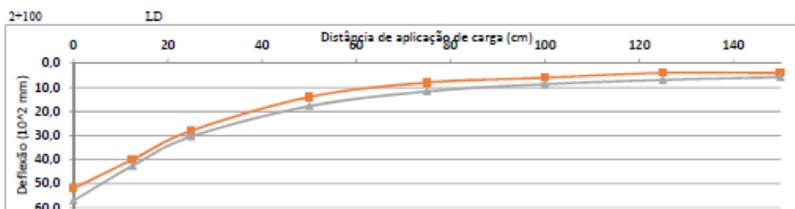
CAUQ Borracha					
Estaca	2+150	2+350	2+800	2+750	3+050
Lado	LE	LD	LD	LE	LE
% betume	6,01	6	6,07	6,02	6,04
Densidade aparente (g/cm ³)	2,474	2,479	2,469	2,472	2,479
VV (%)	4,06	3,88	4,28	3,97	3,86
VCB (%)	14,44	14,44	14,56	14,48	14,54
VAM (%)	20,6	20,47	20,85	20,53	20,48
RBV (%)	80,3	81,06	79,46	80,58	61,13
Fluência (mm)	11,98	11,77	11,82	11,82	11,53
Estabilidade (kgf)	1614	1616	1632	1721	1620
Equivalente de areia (%)	68,8	71,2	70,1	70,6	70,7
Peneiras (mm)	Granulometria				
25,4	100	100	100	100	100
19,1	100	100	100	100	100
12,7	93,2	94	93,2	93,8	94,1
9,52	87,3	88,6	87,5	88,3	87,5
4,76	60	58,8	58,9	60	59,5
2	38,1	39,5	40	41,3	40,2
0,42	15,3	14	14,5	15,5	15,3
0,18	10,9	10,1	10,5	11,3	11
0,075	8,3	7,8	8	8,3	8,1

APÊNDICE K – RETROANÁLISE 7 DIAS



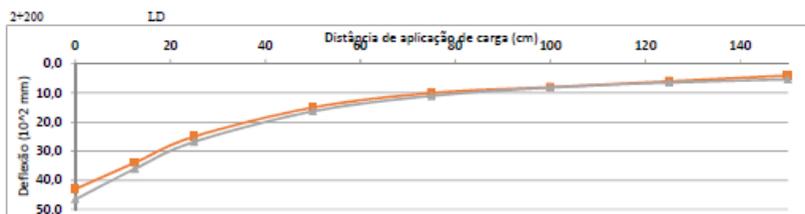
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	45,0	32,0	22,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	48,1	34,5	23,9	14,1	9,44	7,02	5,55	4,61
ϵ (%)	6,9%	7,8%	8,6%	17,5%	18,0%	17,0%	38,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	500
Base remanescente	8,5	200
Sub-base	16,5	170
Subleito	150	150



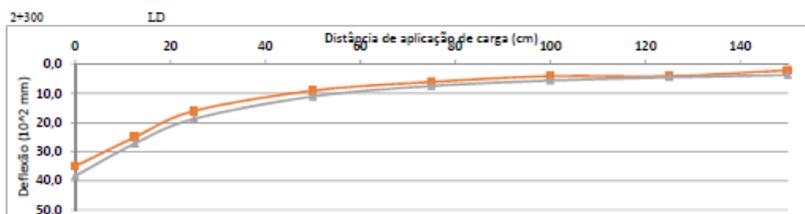
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	52,0	40,0	28,0	14,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	57	42,6	30,4	17,8	11,7	8,68	6,89	5,73
ϵ (%)	9,6%	6,5%	8,6%	27,1%	46,3%	44,7%	72,3%	43,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	500
Base remanescente	5,5	160
Sub-base	19	120
Subleito	120	120



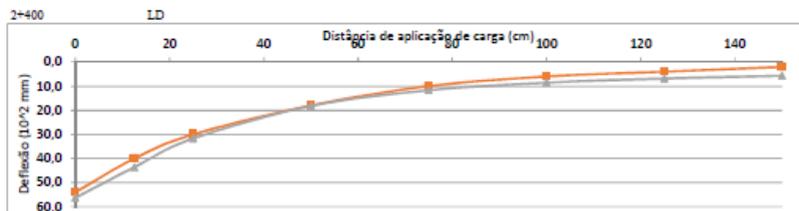
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	43,0	34,0	25,0	15,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	46,6	36,1	26,8	16,3	11	8,11	6,41	5,32
ϵ (%)	8,4%	6,2%	7,2%	8,7%	10,0%	1,4%	6,8%	33,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18,5	700
Base remanescente	2	150
Sub-base	23,5	150
Subleito		130



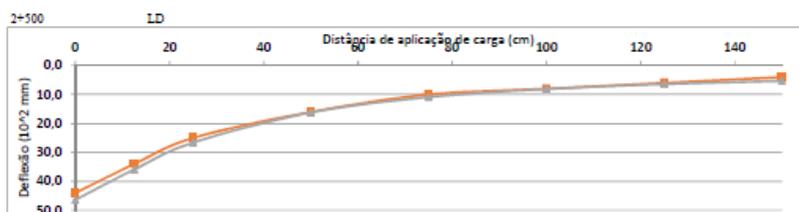
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	35,0	25,0	16,0	9,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	38,3	27,2	18,7	11	7,4	5,52	4,38	3,63
ϵ (%)	9,4%	8,8%	16,9%	22,2%	23,3%	38,0%	9,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18,5	600
Base remanescente	1,5	200
Sub-base	22,8	230
Subleito		190



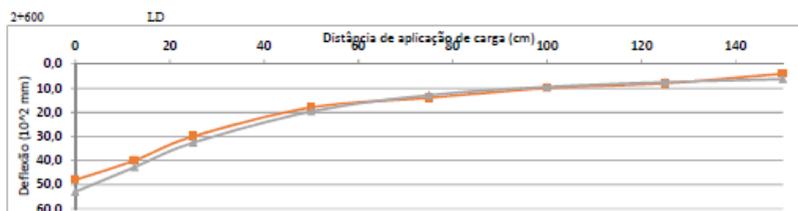
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	40,0	30,0	18,0	10,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	56,3	43,6	31,7	18,2	11,7	8,56	6,81	5,69
E (%)	4,3%	9,0%	5,7%	1,1%	17,0%	42,7%	70,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	600
Base remanescente	4	110
Sub-base	22,5	100
Subleito		120



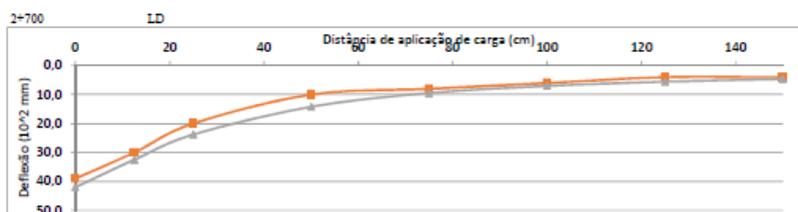
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	34,0	25,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	46,4	35,9	26,6	16,2	10,9	8,1	6,41	5,32
E (%)	5,5%	5,6%	6,4%	1,3%	9,0%	1,3%	6,8%	33,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	700
Base remanescente	-	-
Sub-base	24	160
Subleito		130



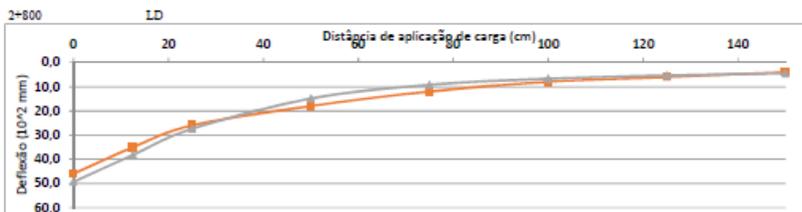
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	48,0	40,0	30,0	18,0	14,0	10,0	8,0	4,0
Def. Calculada	53	42,6	32,6	19,7	12,9	9,49	7,51	6,25
E (%)	10,4%	7,0%	8,7%	9,4%	7,9%	5,1%	6,1%	56,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	3,5	110
Sub-base	23,5	110
Subleito		110



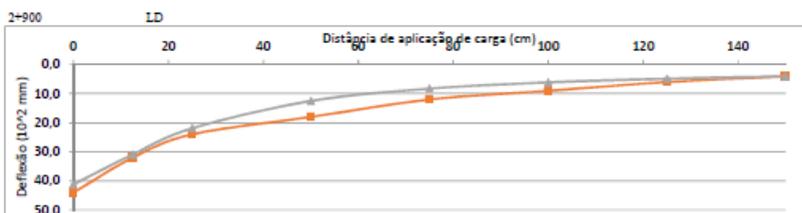
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	39,0	30,0	20,0	10,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	42	32,5	23,8	14,2	9,47	7,01	5,51	4,61
E (%)	7,7%	8,3%	19,0%	42,0%	18,4%	16,8%	38,8%	15,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	6	150
Sub-base	22,5	170
Subleito		150



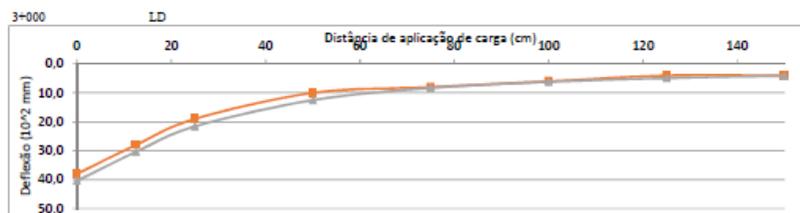
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	35,0	26,0	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	49,3	38,2	27,4	14,9	9,23	6,71	5,38	4,52
ϵ (%)	7,2%	9,1%	5,4%	17,2%	23,1%	16,1%	10,3%	13,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	710
Base romanescante	6	100
Sub-base	19,5	100
Subleito		150



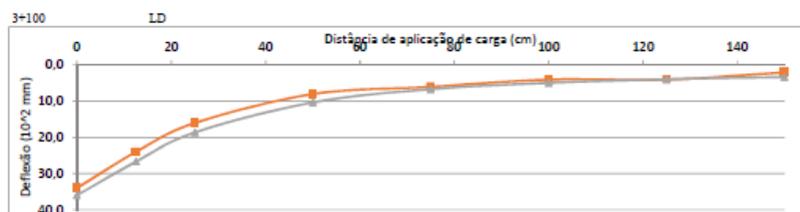
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	32,0	24,0	18,0	12,0	9,0	6,0	4,0
Def. Calculada	41,2	30,9	21,9	12,5	8,25	6,11	4,85	4,04
ϵ (%)	6,4%	3,4%	8,8%	30,6%	31,3%	32,1%	19,2%	1,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	710
Base romanescante	5,5	160
Sub-base	21,5	170
Subleito		170



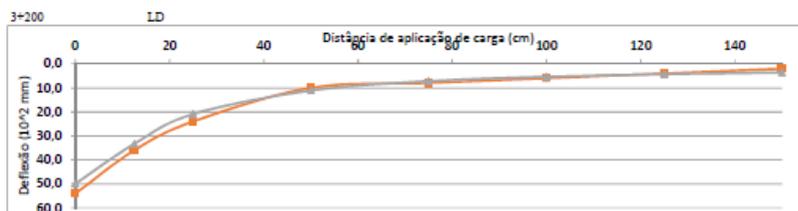
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	28,0	19,0	10,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	40,4	30,4	21,6	12,3	8,3	6,17	4,9	4,07
ϵ (%)	6,3%	8,6%	13,7%	25,0%	3,8%	2,8%	22,5%	1,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	750
Base remanescente	8	150
Sub-base	19	200
Subleito		170



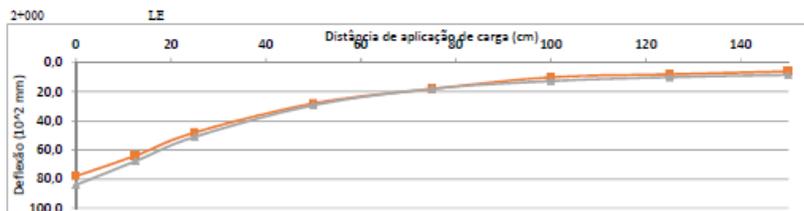
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	24,0	16,0	8,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	36	26,7	18,6	10,3	6,64	4,9	3,91	3,26
ϵ (%)	5,9%	11,3%	16,3%	28,8%	10,7%	22,5%	2,3%	63,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	800
Base remanescente	10	190
Sub-base	13	170
Subleito		210



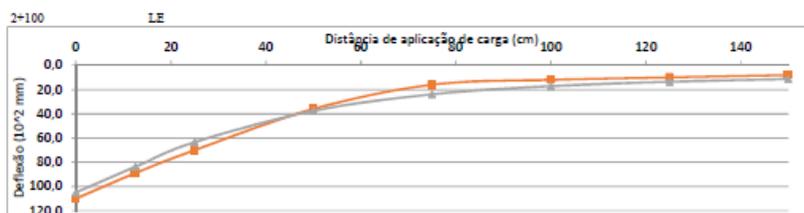
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	36,0	24,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	49,9	33,3	20,9	11,1	7,21	5,4	4,31	3,6
E (%)	7,6%	7,5%	12,9%	11,0%	9,9%	10,0%	7,7%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	400
Base remanescente	10	170
Sub-base	13	150
Subleito		190



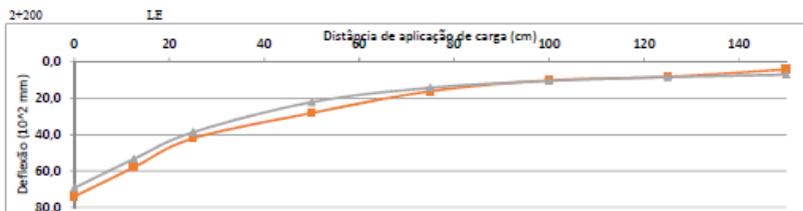
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	76,0	64,0	48,0	28,0	18,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	84,1	67,7	51	29,2	17,9	12,6	9,96	8,39
ϵ (%)	7,8%	5,8%	6,3%	4,3%	0,6%	26,0%	24,5%	39,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	19	500
Base remanescente	3	90
Sub-base	21	40
Subleito		80



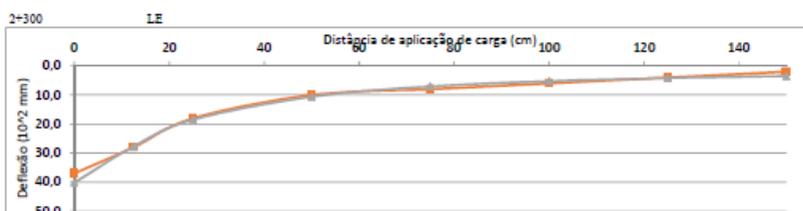
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	110,0	89,0	70,0	36,0	16,0	12,0	10,0	8,0
Def. Calculada	105	83,8	63,4	37,6	23,9	17,2	13,6	11,3
ϵ (%)	4,5%	5,8%	9,4%	4,4%	49,4%	43,3%	36,0%	41,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	390
Base remanescente	6	90
Sub-base	19	40
Subleito		60



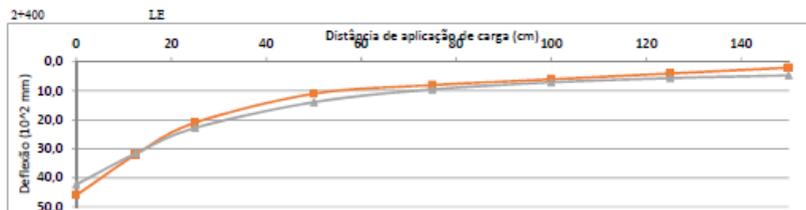
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	74,0	58,0	42,0	28,0	16,0	10,0	8,0	4,0
Def. Calculada	69,3	53,4	38,6	22	14,1	10,3	8,21	6,85
ϵ (%)	6,4%	7,9%	8,1%	21,4%	11,9%	3,0%	2,6%	71,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	500
Base remanescente	6	70
Sub-base	21,5	90
Subleito		100



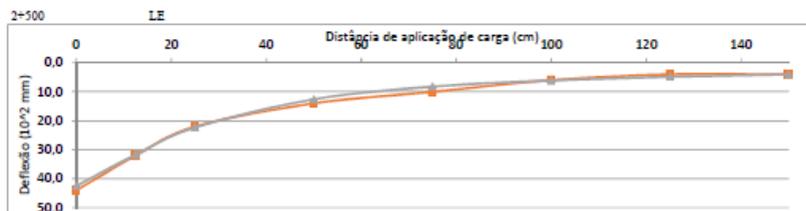
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	37,0	28,0	18,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	40,2	27,7	18,5	10,6	7,05	5,24	4,15	3,45
ϵ (%)	8,6%	1,1%	2,8%	6,0%	11,9%	12,7%	3,8%	72,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	550
Base remanescente	8,5	250
Sub-base	16	220
Subleito		200



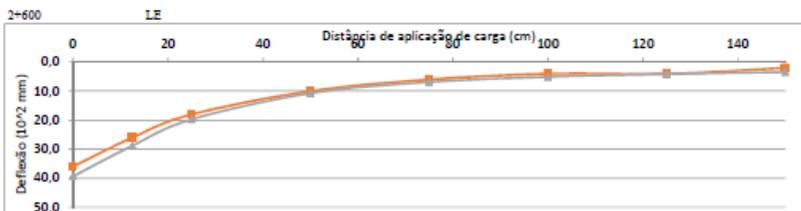
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	32,0	21,0	11,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	42,3	31,6	22,8	13,9	9,48	7,07	5,59	4,63
E (%)	8,0%	1,3%	8,6%	26,4%	18,5%	17,8%	39,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	700
Base remanescente	1	200
Sub-base	26	200
Subleito		150



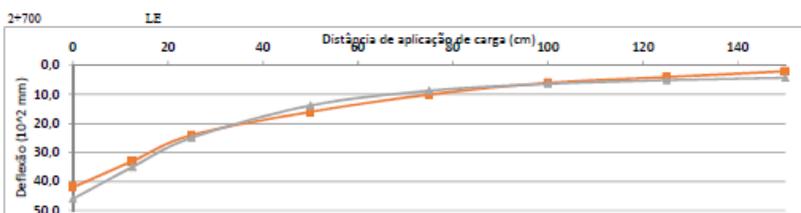
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	32,0	22,0	14,0	10,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	42,5	31,7	22,3	12,6	8,22	6,08	4,84	4,03
E (%)	3,4%	0,9%	1,4%	10,0%	17,8%	1,3%	21,0%	0,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	700
Base remanescente	4	140
Sub-base	21	160
Subleito		170



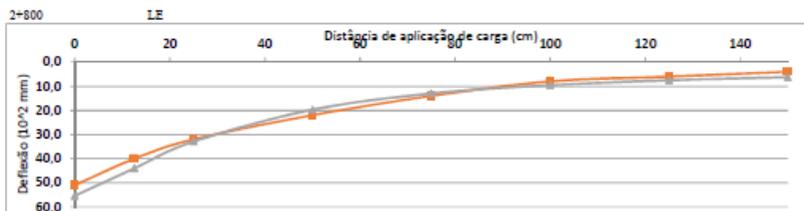
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	26,0	18,0	10,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	39,4	28,8	19,7	10,7	6,84	5,07	4,07	3,41
ϵ (%)	9,4%	10,8%	9,4%	7,0%	14,0%	26,8%	1,8%	70,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	710
Base remanescente	2,5	200
Sub-base	24,5	160
Subleito		200



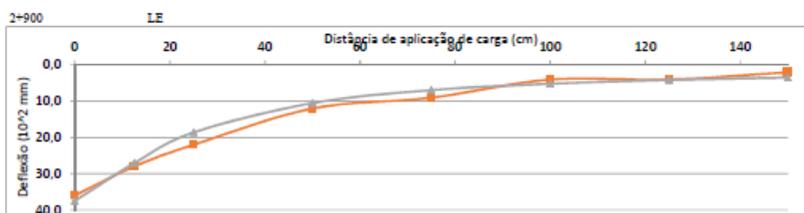
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	33,0	24,0	16,0	10,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	46	35	24,9	13,8	8,7	6,35	5,07	4,25
ϵ (%)	9,5%	6,1%	3,7%	13,8%	13,0%	5,8%	26,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	710
Base remanescente	5	130
Sub-base	22,5	120
Subleito		160



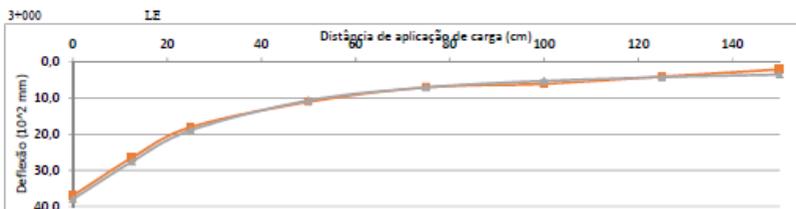
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	51,0	40,0	32,0	22,0	14,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	55,4	44	32,9	19,7	13	9,54	7,54	6,26
ϵ (%)	8,6%	10,0%	2,8%	10,5%	7,1%	19,3%	25,7%	56,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	710
Base remanescente	7	140
Sub-base	19,5	110
Subleito		110



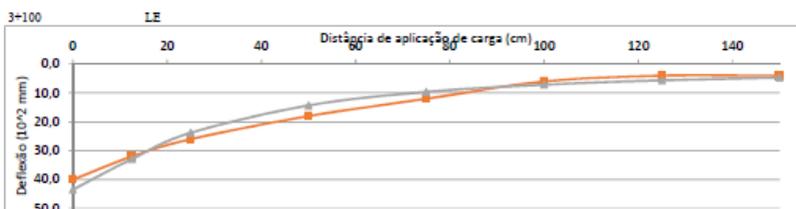
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	28,0	22,0	12,0	9,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	37,5	27,1	18,6	10,5	6,92	5,16	4,11	3,43
ϵ (%)	4,2%	3,2%	15,5%	12,5%	23,1%	29,0%	2,8%	71,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	710
Base remanescente		
Sub-base	26,5	200
Subleito		200



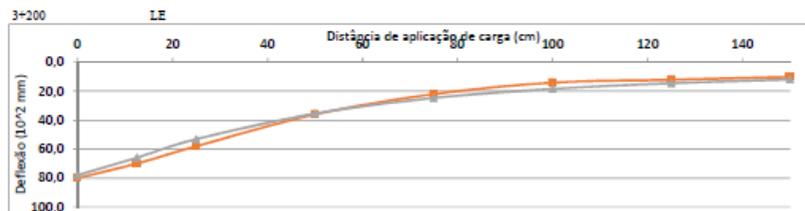
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	37,0	26,5	18,0	11,0	7,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	38	27,6	18,9	10,6	6,98	5,19	4,13	3,44
E (%)	2,7%	4,2%	5,0%	3,6%	0,3%	13,5%	3,3%	72,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	710
Base remanescente	7	200
Sub-base	20	200
Subleito		200



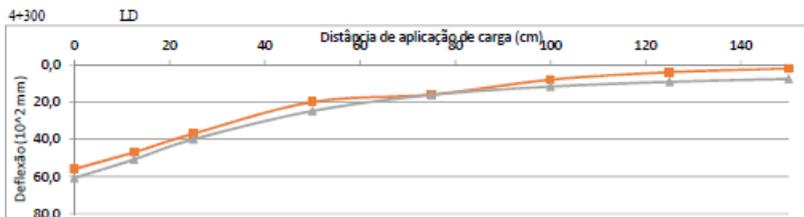
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	32,0	26,0	18,0	12,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	43,5	32,9	23,8	14,3	9,61	7,11	5,61	4,64
E (%)	8,7%	2,8%	8,5%	20,6%	19,9%	18,5%	40,3%	16,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	710
Base remanescente	14,5	180
Sub-base	12	180
Subleito		150



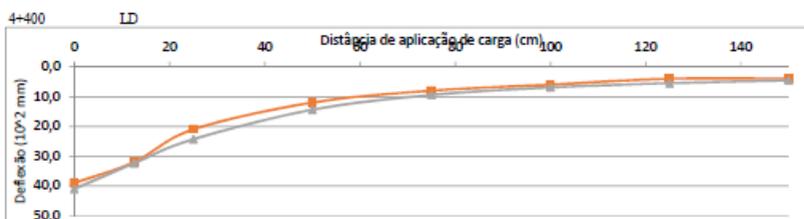
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	80,0	70,0	58,0	36,0	22,0	14,0	12,0	10,0
Def. Calculada	78,1	65,9	53,1	35,4	24,6	18,3	14,4	11,8
E (%)	2,4%	5,9%	8,4%	1,7%	11,8%	30,7%	20,0%	18,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	710
Base remanescente	14,5	90
Sub-base	12	90
Subleito		60



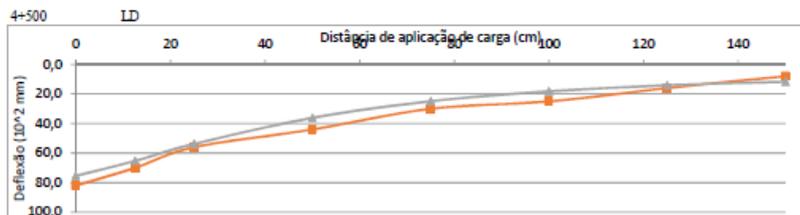
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	47,0	37,0	30,0	16,0	8,0	4,0	2,0
Def. Calculada	60,8	50,9	40	24,8	16,2	11,7	9,15	7,6
ϵ (%)	8,6%	8,3%	8,1%	24,0%	1,3%	46,3%	-	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	920
Base remanescente	5	140
Sub-base	16	70
Subleito		90



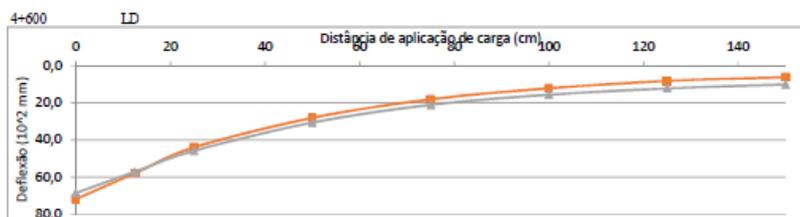
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	39,0	32,0	21,0	12,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	41	32,4	24,3	14,4	9,45	6,92	5,49	4,57
ϵ (%)	5,1%	1,3%	15,7%	20,0%	18,1%	15,3%	37,3%	14,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1000
Base remanescente	1,5	220
Sub-base	20	140
Subleito		150



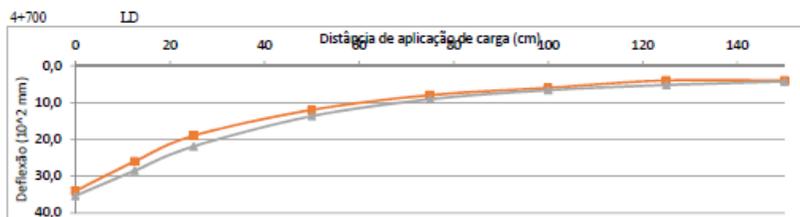
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	82,0	70,0	56,0	44,0	30,0	25,0	16,0	8,0
Def. Calculada	75,4	65,3	53,8	36,2	24,9	18,2	14,1	11,6
ϵ (%)	8,0%	6,7%	3,9%	17,7%	17,0%	27,2%	11,9%	45,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	900
Base remanescente	7	170
Sub-base	15,5	60
Subleito		60



