

**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DA CAMADA RECICLADA  
COM ESPUMA DE ASFALTO NA RODOVIA BR-290/RS**

**MARCELO ARCHANJO DAMA**

Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA

Porto Alegre  
Setembro de 2003

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação

---

Prof. D.Sc. Jorge Augusto Ceratti  
ORIENTADOR

---

Prof. Américo Campos Filho  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Washington Peres Núñez

Dr. pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Régis Martins Rodrigues

D. Sc. pela Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ)

Prof. Fernando Pugliero Gonçalves

Dr. pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Aos meus pais, Manoel e Maria de Lourdes  
e aos meus irmãos Fábio, Manoel e Bernadete.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço às seguintes pessoas e instituições que colaboraram de alguma forma, direta ou indiretamente, para que esta dissertação fosse concluída.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos ensinamentos ministrados, em especial ao Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti, pela idealização desta pesquisa e pela atenção dedicada a este trabalho.

Ao meu amigo e Professor Washington Peres Núñez pelo auxílio, pela amizade sincera e pelo incentivo para o término desta dissertação. Muito Obrigado.

Ao Eng<sup>o</sup> Antonio Monfrinatti Neto, Diretor Comercial da RECICLOTEC COMERCIAL representante da Wirtgen no Brasil, pela colaboração e pelas referências bibliográficas disponibilizadas para elaboração desta dissertação.

Aos funcionários da gerencia e do laboratório do Consórcio Construtor TRS, em especial ao Janir e Anderson, pessoas que elaboraram os ensaios em campo.

Ao laboratorista Ivan do LAPAV, por realizar os ensaios de módulo de resiliência.

Ao meu amigo Fernando Casagrande pelo incentivo, por me dar apoio nos momentos difíceis e pela amizade sincera. Obrigado Amigo.

À Construtora Triunfo e CONCEPA por contribuir pela minha qualificação profissional e pelo apoio financeiro deste curso.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	xii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xv
<b>RESUMO</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 O QUE É ESPUMA DE ASFALTO?.....	2
1.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ESPUMA DE ASFALTO.....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
2.1 BREVE HISTÓRICO DA ESPUMA DE ASFALTO.....	5
2.2 REQUISITO DO BETUME.....	7
2.3 ESPUMABILIDADE.....	7
2.4 PROPRIEDADES DO ASFALTO.....	8
2.5 PROPRIEDADE DOS AGREGADOS.....	9
2.5.1 Graduação dos Agregados.....	9
2.5.2 Conteúdo de Filler.....	11
2.5.3 Tipo de Material.....	10
2.6 CONSIDERAÇÕES DOS FLUÍDOS.....	11
2.6.1 Conteúdo de Espuma de Asfalto.....	11
2.6.2 Conteúdo da Umidade da Mistura de Espuma de Asfalto.....	12
2.7 CONSIDERAÇÕES DE TEMPERATURA.....	14
2.8 CONSIDERAÇÕES DE COMPACTAÇÃO.....	15
2.9 CONSIDERAÇÕES DE CURA.....	16
2.10 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ENGENHARIA.....	16
2.10.1 Fadiga.....	18
2.10.2 Resistência à Deformação Permanente .....	18
2.10.3 Resistência ao Cisalhamento.....	19

2.10.4 Rigidez.....	19
2.10.5 Suscetibilidade à Umidade.....	20
2.11 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE PAVIMENTO.....	21
2.11.1 Deflexões.....	21
<b>3 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO.....</b>	<b>22</b>
3.1 ETAPAS DE INVESTIGAÇÃO.....	22
3.2 PROJETO DE RESTAURAÇÃO.....	22
3.2.1 Avaliação dos Pavimentos.....	23
3.2.1.1 Estado de superfície.....	23
3.2.1.2 Irregularidade de superfície.....	24
3.2.2 Condição Estrutural.....	25
3.2.2.1 Estrutura do pavimento existente.....	26
3.2.2.3 Módulos elásticos das camadas – retroanálise.....	27
3.2.3 Estudos de Tráfego.....	31
3.2.4 Dimensionamento das Alternativas de Restauração.....	33
3.2.4.1 Aplicação do procedimento DNER-PRO 269/94.....	33
3.2.4.2 Solução contemplando a reciclagem parcial do revestimento existente.....	35
3.2.4.3 Solução Indicada.....	39
3.2.5 Estimativa do Desempenho a Ser Oferecido pela Solução Proposta.....	40
3.2.5.1 Justificativa do modelo utilizado.....	40
3.2.6 Resultados Obtidos.....	43
3.3 PROJETO DA MISTURA RECICLADA.....	45
3.3.1 Apresentação.....	45
3.3.2 Mistura de Agregados.....	45
3.3.3 Definição de Teor de CAP.....	46
3.4 EXECUÇÃO EM CAMPO.....	47
3.4.1 Procedimento de Execução em Campo.....	47
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA</b>	<b>51</b>
4.1 GRANULOMETRIA.....	51
4.2 CARACTERÍSTICAS DA ESPUMA.....	52
4.3 CARACTERÍSTICAS DO ASFALTO.....	56
4.3.1 Características do Asfalto Empregado na Reciclagem.....	56
4.3.2 Características do Asfalto Empregado na Capa Asfáltica.....	56