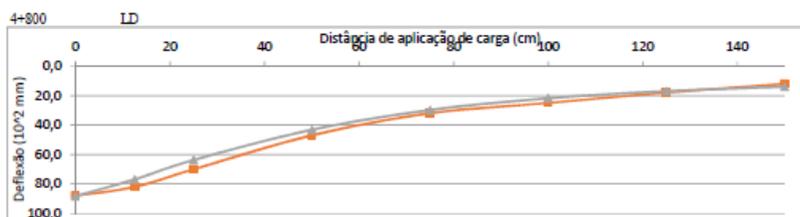
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	72,0	58,0	44,0	28,0	18,0	12,0	8,0	6,0
Def. Calculada	68,7	57,2	45,8	30,6	21	15,5	12,1	9,96
ϵ (%)	4,6%	1,4%	4,1%	9,3%	16,7%	29,2%	51,3%	66,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	900
Base remanescente	1	180
Sub-base	23	90
Subleito		70



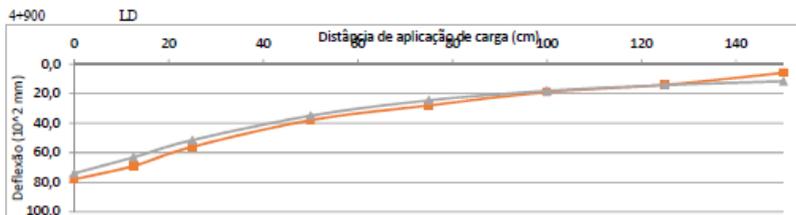
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	26,0	19,0	12,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	35,3	28,5	21,9	13,7	9,11	6,64	5,22	4,32
ϵ (%)	3,8%	9,6%	15,3%	14,3%	13,9%	10,7%	30,5%	8,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1200
Base remanescente	9,5	250
Sub-base	17	150
Subleito		160



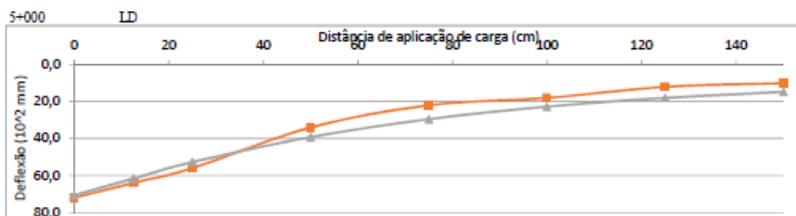
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	82,0	70,0	47,0	32,0	25,0	18,0	12,0
Def. Calculada	88,3	76,9	63,7	43,2	29,8	21,8	17	14
ϵ (%)	0,3%	6,2%	9,0%	8,1%	6,9%	12,8%	5,6%	16,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	800
Base remanescente	2	100
Sub-base	20	60
Subleito		50



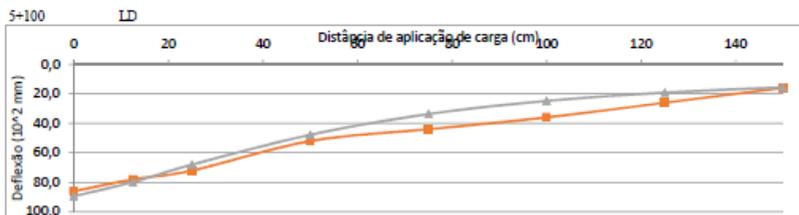
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	78,0	69,0	56,0	38,0	28,0	19,0	14,0	6,0
Def. Calculada	74	63,1	51,5	35	24,6	18,2	14,3	11,7
ε (%)	5,1%	8,6%	8,0%	7,9%	12,1%	4,2%	2,1%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	1,8	200
Sub-base	20,7	100
Subleito		60



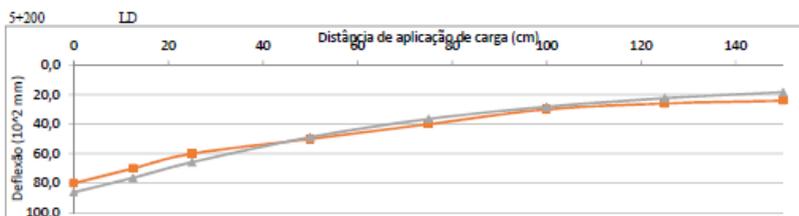
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	72,0	64,0	56,0	34,0	23,0	18,0	12,0	10,0
Def. Calculada	70,7	61,7	52,7	39,2	29,5	22,7	18	14,7
ε (%)	1,8%	3,6%	5,9%	15,3%	34,1%	26,1%	50,0%	47,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	900
Base remanescente	7	220
Sub-base	16	160
Subleito		50



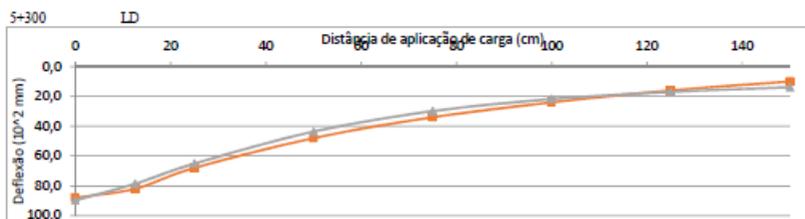
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	78,0	72,0	52,0	44,0	36,0	26,0	16,0
Def. Calculada	89,4	79,8	68	47,8	33,7	24,8	19,2	15,6
ε (%)	4,0%	2,3%	5,6%	8,1%	23,4%	31,1%	26,2%	2,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1000
Base remanescente	4	100
Sub-base	18	50
Subleito		45



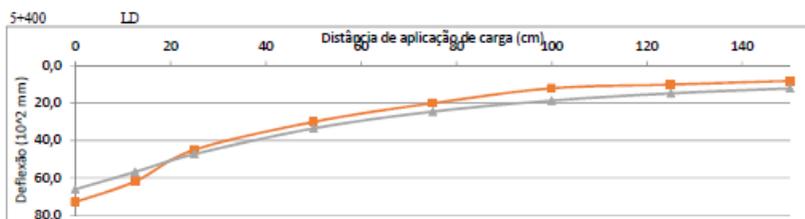
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	80,0	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	26,0	24,0
Def. Calculada	86,2	76,4	65,8	48,8	36,5	28,2	22,4	18,3
ε (%)	7,8%	9,1%	9,7%	2,4%	8,8%	6,0%	13,8%	23,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	4,5	200
Sub-base	23	100
Subleito		40



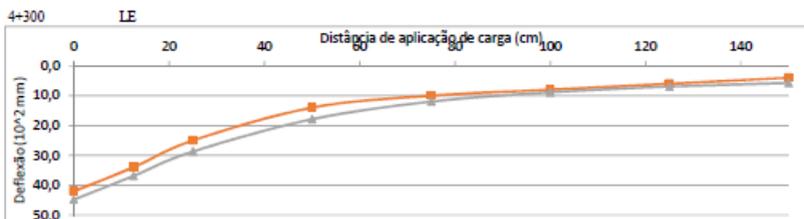
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	82,0	68,0	48,0	34,0	24,0	16,0	10,0
Def. Calculada	89,7	78,7	65,1	43,6	29,9	21,8	17	13,9
ϵ (%)	1,9%	4,0%	4,3%	9,2%	12,1%	9,2%	6,3%	39,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	900
Base remanescente	5	50
Sub-base	22	60
Subleito		50



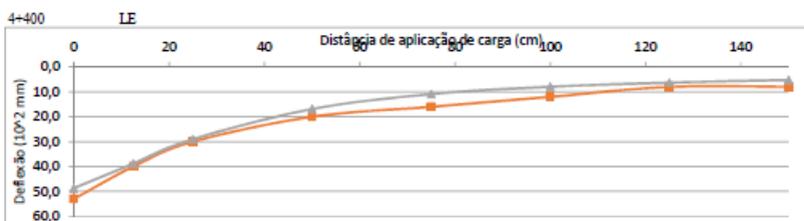
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	73,0	62,0	45,0	30,0	20,0	12,0	10,0	8,0
Def. Calculada	66,2	56,9	47,3	33,5	24,5	18,6	14,7	12
ϵ (%)	9,3%	8,2%	5,1%	11,7%	22,5%	55,0%	47,0%	50,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	4,5	180
Sub-base	21	120
Subleito		60



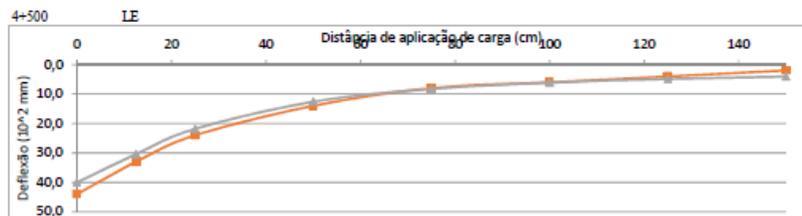
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	34,0	25,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	44,8	36,9	28,7	17,9	12	8,85	6,97	5,77
E (%)	6,7%	8,5%	14,8%	27,9%	20,0%	10,6%	16,2%	44,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1100
Base remanescente	3	130
Sub-base	18,5	150
Subleito		120



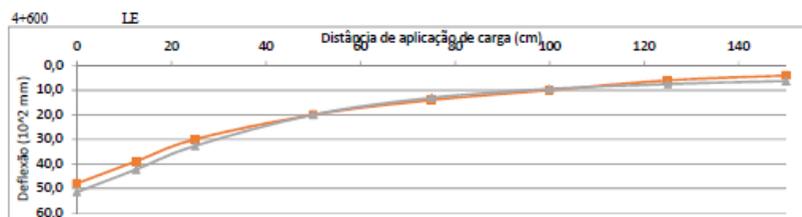
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	53,0	40,0	30,0	20,0	16,0	12,0	8,0	8,0
Def. Calculada	48,7	38,8	29	16,9	10,9	7,93	6,29	5,25
E (%)	8,1%	3,0%	3,3%	15,5%	31,9%	33,9%	21,4%	34,4%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	850
Base remanescente	5	180
Sub-base	18	100
Subleito		130



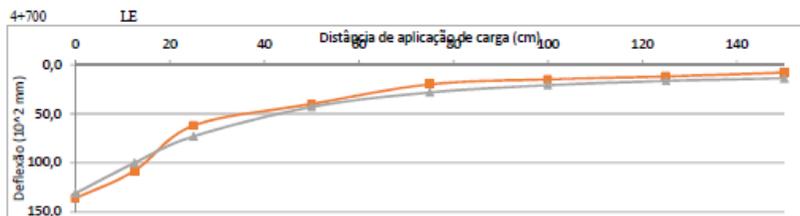
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	33,0	24,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	40	30,4	21,8	12,6	8,26	6,11	4,85	4,04
ε (%)	9,1%	7,9%	9,2%	10,0%	3,3%	1,8%	21,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	800
Base remanescente	3,5	170
Sub-base	19	170
Subleito		170



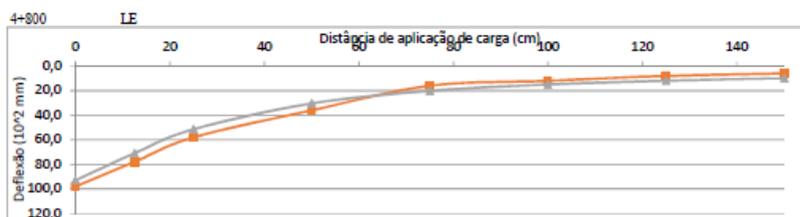
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	48,0	39,0	30,0	20,0	14,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	51,5	43,3	32,7	20	13,1	9,52	7,5	6,24
ε (%)	7,3%	8,3%	9,0%	0,0%	6,4%	4,8%	25,0%	56,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	950
Base remanescente	4	170
Sub-base	20	100
Subleito		110



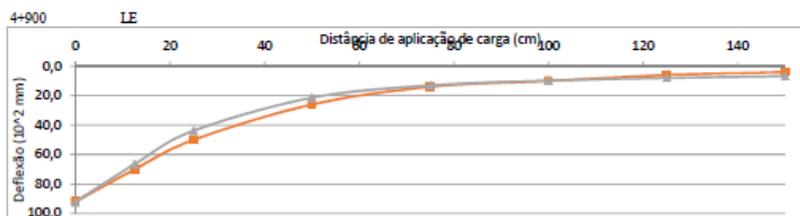
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	136,0	108,0	62,0	40,0	20,0	15,0	12,0	8,0
Def. Calculada	131	100	73	43	28,3	20,9	16,5	13,8
ϵ (%)	3,7%	7,4%	17,7%	7,5%	41,5%	39,3%	37,5%	72,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	250
Base remanescente	4	60
Sub-base	21	50
Subleito		50



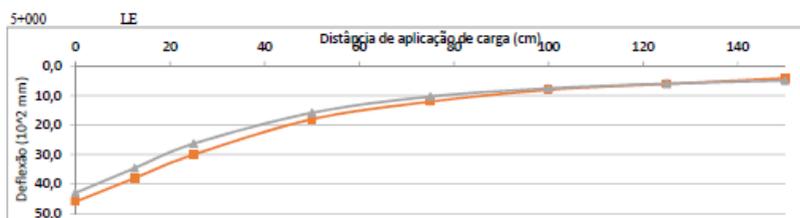
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	98,0	78,0	58,0	36,0	16,0	12,0	8,0	6,0
Def. Calculada	93	71	51,4	30,4	20,2	15	11,9	9,85
ϵ (%)	5,1%	9,0%	11,4%	15,6%	26,3%	25,0%	48,8%	64,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	350
Base remanescente	2,5	70
Sub-base	20	80
Subleito		70



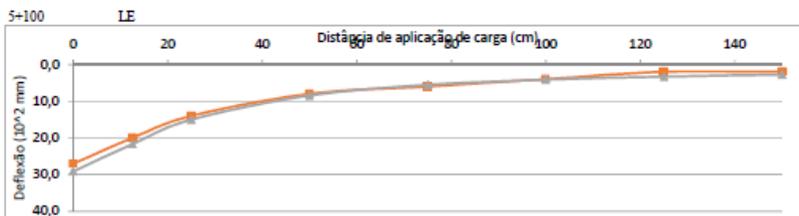
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	92,0	70,0	50,0	26,0	14,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	92,2	66,5	43,8	21,4	13,1	9,8	8,01	6,77
ϵ (%)	0,2%	5,0%	12,4%	17,7%	6,4%	2,0%	33,5%	69,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	300
Base remanescente	3	100
Sub-base	20	50
Subleito		100



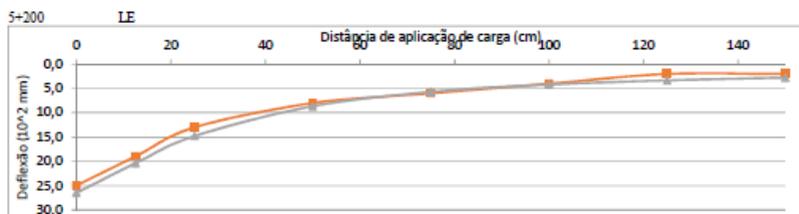
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	38,0	30,0	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	43	34,6	26,3	15,8	10,3	7,5	5,91	4,91
ϵ (%)	6,5%	8,9%	12,3%	12,3%	14,2%	6,3%	1,5%	22,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1000
Base remanescente	9,5	150
Sub-base	13	120
Subleito		140



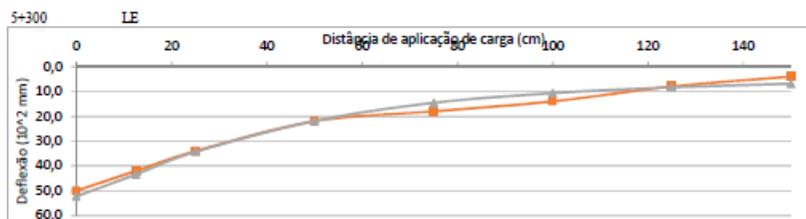
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	27,0	20,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	29,1	21,7	15	8,44	5,56	4,14	3,3	2,75
ε (%)	7,8%	8,5%	7,1%	5,5%	7,3%	3,5%	65,0%	37,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	950
Base remanescente	1,5	120
Sub-base	21	260
Subleito		250



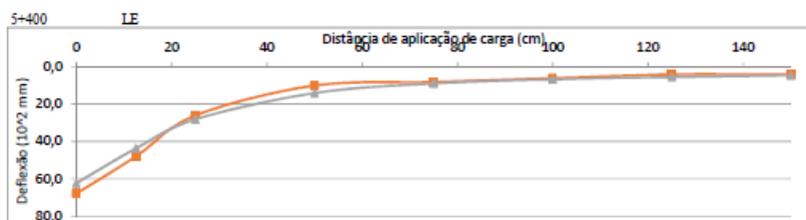
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	25,0	19,0	13,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	26,5	20,4	14,8	8,65	5,68	4,18	3,32	2,76
ε (%)	6,0%	7,4%	13,8%	8,1%	5,3%	4,5%	66,0%	38,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1300
Base remanescente	9	270
Sub-base	17	250
Subleito		250



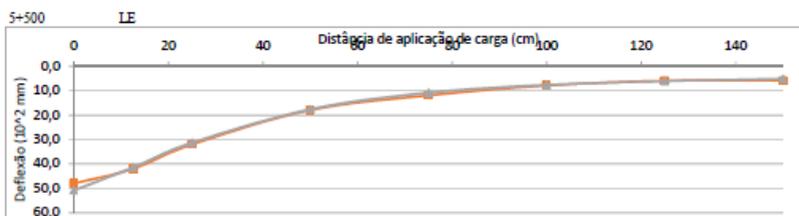
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	50,0	42,0	34,0	22,0	18,0	14,0	8,0	4,0
Def. Calculada	52,2	43,4	34,3	21,9	14,6	10,7	8,36	6,91
ϵ (%)	4,4%	3,3%	0,9%	0,5%	18,9%	23,6%	4,5%	72,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	950
Base remanescente	5	170
Sub-base	19	100
Subleito		100



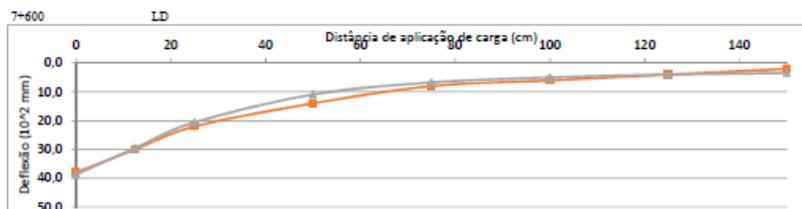
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	68,0	48,0	26,0	10,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	62,4	43,7	28,1	14	8,84	6,64	5,38	4,53
ϵ (%)	8,2%	9,0%	8,1%	40,0%	10,5%	10,7%	34,5%	13,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	400
Base remanescente	3	100
Sub-base	23	100
Subleito		150



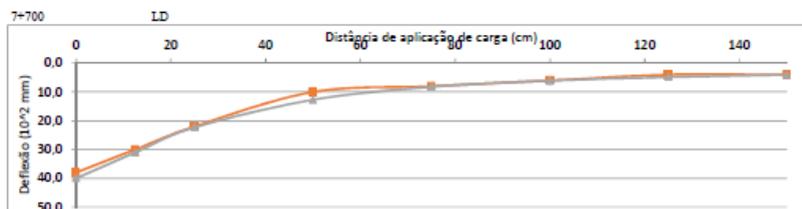
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	48,0	42,0	32,0	18,0	12,0	8,0	6,0	6,0
Def. Calculada	50,8	41,5	31,3	17,7	10,9	7,74	6,16	5,19
ε (%)	5,8%	1,2%	2,2%	1,7%	9,2%	3,3%	2,7%	13,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1000
Base remanescente	3	80
Sub-base	23	80
Subleito		130



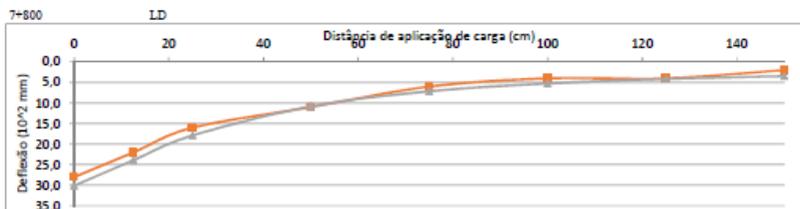
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	30,0	22,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	38,7	29,5	20,6	10,9	6,73	4,97	4,01	3,39
ϵ (%)	1,8%	1,7%	6,4%	22,1%	15,9%	17,2%	0,2%	69,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	900
Base remanescente		
Sub-base	26	130
Subleito		200



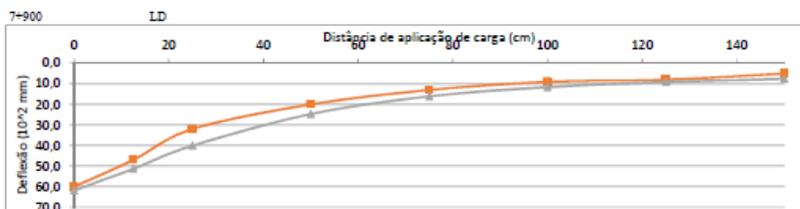
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150	
Def. Medida	38,0	30,0	22,0	10,0	8,0	6,0	4,0	4,0	
Def. Calculada	40	31	22,3	12,7	8,22	6,06	4,83	4,03	
ϵ (%)		5,3%	3,3%	1,4%	27,0%	2,8%	1,0%	20,8%	0,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	900
Base remanescente	3	120
Sub-base	23	160
Subleito		170



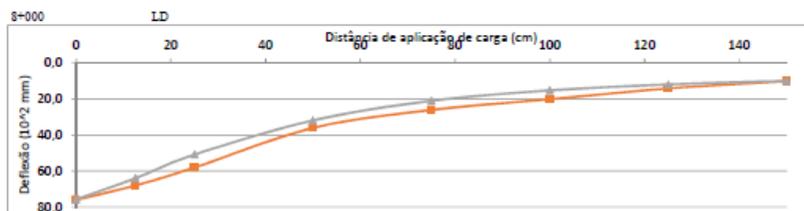
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	22,0	16,0	11,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	30,1	23,9	17,9	10,8	7,15	5,25	4,15	3,45
ϵ (%)	7,5%	8,6%	11,9%	1,8%	19,2%	31,3%	3,8%	72,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1300
Base permanente	4,5	220
Sub-base	14	220
Subleito		200



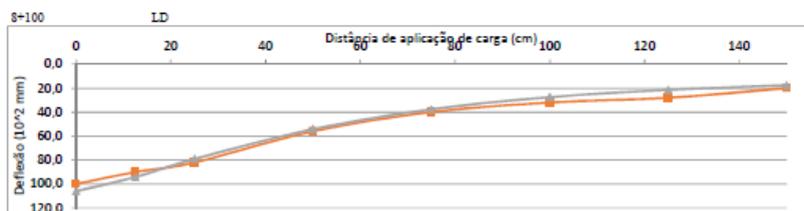
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	47,0	32,0	20,0	13,0	9,0	8,0	5,0
Def. Calculada	61,9	51,3	40,1	24,7	16,1	11,6	9,13	7,59
ϵ (%)	3,2%	9,1%	25,3%	23,5%	23,8%	28,9%	14,1%	51,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	900
Base permanente	1,5	190
Sub-base	18	70
Subleito		90



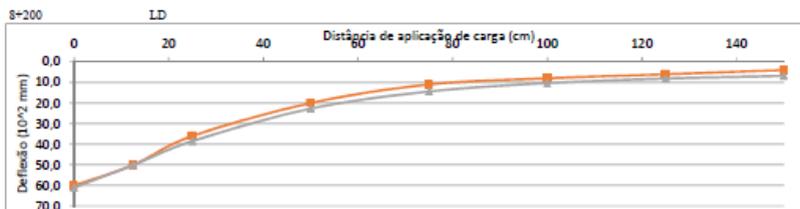
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Daf. Medida	76,0	68,0	58,0	36,0	26,0	20,0	14,0	10,0
Daf. Calculada	75,7	64	50,8	31,8	20,9	15,1	11,8	9,81
ϵ (%)	0,4%	5,9%	12,4%	11,7%	19,6%	24,5%	15,7%	1,9%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	800
Base rammeante	6	80
Sub-base	14	60
Subleito		70



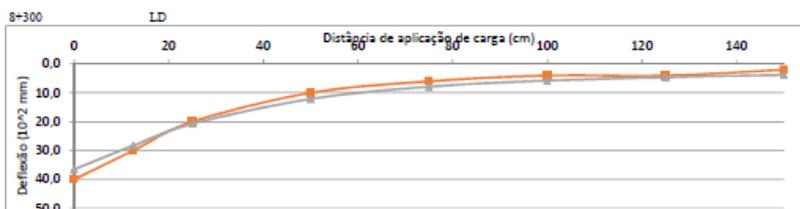
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Daf. Medida	100,0	90,0	82,0	56,0	40,0	32,0	28,0	20,0
Daf. Calculada	106	94,2	79,1	54,3	37,7	27,5	21,4	17,5
ϵ (%)	6,0%	4,7%	3,5%	3,0%	5,7%	14,1%	23,6%	12,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	800
Base rammeante	4	50
Sub-base	14,5	50
Subleito		40



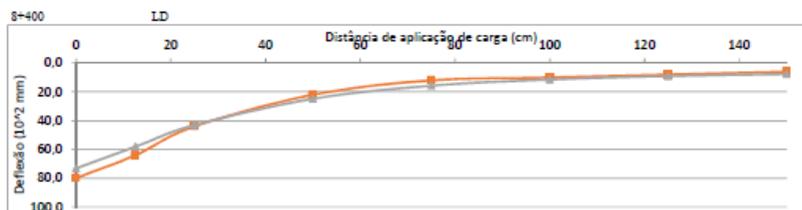
Distancia	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	50,0	36,0	20,0	11,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	61,1	50,1	38,5	22,7	14,4	10,3	8,12	6,79
ϵ (%)	1,8%	0,2%	6,9%	13,5%	30,9%	28,8%	35,3%	69,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	800
Base permanente	4	90
Sub-base	16	60
Subleito		100



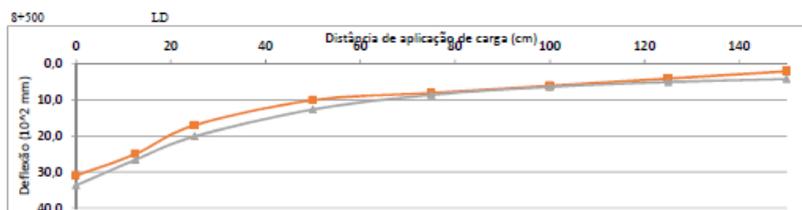
Distancia	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	30,0	20,0	10,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	36,5	28,3	20,7	12,1	7,86	5,76	4,57	3,81
ϵ (%)	8,8%	5,7%	3,5%	21,0%	31,0%	44,0%	14,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18,5	950
Base permanente	3,5	180
Sub-base	15	150
Subleito		180