4.4 CARACTERÍSTICAS DOS FLUÍDOS.....	57
4.5 CARACTERÍSTICAS DA COMPACTAÇÃO.....	58
4.6 CARACTERÍSTICAS DE CURA.....	59
4.7 CARACTERÍSTICAS DE DEFLEXÕES.....	62
4.8 CARACTERÍSTICAS DE RIGIDEZ E RESISTENCIA À TRAÇÃO INDIRETA...	63
4.9 MÓDULOS DE RESILIENCIA OBTIDOS ATRAVÉS DE ENSAIO TRIAXIAL...	68
4.9.1 Ensaio de Módulo de Resiliência.....	69
4.9.1.1 Descrição do equipamento triaxial de cargas repetidas.....	69
4.9.2 Resultados de Módulos de Resiliência.....	72
<b>5 ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA.....</b>	<b>73</b>
5.1 RESULTADOS DE RETROANÁLISE DO LAYMOD4.....	76
5.1.1 Resultados da Retroanálise das Bacias de Deflexões de Dezembro de 2001.....	77
5.1.2 Resultados da Retroanálise das Bacias de Deflexões de Junho de 2002.....	78
5.1.3 Comparativo de Resultados de Módulo de Resiliência .....	83
<b>6 ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL RESTANTE.....</b>	<b>85</b>
6.1 VERIFICAÇÃO DOS MÓDULOS RESULTANTES DO LAYMOD4.....	85
6.1.1 Resultados para Medições de Dezembro de 2001.....	86
6.1.2 Resultados para Medições de Junho de 2002.....	88
6.2 CÁLCULO DA VIDA ÚTIL ATRAVÉS DO PROGRAMA PAVESYS9.....	90
6.2.1 Dados de Entrada no Pavesys9.....	90
6.2.2 Dados Relativos as Medições de Dezembro de 2001.....	94
6.2.3 Dados Relativos as Medições de Junho de 2002.....	95
6.2.4 Resultados de Avaliação do Pavesys9.....	95
<b>7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>99</b>
7.1 CONCLUSÕES.....	99
7.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXO A – RELATÓRIO DE DOSAGEM - COPAVEL.....	106
ANEXO B – LAUDO MASSA ASFÁTICA – IPIRANGA ASFALTOS.....	161

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1 - Bico de Espuma Original para o Processo de Espuma de Asfalto.....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 2.2 - Curvas de Diferentes Níveis de Materiais que Satisfazem o Processo de Espuma.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2.3 - Influencia da Umidade de Compactação na Resistência de Hveem, para uma Mistura de Areia com 4% de Espuma de Asfalto.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2.4 - Influencia da Temperatura do Agregado na Mistura na Resistência Hveem.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3.1 - Índice de Gravidade Global – Pista Sul.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3.2 - Relação IGG x FC23 – Pista Sul.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3.3 - Resultado da Avaliação da Condição de Superfície.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3.4 - Irregularidade Longitudinal – Pista Sul.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3.5 - Deflexões Máximas – Eldorado do Sul – Porto Alegre.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3.6 - Pavimento do Km 105 – Faixa Externa / Pista Sul.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3.7 - Pavimento do Km 108,85 – Faixa Externa / Pista Sul.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3.8 - Estrutura para Retroanálise.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 3.9 - Módulos de Elasticidade do Revestimento na Pista Sul / Faixa Externa.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 3.10 - Módulos de Elasticidade do Revestimento na Pista Sul / Faixa Interna.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3.11 - Pista Sul – Km’s 107,00 a 112,00 – Faixa Externa.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3.12 - Pista Sul – Km’s 107,00 a 112,00 – Faixa Interna.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3.13 - Pista Sul – Km’s 102,00 a 107,00 – Faixa Externa.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 3.14 - Pista Sul – Km’s 102,00 a 107,00 – Faixa Interna.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 3.15 - Pista Sul – Km’s 97,00 a 102,00 – Faixa Interna.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 3.16 - Pista Sul – Km’s 97,00 a 102,00 – Faixa Externa.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3.17 - Relações de Módulos de Elasticidade da Base e do Subleito x Deflexões na Pista Sul / Faixa Interna.....</b>	<b>30</b>



<b>Figura 3.18 - Relações de Módulos de Elasticidade da Base e do Subleito x Deflexões na Pista Sul / Faixa Externa.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3.19 - Crescimento do Tráfego (Novembro de 1997 até Julho de 1999).....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3.20 - Valores Médios dos Módulos de Elasticidade.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 3.21 - Estrutura de Referencia para Análise Mecanística das Alternativas de Restauração – Pista Sul.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 3.22 - Variação das Espessuras do Revestimento Asfáltico ao Longo do Trecho.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 3.23 - Previsão da Evolução do Trincamento por Fadiga.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 3.24 - Previsão da Evolução do Trincamento por Fadiga.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3.25 - Previsão da Evolução da Ocorrência de Afundamentos em Trilha de Roda.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3.26 - Recicladora WR2500 – Wirtgen Reciclando.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3.27 - Compactação Camada Reciclada com Rolo Pé-de Carneiro.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 3.28 - Capa Selante após Reciclagem e antes da Capa Asfáltica.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 4.1 - Curvas Granulométricas Resultantes da Reciclagem.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 4.2 - Índice de Espuma para Caracterização da “Espumabilidade” de Asfalto para uma Dada Razão de Aplicação de Água, Aonde <math>FI=A1+A2</math>.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 4.3 - Relação entre a Atual e a Máxima Medida de Razão de Expansão.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 4.4 - Resultados dos Índices de Espuma Encontrados.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 4.5 - Gráficos Comparativos de Meia-Vida e Expansão.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 4.6 - Comparativo Umidade Final x Umidade Ótima – Faixa Direita.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 4.7 - Comparativo Umidade Final x Umidade Ótima – Faixa Esquerda.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.8 - Grau de Compactação da Reciclagem – Faixa Direita.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.9 - Grau de Compactação da Reciclagem – Faixa Direita.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.10 - Trincheira Escavada no Km 109 Mostrando o Comportamento do Afundamento de Trilha de Roda nas Camadas do Pavimento.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 4.11 - Demonstrando a Progressão de Deformação Permanente após 24 Horas de Cura&gt;.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 4.12 - Levantamentos de Deflexões no Ponto de Aplicação da Carga.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4.13 - Placas Removidas nos Km 98, Km 112+080 e Km 112+170.....</b>	<b>64</b>