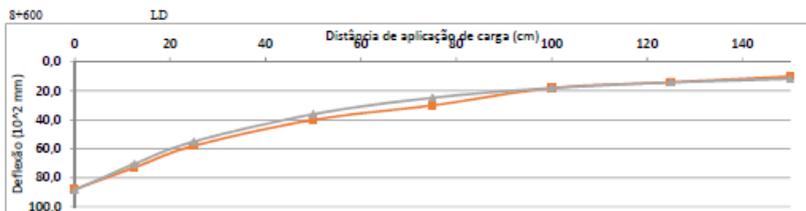
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	80,0	64,0	44,0	22,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	73,1	58,1	43,1	24,8	15,7	11,4	9,04	7,57
ϵ (%)	8,6%	9,2%	2,0%	12,7%	30,8%	14,0%	13,0%	26,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	550
Base remanescente	5,5	100
Sub-base	16,5	60
Subleito		90



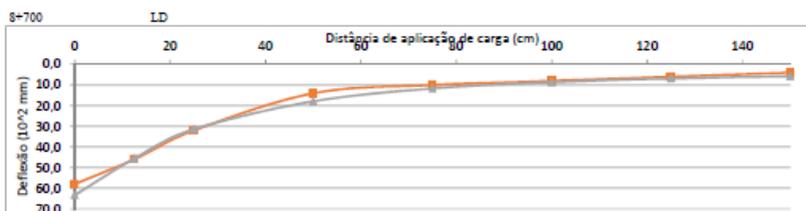
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	31,0	25,0	17,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	33,7	26,6	20,1	12,6	8,54	6,31	4,97	4,1
ϵ (%)	8,7%	6,4%	18,2%	26,0%	6,7%	5,2%	24,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1100
Base remanescente	10	220
Sub-base	16	220
Subleito		170



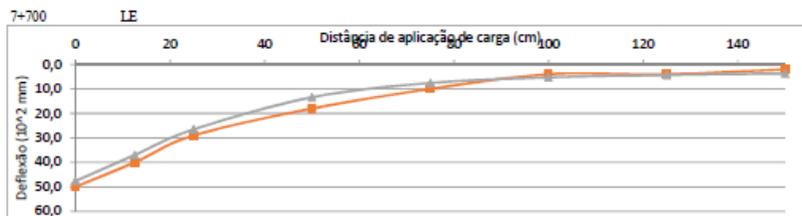
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	88,0	73,0	58,0	40,0	30,0	18,0	14,0	10,0
Def. Calculada	88,5	70,5	55	36,1	24,7	18	14,1	11,6
E (%)	0,6%	3,4%	5,2%	9,7%	17,7%	0,0%	0,7%	16,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	400
Base remanescente	7,5	300
Sub-base	17	60
Subleito		60

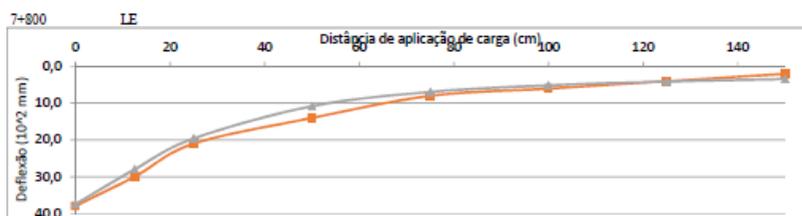


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	46,0	32,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	63,3	45,6	31,4	17,9	11,7	8,65	6,87	5,72
E (%)	9,1%	0,9%	1,9%	27,9%	17,0%	8,1%	14,5%	43,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	400
Base remanescente	7	150
Sub-base	19	110
Subleito		120



Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	800
Base remanescente	6,5	150
Sub-base	19,5	60
Subleito		180

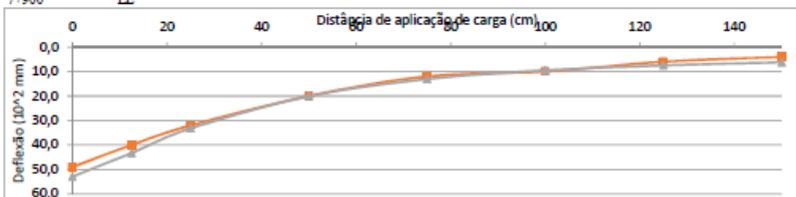


Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	800
Base remanescente	5	180
Sub-base	13	140
Subleito		200

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	800
Base remanescente	5	180
Sub-base	13	140
Subleito		200

7-900

LE

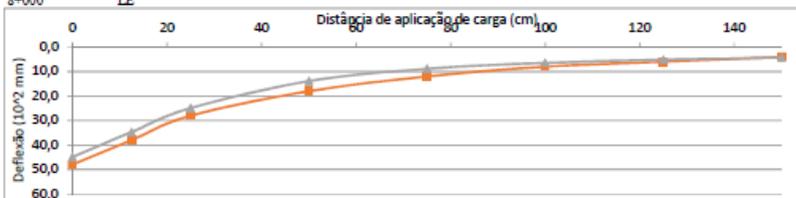


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	49,0	40,0	32,0	20,0	13,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	53,9	43,3	33,2	20,1	13,1	9,53	7,51	6,24
ε (%)	8,0%	8,3%	3,8%	0,5%	9,2%	4,7%	25,2%	56,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	5,5	100
Sub-base	15	100
Subleito		110

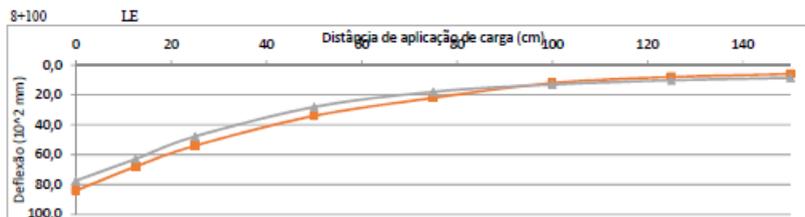
8+000

LE



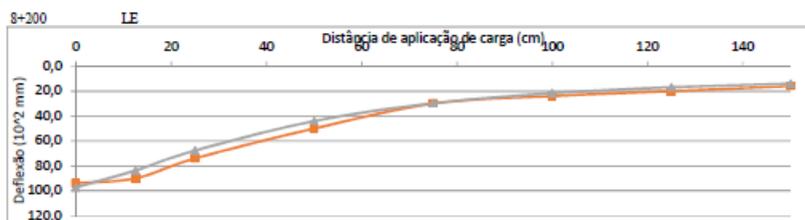
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	48,0	38,0	28,0	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	44,9	34,7	24,9	13,9	8,83	6,46	5,14	4,29
ε (%)	6,5%	8,7%	11,1%	22,8%	26,4%	19,3%	14,3%	7,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	800
Base remanescente	13	130
Sub-base	6	100
Subleito		160



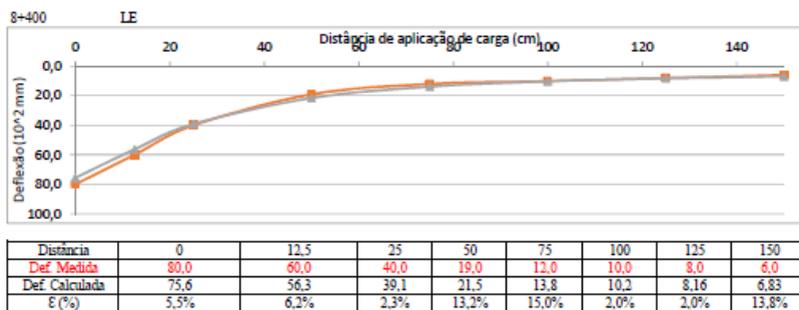
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	84,0	68,0	54,0	34,0	22,0	12,0	8,0	6,0
Def. Calculada	77,4	62,9	47,8	28,1	17,9	13	10,2	8,34
ϵ (%)	7,9%	7,5%	11,5%	17,4%	18,6%	8,3%	27,5%	42,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	600
Base remanescente	7,5	70
Sub-base	10	50
Subleito		80

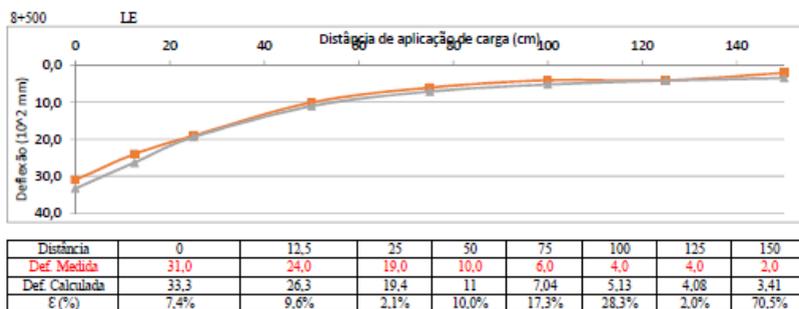


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	94,0	90,0	74,0	50,0	30,0	24,0	20,0	16,0
Def. Calculada	97,3	83,7	67,7	44	29,7	21,6	16,9	13,9
ϵ (%)	3,5%	7,0%	8,5%	12,0%	1,0%	10,0%	15,5%	13,1%

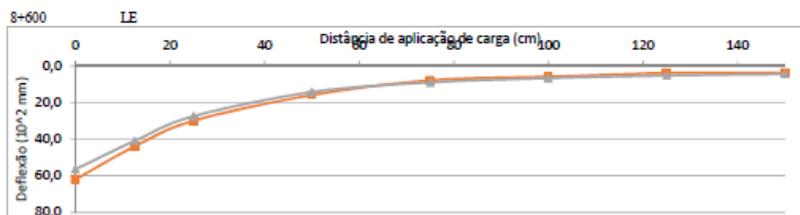
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	700
Base remanescente	7,5	50
Sub-base	14,5	60
Subleito		50



Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	400
Base remanescente	5	100
Sub-base	19	80
Subleito		100

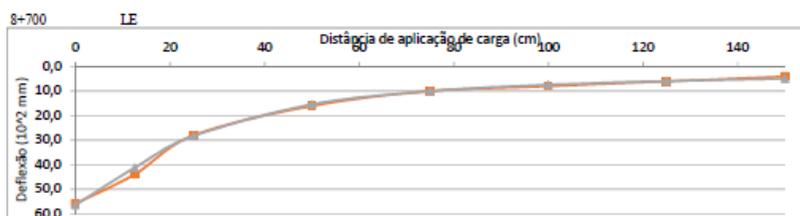


Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1200
Base remanescente	6	180
Sub-base	20	160
Subleito		200



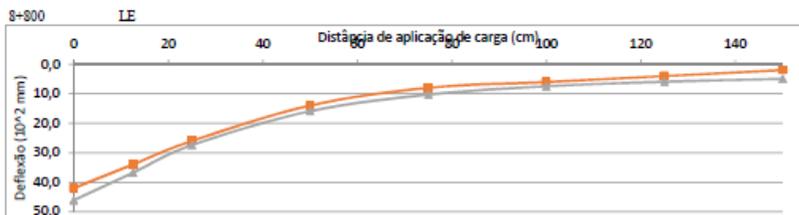
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	62,0	44,0	30,0	16,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	56,4	41	27,5	14,4	9,13	6,77	5,43	4,55
ϵ (%)	9,0%	6,8%	8,3%	10,0%	14,1%	12,8%	35,8%	13,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	500
Base remanescente	8	100
Sub-base	21	120
Subleito		150



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	44,0	28,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	56,5	41,3	28,3	15,4	9,99	7,4	5,9	4,92
ϵ (%)	0,9%	6,1%	1,1%	3,8%	0,1%	7,5%	1,7%	23,0%

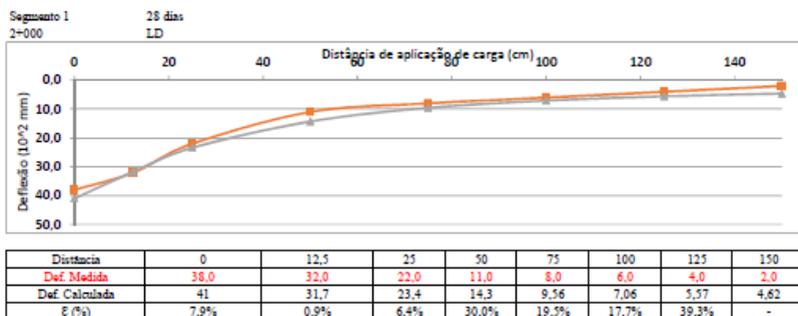
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	500
Base remanescente	10,5	100
Sub-base	15,5	140
Subleito		140



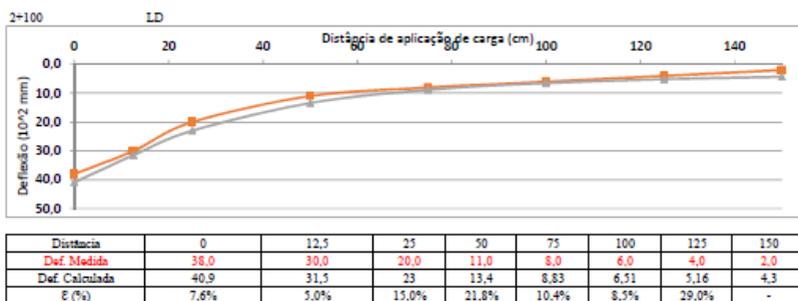
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	34,0	26,0	14,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	46,1	36,8	27,4	15,9	10,3	7,47	5,91	4,92
ε (%)	9,8%	8,2%	5,4%	13,6%	28,8%	24,5%	47,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	10,5	100
Sub-base	15,5	140
Subleito		140

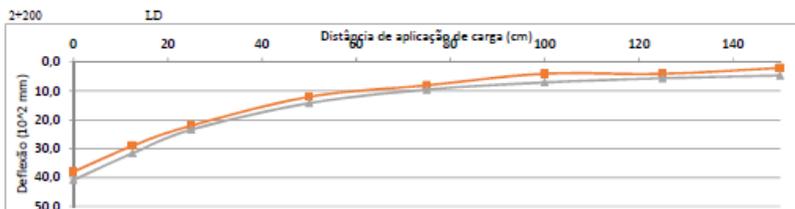
APÊNDICE L – RETROANÁLISE 28 DIAS



Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	8,5	200
Sub-base	16,5	170
Subleito		150

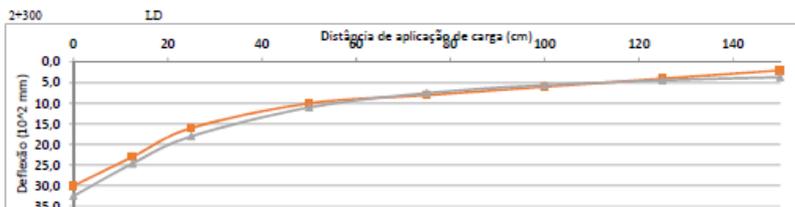


Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	810
Base remanescente	5,5	160
Sub-base	19	160
Subleito		160



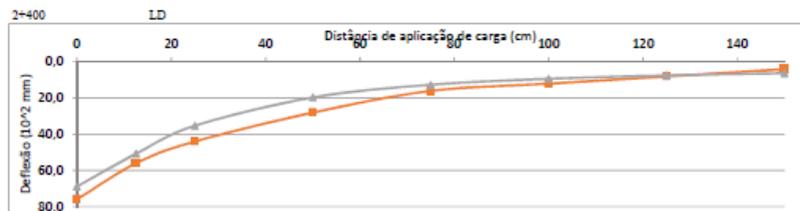
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Média	38,0	29,0	22,0	12,0	8,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	40,8	31,6	23,4	14,2	9,49	7,01	5,55	4,6
E (%)	7,4%	9,0%	6,4%	18,3%	18,6%	75,3%	38,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18,5	800
Base remanescente	2	150
Sub-base	23,5	170
Subleito		150



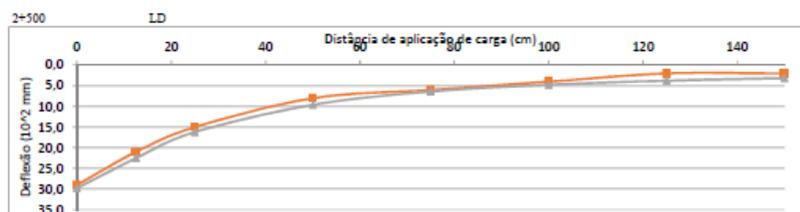
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Média	30,0	23,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	32,5	24,6	18	11	7,5	5,58	4,41	3,65
E (%)	8,3%	7,0%	12,5%	10,0%	6,3%	7,0%	10,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18,5	900
Base remanescente	1,5	200
Sub-base	22,8	250
Subleito		190



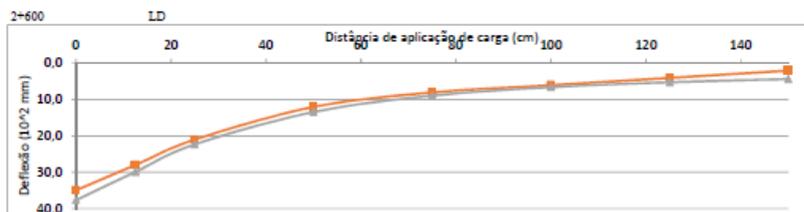
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	76,0	56,0	44,0	28,0	16,0	12,0	8,0	4,0
Def. Calculada	68,9	50,8	35,3	19,6	12,6	9,28	7,41	6,2
ϵ (%)	9,3%	9,3%	19,8%	30,0%	21,3%	22,7%	7,4%	55,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	400
Base remanescente	4	100
Sub-base	22,5	90
Subleito		110



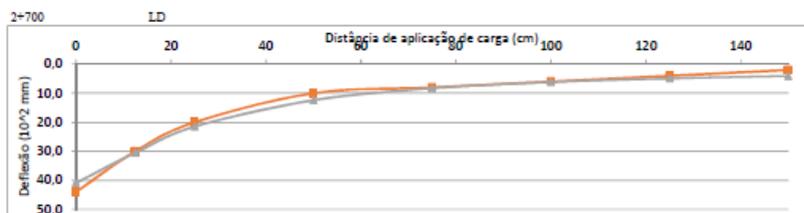
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	29,0	21,0	15,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	29,8	22,5	16,2	9,59	6,38	4,74	3,76	3,13
ϵ (%)	2,8%	7,1%	8,0%	19,9%	6,3%	18,5%	88,0%	56,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	1000
Base remanescente	-	-
Sub-base	24	240
Subleito		220



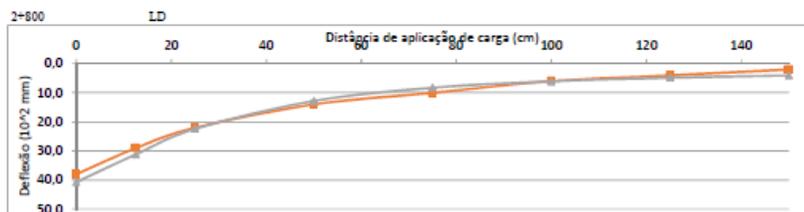
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	35,0	28,0	21,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	37,7	29,9	22,3	13,4	8,89	6,56	5,2	4,31
E (%)	7,7%	6,8%	6,2%	11,7%	11,1%	9,3%	30,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	1000
Base remanescente	3,5	130
Sub-base	23,5	180
Subleito		160



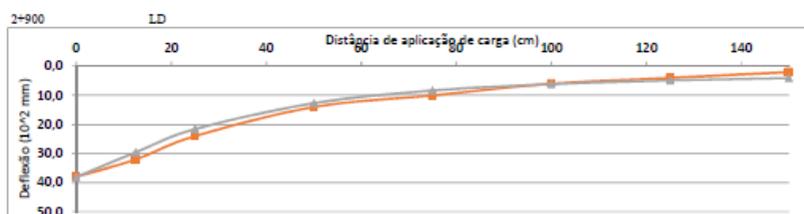
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	39,0	20,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	40,9	30,5	21,5	12,4	8,27	6,15	4,89	4,06
E (%)	7,0%	1,7%	7,5%	24,0%	3,4%	2,5%	22,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	700
Base remanescente	6	150
Sub-base	22,5	190
Subleito		170



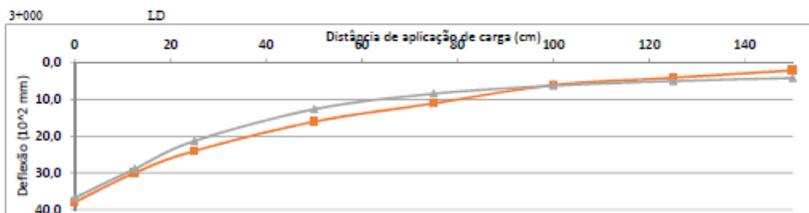
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	29,0	22,0	14,0	10,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	40,7	31,2	22,4	12,8	8,25	6,06	4,82	4,03
ϵ (%)	7,1%	7,6%	1,8%	8,6%	17,5%	1,0%	20,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	900
Base remanescente	6	150
Sub-base	19,5	150
Subleito		170



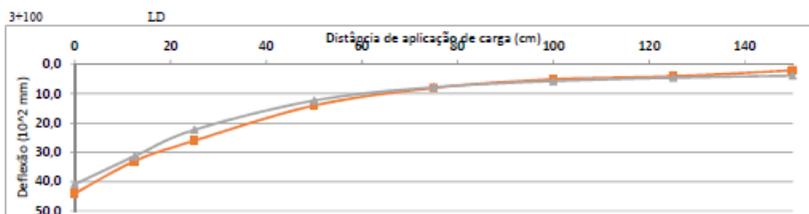
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	32,0	24,0	14,0	10,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	38,1	29,6	21,6	12,7	8,32	6,13	4,86	4,04
ϵ (%)	0,3%	7,5%	10,0%	9,3%	16,8%	2,2%	21,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	900
Base remanescente	5,5	160
Sub-base	21,5	170
Subleito		170



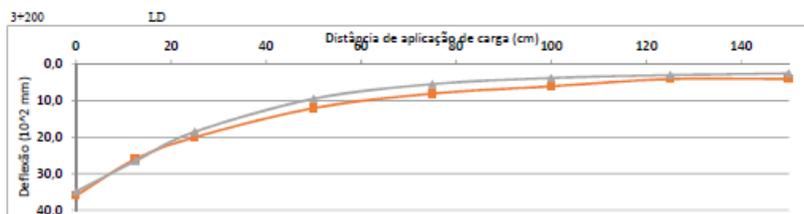
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	30,0	24,0	16,0	11,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	36,8	28,9	21,3	12,6	8,37	6,19	4,9	4,07
ϵ (%)	3,2%	3,7%	11,3%	21,3%	23,9%	3,2%	22,5%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	1000
Base remanescente	8	130
Sub-base	19	200
Subleito		170



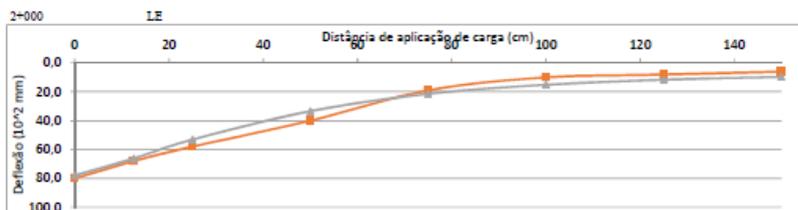
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	33,0	26,0	14,0	8,0	5,0	4,0	2,0
Def. Calculada	40,9	31,3	22,3	12,3	7,75	5,66	4,51	3,79
ϵ (%)	7,0%	5,2%	14,2%	12,1%	3,1%	13,2%	12,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	800
Base remanescente	10	170
Sub-base	13	110
Subleito		180



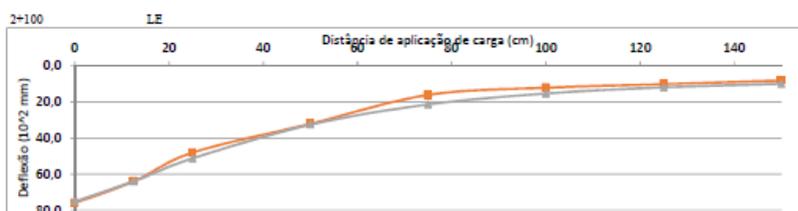
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	26,0	20,0	12,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	34,9	26,5	18,5	9,43	5,41	3,72	2,92	2,44
E (%)	3,1%	1,9%	7,5%	21,4%	32,4%	38,0%	27,0%	39,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	1000
Base remanescente	10	70
Sub-base	13	80
Subleito	140	



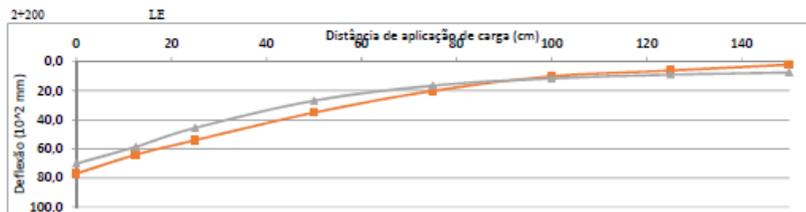
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	80,0	68,0	58,0	40,0	19,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	78	66,2	53,1	33,4	21,4	15,1	11,6	9,65
E (%)	2,5%	2,6%	8,4%	16,5%	12,6%	51,0%	45,0%	60,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	19	750
Base remanescente	3	90
Sub-base	21	40
Subleito		70



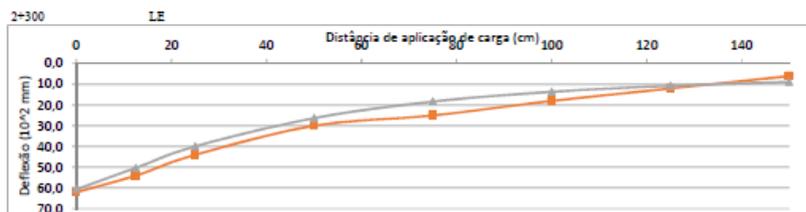
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	76,0	64,0	48,0	32,0	16,0	12,0	10,0	8,0
Def. Calculada	75,2	63,9	51,2	32,5	21,3	15,2	11,8	9,75
E (%)	1,1%	0,2%	6,7%	1,6%	33,1%	26,7%	18,0%	21,9%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	800
Base remanescente	6	90
Sub-base	19	50
Subleito		70



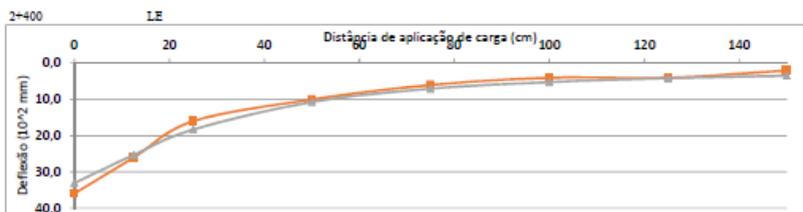
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	77,0	64,0	54,0	35,0	20,0	10,0	6,0	2,0
Def. Calculada	70,1	58,6	45,5	26,8	16,4	11,4	8,87	7,43
ε (%)	9,0%	8,4%	15,7%	23,4%	18,0%	14,0%	47,8%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	800
Base remanescente	6	50
Sub-base	21,5	50
Subleito		90