<b>Figura 4.14 - Detalhe da Espessura da Capa.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 4.15 - Detalhe de Espessura da Camada Reciclada.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 4.16 - Corte Transversal das Camadas de Análise do Pavimento Reciclado</b>	<b>66</b>
<b>Figura 4.17 - Equipamento de Ensaio Triaxiais de Carga Repetida.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4.18 - Sistema Computacional Utilizado na Aquisição de Dados.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4.19 - Comportamento Elástico da Camada de Reciclagem com Espuma de Asfalto.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 5.1 - Detalhes da Estrutura do Pavimento Reciclado.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 5.2 - Comparativo de Deflexões Medidas com FWD (Dez/01) e Viga Eletrônica (Jun/02).....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 5.3 - Espessuras das Camadas de Pavimentação para Análise no Laymod4.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 5.4 - Bacias de Deflexão do Segmento 1.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 5.5 - Bacias de Deflexão do Segmento 1 Tratadas Estatisticamente.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 5.6 - Bacias de Deflexão do Segmento 2.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 5.7 - Bacias de Deflexão do Segmento 2 Tratadas Estatisticamente.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 5.8 - Bacias de Deflexão do Segmento 3.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 5.9 - Bacias de Deflexão do Segmento 3 Tratadas Estatisticamente.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 5.10 - Comparativo dos Módulos de cada Segmento.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 6.1 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 1.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 6.2 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 2.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 6.3 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 3.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 6.4 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 1.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 6.5 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 2.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 6.6 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 3.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 6.7 - Desempenho do Pavimento do Segmento 1 com Condições de Capa Atuais.....</b>	<b>92</b>

<b>Figura 6.8 - Desempenho do Pavimento do Segmento 2 com Condições de Capa Atuais.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 6.9 - Desempenho do Pavimento do Segmento 3 com Condições de Capa Atuais.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 6.10 - Comparativo de PSI e TR entre Dez/01 e Jun/02 – Segmento 1.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 6.11 - Comparativo de PSI e TR entre Dez/01 e Jun/02 – Segmento 2.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 6.12 - Comparativo de PSI e TR entre Dez/01 e Jun/02 – Segmento 3.....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 4.1 - Quadro de Resultados das Características do Asfalto Empregado na Capa Asfáltica (CDT – IASA/Betel, 2002).....</b>	<b>56</b>
<b>Quadro 4.2 - Quadro de Resultados de Ensaios de Módulo de Resiliencia e de Resistência à Tração Indireta.....</b>	<b>63</b>
<b>Quadro 4.3 - Resultados de Módulo de Resiliencia e Resistência à Tração Indireta de CP's In Situ .....</b>	<b>65</b>
<b>Quadro 4.4 - Seqüência de Carregamento para Determinação de Módulo Resiliente em Materiais Granulares.....</b>	<b>70</b>
<b>Quadro 5.1 - Bacias de Deflexão Características de cada Segmento Homogêneo em Dez/2001.....</b>	<b>75</b>
<b>Quadro 5.2 - Bacias de Deflexão Características de cada Segmento Homogêneo em Jun/2002.....</b>	<b>75</b>
<b>Quadro 5.3 - Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 1, Dezembro 2001.....</b>	<b>77</b>
<b>Quadro 5.4 - Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 2, Dezembro 2001.....</b>	<b>77</b>
<b>Quadro 5.5 - Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 3, Dezembro 2001.....</b>	<b>78</b>
<b>Quadro 5.6 - Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 1, Junho 2002.....</b>	<b>82</b>
<b>Quadro 5.7 - Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 2, Junho 2002.....</b>	<b>82</b>
<b>Quadro 5.8 - Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 3, Junho 2002.....</b>	<b>83</b>
<b>Quadro 6.1 - Dados Pertinentes a Todas Análises.....</b>	<b>85</b>
<b>Quadro 6.2 - Resultados Tensões Horizontais para Medições de dezembro de 2001 – Segmento 1.....</b>	<b>87</b>

<b>Quadro 6.3 - Resultados Tensões Horizontais para Medições de dezembro de 2001 – Segmento 2.....</b>	<b>87</b>
<b>Quadro 6.4 - Resultados Tensões Horizontais para Medições de dezembro de 2001 – Segmento 3.....</b>	<b>88</b>
<b>Quadro 6.5 - Resultados de Tensões Horizontais para medições de junho de 2002 – Segmento 1.....</b>	<b>89</b>
<b>Quadro 6.6 - Resultados de Tensões Horizontais para medições de junho de 2002 – Segmento 2.....</b>	<b>90</b>
<b>Quadro 6.7 - Resultados de Tensões Horizontais para medições de junho de 2002 – Segmento 3.....</b>	<b>90</b>
<b>Quadro 6.8 - Dados relativos as Verificações com o Pavesys9.....</b>	<b>91</b>
<b>Quadro 6.9 - Propriedades da Mistura Asfáltica Analisada no Pavesys9.....</b>	<b>92</b>
<b>Quadro 6.10 - Dados das Camadas dos Segmentos Homogêneos para Análise no Pavesys9 – Dez/01.....</b>	<b>94</b>
<b>Quadro 6.11 - Dados das Camadas dos Segmentos Homogêneos para Análise no Pavesys9 – Jun/02.....</b>	<b>95</b>
<b>Quadro 6.12 - Resultado de Verificação Conforme Método da AASHTO e DNER</b>	<b>97</b>
<b>Quadro 6.13 - Demonstrativo de Contribuição de Cada Camada para o Afundamento de Trilha de Roda.....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1 - Diretrizes para Projeto de Teor de Espuma de Asfalto como uma Função do Teor de Filler Contido para Mistura Espumada (Jenkins apud After Rucker et al, 1982).....</b>	<b>10</b>
<b>Tabela 2.2 - Métodos de Testes Históricos para Misturas de Espumas de Asfalto e suas Funções (Jenkins, 2000).....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 3.1 - Classificação Funcional de Rodovia Pavimentadas.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 3.2 - Classificação do Tráfego Atuante.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 3.3 - Contagem Volumétrica Classificatória.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 3.4 - Projeção do Tráfego e do número “N”.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 3.5 - Segmentos Homogêneos – Pista Sul.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 3.6 - Fatores de Correção das Deflexões Medidas.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 3.7 - Soluções Envolvendo Recapeamento Simples – Pista Sul.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 3.8 - Soluções Envolvendo Reciclagem – Pista Sul.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 3.9 - Medidas para Restauração – Pista Sul.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3.10 - Peneiramento do Material Fresado.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 3.11 - Previsão de Percentagem de Filler.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 3.12 - Teores de Espuma de Asfalto Encontrados.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 4.1 - Parâmetros <math>K_1</math>, <math>K_2</math>, <math>K_5</math> e <math>K_6</math> dos Modelos de Comportamento <math>K-\theta</math> e <math>K-\sigma_3</math> .....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ELSYM 5</b>	- <b>Elastic Layered Symmetrical</b>
<b>LAYMOD 4</b>	- <b>Programa Computacional para Retroanálise de Bacias de Deflexão</b>
<b>PAVESYS 9</b>	- <b>Programa Computacional para Cálculo de Estimativa de Desempenho de Pavimento</b>
<b>ITS</b>	- <b>Indirect Tensile Strength</b>
<b>UCS</b>	- <b>Unconfined Compressive Strength</b>
<b>AASHTO</b>	- <b>American Association of State Highway and Transportation Officials</b>
<b>Mr</b>	- <b>Módulo de Resiliência</b>
<b>DNER</b>	- <b>Departamento Nacional de Estradas de Rodagem</b>
<b>ATR</b>	- <b>Afundamento em Trilha de Roda</b>
<b>IGG</b>	- <b>Índice de Gravidade Global</b>
<b>QI</b>	- <b>“Quarter Index”</b>
<b>USACE</b>	- <b>Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos</b>
<b>TR</b>	- <b>Área de Trincamento</b>
<b>LAPAV</b>	- <b>Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul</b>
<b>Superpave</b>	- <b>Superior Performing Asphalt Pavements</b>
<b>SHRP</b>	- <b>Strategic Highway Research Program</b>
<b>LCPC</b>	- <b>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</b>
<b>CONCEPA</b>	- <b>Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S/A</b>
<b>FWD</b>	- <b>Falling Weight Deflectometer</b>
<b>LVDT</b>	- <b>Linear Variable Differential Transformer</b>
<b>CSIR</b>	- <b>Council for Scientific Industrial Research</b>
<b>IRI</b>	- <b>International Roulghess Index</b>
<b>PSI</b>	- <b>Present Serviabiability Index</b>