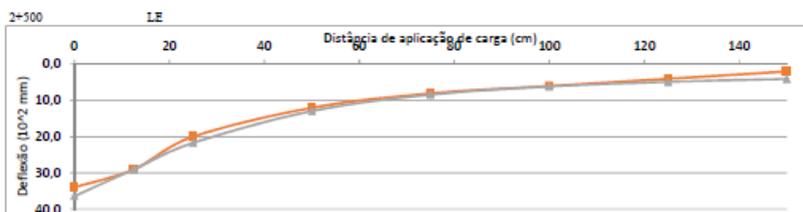
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	62,0	54,0	44,0	30,0	23,0	18,0	12,0	6,0
Def. Calculada	60,6	50,3	39,9	26,3	18,3	13,6	10,7	8,81
ε (%)	2,3%	6,9%	9,3%	12,3%	26,8%	24,4%	10,8%	46,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	8,5	130
Sub-base	16	130
Subleito		80



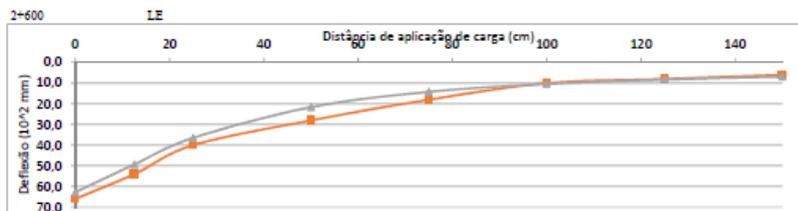
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	26,0	16,0	10,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	33,1	25,3	18,3	10,7	7,03	5,19	4,12	3,43
ϵ (%)	8,1%	2,7%	14,4%	7,0%	17,2%	29,8%	3,0%	71,9%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	1000
Base remanescente	1	200
Sub-base	26	200
Subleito		200



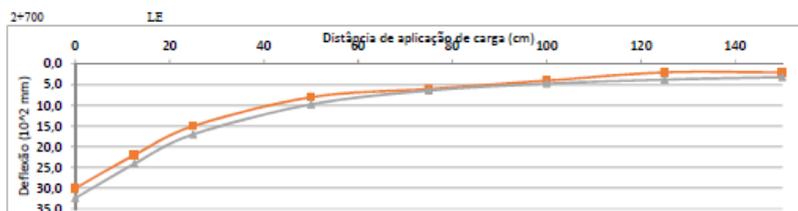
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	29,0	20,0	12,0	8,0	6,0	4,0	3,0
Def. Calculada	36,4	29	21,7	12,9	8,4	6,13	4,85	4,04
ϵ (%)	7,1%	0,0%	8,5%	7,5%	5,0%	2,2%	21,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	1100
Base remanescente	4	140
Sub-base	21	160
Subleito		170



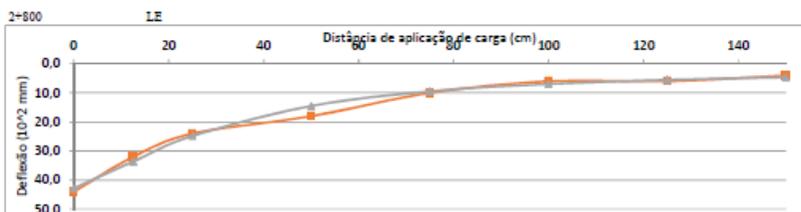
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	66,0	54,0	40,0	28,0	18,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	62,8	49,3	36,5	21,6	14,2	10,4	8,25	6,87
ϵ (%)	4,8%	8,7%	8,8%	22,9%	21,1%	4,0%	3,1%	14,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	600
Base remanescente	2,5	100
Sub-base	24,5	100
Subleito		100



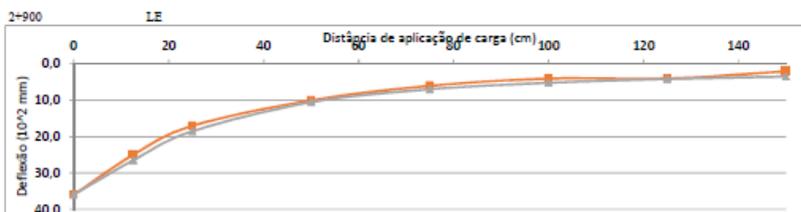
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	22,0	15,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	32,4	24,1	17	9,74	6,39	4,72	3,75	3,13
ϵ (%)	8,0%	9,5%	13,3%	21,8%	6,5%	18,0%	87,5%	56,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	18	900
Base remanescente	5	200
Sub-base	22,5	220
Subleito		220



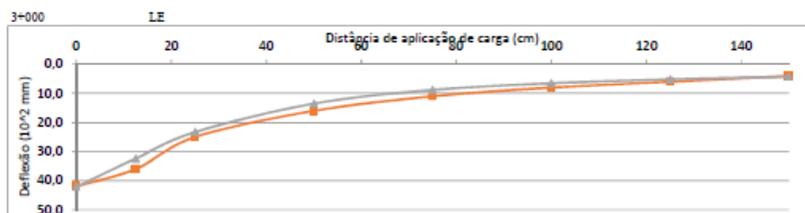
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	44,0	32,0	24,0	18,0	10,0	6,0	6,0	4,0
Def. Calculada	42,8	33,6	24,8	14,5	9,46	6,95	5,51	4,59
ξ (%)	2,7%	1,0%	3,3%	19,4%	5,4%	15,8%	8,2%	14,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Rociçada	17	900
Base remanescente	7	140
Sub-base	19,5	150
Subleito		150



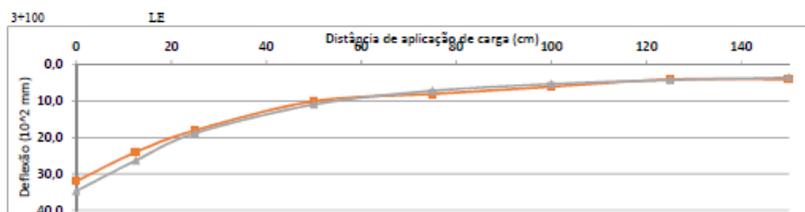
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	25,0	17,0	10,0	6,0	4,0	4,0	3,0
Def. Calculada	35,9	26,5	18,5	10,5	6,94	5,16	4,11	3,43
ξ (%)	0,3%	6,0%	8,8%	5,0%	13,7%	29,0%	2,8%	71,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Rociçada	17,5	800
Base remanescente		
Sub-base	26,5	200
Subleito		200



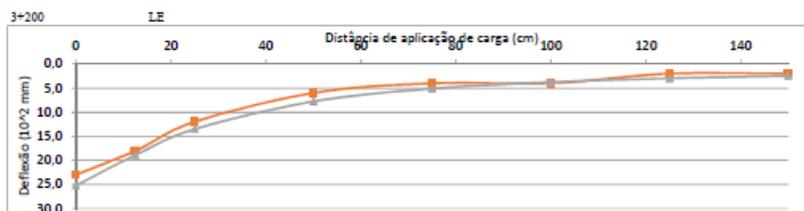
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	36,0	29,0	16,0	11,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	42,2	32,4	23,3	13,5	8,82	6,51	5,17	4,3
ϵ (%)	0,5%	10,0%	6,8%	15,6%	19,8%	18,6%	13,8%	7,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17	800
Base remanescente	7	160
Sub-base	20	160
Subleito		160



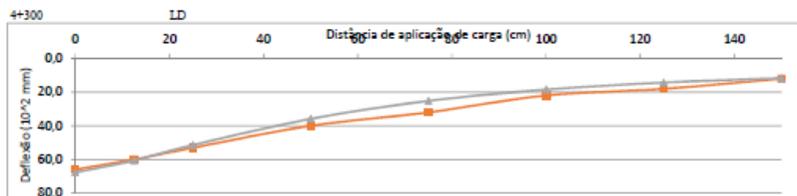
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	32,0	24,0	18,0	10,0	8,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	34,7	26,3	18,8	10,9	7,15	5,26	4,16	3,46
ϵ (%)	8,4%	9,6%	4,4%	9,0%	10,6%	12,3%	4,0%	13,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	900
Base remanescente	14,5	200
Sub-base	12	200
Subleito		200



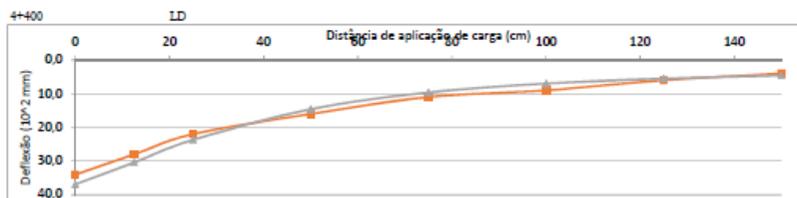
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	23,0	18,0	12,0	6,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	25,2	18,9	13,5	7,77	5,1	3,76	2,97	2,47
E (%)	9,6%	5,0%	12,5%	29,5%	27,5%	6,0%	48,5%	23,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base Reciclada	17,5	1200
Base emmanusecente	14,5	280
Sub-base	12	280
Subleito		280



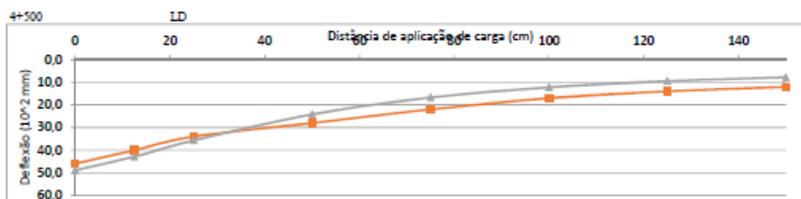
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	66,0	60,0	53,0	40,0	32,0	22,0	18,0	12,0
Def. Calculada	67,7	60,6	51,4	35,9	25,2	18,5	14,3	11,7
ε (%)	2,6%	1,0%	3,0%	10,3%	21,3%	15,9%	20,6%	2,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1400
Base remanescente	5	140
Sub-base	16	70
Subleito		60



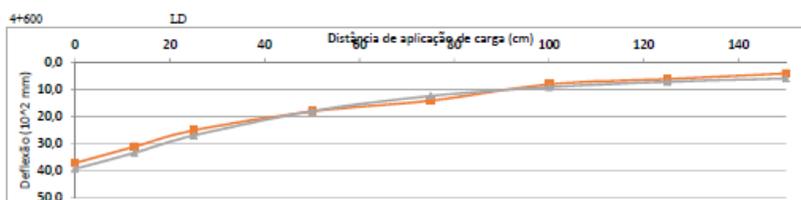
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	28,0	22,0	16,0	11,0	9,0	6,0	4,0
Def. Calculada	36,9	30,4	23,7	14,6	9,62	7	5,51	4,57
ε (%)	8,5%	8,6%	7,7%	8,8%	12,5%	22,2%	8,2%	14,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1400
Base remanescente	1,5	220
Sub-base	20	140
Subleito		150



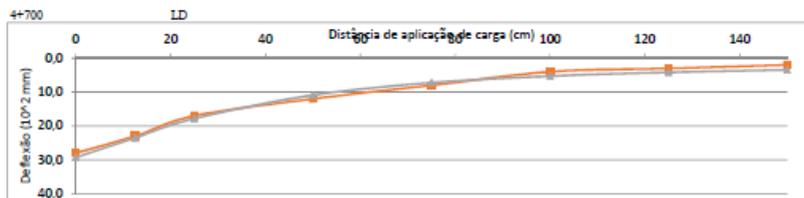
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	40,0	34,0	28,0	22,0	17,0	14,0	12,0
Def. Calculada	48,9	42,9	35,7	24,2	16,7	12,2	9,45	7,74
ϵ (%)	6,3%	7,3%	5,0%	13,6%	24,1%	28,2%	32,5%	35,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1600
Base remanescente	7	170
Sub-base	15,5	60
Subleito		60



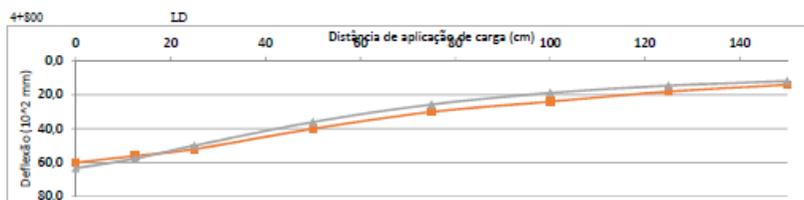
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	37,0	31,0	25,0	18,0	14,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	39,2	33,3	26,9	17,9	12,3	9,03	7,06	5,81
ϵ (%)	5,9%	7,4%	7,6%	0,6%	12,1%	12,9%	17,7%	45,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1600
Base remanescente	1	180
Sub-base	23	150
Subleito		120



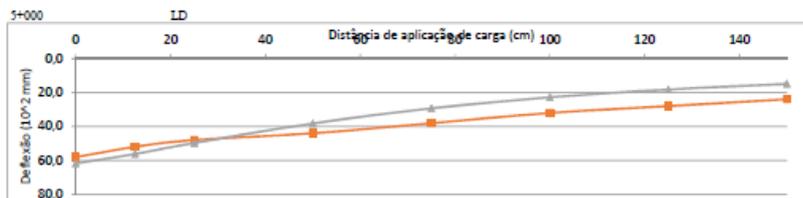
Distancia	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	23,0	17,0	12,0	8,0	4,0	3,0	2,0
Def. Calculada	29,3	23,5	17,8	10,9	7,24	5,29	4,17	3,45
ϵ (%)	4,6%	2,2%	4,7%	9,2%	9,5%	32,3%	39,0%	72,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1400
Base remanescente	9,5	250
Sub-base	17	200
Subleito		200



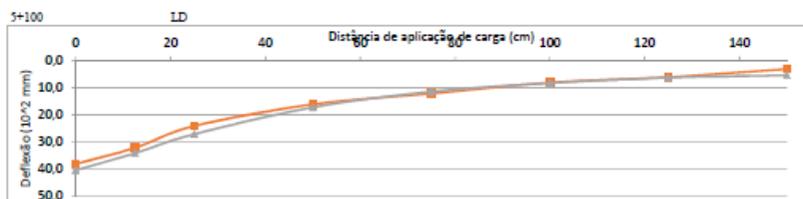
Distancia	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	56,0	52,0	40,0	30,0	24,0	18,0	14,0
Def. Calculada	63,3	57,6	49,9	36	25,6	18,8	14,5	11,8
ϵ (%)	5,5%	2,9%	4,0%	10,0%	14,7%	21,7%	19,4%	15,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1800
Base remanescente	2	100
Sub-base	20	60
Subleito		60



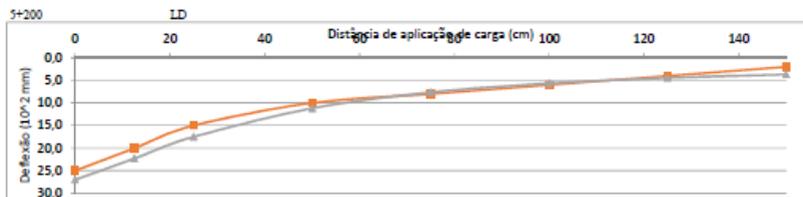
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	58,0	52,0	48,0	44,0	38,0	32,0	28,0	24,0
Def. Calculada	61,9	56,2	49,7	38,2	29,3	22,8	18,2	14,9
ϵ (%)	6,7%	8,1%	3,5%	13,2%	22,8%	28,8%	35,0%	37,9%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1600
Base permanente	7	220
Sub-base	16	160
Subleito		50



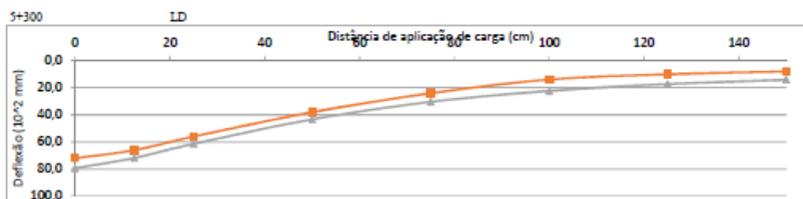
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	32,0	24,0	16,0	12,0	8,0	6,0	3,0
Def. Calculada	40,3	34	27	17,1	11,3	8,19	6,14	5,3
ϵ (%)	6,1%	6,3%	12,5%	6,9%	5,8%	2,4%	2,3%	76,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1400
Base permanente	4	100
Sub-base	18	130
Subleito		130



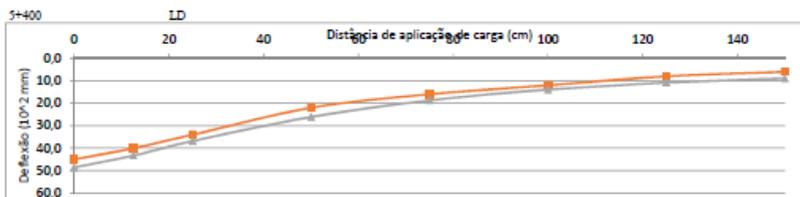
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	25,0	20,0	15,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	27	22,3	17,3	11,2	7,63	5,63	4,45	3,67
ϵ (%)	8,0%	11,5%	16,7%	12,0%	4,4%	5,8%	11,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1800
Base rammeamento	4,5	250
Sub-base	23	250
Subleito		190



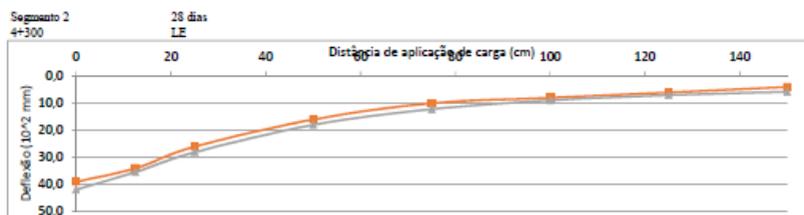
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	72,0	66,0	56,0	38,0	24,0	14,0	10,0	8,0
Def. Calculada	79,4	71,8	61,4	43,3	30,4	22,3	17,3	14,1
ϵ (%)	10,3%	8,8%	9,6%	13,9%	26,7%	59,3%	73,0%	76,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1400
Base rammeamento	5	50
Sub-base	22	60
Subleito		50



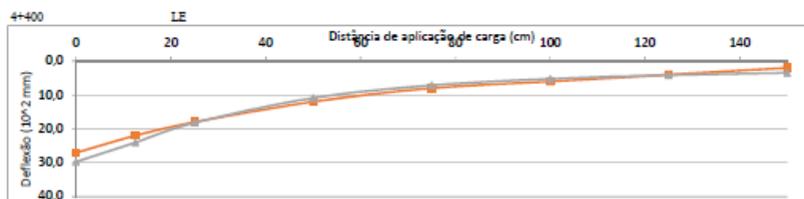
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	45,0	40,0	34,0	22,0	16,0	12,0	8,0	6,0
Def. Calculada	48,6	43,3	36,8	26,1	18,7	13,9	10,9	8,89
ε (%)	8,0%	8,3%	8,2%	18,6%	16,9%	15,8%	36,3%	48,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1800
Base remanescente	4,5	180
Sub-base	21	120
Subleito		80



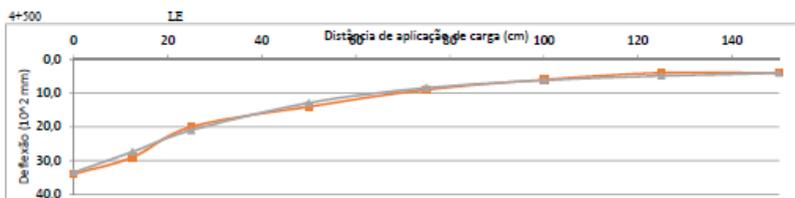
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	39,0	34,0	26,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	41,9	35,4	28,1	18	12,2	8,92	7	5,78
E (%)	7,4%	4,1%	8,1%	12,5%	22,0%	11,5%	16,7%	44,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1400
Base rammeconcreto	3	130
Sub-base	18,5	150
Subleito		120



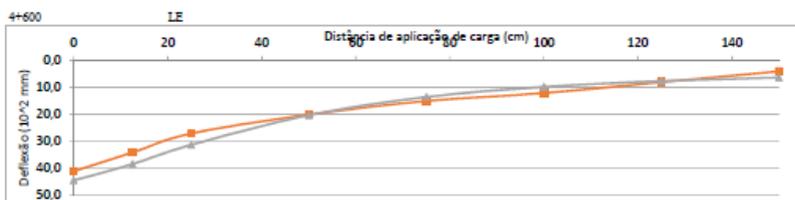
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	27,0	22,0	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	29,7	24	18,2	10,9	7,15	5,23	4,14	3,44
E (%)	10,0%	9,1%	1,1%	9,2%	10,6%	12,8%	3,5%	72,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1500
Base rammeconcreto	5	200
Sub-base	18	200
Subleito		200



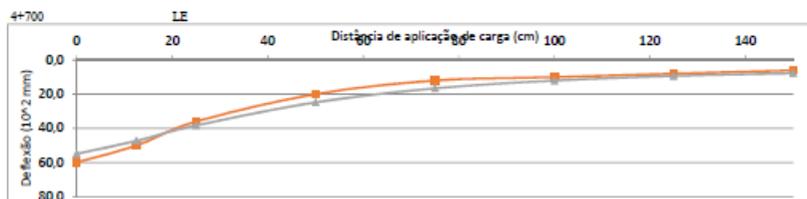
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	29,0	20,0	14,0	9,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	33,5	27,4	21	12,9	8,47	6,18	4,87	4,05
ϵ (%)	1,5%	5,3%	5,0%	7,9%	5,9%	3,0%	21,8%	1,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1400
Base rammeicante	3,5	170
Sub-base	19	170
Subleito		170



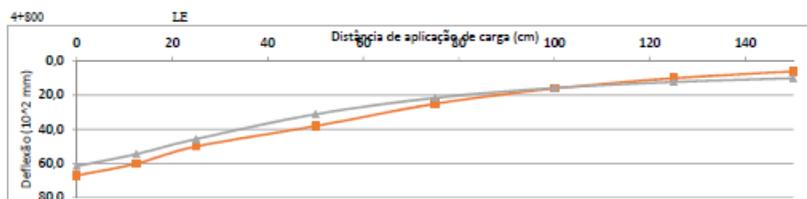
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	41,0	34,0	27,0	20,0	15,0	12,0	8,0	4,0
Def. Calculada	44,4	38,3	31,2	20,2	13,5	9,73	7,58	6,25
ϵ (%)	8,3%	12,6%	15,6%	1,0%	10,0%	18,9%	5,3%	56,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1600
Base rammeicante	4	170
Sub-base	20	100
Subleito		110



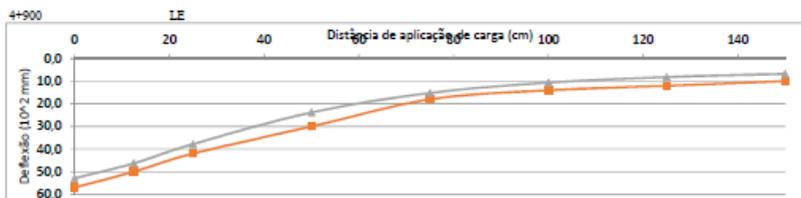
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	60,0	50,0	36,0	20,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	55	47,3	38,3	24,8	16,6	12	9,3	7,66
E (%)	8,3%	5,4%	6,4%	24,0%	38,3%	20,0%	16,3%	27,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1200
Base romanescante	4	60
Sub-base	21	90
Subleito		90



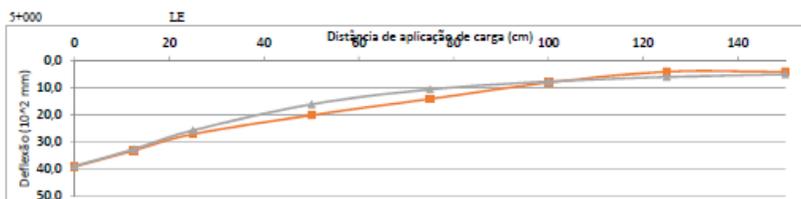
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	67,0	60,0	50,0	38,0	25,0	16,0	10,0	6,0
Def. Calculada	61,5	54,4	45,6	31,1	21,5	15,7	12,2	9,96
E (%)	8,2%	9,3%	8,8%	18,2%	14,0%	1,9%	22,0%	66,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1400
Base romanescante	2,5	70
Sub-base	20	80
Subleito		70



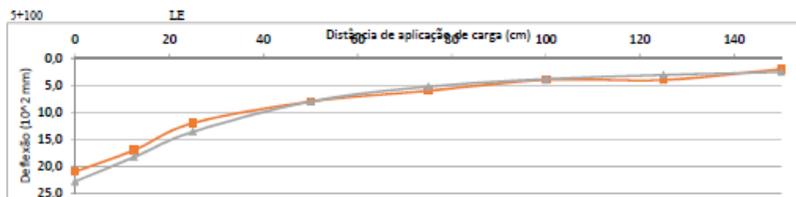
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	57,0	50,0	42,0	30,0	18,0	14,0	12,0	10,0
Def. Calculada	52,9	46,3	37,8	23,8	15,2	10,6	8,12	6,72
E (%)	7,2%	7,4%	10,0%	20,7%	15,6%	24,3%	32,3%	32,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1600
Base remanescente	3	100
Sub-base	20	50
Subleito		100



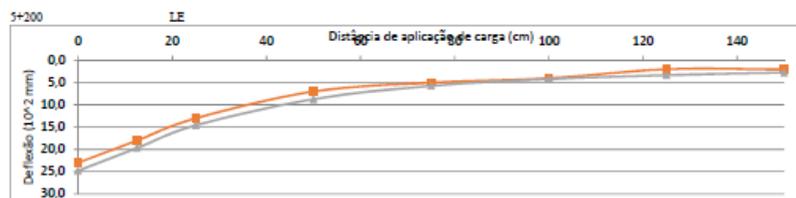
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	39,0	33,0	27,0	20,0	14,0	8,0	4,0	4,0
Def. Calculada	38,8	32,5	25,6	16	10,5	7,59	5,94	4,92
E (%)	0,5%	1,5%	5,2%	20,0%	25,0%	5,1%	48,5%	23,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1400
Base remanescente	9,5	150
Sub-base	13	120
Subleito		140



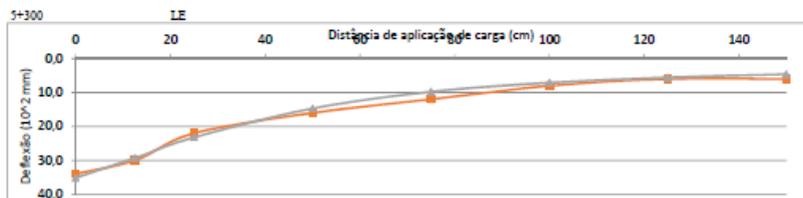
Distancia	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def Medida	21,0	17,0	12,0	8,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def Calculada	22,8	18,3	13,6	8	5,24	3,85	3,06	2,55
E (%)	8,6%	7,6%	13,3%	0,0%	12,7%	3,8%	23,5%	27,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1700
Base rearmada	1,5	120
Sub-base	21	280
Subleito		270