## RESUMO

A reciclagem com espuma de asfalto realizada na Rodovia BR-290/RS no ano de 2001, entre os km 97 e km 112, pista sentido Porto Alegre, também chamada Pista Sul, foi objeto de estudo nesta dissertação. Este estudo apresenta todas as etapas da reciclagem, desde a elaboração do projeto, as suas considerações, tais como volume de tráfego, clima da região, características funcionais e estruturais do pavimento, execução da camada reciclada, mencionando método de execução e controles adotados e por fim e como foco principal a análise do comportamento da mistura reciclada, compilando dados à época da execução, seis meses e um ano após a execução.

Foram aproveitados dois levantamentos deflectométricos um realizado com o FWD (Falling Weight Deflectometer) no mês de dezembro de 2001 e outro realizado no mês de junho de 2002 com a viga eletrônica, também chamada deflectógrafo digital. Através destes levantamentos estimavam-se por retroanálise das bacias de deflexão, utilizando o programa computacional LAYMOD4, os módulos de cada camada do pavimento.

Os resultados da reciclagem são satisfatórios. Analisando a camada reciclada isoladamente, comprovam-se várias citações de pesquisadores sobre o tema, tais como: a melhoria das propriedades mecânicas da reciclagem após tempo de cura e a dependência da mistura ao estado de tensões para seu comportamento elástico.

Uma avaliação de desempenho foi desenvolvida, com o auxílio do programa PAVESYS9, revelando que o pavimento apresentou boa performance, comprovando mais uma vez, a melhoria no comportamento da camada reciclada com passado tempo de cura, aumentando o módulo de resiliência e contribuindo menos para o afundamento de trilha de roda.



## **ABSTRACT**

This dissertation analysis the performance of a pavement layer recycled with foam asphalt; in BR-290/RS Highway, South Track in 2001. The study presents all the stages of the recycling from the elaboration of the project, their considerations, such traffic volume, climate, pavement functional and structural characteristics, execution of the recycled layer, mentioning execution method and adopted controls and finally, as main focus, the analysis of the behavior of the recycled mixture, compiling data to the time of the execution, six months and one year after the execution.

Two deflections survey were carried out FWD(Falling Weight Deflectometer) in December 2001 and another in June of 2002 with a kind of road surface deflectometer. Through back-calculation of the deflexion basins, using the program computacional LAYMOD4, the modules of each layer of the pavement were estimated.

The results of recycling are satisfactory, When the recycled layer is separately analyzed, several features previously stated by others researches, such as: the improvement of the mechanical properties of the recycling with time curing and the dependence of the mixture, on elastic behaviour the stress state.

Performance evaluation was carried out, with aid of PAVESYS9 software, showing that the pavement presented good performance, proving once again, the improvement in the behavior of the recycled layer with time curing passed, increasing the resilience module and contributing less to rutting.

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil há uma malha rodoviária extensa de 170.000 km dentre as rodovias federais e estaduais, sendo que muitas dessas rodovias estão em uso há mais de vinte anos e chegaram ao final do tempo de vida projetado, necessitando de maiores esforços de manutenção para conservar níveis de serviço aceitáveis. Além disso, o peso médio dos veículos aumentou significativamente nos últimos anos, à medida que maior quantidade de mercadorias é desviada do transporte ferroviário para o rodoviário, que é mais flexível e mais rápido. O tráfego intenso e pressão de pneus, carga por eixo mais elevada e tempo de uso são os fatores que contribuem para a deterioração das rodovias.

Com a virada do milênio, a maioria dos países está enfrentando problemas similares com suas redes rodoviárias. Tornou-se necessária uma proporção crescente de orçamentos apenas para manter as estradas existentes e, conseqüentemente, menos recursos financeiros para medidas de restauração ou novas construções. Em muitos países, simplesmente não há dinheiro suficiente para atender às necessidades de manutenção, resultando em rápido declínio e medidas de restauração mais dispendiosas, as quais eventualmente serão necessárias para restabelecer os níveis de serviço. Novas rodovias, ou projetos de melhoramento podem freqüentemente ser considerados somente se a receita justificar o desembolso de capital. É uma espiral descendente.(Wirtgen GmbH, 1998)

No caso das concessionárias que administram uma receita restrita, as soluções de manutenção da rodovia sempre têm que estarem em consonância com a melhor relação custo-benefício, pois dessa forma se consegue repassar para os usuários tarifas módicas.