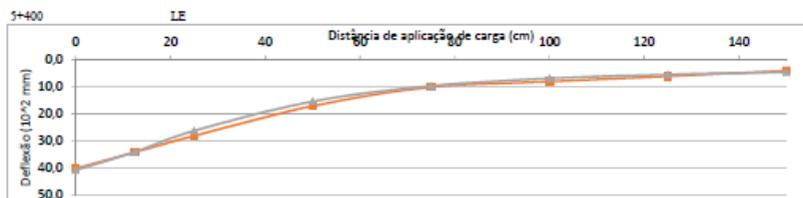
Distancia	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def Medida	23,0	18,0	13,0	7,0	5,0	4,0	2,0	2,0
Def Calculada	24,8	19,7	14,6	8,71	5,73	4,2	3,32	2,76
E (%)	7,8%	9,4%	12,3%	24,4%	14,6%	5,0%	66,0%	38,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1600
Base rearmada	9	270
Sub-base	17	250
Subleito		250



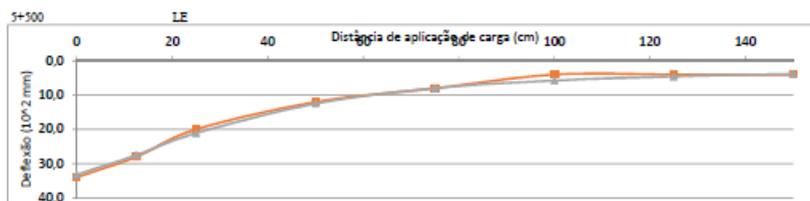
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	30,0	22,0	16,0	12,0	8,0	6,0	6,0
Def. Calculada	35,1	29,3	23,2	14,7	9,77	7,1	5,96	4,6
ϵ (%)	3,2%	2,3%	5,5%	8,1%	18,6%	11,3%	7,3%	23,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	18	1500
Base permanente	5	170
Sub-base	19	150
Subleito		150



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	34,0	28,0	17,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	40,6	33,9	26,1	15,3	9,59	6,82	5,38	4,51
ϵ (%)	1,5%	0,3%	6,8%	10,0%	4,1%	14,8%	10,3%	12,8%

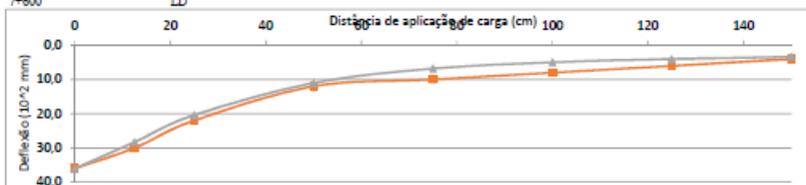
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1400
Base permanente	3	100
Sub-base	23	100
Subleito		150



Distância	0	12,5	25	30	75	100	125	130
Def. Medida	34,0	28,0	20,0	12,0	8,0	4,0	4,0	4,0
Def. Calculada	33,2	27,5	21,1	12,5	7,97	5,74	4,54	3,79
E (%)	2,4%	1,8%	5,5%	4,2%	0,4%	43,5%	13,5%	5,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1600
Base rearmada	3	100
Sub-base	23	150
Subleito		180

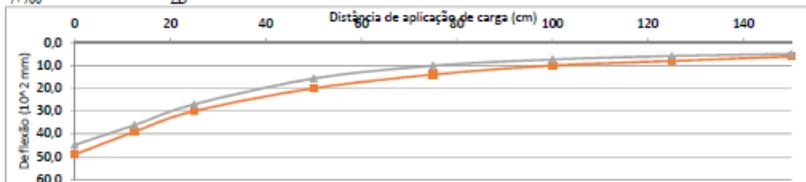
Segmento 3
7+600 28 dias
LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	30,0	22,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	36,1	28,3	20,4	11	6,82	4,98	4,01	3,38
ϵ (%)	0,3%	5,7%	7,3%	8,3%	31,8%	37,8%	33,2%	15,5%

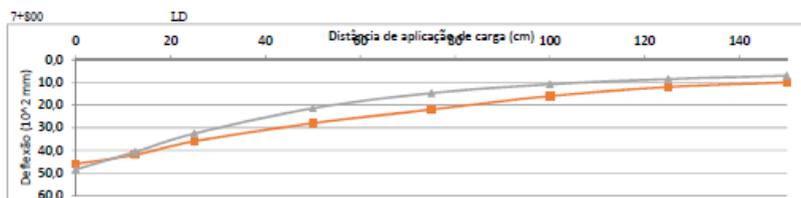
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1100
Base ramme-cante	26	130
Subleito		200

7+700 LD



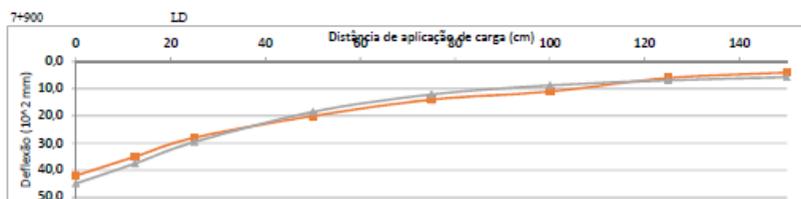
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	49,0	39,0	30,0	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	44,8	36,1	27	15,7	10,1	7,36	5,84	4,88
ϵ (%)	8,6%	7,4%	10,0%	21,5%	27,9%	26,4%	27,0%	18,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17	1000
Base ramme-cante	3	110
Sub-base	23	120
Subleito		140



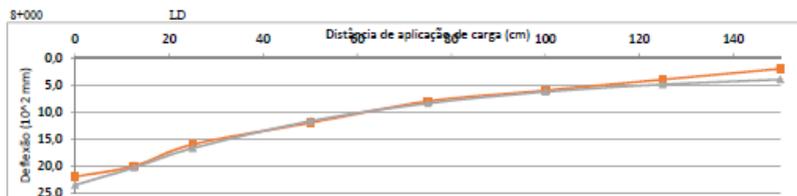
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	42,0	36,0	28,0	22,0	16,0	12,0	10,0
Def. Calculada	48,4	40,7	32,6	21,4	14,7	10,8	8,48	6,97
E (%)	5,2%	3,1%	9,4%	23,6%	33,2%	32,5%	29,3%	30,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1100
Base remanescente	4,5	180
Sub-base	14	150
Subleito		100



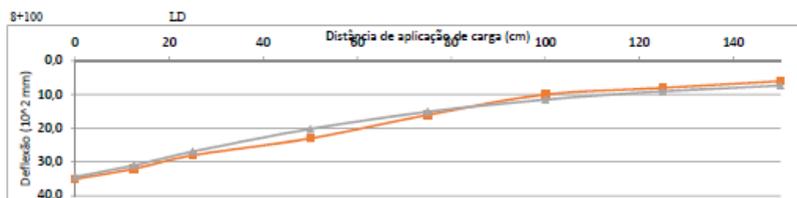
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	35,0	28,0	20,0	14,0	11,0	6,0	4,0
Def. Calculada	44,9	37,3	29,6	18,3	12,1	8,76	6,88	5,71
E (%)	6,9%	7,1%	5,7%	7,5%	13,6%	20,4%	14,7%	42,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
Base reciclada	17,5	1300
Base remanescente	1,5	190
Sub-base	18	100
Subleito		120



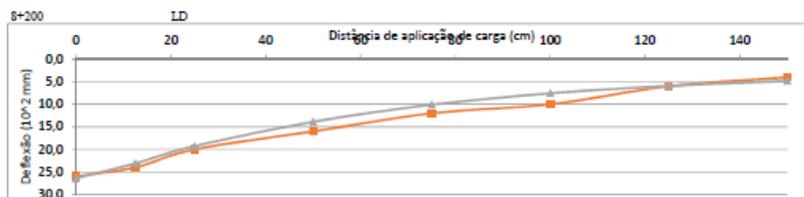
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	22,0	20,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	23,5	20,3	16,7	11,7	8,4	6,26	4,88	3,97
E (%)	6,8%	1,9%	4,4%	2,9%	5,0%	4,3%	22,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	3300
Base reciclada	17	1100
Base permanente	6	180
Sub-base	14	180
Subleito		180



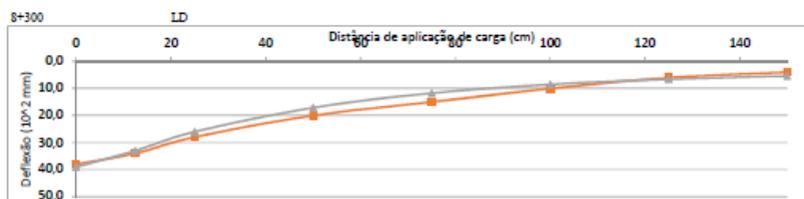
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	35,0	32,0	28,0	23,0	16,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	34,4	31	26,9	20,2	13,1	11,3	9,06	7,35
E (%)	1,7%	3,1%	3,9%	12,2%	5,6%	15,0%	13,3%	22,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	3300
Base reciclada	17,5	1100
Base permanente	4	100
Sub-base	14,5	100
Subleito		100



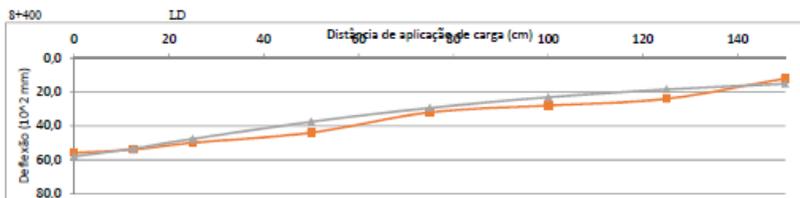
Distância	0	12,5	25	30	75	100	125	150
Def. Medida	26,0	24,0	20,0	16,0	12,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	26,4	23,1	19,3	13,9	10,1	7,37	5,91	4,81
E (%)	1,5%	3,8%	3,5%	13,1%	15,8%	24,3%	1,5%	20,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,4	3300
Base reciclada	18	1100
Base permanente	4	150
Sub-base	16	150
Subleito		150



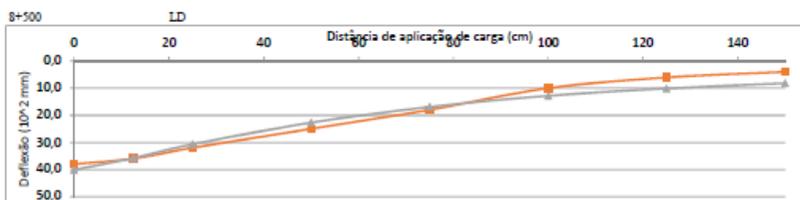
Distância	0	12,5	25	30	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	34,0	28,0	20,0	15,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	39,1	33	26	17,1	11,7	8,48	6,56	5,36
E (%)	2,9%	2,9%	7,1%	14,5%	22,0%	15,2%	9,3%	34,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2000
Base reciclada	18,5	500
Base permanente	3,5	100
Sub-base	15	80
Subleito		130



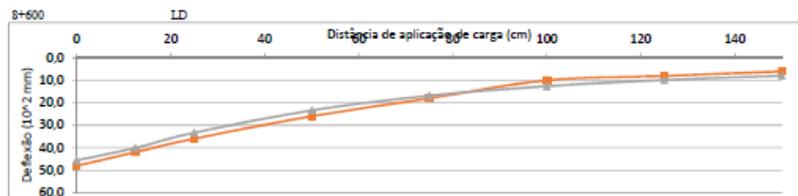
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	54,0	50,0	44,0	32,0	28,0	24,0	12,0
Def. Calculada	58	53,4	47,7	37,6	29,4	23,1	18,5	15,1
ε (%)	3,6%	1,1%	4,6%	14,5%	8,1%	17,5%	22,9%	25,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,6	2700
Base reciclada	17,5	800
Base remanescente	5,5	90
Sub-base	16,5	60
Subleito		50



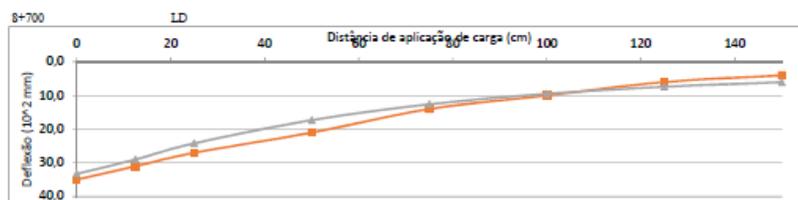
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	36,0	32,0	25,0	18,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	40,1	35,8	30,7	22,7	16,9	12,8	10,1	8,16
ε (%)	5,5%	0,6%	4,1%	9,2%	6,1%	28,0%	68,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	2700
Base reciclada	18	800
Base remanescente	10	90
Sub-base	16	90
Subleito		90



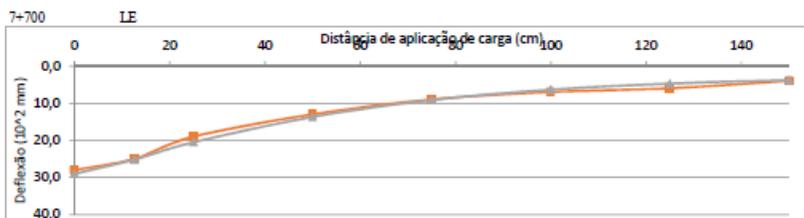
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	48,0	42,0	36,0	26,0	18,0	10,0	6,0	6,0
Def. Calculada	45,6	40,1	33,3	23,4	16,8	12,6	9,8	7,99
E (%)	5,0%	4,5%	7,5%	10,0%	6,7%	26,0%	22,5%	33,2%

Camada	Espessura (cm)	Modulo (MPa)
CAUQ	8,8	2500
Base reciclada	17,5	500
Base rearmada	7,5	80
Sub-base	17	90
Subleito		90



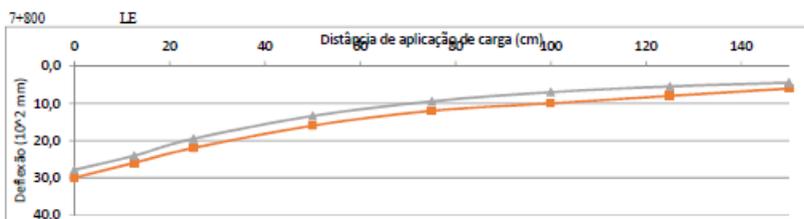
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	35,0	31,0	27,0	21,0	14,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	33,2	29	24,2	17,3	12,6	9,48	7,4	6,02
E (%)	5,1%	6,5%	10,4%	17,6%	10,0%	5,2%	23,3%	50,5%

Camada	Espessura (cm)	Modulo (MPa)
CAUQ	8,7	2700
Base reciclada	18	800
Base rearmada	7	150
Sub-base	19	110
Subleito		120



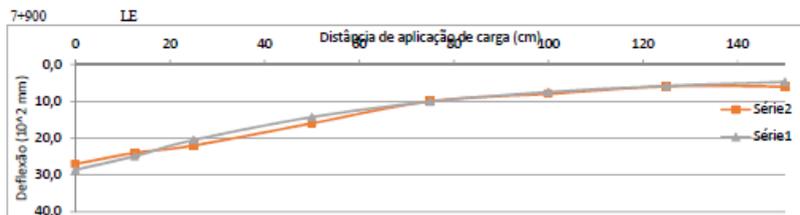
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	25,0	19,0	13,0	9,0	7,0	6,0	4,0
Def. Calculada	29	25,2	20,5	13,7	9,16	6,36	4,73	3,78
ϵ (%)	3,6%	0,8%	7,9%	5,4%	1,8%	9,1%	21,2%	5,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	6,5	150
Sub-base	19,5	60
Subleito		180



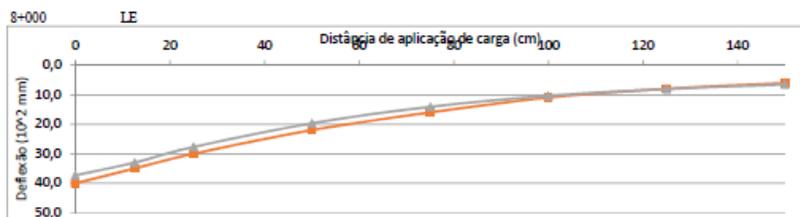
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	16,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	27,9	24,1	19,5	13,4	9,46	6,99	5,44	4,43
ϵ (%)	7,0%	7,3%	11,4%	16,3%	21,2%	30,1%	32,0%	26,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	18	800
Base remanescente	5	180
Sub-base	13	120
Subleito		160



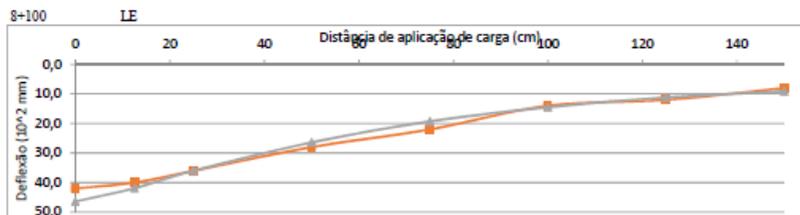
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	27,0	24,0	22,0	16,0	10,0	8,0	6,0	6,0
Def. Calculada	28,6	24,9	20,5	14,3	10,1	7,52	5,85	4,76
ϵ (%)	5,9%	3,7%	6,8%	10,6%	1,0%	6,0%	2,5%	20,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	5,5	100
Sub-base	15	150
Subleito		150



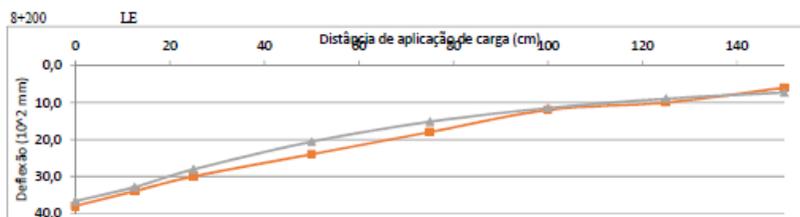
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	35,0	30,0	22,0	16,0	11,0	8,0	6,0
Def. Calculada	37,3	33	27,7	19,7	14,1	10,4	8,08	6,54
ϵ (%)	6,8%	5,7%	7,7%	10,5%	11,9%	5,5%	1,0%	9,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,2	3000
Base reciclada	17	800
Base remanescente	13	90
Sub-base	6	80
Subleito		110



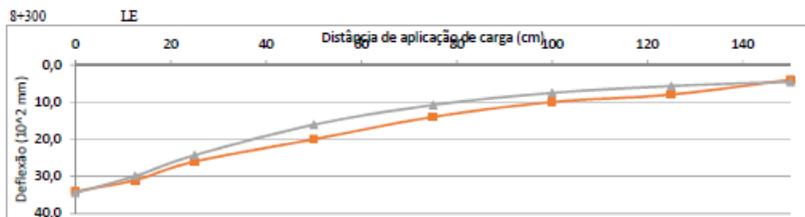
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	43,0	40,0	36,0	38,0	32,0	14,0	12,0	8,0
Def. Calculada	46,4	41,9	36	26,4	19,3	14,5	11,2	9,08
ϵ (%)	10,5%	4,7%	0,0%	5,7%	12,3%	3,6%	6,7%	13,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,2	3300
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	7,5	70
Sub-base	10	50
Subleito	80	



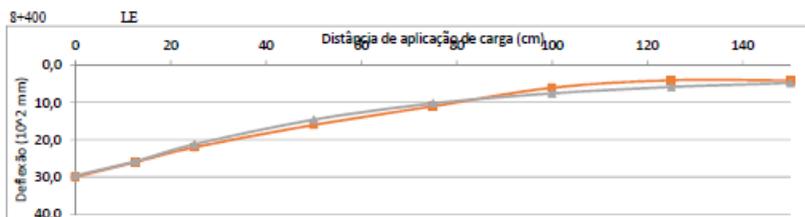
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	34,0	30,0	24,0	18,0	12,0	10,0	6,0
Def. Calculada	36,7	32,9	28,1	20,6	15,2	11,5	8,97	7,28
ϵ (%)	3,4%	3,2%	6,3%	14,2%	15,6%	4,2%	10,3%	21,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,4	3300
Base reciclada	17	900
Base remanescente	7,5	100
Sub-base	14,5	100
Subleito		100



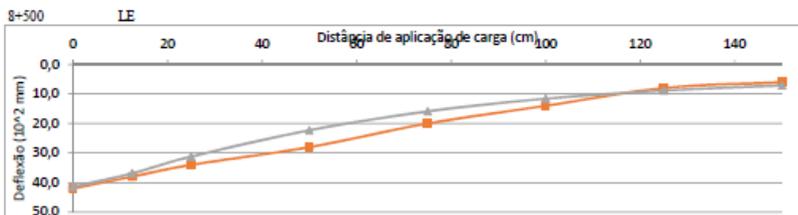
Distância	0	13,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	31,0	26,0	20,0	14,0	10,0	8,0	4,0
Def. Calculada	34,4	29,9	24,3	16,1	10,8	7,55	5,68	4,57
ϵ (%)	1,2%	3,5%	6,5%	19,5%	22,9%	24,5%	29,0%	14,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	3300
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	6	100
Sub-base	15,5	50
Subleito		150



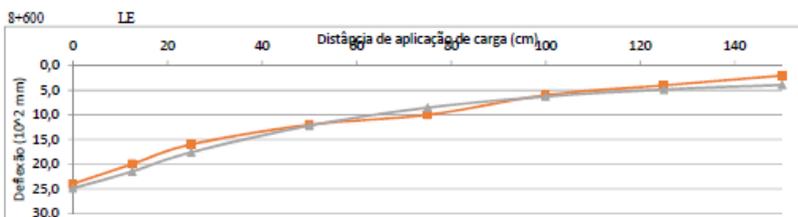
Distância	0	13,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	16,0	11,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	29,6	25,8	21,2	14,6	10,2	7,5	5,8	4,71
ϵ (%)	1,3%	0,8%	3,6%	8,8%	7,3%	25,0%	45,0%	17,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17	900
Base remanescente	5	100
Sub-base	19	120
Subleito		150



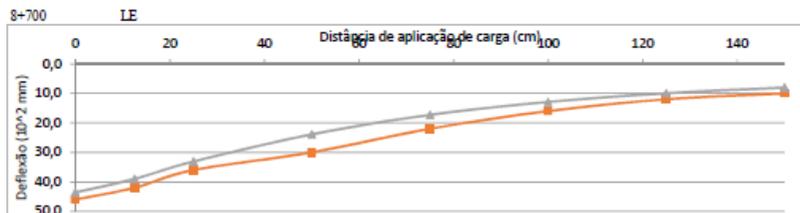
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	38,0	34,0	28,0	20,0	14,0	8,0	6,0
Def. Calculada	41,4	36,9	31,2	22,3	15,9	11,6	8,85	7,09
ϵ (%)	1,4%	2,9%	8,2%	20,4%	20,5%	17,1%	10,6%	18,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,1	2800
Base reciclada	17	800
Base remanescente	6	150
Sub-base	20	50
Subleito		100



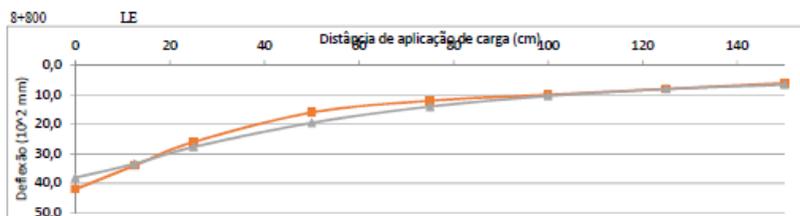
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	24,0	20,0	16,0	12,0	10,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	24,9	21,5	17,6	12,2	8,55	6,27	4,84	3,93
ϵ (%)	3,7%	7,5%	10,0%	1,7%	14,5%	4,5%	21,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17	1100
Base remanescente	8	150
Sub-base	21	150
Subleito		180



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	42,0	36,0	30,0	22,0	16,0	12,0	10,0
Def. Calculada	43,6	39	33,1	23,9	17,3	12,9	9,96	8,04
ϵ (%)	5,2%	7,1%	8,1%	20,3%	21,4%	19,4%	17,0%	19,6%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2800
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	10,5	70
Sub-base	15,5	70
Subleito		90

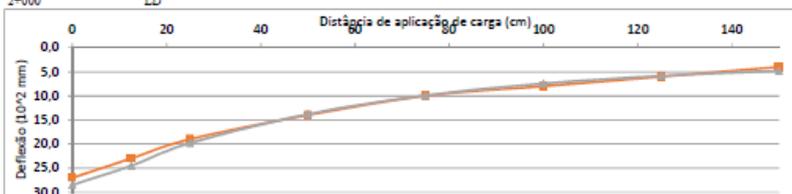


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	34,0	26,0	16,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	38,1	33,4	27,7	19,5	14	10,4	8,05	6,53
ϵ (%)	9,3%	1,8%	6,5%	21,9%	16,7%	4,0%	0,6%	8,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2600
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	10,5	90
Sub-base	15,5	100
Subleito		110

APÊNDICE M – RETROANÁLISE APÓS REVESTIMENTO

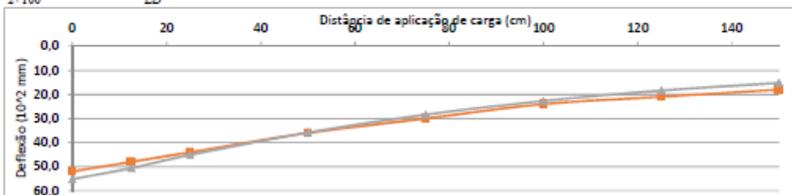
Segmento 1
2+000 28 dias
LD



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	27,0	23,0	19,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	28,5	24,5	19,8	13,8	9,91	7,46	5,86	4,79
E (%)	5,6%	6,5%	4,2%	1,4%	0,9%	6,8%	2,3%	19,8%

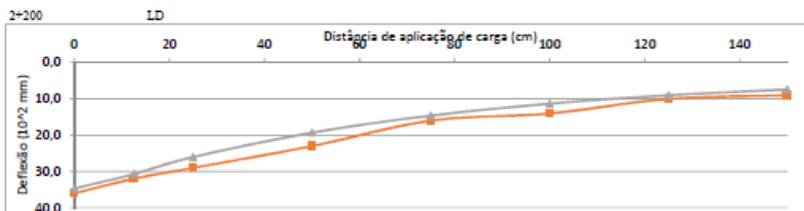
Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,1	3300
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	8,5	200
Sub-base	16,5	170
Subleito		150

2+100 LD



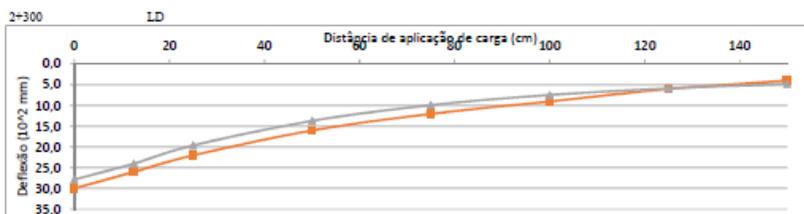
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	52,0	48,0	44,0	36,0	30,0	24,0	21,0	18,0
Def. Calculada	55,2	50,6	45,1	35,8	28,4	22,7	18,4	15,2
E (%)	6,2%	5,4%	2,5%	0,6%	5,3%	5,4%	12,4%	15,6%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3200
Base Reciclada	17,5	810
Base remanescente	5,5	100
Sub-base	19	100
Subleito		50