O avanço nos procedimentos de projetos de mistura asfáltica a quente tem obscurecido o desenvolvimento de projeto de mistura a frio. Iniciativas tais como a metodologia SHRP Superpave (1994) no Estados Unidos da América, bem como a pesquisa produzida pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) na França, para citar dois exemplos, têm aberto novos caminhos para um melhor projeto de mistura asfáltica a quente. Contemporaneamente, pesquisas empreendidas em misturas frias têm sido limitadas, por comparação. As considerações volumétricas, modo de ruptura e propriedades mecânicas críticas que influenciam o desempenho desse material, requerem esclarecimento para ser confiável, e se ter camadas de pavimento que atinjam boa relação custo-benefício adequadas para ser construído. Tais áreas requerem mais definição através de pesquisas para prover os engenheiros de pavimento com as ferramentas para adotar decisões inteligentes (Jenkins, 2000).

No intuito de somar dados de experiência para pesquisa, esta dissertação tem o objetivo de fazer uma análise de um trecho de recuperado estruturalmente através de reciclagem profunda com emprego de espuma de asfalto na rodovia BR-290/116RS entre os km 97,40 e km 112,60, administrado pela CONCEPA – Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S/A. Esta análise relata o problema estrutural no pavimento existente, (com ênfase no entendimento do comportamento camada de pavimento reciclado com espuma de asfalto) as possíveis soluções, a solução adotada, o projeto de mistura reciclada, o procedimento de execução, a cura da camada reciclada, bem como uma avaliação do desempenho da vida útil em trechos distintos devido aos problemas apresentados após a execução.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre o mecanismo de comportamento de uma mistura de espuma de asfalto, incluindo o entendimento da espuma de asfalto sem agregado mineral, as razões de mudança de características da espuma, e os fatores que influenciam nas características de comportamento da mistura.

No capítulo 3 são apresentados o programa experimental e a primeira etapa da mesma, contemplando o projeto de restauração, que mostra as condições da rodovia antes da reciclagem, o projeto de mistura reciclada e por fim procedimentos de execução em campo.

No capítulo 4 são descritas análises e resultados da reciclagem.

No capítulo 5 é apresentada uma análise dos dados de levantamentos deflectométricos, através de retroanálises de bacias com o programa computacional LAYMOD4 e dados de ensaios de laboratório.

No capítulo 6 é apresentada uma análise de desempenho do pavimento da camada reciclada com o auxílio do programa computacional PAVESYS9.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e feitas sugestões para pesquisas futuras.

## 1.1 O QUE É ESPUMA DE ASFALTO?

Uma massa de espuma de asfalto pode ser produzida através de injeção de pequenas quantidades de água moleculizada (tipicamente 2% em massa), como uma névoa fina, dentro de uma câmara de expansão com asfalto em alta temperatura. No estado espumado, o qual é um estado temporário de baixa viscosidade, o asfalto pode ser misturado com agregados na temperatura ambiente e na umidade “in situ”. O processo de

asfalto espumado é análogo ao de um padeiro batendo ovos para adicionar à farinha, quando ele bate os ovos é criada uma espuma, de baixa viscosidade, que é necessária para fazer uma distribuição uniforme dentro da farinha e produzir uma mistura de aceitável qualidade e consistência.

Durante o processo de mistura, a espuma de asfalto é seletiva na sua dispersão ao longo dos minerais agregados mostrando preferência na adesão à partículas finas. A umidade prévia na mistura antes da adição de espuma ajuda na dispersão do ligante durante o processo de mistura. Como a espuma colapsa durante a mistura, somente um limitado número de gotas cobre os agregados graúdos, ficando dessa forma parcialmente cobertos.

## 1.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ESPUMA DE ASFALTO

Para qualquer produto ter uma demanda sustentável ele tem que ter certas qualidades, as quais fazem suas vantagens sobre outros produtos. Algumas das vantagens da espuma de asfalto, sobre outras misturas a frio e mistura de asfalto a quente HMA(Hot Mix Asphalt) incluem (SAT,1998):

- O ligante espumado aumenta a resistência ao cisalhamento e reduz a suscetibilidade à umidade de materiais granulares. As características de resistência da espuma de asfalto se aproximam de materiais cimentados, mas a espuma de asfalto é flexível e resistente à fadiga;
- Reduzida poluição atmosférica, com pouca ou nenhuma emissão de hidrocarboneto;
- Conveniência de tipos de agregados, a espuma de asfalto não depende do tipo de origem da rocha para ser compatível;
- Baixo teor de asfalto empregado, devido ao fato do agregado graúdo ser parcialmente coberto;
- Menor envelhecimento do ligante, devido à temperatura bem menor do agregado o ligante tem menos endurecimento no processo de mistura;
- Boa aplicabilidade com qualquer tipo de material, decaindo custos com compra e transporte de material;
- Nenhuma perda, o impacto ao meio ambiente é bem menor devido à não devastação de recursos não renováveis;
- Características de resistência adquiridas rapidamente. Após a compactação, as misturas com espuma de asfalto tem resistência

suficiente para receber o tráfego imediatamente sem efeitos detrimenais;

- Possibilidade de retrabalho. Quando se encontram problemas com o nível de controle ou compactação as camadas de mistura de espuma podem ser trabalhadas.

Portanto, há também desvantagens no uso de espuma de asfalto, que são:

- Nível de habilidade requerida. O projeto de mistura e o processo de produção de espuma requerem um nível de experiência avançado para produzir um produto de qualidade satisfatória;
- Procedimentos para projetos de mistura não são bem formuladas para misturas frias como são para mistura a quente;
- Anti-espumantes adicionados no processo de refinaria impedem sua utilização sem a utilização de espumantes, o que soma no custo do ligante;
- Procedimentos de dimensionamento de pavimento. Não há funções para estabelecer o comportamento da espuma de asfalto como camadas de pavimento;
- Dificuldade de prover custo-benefício. Sem a previsão de desempenho ao longo do tempo, o custo do ciclo de vida de vida útil é difícil de se averiguar. Por esta razão muitos potenciais usuários não estão preparados para arriscar num produto que esta sendo pesquisado.