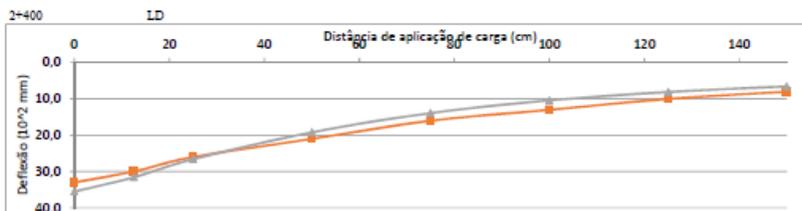
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	32,0	29,0	23,0	16,0	14,0	10,0	9,0
Def. Calculada	34,7	30,7	26	19,3	14,6	11,3	8,99	7,37
ϵ (%)	3,6%	4,1%	10,3%	16,1%	8,8%	19,3%	10,1%	18,1%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,6	3300
Base Reciclada	18,5	800
Base remanescente	2	150
Sub-base	23,5	150
Subleito		100



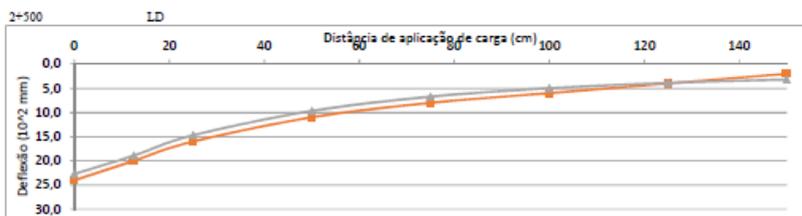
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	16,0	12,0	9,0	6,0	4,0
Def. Calculada	27,8	24	19,6	13,7	9,89	7,45	5,83	4,78
ϵ (%)	7,3%	7,7%	10,9%	14,4%	17,6%	17,2%	2,5%	19,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	3300
Base Reciclada	18,5	800
Base remanescente	1,5	150
Sub-base	22,8	170
Subleito		150



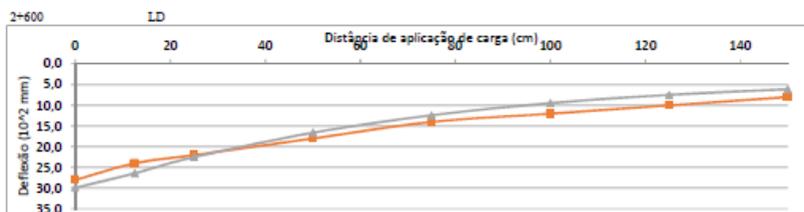
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	33,0	30,0	26,0	21,0	16,0	13,0	10,0	8,0
Def. Calculada	35,5	31,6	26,6	19,2	13,9	10,4	8,09	6,54
ϵ (%)	7,6%	5,3%	2,3%	8,6%	13,1%	20,0%	19,1%	18,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	3300
Base Reciclada	18	800
Base remanescente	4	100
Sub-base	22,5	90
Subleito		110



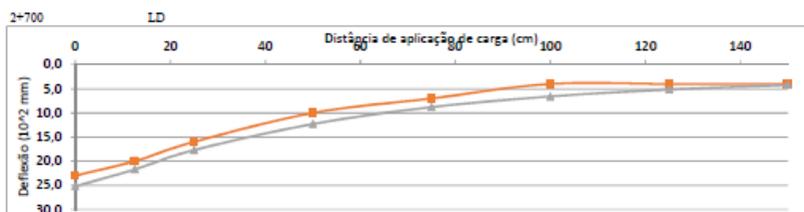
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	24,0	20,0	16,0	11,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	22,7	18,9	14,7	9,68	6,73	4,97	3,89	3,19
ϵ (%)	5,4%	5,3%	8,1%	12,0%	15,9%	17,2%	2,8%	59,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,4	2900
Base Reciclada	18	800
Base remanescente	-	-
Sub-base	24	210
Subleito		220



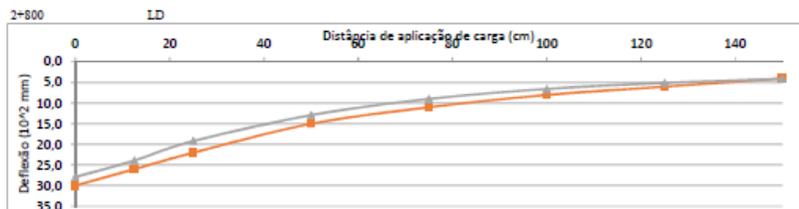
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	24,0	22,0	18,0	14,0	12,0	10,0	8,0
Def. Calculada	29,9	26,4	22,5	16,6	12,4	9,46	7,47	6,1
ε (%)	6,8%	10,0%	2,3%	7,8%	11,4%	21,2%	25,3%	23,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,6	3300
Base Reciclada	17,5	1000
Base remanescente	3,5	130
Sub-base	23,5	150
Subleito		120



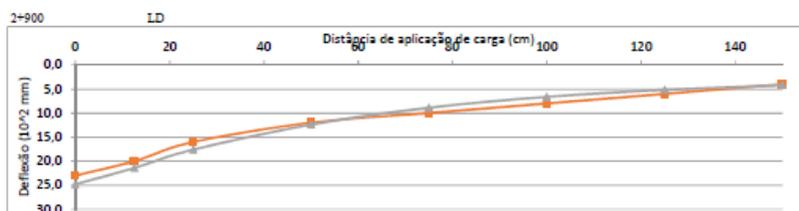
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	23,0	20,0	16,0	10,0	7,0	4,0	4,0	4,0
Def. Calculada	25,2	21,7	17,7	12,3	8,8	6,59	5,16	4,22
ε (%)	9,6%	8,5%	10,6%	23,0%	25,7%	64,8%	29,0%	5,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,4	3300
Base Reciclada	17,5	900
Base remanescente	6	150
Sub-base	22,5	190
Subleito		170



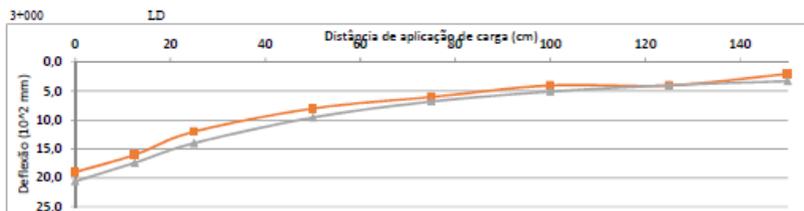
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	15,0	11,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	27,9	23,9	19,2	12,9	8,97	6,56	5,08	4,13
E (%)	7,0%	8,1%	12,7%	14,0%	18,5%	18,0%	15,3%	3,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	3000
Base Reciclada	17,5	800
Base permanente	6	150
Sub-base	19,5	130
Subleito		170



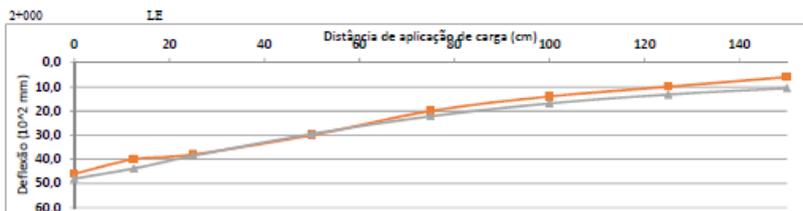
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	23,0	20,0	16,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	24,8	21,4	17,6	12,4	8,89	6,63	5,17	4,21
E (%)	7,8%	7,0%	10,0%	3,3%	11,1%	17,1%	13,8%	5,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,9	3300
Base Reciclada	17,5	1100
Base permanente	5,5	160
Sub-base	21,5	170
Subleito		170



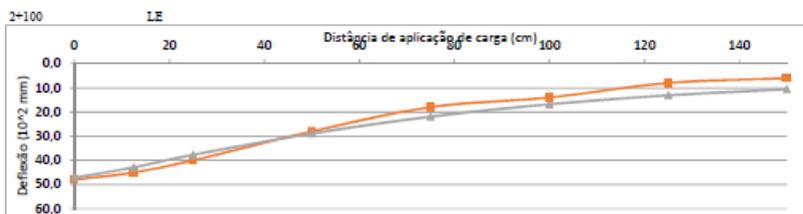
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	19,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	20,6	17,4	14	9,56	6,79	5,07	3,97	3,25
E (%)	8,4%	8,7%	16,7%	19,5%	13,2%	26,8%	0,7%	62,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,1	3300
Base Reciclada	17	1100
Base rearmada	8	220
Sub-base	19	250
Subleito		220



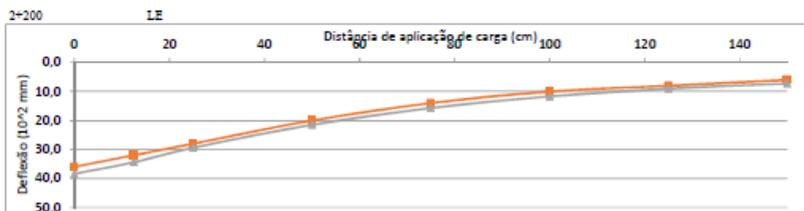
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	40,0	38,0	30,0	20,0	14,0	10,0	6,0
Def. Calculada	48	43,8	38,6	29,5	22,2	16,9	13,2	10,6
E (%)	4,3%	9,5%	1,6%	1,7%	11,0%	20,7%	32,0%	76,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,3	2600
Base Reciclada	19	750
Base remanescente	3	90
Sub-base	21	40
Subleito		70



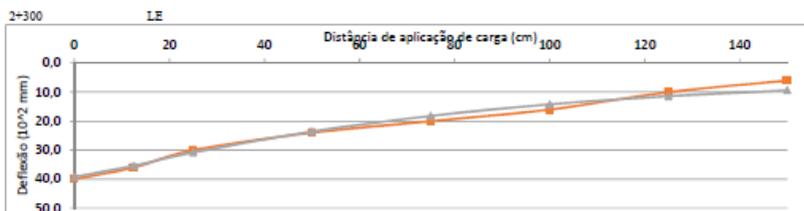
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	45,0	40,0	28,0	18,0	14,0	8,0	6,0
Def. Calculada	47,2	42,9	37,7	28,9	21,9	16,8	13,1	10,6
E (%)	1,7%	4,7%	5,7%	3,2%	21,7%	20,0%	63,8%	76,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,5	2600
Base Reciclada	18	800
Base remanescente	6	90
Sub-base	19	50
Subleito		70



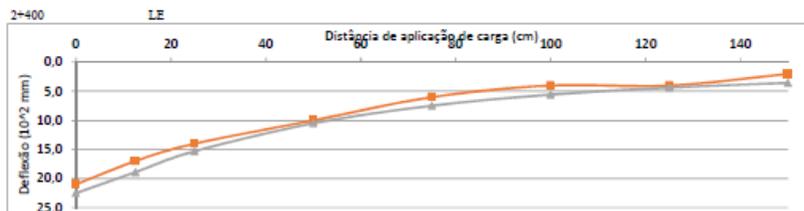
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	36,0	32,0	28,0	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	38,4	34,4	29,4	21,3	15,7	11,7	9,02	7,23
ϵ (%)	6,7%	7,5%	5,0%	7,5%	12,1%	17,0%	12,8%	20,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,5	2800
Base Reciclada	18	800
Base remanescente	6	70
Sub-base	21,5	70
Subleito		100



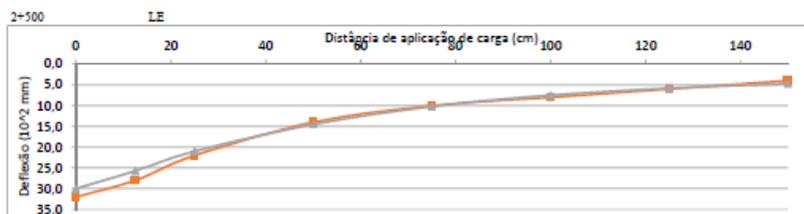
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	36,0	30,0	24,0	20,0	16,0	10,0	6,0
Def. Calculada	39,2	35,4	30,8	23,6	18,2	14,2	11,4	9,35
ϵ (%)	2,0%	1,7%	2,7%	1,7%	9,0%	11,3%	14,0%	53,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,1	3300
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	8,5	130
Sub-base	16	130
Subleito		80



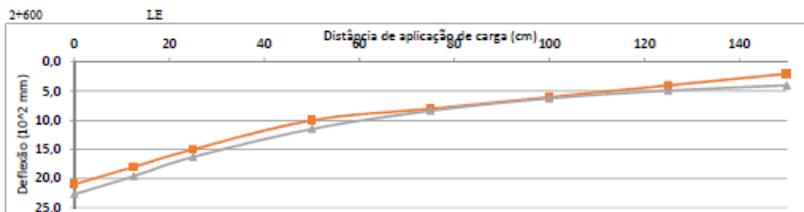
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	21,0	17,0	14,0	10,0	6,0	4,0	4,0	2,0
Def. Calculada	22,5	18,9	15,3	10,5	7,47	5,56	4,35	3,55
ϵ (%)	7,1%	11,2%	9,3%	5,0%	24,5%	39,0%	8,7%	77,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	3300
Base Reciclada	18	1000
Base remanescente	1	200
Sub-base	26	200
Subleito		200



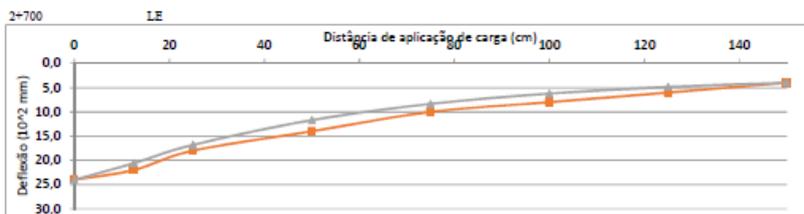
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	32,0	28,0	22,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	30	25,7	21	14,5	10,2	7,5	5,8	4,71
ϵ (%)	6,3%	8,2%	4,5%	3,6%	2,0%	6,3%	3,3%	17,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,2	2500
Base Reciclada	18	900
Base remanescente	4	120
Sub-base	21	120
Subleito		150



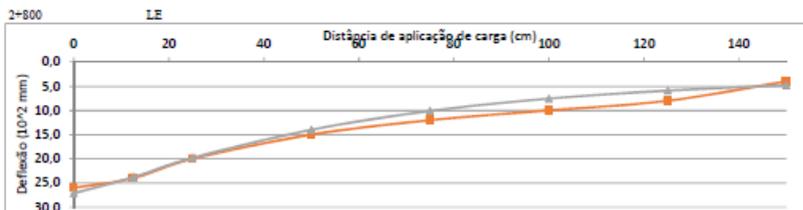
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	21,0	18,0	15,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	22,7	19,6	16,3	11,5	8,34	6,25	4,89	3,99
ϵ (%)	8,1%	8,9%	8,7%	15,0%	4,3%	4,2%	22,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	3500
Base Reciclada	17,5	1200
Base remanescente	2,5	180
Sub-base	24,5	190
Subleito		180



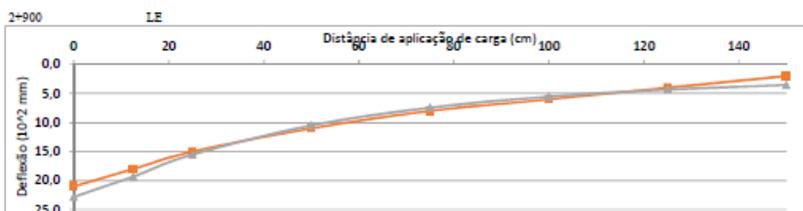
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	24,0	22,0	18,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	24	20,6	16,8	11,7	8,35	6,23	4,87	3,98
ϵ (%)	0,0%	6,4%	6,7%	16,4%	16,5%	22,1%	18,8%	0,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,2	3300
Base Reciclada	18	900
Base remanescente	5	180
Sub-base	22,5	180
Subleito		180



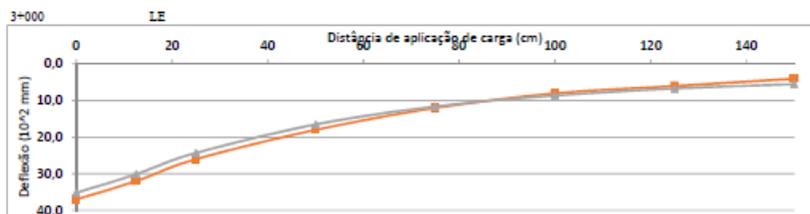
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	26,0	24,0	20,0	15,0	12,0	10,0	8,0	4,0
Def. Calculada	27,1	23,8	19,8	14	10,1	7,55	5,89	4,79
E (%)	4,2%	0,8%	1,0%	6,7%	15,8%	24,5%	26,4%	19,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,6	3300
Base Reciclada	17	900
Base remanescente	7	140
Sub-base	19,5	150
Subleito		150



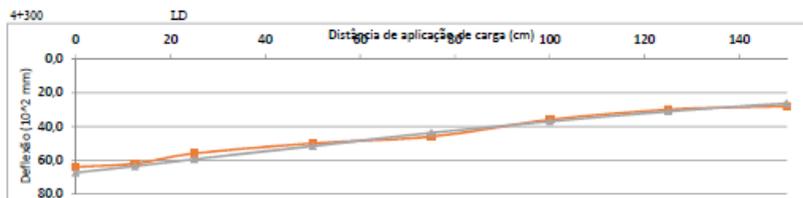
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	21,0	18,0	15,0	11,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	22,8	19,3	15,5	10,5	7,44	5,53	4,33	3,54
E (%)	8,6%	7,2%	3,3%	4,5%	7,0%	7,8%	8,3%	77,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,2	3000
Base Reciclada	17,5	800
Base remanescente	-	
Sub-base	26,5	200
Subleito		200



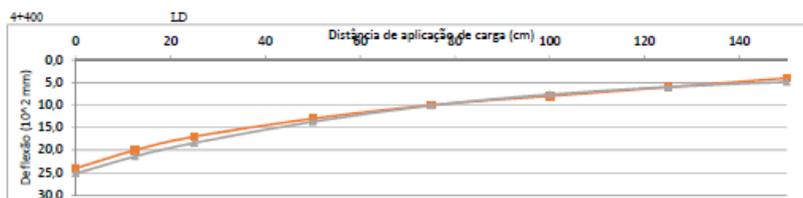
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	37,0	32,0	26,0	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	35,2	30,1	24,3	16,5	11,6	8,6	6,7	5,47
E (%)	4,9%	5,9%	6,5%	8,3%	3,3%	7,5%	11,7%	36,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,4	2200
Base Reciclada	17	600
Base remanescente	7	100
Sub-base	20	130
Subleito		130



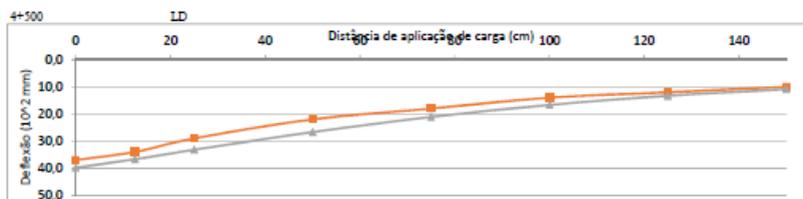
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	64,0	62,0	56,0	50,0	46,0	36,0	30,0	28,0
Def. Calculada	67,3	63,5	59,4	51,6	43,8	37	31,1	26,3
ϵ (%)	5,2%	2,4%	6,1%	3,2%	4,8%	2,8%	3,7%	6,1%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,8	3300
Base reciclada	17	1400
Base remanescente	5	140
Sub-base	16	45
Subleito		30



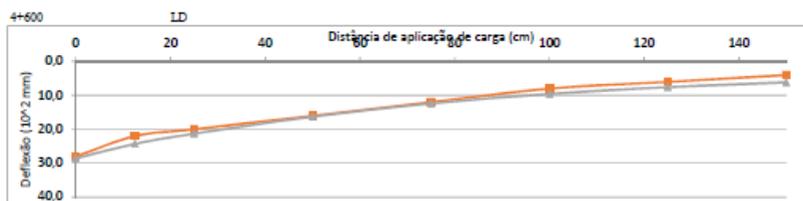
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	24,0	20,0	17,0	13,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	25,2	21,4	18,4	13,7	10,1	7,65	5,98	4,83
ϵ (%)	5,0%	7,0%	8,2%	5,4%	1,0%	4,4%	0,3%	21,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,1	3000
Base reciclada	17,5	1400
Base remanescente	1,5	220
Sub-base	20	140
Subleito		150



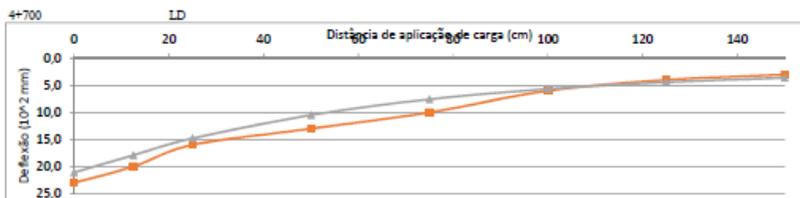
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	37,0	34,0	29,0	22,0	18,0	14,0	12,0	10,0
Def. Calculada	39,8	36,7	33,2	26,7	21,1	16,7	13,3	10,9
ϵ (%)	7,6%	7,9%	14,9%	21,4%	17,2%	19,3%	10,8%	9,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	3000
Base reciclada	17	1600
Base remanescente	7	170
Sub-base	15,5	70
Subleito		70



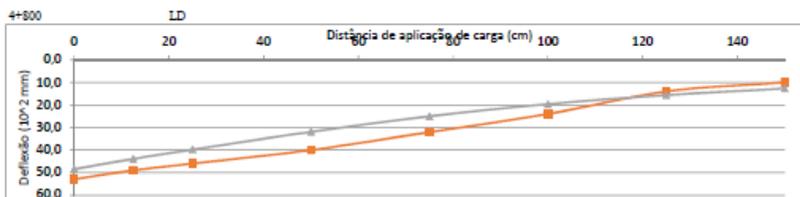
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	22,0	20,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	28,6	24,3	21,3	16,3	12,4	9,58	7,58	6,17
ϵ (%)	2,1%	10,5%	6,5%	1,9%	3,3%	19,8%	26,3%	54,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,8	3000
Base reciclada	18	1600
Base remanescente	1	180
Sub-base	23	150
Subleito		120



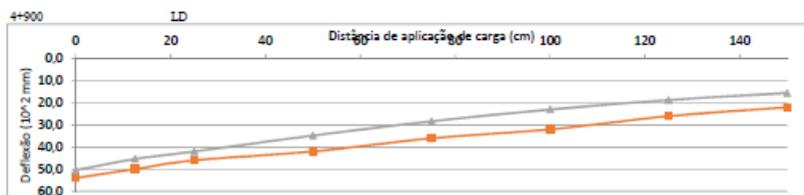
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	23,0	20,0	16,0	13,0	10,0	6,0	4,0	3,0
Def. Calculada	21,1	17,9	14,8	10,5	7,57	5,67	4,42	3,6
ϵ (%)	8,3%	10,5%	7,5%	19,2%	24,3%	5,5%	10,5%	20,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,8	2700
Base reciclada	17,5	1400
Base remanescente	9,5	250
Sub-base	17	200
Subleito		200



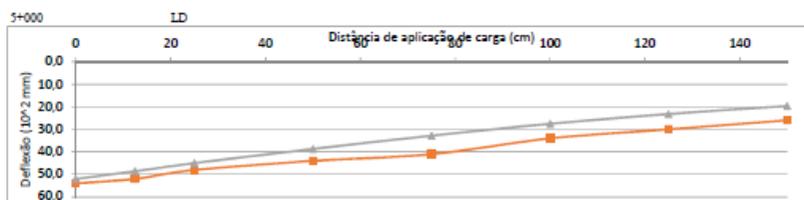
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	53,0	49,0	46,0	40,0	32,0	24,0	14,0	10,0
Def. Calculada	48,5	43,9	39,8	31,9	25	19,6	15,6	12,7
ϵ (%)	8,5%	10,4%	13,5%	20,3%	21,9%	18,3%	11,4%	27,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,1	2400
Base reciclada	18	1300
Base remanescente	2	100
Sub-base	20	50
Subleito		60



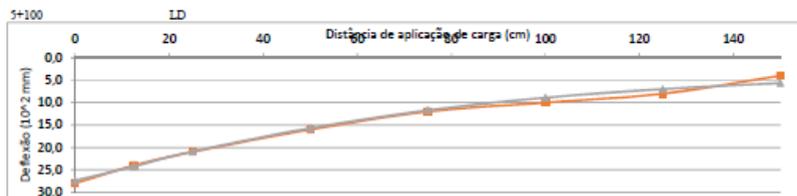
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	50,0	46,0	42,0	36,0	32,0	26,0	22,0
Def. Calculada	50,4	45,4	42	34,8	28,3	23	18,7	15,5
ε (%)	6,7%	9,2%	8,7%	17,1%	21,4%	28,1%	28,1%	29,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,5	2400
Base reciclada	17,5	1600
Base remanescente	1,8	300
Sub-base	20,7	80
Subleito		50



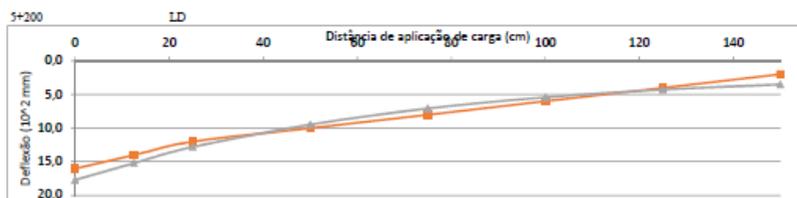
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	52,0	48,0	44,0	41,0	34,0	30,0	26,0
Def. Calculada	52,1	48,6	45	38,7	32,8	27,5	23,2	19,6
ε (%)	3,5%	6,5%	6,3%	12,0%	20,0%	19,1%	22,7%	24,6%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,8	3000
Base reciclada	18	1600
Base remanescente	7	220
Sub-base	16	100
Subleito		40



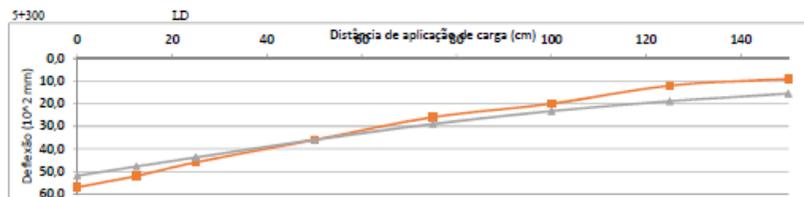
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	24,0	21,0	16,0	12,0	10,0	8,0	4,0
Def. Calculada	27,4	24,2	20,9	15,7	11,7	8,91	6,97	5,65
ε (%)	2,1%	0,8%	0,5%	1,9%	2,5%	10,9%	12,9%	41,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,8	2700
Base reciclada	18	1400
Base ramesscente	4	100
Sub-base	18	130
Subleito		130