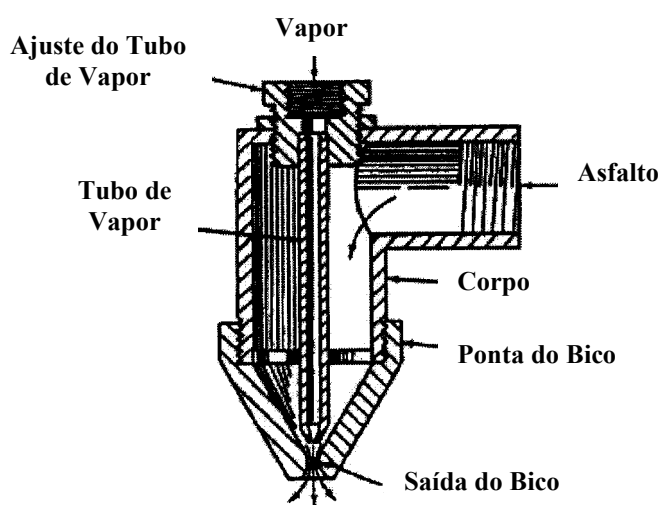
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BREVE HISTÓRIA DA ESPUMA DE ASFALTO

Há mais de quarenta anos atrás, o Dr. Ladis Csanyi no Laboratório de Pesquisa de Experimentos de Engenharia da Universidade do Estado de Iowa prosperamente injetou vapor dentro do betume para criar uma massa de espuma. Csanyi fez essa invenção inspirada na abundância de materiais não graduados marginais no seu Estado de Iowa, e na escassez de agregado de boa qualidade. Inicialmente ele começou experimentando com o chamado “processo de impacto” patenteado pelo suíço Albert Sommer, por meio de introdução de ligante dentro da mistura de forma pulverizada e o agregado é passado através da nuvem do betume pulverizado. Foi natural a progressão do desenvolvimento de um sistema aonde o ligante é espumado *antes* de manter contato com o agregado mineral.

O Dr. Csanyi descobriu que, durante a sua meia-vida (tempo medido em segundos que leva para a espuma diminuir do máximo volume para a metade do máximo volume, é uma medida de estabilidade da espuma), o betume espumado poderia ser misturado com uma variedade de solos para melhorar suas propriedades e produzir um material de construção para rodovia.

Desde então o processo de espuma de asfalto foi experimentado somente em aplicações limitadas numa escala global, devido a exclusividade de direitos dos proprietários da patente de “bicos de espuma”.



**Figura 2.1 – Bico de Espuma Original para o Processo de Espuma de Asfalto**

Dr. Csanyi tentou adicionar água com agente espumante (bem como ar, gases e outros agentes espumantes), porém a adição de vapor optou seu uso mais tarde porque

“o uso de vapor comprovou ser a solução, mais efetiva e eficiente” (Csanyi, apud Jenkins, 2000).

Em 1968 Mobil da Austrália adquiriu os direitos da patente do processo de Csanyi, o bico que é mostrado na Figura 2.1. No prazo de dois anos a Mobil modificou o processo substituindo o vapor com 1 a 2 % de água fria combinado com betume a alta temperatura, dentro de uma câmara de expansão projetada adequadamente para produzir espuma, o qual descarrega a alta pressão (Lee apud Jenkins, 2000). Uma patente de câmara de expansão foi concebida para a Mobil na Austrália em 1971 e foi estendida para 14 países. Isto conduziu a realização de tentativas do processo de espuma de asfalto em 16 países na década de 70.

Em 1982, Austrália sozinha tinha por volta de 2,9 milhões m<sup>2</sup> em pavimento com mistura de espuma de asfalto, geralmente como uma camada de base ou sub-base. África do Sul, Nova Zelândia, Japão, Alemanha, e outros países tinham no total uma área menor com camadas de misturas de espuma de asfalto. Ainda na mesma data, os Estados Unidos tinham produzido centenas de quilômetros de superfície de camadas de misturas de espuma de asfalto.

Com a queda dos direitos de patente na década de 90, o interesse no processo foi florescido, com várias misturas de espuma de asfalto sendo disponíveis para aquisição.

Como o uso de espuma de asfalto foi expandido para diversos países, a seleção de critérios para mistura ótima de componentes ficou variada, baseada em diferentes formulações e interpretações do produto. Os procedimentos de projeto para espuma de asfalto não têm sido formalizados devido principalmente à aplicação limitada e freqüentemente ficam reservados a aproximações do processo de operadores. Isto resultou na ausência de diretrizes do produto, prejudicando o desenvolvimento do processo (Jenkins, 2000).

Ainda hoje nas diretrizes do manual da Wirtgen (setembro de 2002) não passam de orientações para a elaboração do projeto são somente orientações, o manual deixa claro que

“Este documento somente provém diretrizes interinas para a seleção, projeto e construção de materiais tratados com espuma de asfalto e não é tencionada ser um documento de especificação ou um manual de treinamento para técnicos inexperientes”

A literatura disponível sobre espuma de asfalto requer revisão de forma que ganhe perspectiva na evolução de projeto de mistura de várias décadas para o pensamento atual. A falta de procedimentos de projeto básico de mistura resultou numa grande especulação referente a vários modelos de ruptura de materiais incluindo deformação permanente, fadiga e cisalhamento. Isto tem levado à evolução das propriedades da mistura de espuma de asfalto nos projetos de laboratório usando uma variedade de testes, incluindo entre outros o ensaio de Resistência a Tração Indireta (ITS), a Resistência à Compressão Não Confinada (UCS), a Estabilidade Marshall entre muitos outros.

Discutem-se a seguir as propriedades de cada componente que envolve o processo de mistura fria com espuma asfalto, e os seus efeitos na mesma (Jenkins, 2000).

## 2.2 REQUISITOS DO BETUME

As características do betume a razão de expansão e meia-vida, são influenciados por uma variedade de fatores e podem variar significativamente. Mudanças na razão de expansão, por exemplo, resulta na variação da viscosidade do ligante na hora da mistura, o qual influência na dispersão do ligante na mistura. Variações na meia-vida têm repercussão no tempo necessário para mistura antes da espuma colapsar para seu estado original.

## 2.3 ESPUMABILIDADE

Na análise de variáveis que influenciam na “espumabilidade” do betume, Brennen *et al* apud Jenkins (2000) identificou três fatores:

- a quantia de espuma produzida
- a quantia de água na espuma, e
- a temperatura do betume na hora espumação.

Embora esses três fatores são importantes, eles não explicam completamente a flutuação da espumabilidade do betume. A quantia de espuma produzida é uma função do tempo de descarga da espuma e da pressão do betume no sistema de espuma. Um incremento na temperatura do betume geralmente resultou em um incremento da razão de expansão mas em contrapartida a uma redução do tempo de meia-vida. A mesma tendência foi notada para um incremento de água no processo de elaboração da espuma (Jenkins,



2000).

Ruckel *et al* apud Jenkins (2000) estabeleceu uma proposição de procedimento de ensaio para caracterização de espuma de asfalto. Isto inclui 6 variáveis para analisar a sensibilidade para estabelecer as condições desejadas de produção de espuma, incluindo temperaturas de betume entre 163°C e 177°C, e aplicação de água para espuma nas razões de 1,5%, 2% e 2,5% de massa em relação ao betume. Sugeriu que cada novo grupo seria ensaiado em duplicata até que a repetibilidade seja estabilizada.

As características de espuma tem sido mostradas por Bowering e Martin apud Jenkins (2000) para influência na coesão, estabilidade e resistência a compressão não confinada. Na incrementação da razão de expansão da espuma de 3:1 para 15:1, todas as três propriedades em particular a coesão são incrementadas para um solo arenoso-argiloso estabilizado com espuma de asfalto. Notavelmente, Ruckel *et al* apud Jenkins (2000) recomendou limites de razão de expansão de 8 a 15 e 20 segundos no mínimo para testes de meia-vida para o conteúdo de um galão, ainda o CSIR (1998) recomenda uma razão de expansão de ao menos 10:1 e uma meia-vida de no mínimo 12 segundos.

Macarrone *et al* apud Jenkins (2000) investigou a influência de aditivos “espumantes” que estendem a meia-vida da espuma de asfalto. Com a adição de 0,5% a 0,75% de espumante, a razão de expansão do betume foi mantida entre 8:1 e 15:1 mas a meia-vida teve um excesso de 40 segundos. Tais aditivos são usuais aonde os betumes tem sido tratados com anti-espumantes e não produzem as características desejáveis. Pode haver, portanto, implicações de custo consideráveis na inclusão de um aditivo no processo de espuma.

## 2.4 PROPRIEDADES DO ASFALTO

Jenkins (2000) descreve que vários pesquisadores têm investigado as influencias do grau de penetração do asfalto nas características da espuma de asfalto no passado. Inicialmente Csanyi apud Jenkins (2000), condicionou que:

“Um cimento de asfalto tendo uma penetração de 85 a 100dmm, quando espumado terá uma penetração acima de 300 na mesma temperatura, por algum tempo depois de espumado. Testes de componentes químicos indicam que o asfalto não sofre mudança, muito embora que a sua consistência e viscosidade tenham mudado.” E “A espuma permanece macia na temperatura na qual o asfalto volta ao seu estado de origem endurecido.”

Csanyi achou possível usando seu aparato de espuma, para produzir dois tipos de espumas, nomeadas “espuma discreta” e “espuma concentrada” as quais são compreendidas como pequenas bolhas e aglomerações de bolhas respectivamente.

Brennen *et al* (1983) e Lee (1981) não mostraram correlação conclusiva entre grau de penetração e características da espuma, declararam que:

“Os resultados indicam que a viscosidade sozinha não é suficiente pra explicar as variações de razão de expansão e meia-vida”

Abel (1978) produziu resultados mais conclusivos concluindo que betume de baixa viscosidade é mais espumante que o de alta viscosidade, provendo espumas com maior razão de expansão e meia-vida; mas que betume de alta viscosidade não produzem bom cobrimento dos agregados.

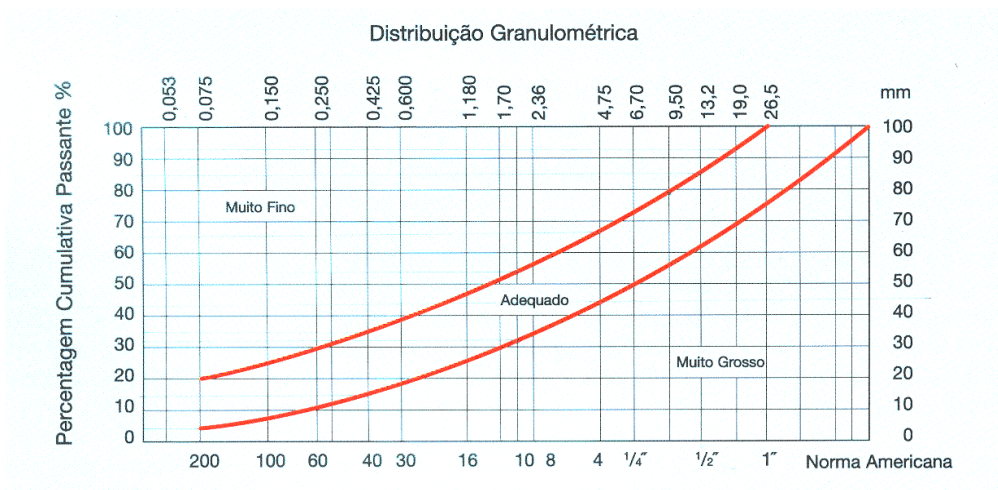
## 2.5 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS

Desde o princípio do uso de espuma de asfalto, uma grande gama de materiais tem sido usada com sucesso na construção de estradas. Agregados de boa e marginal qualidade, ambos de fontes virgens e reciclados tem sido usados no processo.

### 2.5.1 Graduação dos Agregados

De suas experiências com o processo de espuma de betume usando diferentes tipos de materiais, Móbil Oil estabeleceu diretrizes para graduações satisfatórias de agregados que podiam em ser usados para estabilização com espuma (Akeroyid e Hicks, 1988). A Figura 2.2 define as curvas de diferentes níveis materiais que satisfazem o processo de espuma, como desenvolvido pela Móbil.

De acordo com a Figura 2.2, não somente a conveniente graduação foi definida por Móbil, mas diretrizes foram providas para o projeto de teor de ligante para o material graduado na zona A . Somente a graduação é inadequada para uma definição completa do projeto de mistura de espuma de asfalto, são necessárias propriedades adicionais dos materiais para um projeto de mistura de maior desempenho.