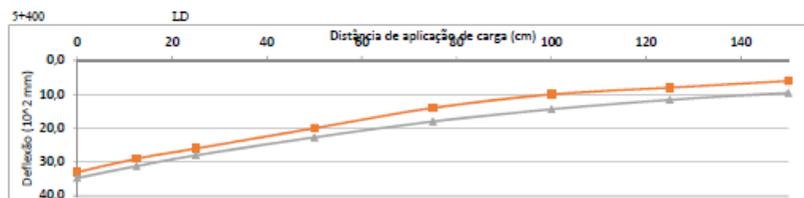
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	17,7	15,2	12,8	9,48	7,07	5,41	4,27	3,48
ε (%)	10,6%	8,6%	6,7%	5,2%	11,6%	9,8%	6,7%	74,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,2	3300
Base reciclada	17,5	1800
Base ramesscente	4,5	250
Sub-base	23	280
Subleito		210



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	17,0	32,0	46,0	36,0	26,0	20,0	13,0	9,0
Def. Calculada	51,9	47,8	43,8	36	29	23,3	18,9	15,5
ε (%)	8,9%	8,1%	4,8%	0,0%	11,5%	16,5%	57,5%	72,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,9	2100
Base reciclada	17	1400
Base remanescente	5	50
Sub-base	22	60
Subleito		50

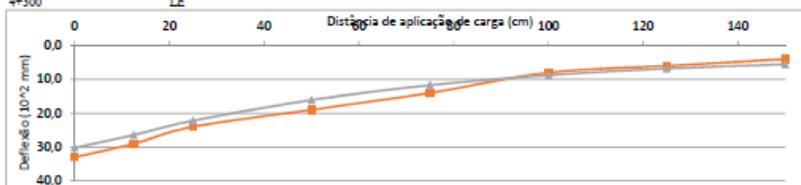


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	33,0	29,0	26,0	20,0	14,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	34,7	31,2	28	22,7	18	14,4	11,6	9,55
ε (%)	5,2%	7,6%	7,7%	13,5%	28,6%	44,0%	45,0%	59,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,8	2100
Base reciclada	17,5	1800
Base remanescente	4,5	180
Sub-base	21	120
Subleito		80

Segmento 2
4+300

28 dias
LE

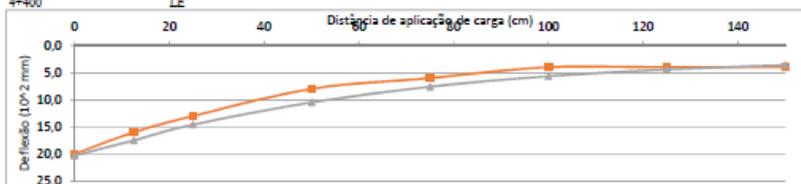


Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	33,0	29,0	24,0	19,0	14,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	30,2	26,4	22,2	16,1	11,7	8,77	6,82	5,53
E (%)	8,3%	9,0%	7,5%	15,3%	16,4%	9,6%	13,7%	38,3%

Camada	Espessura (cm)	Modulo (MPa)
	9,5	2400
Base reciclada	17	1100
Base remanescente	3	130
Sub-base	18,5	120
Subleito		130

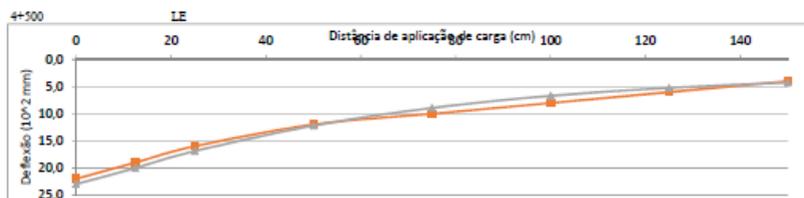
4+400

LE



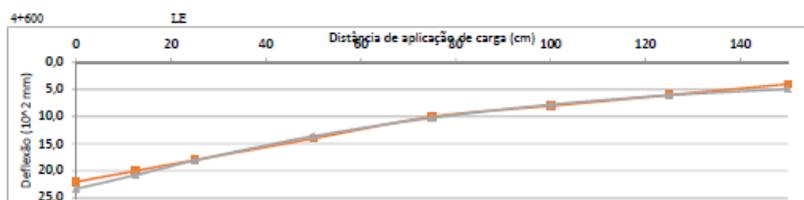
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	20,0	16,0	13,0	8,0	6,0	4,0	4,0	4,0
Def. Calculada	20,3	17,5	14,6	10,5	7,99	5,67	4,42	3,99
E (%)	1,5%	9,4%	12,3%	31,3%	26,5%	41,8%	10,5%	10,3%

Camada	Espessura (cm)	Modulo (MPa)
CAUQ	9,5	3300
Base reciclada	17	1500
Base remanescente	5	200
Sub-base	18	200
Subleito		200



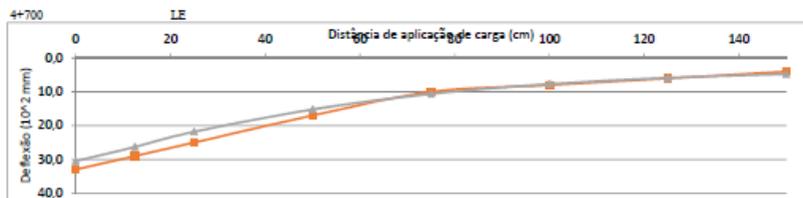
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	22,0	19,0	16,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	23	20	16,9	12,2	8,92	6,7	5,22	4,24
E (%)	4,5%	5,3%	5,6%	1,7%	10,8%	16,3%	13,0%	6,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,7	3000
Base reciclada	17,5	1400
Base rammeada	3,5	170
Sub-base	19	170
Subleito		170



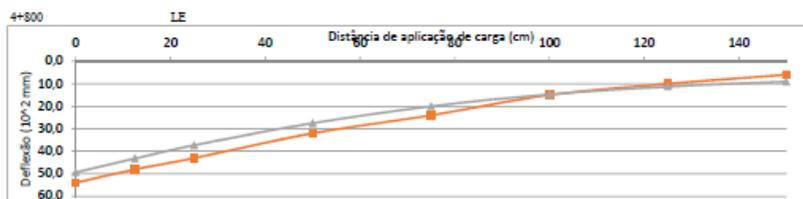
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	22,0	20,0	18,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	23,3	20,8	18,1	13,6	10,2	7,74	6,05	4,89
E (%)	5,9%	4,0%	0,6%	2,9%	2,0%	3,3%	0,8%	22,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,4	3400
Base reciclada	17	1700
Base rammeada	4	170
Sub-base	20	130
Subleito		130



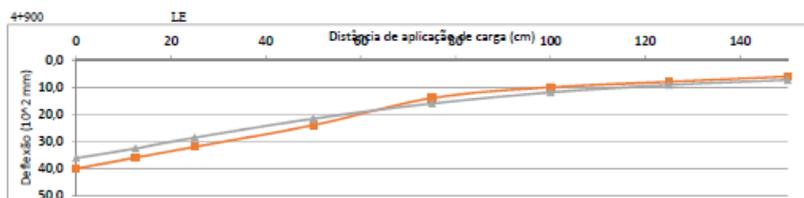
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	33,0	29,0	25,0	17,0	10,0	6,0	6,0	4,0
Def. Calculada	30,5	26,3	21,8	15,2	10,6	7,7	5,86	4,7
ϵ (%)	7,6%	9,3%	12,6%	10,6%	6,0%	3,8%	2,3%	17,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	10,3	2200
Base reciclada	18	900
Base remanescente	4	60
Sub-base	21	90
Subleito		150



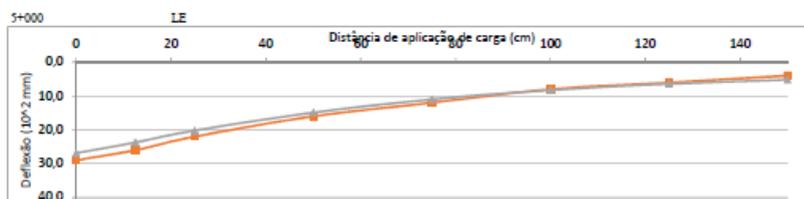
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	54,0	48,0	43,0	32,0	24,0	15,0	10,0	6,0
Def. Calculada	49,3	43,2	37,3	27,5	20	14,7	11,3	9
ϵ (%)	8,7%	10,0%	13,3%	14,1%	16,7%	2,0%	13,0%	50,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,8	1400
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	2,5	70
Sub-base	20	40
Subleito		80



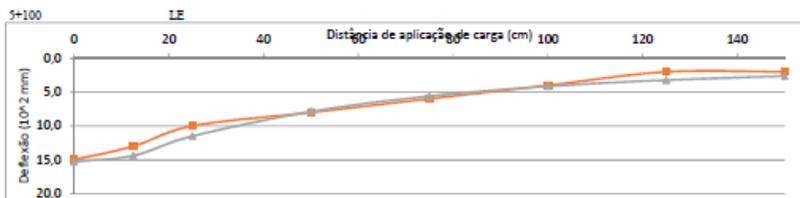
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	36,0	32,0	24,0	14,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	36,2	32,6	28,6	21,6	16	11,9	9,16	7,31
ϵ (%)	9,5%	9,4%	10,6%	10,0%	14,3%	19,0%	14,5%	21,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9,4	2500
Base reciclada	17	1400
Base remanescente	3	100
Sub-base	20	50
Subleito		100



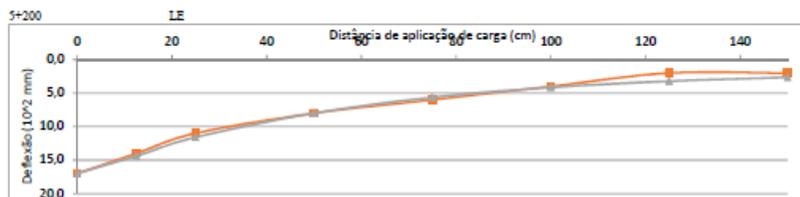
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	29,0	26,0	22,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	26,9	23,7	20,2	14,9	11	8,26	6,43	5,2
ϵ (%)	7,2%	8,8%	8,2%	6,9%	8,3%	3,3%	7,2%	30,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,9	2800
Base reciclada	17,5	1400
Base remanescente	9,5	150
Sub-base	13	120
Subleito		140



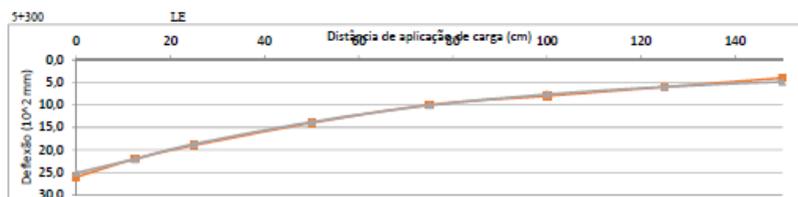
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	15,0	13,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	15,3	14,4	11,5	7,88	5,59	4,13	3,22	2,63
ϵ (%)	2,0%	10,8%	13,0%	1,5%	6,8%	3,3%	61,0%	31,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,4	3500
Base reciclada	17,5	1700
Base remanescente	1,5	120
Sub-base	21	280
Subleito		270



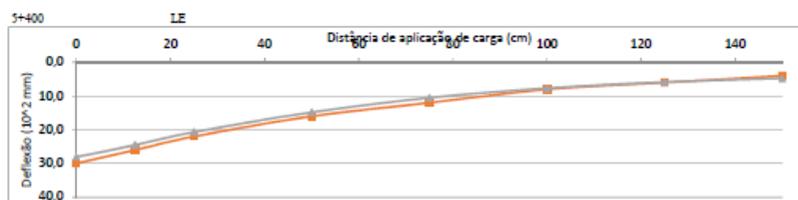
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	17,0	14,0	11,0	8,0	6,0	4,0	2,0	2,0
Def. Calculada	17	14,4	11,6	8,01	5,64	4,15	3,22	2,63
ϵ (%)	0,0%	2,9%	5,9%	0,1%	6,0%	3,8%	61,0%	31,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,2	3400
Base reciclada	17	1700
Base remanescente	9	270
Sub-base	17	250
Subleito		270



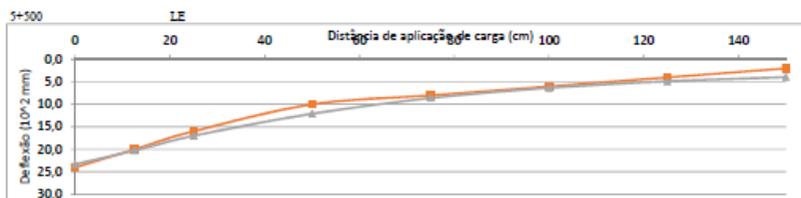
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	26,0	22,0	19,0	14,0	10,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	25,1	22	18,7	13,8	10,1	7,65	5,97	4,84
E (%)	3,5%	0,0%	1,6%	1,4%	1,0%	4,4%	0,5%	21,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2800
Base reciclada	18	1500
Base remanescente	5	170
Sub-base	19	150
Subleito		150



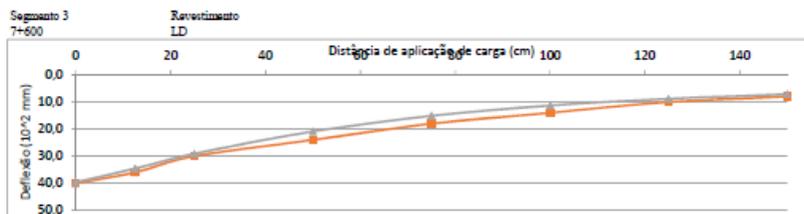
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0
Def. Calculada	28,1	24,5	20,7	14,8	10,5	7,67	5,87	4,72
E (%)	6,3%	5,8%	5,9%	7,5%	12,5%	4,1%	2,2%	18,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,8	2500
Base reciclada	17	1400
Base remanescente	3	100
Sub-base	23	100
Subleito		150



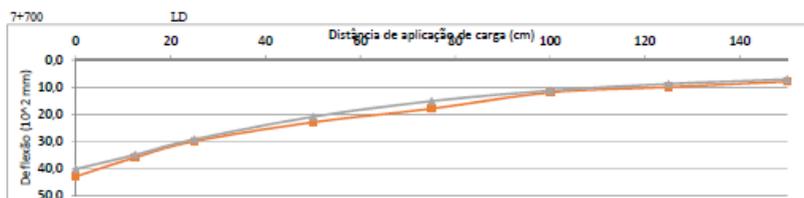
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	24,0	20,0	16,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	23,3	20,3	17	12,1	8,61	6,34	4,88	3,95
E (%)	2,9%	1,5%	6,3%	21,0%	7,6%	5,7%	22,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,8	2800
Base reciclada	17	1600
Base remanescente	3	100
Sub-base	23	150
Subleito		180



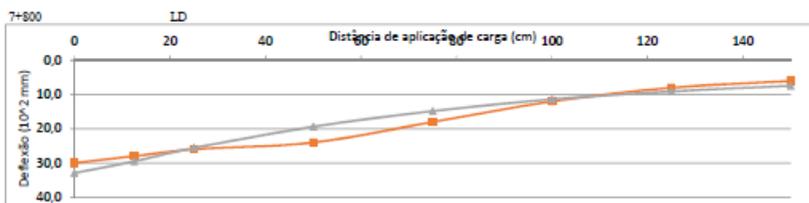
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	36,0	30,0	24,0	18,0	14,0	10,0	8,0
Def. Calculada	39,6	34,6	29,1	20,9	15,1	11,3	8,8	7,16
$\bar{\epsilon}$ (%)	1,0%	3,9%	3,0%	12,9%	16,1%	19,3%	12,0%	10,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,1	2000
Base reciclada	17	900
Base rumoscente		
Sub-base	26	100
Subleito		100



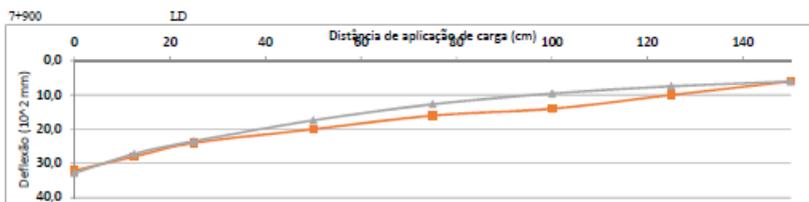
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	43,0	36,0	30,0	23,0	18,0	12,0	10,0	8,0
Def. Calculada	40,3	35	29,3	21	15,2	11,3	8,81	7,16
$\bar{\epsilon}$ (%)	6,3%	2,8%	2,3%	6,7%	15,6%	5,8%	11,9%	10,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	1700
Base reciclada	17	900
Base rumoscente	3	100
Sub-base	23	100
Subleito		100



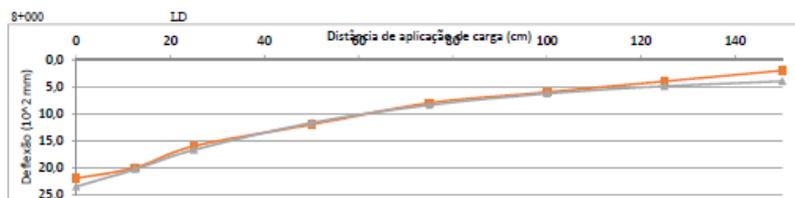
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	28,0	26,0	24,0	18,0	12,0	8,0	6,0
Def. Calculada	32,9	29,5	25,6	19,4	14,8	11,4	9,08	7,41
E (%)	9,7%	5,4%	1,5%	19,2%	17,8%	5,0%	13,5%	23,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	3300
Base reciclada	17,5	1100
Base remanescente	4,5	180
Sub-base	14	150
Subleito		100



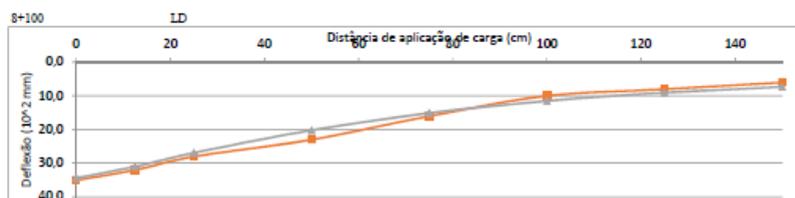
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	32,0	28,0	24,0	20,0	16,0	14,0	10,0	6,0
Def. Calculada	32,8	27,2	23,3	17,4	12,7	9,57	7,45	6,02
E (%)	2,5%	2,9%	2,1%	13,0%	20,6%	31,6%	25,5%	0,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,8	2400
Base reciclada	17,5	1300
Base remanescente	1,5	190
Sub-base	18	100
Subleito		120



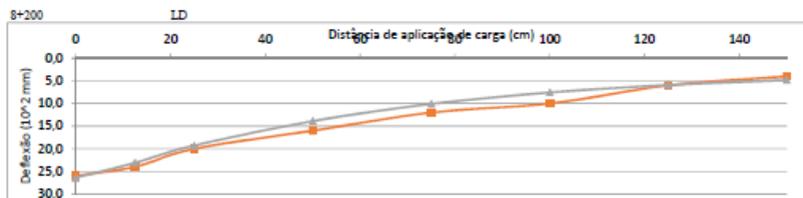
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	22,0	20,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	23,5	20,3	16,7	11,7	8,4	6,26	4,88	3,97
ε (%)	6,8%	1,5%	4,4%	2,7%	5,0%	4,3%	22,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	9	3300
Base reciclada	17	1100
Base remanescente	6	180
Sub-base	14	180
Subleito		180



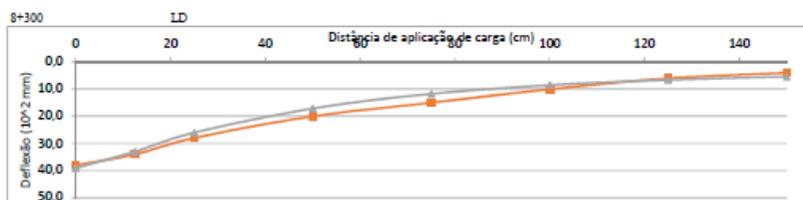
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	35,0	32,0	28,0	23,0	16,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	34,4	31	26,9	20,2	15,1	11,5	9,06	7,35
ε (%)	1,7%	3,1%	3,9%	12,2%	5,6%	15,0%	13,3%	22,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	3300
Base reciclada	17,5	1100
Base remanescente	4	100
Sub-base	14,5	100
Subleito		100



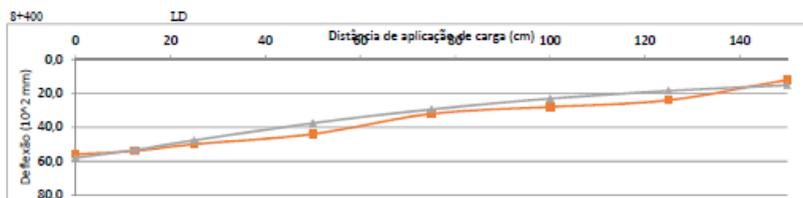
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	26,0	24,0	20,0	16,0	12,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	26,4	23,1	19,3	13,9	10,1	7,57	5,91	4,81
ε (%)	1,5%	3,8%	3,5%	13,1%	15,8%	24,3%	1,5%	20,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,4	3300
Base reciclada	18	1100
Base permanente	4	150
Sub-base	16	150
Subleito		150



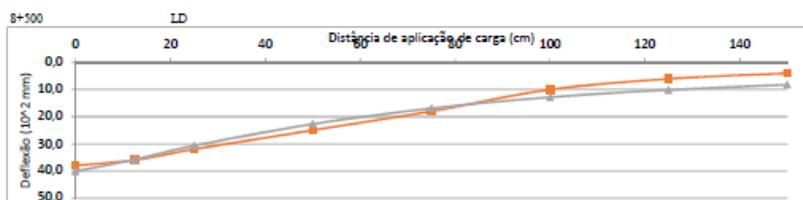
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	34,0	28,0	20,0	15,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	39,1	33	26	17,1	11,7	8,48	6,56	5,36
ε (%)	2,9%	2,9%	7,1%	14,5%	22,0%	15,2%	9,3%	34,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2000
Base reciclada	18,5	500
Base permanente	3,5	100
Sub-base	15	80
Subleito		130



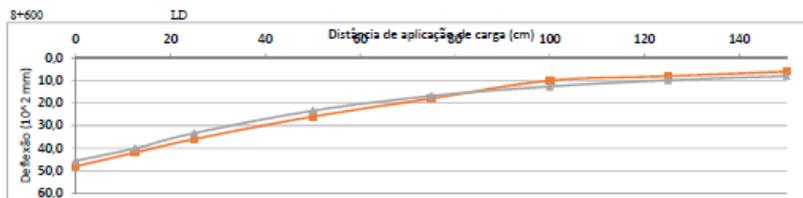
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	56,0	54,0	50,0	44,0	32,0	28,0	24,0	12,0
Def. Calculada	58	53,4	47,7	37,6	29,4	23,1	18,5	15,1
ϵ (%)	3,6%	1,1%	4,6%	14,5%	8,1%	17,3%	22,9%	25,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,6	2700
Base reciclada	17,5	800
Base rammed concrete	5,3	90
Sub-base	16,5	60
Subleito		50



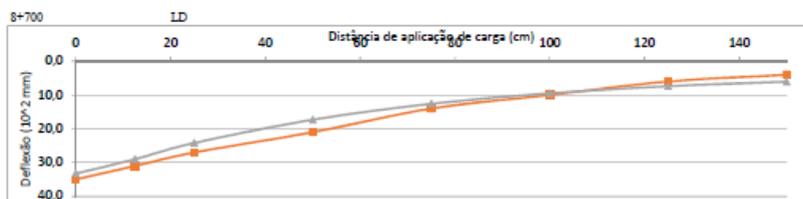
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	36,0	32,0	25,0	18,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	40,1	35,8	30,7	22,7	16,9	12,8	10,1	8,16
ϵ (%)	5,5%	0,6%	4,1%	9,2%	6,1%	28,0%	68,3%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	2700
Base reciclada	18	800
Base rammed concrete	10	90
Sub-base	16	90
Subleito		90



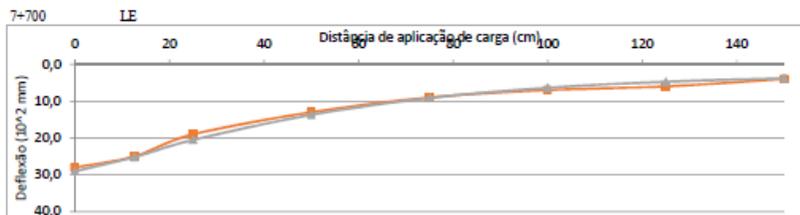
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	48,0	42,0	36,0	26,0	18,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	45,6	40,1	33,3	23,4	16,8	12,6	9,8	7,99
E (%)	5,0%	4,5%	7,5%	10,0%	6,7%	26,0%	22,5%	33,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,8	2500
Base reciclada	17,5	500
Base remanescente	7,5	80
Sub-base	17	90
Subleito		90



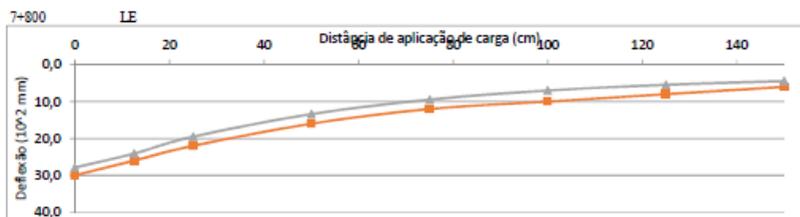
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	35,0	31,0	27,0	21,0	14,0	10,0	6,0	4,0
Def. Calculada	33,2	29	24,2	17,3	12,6	9,48	7,4	6,02
E (%)	5,1%	6,5%	10,4%	17,6%	10,0%	5,2%	23,3%	50,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,7	2700
Base reciclada	18	800
Base remanescente	7	150
Sub-base	19	110
Subleito		120



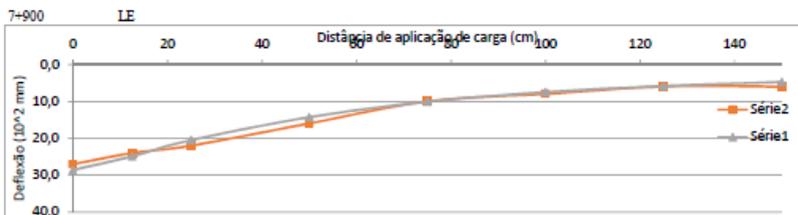
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	28,0	25,0	19,0	13,0	9,0	7,0	6,0	4,0
Def. Calculada	29	25,2	20,5	13,7	9,16	6,36	4,73	3,78
E (%)	3,6%	0,8%	7,9%	5,4%	1,8%	9,1%	21,2%	5,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	6,5	150
Sub-base	19,5	60
Subleito		180



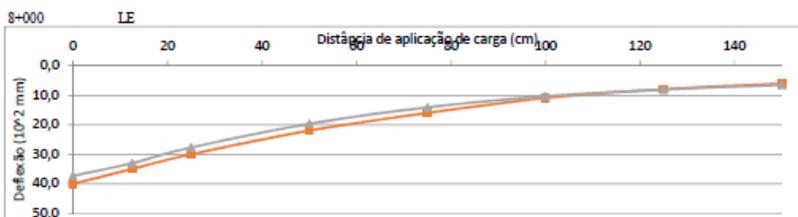
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	16,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	27,9	24,1	19,5	13,4	9,46	6,99	5,44	4,43
E (%)	7,0%	7,3%	11,4%	16,3%	21,2%	30,1%	32,0%	26,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	18	800
Base remanescente	5	180
Sub-base	13	120
Subleito		160



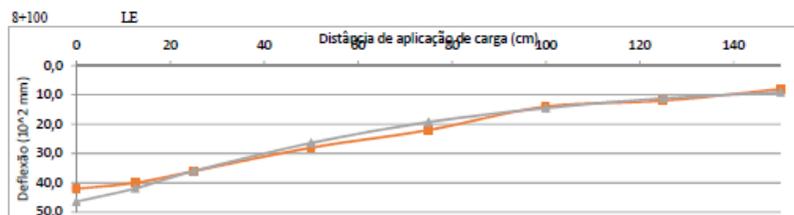
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	37,0	24,0	22,0	16,0	10,0	8,0	6,0	6,0
Def. Calculada	28,6	24,9	20,5	14,3	10,1	7,52	5,85	4,76
ϵ (%)	5,9%	3,7%	6,8%	10,6%	1,0%	6,0%	2,5%	20,7%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17,5	900
Base remanescente	5,5	100
Sub-base	15	150
Subleito		150



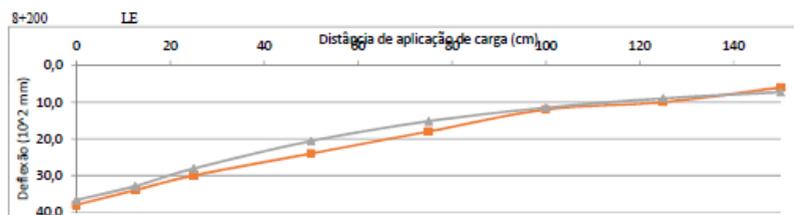
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	40,0	35,0	30,0	22,0	16,0	11,0	8,0	6,0
Def. Calculada	37,3	33	27,7	19,7	14,1	10,4	8,08	6,54
ϵ (%)	6,8%	5,7%	7,7%	10,5%	11,9%	5,5%	1,0%	9,0%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,2	3000
Base reciclada	17	800
Base remanescente	13	90
Sub-base	6	80
Subleito		110



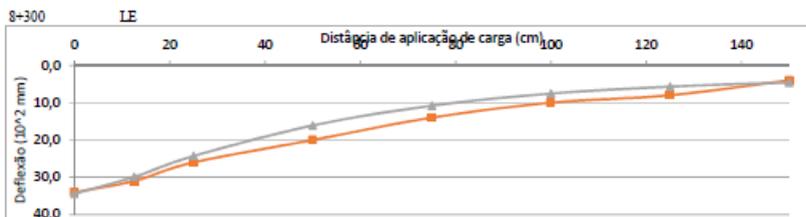
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	40,0	36,0	28,0	23,0	14,0	12,0	8,0
Def. Calculada	46,4	41,9	36	26,4	19,3	14,5	11,2	9,08
ε (%)	10,5%	4,7%	0,0%	5,7%	12,3%	3,6%	6,7%	13,5%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,2	3300
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	7,5	70
Sub-base	10	50
Subleito		80



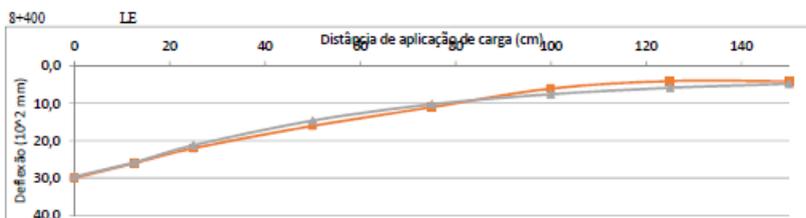
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	38,0	34,0	30,0	24,0	18,0	12,0	10,0	6,0
Def. Calculada	36,7	32,9	28,1	20,6	15,2	11,5	8,97	7,28
ε (%)	3,4%	3,2%	6,3%	14,2%	15,6%	4,2%	10,3%	21,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,4	3300
Base reciclada	17	900
Base remanescente	7,5	100
Sub-base	14,5	100
Subleito		100



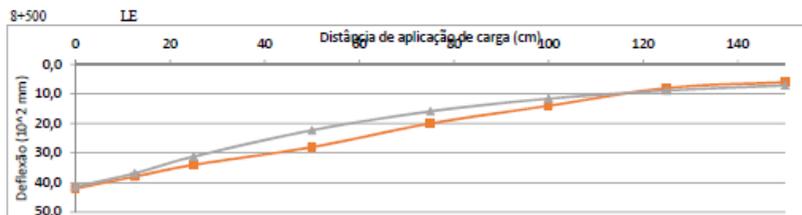
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	34,0	31,0	26,0	20,0	14,0	10,0	8,0	4,0
Def. Calculada	34,4	29,9	24,3	16,1	10,8	7,55	5,68	4,57
ε (%)	1,2%	3,5%	6,5%	19,5%	22,9%	24,5%	29,0%	14,3%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	3300
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	6	100
Sub-base	15,5	50
Subleito		150



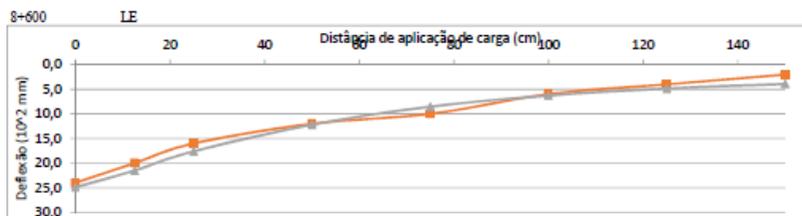
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	30,0	26,0	22,0	16,0	11,0	6,0	4,0	4,0
Def. Calculada	29,6	25,8	21,2	14,6	10,2	7,5	5,8	4,71
ε (%)	1,3%	0,8%	3,6%	8,8%	7,3%	25,0%	45,0%	17,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17	900
Base remanescente	5	100
Sub-base	19	120
Subleito		150



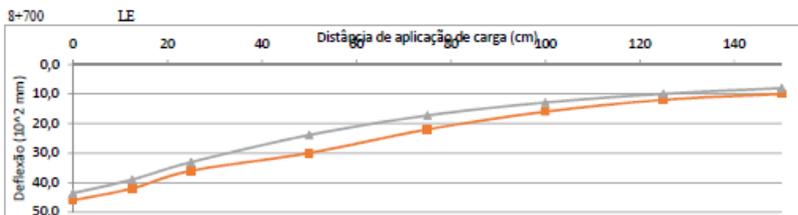
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	38,0	34,0	28,0	20,0	14,0	8,0	6,0
Def. Calculada	41,4	36,9	31,2	22,3	15,9	11,6	8,85	7,09
ϵ (%)	1,4%	2,9%	8,3%	20,4%	20,5%	17,1%	10,6%	18,2%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,1	2800
Base reciclada	17	800
Base remanescente	6	150
Sub-base	20	50
Subleito		100



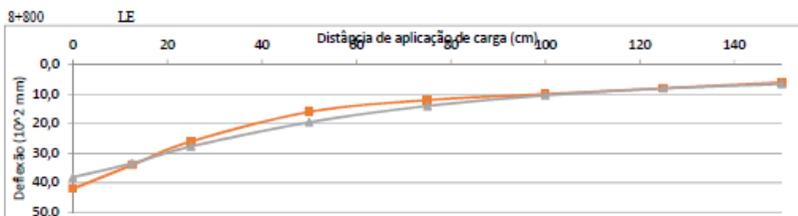
Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	24,0	20,0	16,0	12,0	10,0	6,0	4,0	2,0
Def. Calculada	24,9	21,5	17,6	12,2	8,55	6,27	4,84	3,93
ϵ (%)	3,7%	7,5%	10,0%	1,7%	14,5%	4,5%	21,0%	-

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,3	3300
Base reciclada	17	1100
Base remanescente	8	150
Sub-base	21	150
Subleito		180



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	46,0	42,0	36,0	30,0	23,0	16,0	12,0	10,0
Def. Calculada	43,6	39	33,1	23,9	17,3	12,9	9,96	8,04
ϵ (%)	5,2%	7,1%	8,1%	20,3%	21,4%	19,4%	17,0%	19,6%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2800
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	10,5	70
Sub-base	15,5	70
Subleito		90



Distância	0	12,5	25	50	75	100	125	150
Def. Medida	42,0	34,0	26,0	16,0	12,0	10,0	8,0	6,0
Def. Calculada	38,1	33,4	27,7	19,5	14	10,4	8,05	6,53
ϵ (%)	9,3%	1,8%	6,5%	21,9%	16,7%	4,0%	0,6%	8,8%

Camada	Espessura (cm)	Módulo (MPa)
CAUQ	8,5	2600
Base reciclada	17,5	700
Base remanescente	10,5	90
Sub-base	15,5	100
Subleito		110

APÊNDICE N – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES LABORATÓRIO

Seg	% Cimento	Idade (dias)	RCS (MPa)	Densidade (g/cm³)	Média RCS (MPa)	Idade (dias)	RCS (MPa)	Densidade (g/cm³)	Média RCS (MPa)	Idade (dias)	RCS (MPa)	Densidade (g/cm³)	Média RCS (MPa)	
3	2%	3	1,669	2,427	1,666	7	2,174	2,379	2,121	28	2,656	2,376	2,518	
		3	1,662	2,385		7	2,112	2,432		28	2,443	2,412		
		3	1,463	2,326		7	2,076	2,407		28	2,455	2,385		
	3%	3	1,373	2,426	1,778	7	1,979	2,432	2,391	28	3,168	2,403	3,193	
		3	1,587	2,404		7	2,674	2,455		28	2,878	2,404		
		3	1,778	2,399		7	2,520	2,363		28	3,532	2,381		
	4%	3	1,912	2,418	1,949	7	2,294	2,406	2,580	28	3,394	2,442	3,394	
		3	1,987	2,425		7	2,326	2,409		28	3,148	2,399		
		3	1,886	2,399		7	2,580	2,372		28	3,162	2,413		
	2	2%	3	1,490	2,476	1,396	7	1,672	2,452	1,581	28	2,226	2,468	2,094
			3	1,320	2,475		7	1,498	2,489		28	2,173	2,471	
			3	1,377	2,484		7	1,573	2,455		28	1,882	2,497	
3%		3	1,679	2,439	1,598	7	1,844	2,459	1,717	28	1,430	2,402	2,321	
		3	1,643	2,462		7	1,737	2,453		28	2,298	2,424		
		3	1,471	2,478		7	1,570	2,502		28	2,343	2,438		
4%		3	1,686	2,489	1,698	7	1,842	2,446	1,953	28	3,404	2,485	2,958	
		3	1,517	2,485		7	2,051	2,448		28	3,172	2,485		
		3	1,891	2,518		7	1,967	2,439		28	2,958	2,458		

1	2%	3	1,635	2,366	1,442	7	1,818	2,328	1,675	28	2,582	2,318	2,475
		3	1,567	2,363		7	1,532	2,330		28	2,483	2,325	
		3	1,122	2,365		7	1,168	2,332		28	2,360	2,326	
	3%	3	1,481	2,359	1,727	7	1,732	2,376	1,854	28	2,305	2,393	2,554
		3	1,417	2,369		7	1,705	2,370		28	2,464	2,293	
		3	1,727	2,380		7	2,124	2,400		28	2,894	2,424	
	4%	3	1,883	2,392	1,883	7	2,015	2,460	2,013	28	2,992	2,392	2,992
		3	1,267	2,451		7	2,084	2,382		28	1,193	2,371	
		3	1,172	2,351		7	1,939	2,403		28	2,136	2,381	

APÊNDICE O – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL LABORATÓRIO

	% Cimento	Idade (dias)	RTCD (MPa)	Densidade (g/cm³)	Média RTCD (MPa)		Idade (dias)	RTCD (MPa)	Densidade (g/cm³)	Média RCS (MPa)		Idade (dias)	RTCD (MPa)	Densidade (g/cm³)	Média RCS (MPa)
3	2%	3	0,160	2,307	0,149		7	0,213	2,367	0,255		28	0,301	2,336	0,313
		3	0,148	2,251			7	0,296	2,397			28	0,363	2,356	
		3	0,138	2,277			7	0,168	2,309			28	0,275	2,298	
	3%	3	0,205	2,345	0,223		7	0,386	2,395	0,392		28	0,468	2,287	0,452
		3	0,258	2,366			7	0,398	2,373			28	0,435	2,351	
		3	0,206	2,327			7	0,302	2,354						
	4%	3	0,227	2,297	0,254		7	0,430	2,332	0,439		28	0,643	2,295	0,595
		3	0,299	2,275			7	0,359	2,235			28	0,548	2,241	
		3	0,235	2,212			7	0,448	2,170			28	0,596	2,142	
2	2%	3	0,141	2,289	0,209		7	0,356	2,411	0,364		28	0,292	2,368	0,459
		3	0,220	2,411			7	0,352	2,389			28	0,471	2,444	
		3	0,264	2,418			7	0,385	2,404			28	0,447	2,438	
	3%	3	0,334	2,376	0,384		7	0,435	2,378	0,458		28	0,533	2,436	0,612
		3	0,387	2,387			7	0,467	2,471			28	0,617	2,457	
		3	0,432	2,436			7	0,471	2,451			28	0,606	2,416	
	4%	3	0,508	2,467	0,517		7	0,557	2,474	0,581		28	0,746	2,440	0,746
		3	0,512	2,460			7	0,578	2,424			28	0,738	2,450	
		3	0,533	2,453			7	0,608	2,476			28	0,753	2,454	

1	2%	3	0,222	2,292	0,221	7	0,279	2,375	0,258	28	0,351	2,341	0,331
		3	0,220	2,353		7	0,241	2,376		28	0,308	2,354	
		3	0,222	2,320		7	0,254	2,371		28	0,333	2,313	
	3%	3	0,299	2,347	0,263	7	0,333	2,334	0,356	28	0,511	2,371	0,537
		3	0,256	2,362		7	0,393	2,310		28	0,512	2,295	
		3	0,235	2,318		7	0,344	2,321		28	0,589	2,357	
	4%	3	0,342	2,330	0,353	7	0,438	2,289	0,531	28	0,817	2,300	0,755
		3	0,326	2,270		7	0,529	2,318		28	0,721	2,315	
		3	0,391	2,290		7	0,532	2,418		28	0,727	2,308	

APÊNDICE P – MÓDULO RESILIENTE MISTURA RECICLADA

7 dias

Segmento	1 - 2,7%			2 - 2,7%			3 - 3%		
CP	1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	1.3	2.3	3.3
Tensão (MPa)	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
0,5	624,3	814,8	437,9	1186,7	1022,5	810,9	903,5	968,3	977,0
1	631,3	812,0	392,2	1098,7	982,7	862,4	980,4	982,2	1008,1
1,5	619,0	779,5	406,4	990,0	973,8	858,4	987,4	962,6	967,7
2	592,7	762,0	371,8	931,7	984,0	837,6	939,9	968,3	979,4
3	538,4	685,2	437,9	1039,9	1000,7	810,9	925,9	892,8	1008,1
4	452,0	598,6	364,2	883,1	943,2	706,3	834,2	828,5	967,7
5	347,5	497,8	346,2	822,7	865,9	837,6	752,4	828,5	979,4

Segmento	3 - 2%			3 - 4%		
CP	10.3	11.3	12.3	16.3	17.3	18.3
	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
0,5	1249,4	1014,1	889,0	1199,9	1323,1	
1	979,5	977,9	908,1	1260,2	1320,0	1381,8
1,5	944,5	1015,0	902,9	1270,6	1115,1	
2	918,0	971,4	773,4	1136,1	1241,9	1397,0
3	885,8	851,6	639,6	1182,1	1102,3	1325,0
4	770,9	769,7	665,9	1029,8	1169,8	1216,4
5	673,4	672,5	499,0	1030,3	1067,8	970,2

28 dias

Segmento	1 - 2,7%			2 - 2,7%			3 - 3%		
CP	4.1	5.1	6.1	4.2	5.2	6.2	4.3	5.3	6.3
Tensão (MPa)	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
0,5		748,8	832,6	1356,0	826,0	1535,0	1097,3	1072,8	1202,2
1		771,4	852,1	1312,1	1531,2	1384,7	1137,1	1075,9	1301,5
1,5		772,1	829,5	1369,7	1586,5	1476,2	1155,0	1061,8	1273,5
2	879,8	756,0	822,5	1426,4	1426,6	1426,6	1094,5	1051,9	1232,7
3	861,1	764,2	809,0	1367,1	1666,7	1389,5	1056,7	1035,6	1198,8
4	841,6	729,9	771,1	1200,6	1493,4	1375,6	1200,9	882,9	1160,1
5	796,3	696,7	744,5	1155,9	1472,1	1299,9	1010,2	911,2	1105,7

Segmento	3 - 2%			3 - 4%		
CP	13.3	14.3	15.3	19.3	20.3	21.3
	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
0,5	980,3	937,0	977,0	1266,8	1210,1	1494,8
1	956,2	921,8	969,5	1258,5	1233,7	1423,8
1,5	959,2	908,3	953,6	1242,3	1238,1	1486,0
2	921,3	948,3	911,8	1190,7	1267,7	1455,5
3	866,6		866,2	1214,4	1209,4	1405,7
4	858,5		966,9	1233,2	1178,9	1392,0
5	802,1			1091,3	1149,3	1390,4

90 dias

Segmento	1 - 2,7%			2 - 2,7%			3 - 3%		
CP	7.1	8.1	9.1	7.2	8.2	9.2	7.3	8.3	9.3
Tensão (MPa)	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
1	1606	1325	1312	1998	2060	1962	1672	1380	1663
2	1540	1346	1242	2057	2051	1925	1574	1344	1707
3	1436	1275	1214	2029	1992	1847	1541	1312	1731
4	1404	1221	1164	2006	1925	1859	1482	1282	1671
5	1395	1169	1094	1989	2042	1836	1432	1237	1611
6	1325	1147	1050	1994	2069	1817	1401	1211	1597
7	1284	1146	1018	2019	1905	1803	1379	1180	1584

Segmento	3 - 2%			3 - 4%		
CP	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3
	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
1	1461	1487	1416	2053	1801	2197
2	1484	1446	1392	1986	1859	2171
3	1427	1416	1302	1924	1822	1997
4	1364	1374	1251	1875	1763	1993
5	1328	1396	1208	1831	1751	1964
6	1278	1365	1188	1778	1727	1945
7	1256	1375	1148	1750	1857	1929

APÊNDICE Q – MÓDULO RESILIENTE MISTURA ASFÁLTICA

Nº	Segmento	Média Altura (cm)	Média Diâmetro (cm)	Densidade (g/cm³)	DMM	VV	RT (MPa)	Módulo (MPa)	Desvio (MPa)
2		6,19	10,01	2,568	2,579	0,42%	0,77	4290,3	21,1
4		6,08	9,99	2,553	2,579	0,99%	0,75	Umidade induzida	
5		6,18	10,00	2,492	2,579	3,38%	0,77	4495,1	30,7
7		5,96	9,99	2,575	2,579	0,15%	0,77	4898,8	68,9
8		6,04	9,98	2,562	2,579	0,66%	0,78	3291,4	43,7
9		6,32	10,01	2,576	2,579	0,13%	0,58	Umidade induzida	
10		6,31	9,99	2,579	2,579	0,01%	0,75	4565,5	29,2
11		5,94	9,96	2,529	2,579	1,93%	0,42	Umidade induzida	

Nº	Segmento	Média Altura (cm)	Média Diâmetro (cm)	Densidade (g/cm³)	DMM	VV	RT (MPa)	Módulo (MPa)	Desvio (MPa)
14		6,10	9,97	2,523	2,579	2,17%	0,66	Umidade induzida	
16		6,22	9,99	2,516	2,579	2,42%	0,74	3672,2	95,9
17		6,21	9,98	2,537	2,579	1,64%	0,92	4862,3	23,1
18		6,00	9,96	2,532	2,579	1,84%	0,75	3893,4	34,2
19		6,33	10,03	2,480	2,579	3,82%	0,83	Umidade induzida	
20		6,13	9,99	2,561	2,579	0,71%	0,80	4556,0	54,7
21		6,03	9,98	2,549	2,579	1,16%	0,96	5313,3	140,0
22		6,23	10,00	2,538	2,579	1,60%	0,62	Umidade induzida	

Nº	Segmento	Média Altura (cm)	Média Diâmetro (cm)	Densidade (g/cm³)	DMM	VV	RT (MPa)	Módulo (MPa)	Desvio (MPa)
24	3	5,75	9,99	2,543	2,579	1,41%	0,93	3340,6	31,2
25		6,09	9,98	2,546	2,579	1,30%	0,67	Umidade induzida	
28		6,17	10,01	2,551	2,579	1,09%	0,87	3385,8	29,8
29		6,18	9,94	2,465	2,579	4,42%	0,75	2835,3	30,2
30		6,03	9,98	2,500	2,579	3,06%	0,65	2569,9	15,5
31		5,68	9,97	2,560	2,579	0,73%	0,84	4681,1	150,9
32		5,57	9,80	2,530	2,579	1,88%	0,62	Umidade induzida	
33		6,27	9,72	2,507	2,579	2,80%	0,69	Umidade induzida	
35		5,71	9,99	2,533	2,579	1,79%	0,71	2968,9	14,6
36		5,71	9,84	2,537	2,579	1,61%	0,51	Umidade induzida	

APÊNDICE R – DEFORMAÇÃO PERMANENTE

Nº de ciclos	Placa 1 (Deformação %)			Placa 3 (Deformação %)		
	Interna	Centro	Externa	Interna	Centro	Externa
100	1,95	2,10	1,36	1,41	1,67	0,59
300	2,87	2,74	1,91	2,16	2,30	0,88
1000	3,71	3,89	2,79	2,99	3,21	1,47
3000	5,07	5,11	3,93	3,85	4,04	1,93
10000	6,66	6,79	5,14	5,00	5,34	2,80
30000	8,51	8,62	6,98	7,29	7,90	4,77
Nº de ciclos	Placa 7			Placa 8		
	Interna	Centro	Externa	Interna	Centro	Externa
100	1,03	1,65	1,67	0,84	1,48	1,25
300	1,41	2,14	2,12	1,08	2,06	1,72
1000	1,63	2,68	2,58	1,40	2,57	2,10
3000	1,89	3,18	3,08	1,61	2,99	2,44
10000	2,42	3,96	3,81	1,98	3,70	3,10
30000	2,98	5,04	4,90	3,09	4,99	4,20
Nº de ciclos	Placa 13			Placa 14		
	Interna	Centro	Externa	Interna	Centro	Externa
100	0,63	1,20	1,08	0,70	1,20	1,18
300	0,84	1,90	1,52	1,06	1,81	1,51
1000	1,21	2,30	2,12	1,36	2,23	2,08
3000	1,63	2,96	2,81	1,69	2,79	2,47
10000	1,91	3,53	3,33	1,97	3,36	2,96
30000	2,55	4,55	4,18	2,68	4,34	3,90

APÊNDICE S – DANO POR UMIDADE INDUZIDA

Estaca	CAUQ borracha											
	Condicionado		Não Condicionado		Condicionado		Não Condicionado		Condicionado		Não Condicionado	
	VV < 6				6 < VV < 8				VV > 8			
	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)
8+500	5,3%	0,72	5,7%	0,90	6,7%	0,64	6,3%	0,88				
8+200			4,4%	1,02			6,9%	0,82				
7+800	3,4%	0,88	3,6%	0,99								
8+400	4,6%	0,89										
2+900	5,1%	0,58					7,0%	0,73				
4+800	5,3%	0,74	5,1%	1,00	6,5%	0,49						
5+200					6,7%	0,41	6,1%	0,87				
2+010	5,3%	0,67			6,6%	0,51	6,6%	0,71			9,8%	0,47
Média Geral	4,8%	0,75	4,7%	0,98	6,6%	0,51	6,6%	0,80			9,8%	0,47
Relação	76,4%				63,9%							

Estaca	Massa fina											
	Condicionado		Não Condicionado		Condicionado		Não Condicionado		Condicionado		Não Condicionado	
	VV < 6				6 < VV < 8				VV > 8			
	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)	VV (%)	RT (MPa)
2+400					8,0%	0,26	8,0%	0,61	8,7%	0,23	9,0%	0,52
4+400	5,4%	0,40			6,2%	0,36	6,2%	0,83				
8+750	3,1%	0,89	3,7%	0,90								
7+950					7,5%	0,43	7,3%	0,58	8,3%	0,33	8,7%	0,54
	4,3%	0,65	3,7%	0,90	7,2%	0,35	7,1%	0,67	8,5%	0,28	8,9%	0,53
	71,8%				51,7%				53,4%			

APÊNDICE T – FADIGA DA MISTURA RECICLADA

Identificação	Altura				Média	Diâmetro		Média	Peso (g)	Densidade	RT média (MPa)	SR	Nº de ciclos
1	6,28	6,34	6,39	6,40	6,35	10,15	10,13	10,14	1189,50	2,32	0,65		
2	6,46	6,55	6,50	6,41	6,48	10,12	10,12	10,12	1198,90	2,30		0,90	247
3	6,38	6,38	6,37	6,41	6,39	10,11	10,13	10,12	1192,90	2,32		0,85	1310
4	6,21	6,32	6,31	6,36	6,30	10,13	10,14	10,14	1187,40	2,34		0,75	6135
5	6,14	6,19	6,20	6,24	6,19	10,11	10,10	10,11	1158,40	2,33		0,64	275000
6	6,23	6,20	6,21	6,08	6,18	10,13	10,14	10,14	1166,60	2,34			
7	6,24	6,24	6,28	6,23	6,25	10,13	10,15	10,14	1203,93	2,39	0,57		
8	6,34	6,35	6,36	6,40	6,36	10,14	10,15	10,15	1222,16	2,38		0,96	30
9	6,29	6,34	6,30	6,24	6,29	10,12	10,11	10,12	1210,63	2,39		0,72	18350
10	6,17	6,19	6,18	6,23	6,19	10,13	10,11	10,12	1185,47	2,38		0,75	3075
11	6,33	6,35	6,40	6,27	6,34	10,12	10,12	10,12	1223,79	2,40		0,71	5427
12	6,59	6,57	6,57	6,63	6,59	10,14	10,12	10,13	1221,62	2,30			
13	6,48	6,43	6,28	6,38	6,39	10,14	10,15	10,15	1227,50	2,38	0,54		
14	6,70	6,61	6,59	6,69	6,65	10,15	10,13	10,14	1265,70	2,36		0,60	472250
15	6,47	6,48	6,66	6,62	6,56	10,09	10,10	10,10	1228,40	2,34		0,74	1720
16	6,66	6,56	6,47	6,62	6,58	10,09	10,09	10,09	1242,90	2,36		0,74	9716
17	6,53	6,54	6,49	6,44	6,50	10,12	10,12	10,12	1235,70	2,36		0,65	38210
18	6,80	6,66	6,55	6,66	6,67	10,11	10,12	10,12	1268,50	2,37			