**Figura 2.2 - Curvas de Diferentes Níveis de Materiais que Satisfazem o Processo de Espuma (fonte: Witgen GmbH, 2001)**

### 2.5.2 Conteúdo de Filler

De acordo com a literatura, o fator primordial da graduação, que tem o maior impacto no teor de ligante de uma mistura de espuma, é o teor de filler. A fração de agregado mineral menor que 0,075 mm tem mostrado por vários pesquisadores ter uma referência no comportamento da mistura de espuma de asfalto. Por esta razão, Ruckel *et al.* (1982) estabeleceram um guia de recomendação de teor de betume para diferentes graduações de agregados baseado no teor de filler, como mostrado na Tabela 2.1 abaixo.

**Tabela 2.1 - Diretrizes para Projeto de Teor de Espuma de Asfalto como uma Função do Teor de Filler Contido para Mistura Espumada (fonte: Jenkins, 2000)**

Passando na Peneira 4,75 mm (%)	Passando na peneira 0,075 mm (%)	Teor de Espuma de Asfalto (% m/m agregado seco)
< 50	3,0 - 5,0	3,0
	5,0 - 7,5	3,5
	7,5 - 10,0	4,0
	> 10,0	4,5
> 50	3,0 - 5,0	3,5
	5,0 - 7,5	4,0

Passando na Peneira 4,75 mm (%)	Passando na peneira 0,075 mm (%)	Teor de Espuma de Asfalto (% m/m agregado seco)
	7,5 - 10,0	4,5
	> 10,0	5,0

Convém ressaltar uma característica pertinente na Tabela 2.1, que é a relação de razão de ligante com a de filler em comparação com mistura asfáltica a quente.

### 2.5.3 Tipo de Material

Os tipos de materiais satisfatórios para tratamento usando o processo de espuma de asfalto tem sido referidos na literatura pela graduação e propriedades em lugar de tipo de material. Por exemplo, Ruckel *et al* (1983) listou materiais satisfatórios para tratamento com espuma como pedra britada, rocha, pedregulho, areia, areia siltosa, pedregulho arenoso, escória e outros. Muitos desses materiais tem sido investigado por outros pesquisadores, como Acott (1979) investigando areias, Lee (1981) investigando materiais reciclados e Dijnik (1992) investigando resíduo de escória e cinzas de produção de zinco, para nomear mais alguns.

Não foi encontrado na literatura, algo que pudesse indicar algum tipo de rocha insatisfatória para o tratamento com espuma de asfalto. Isto indica uma baixa dependência do processo de espuma na carga da partícula da rocha seja ela básica ou ácida, ao contrário do processo com emulsão aonde o tipo de rocha influencia na seleção e desempenho do betume emulsionado como ligante.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES DOS FLUÍDOS

### 2.6.1 Conteúdo de Espuma de Asfalto

A influencia do teor de espuma de asfalto nas diferentes propriedades da mistura de espuma de asfalto é o ponto de foco de muitos pesquisadores que investigam misturas de espuma de asfalto. Não é somente importante otimizar o teor de ligante na mistura de espuma numa perspectiva econômica, mas ele é imperativo na determinação das propriedades críticas de desempenho mecânico.

Bowering e Martin (1976) estudaram a influencia do teor de ligante em termos de

Resistência de Hveem, Estabilidade Relativa, Coesão e Resistência à Compressão Não Confinada (UCS) de misturas de espuma fabricadas de uma variedade de materiais. Estas propriedades, as quais representam uma variedade de características de comportamento (incluindo deformação permanente e fadiga), aonde foi encontrado um incremento ao máximo seguido de um declínio, no incremento de ligante. Modelos para relação dessas propriedades não estão incluídos na literatura.

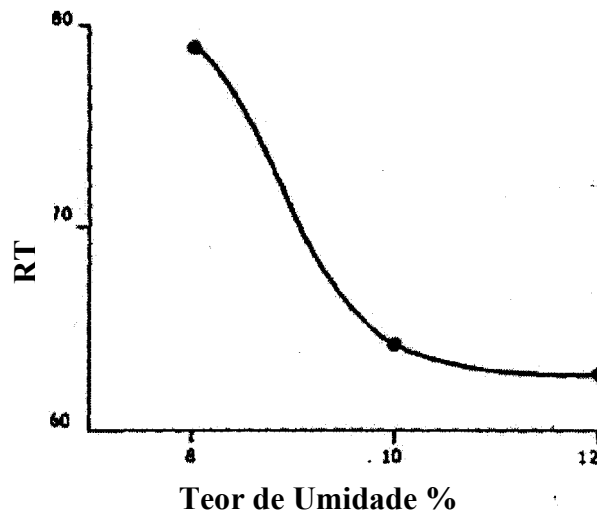
Brennen *et al* (1983) investigou a influência do teor de ligante de uma mistura de espuma de asfalto na sensibilidade de umidade. Para misturas recicladas, ele concluiu que, o alto teor de ligante proporcionou uma baixa absorção de umidade da amostra durante a saturação a vácuo. Um benefício no incremento do teor de ligante, portanto é esperado em alguns casos em termos de redução da suscetibilidade a umidade de misturas de espuma de asfalto.

## 2.6.2 Umidade da Mistura de Espuma de Asfalto

Desde o princípio das misturas de espuma de asfalto, a umidade prévia do material para adição de espuma de asfalto tem sido considerada de importância vital em termos de transportar o ligante durante a processo de mistura, além de ser um agente de compactação e um promotor de vida restante. O pai da espuma de asfalto, Csanyi (1960) escreveu que:

“A água adicionada no agregado durante a mistura amolece os materiais argilosos ou frações de solo grossos que estão em aglomerações, estes são quebrados e distribuídos uniformemente ao longo da mistura. A água também separa as partículas finas e as deixam em suspensão num meio líquido, fazendo canais de umidade através do qual a espuma de asfalto pode penetrar para cobrir todas as partículas minerais. A quantidade de água não é crítica, mas deve haver água suficiente para o processo de mistura satisfatória. Excesso de umidade é indesejável pois ela pode formar uma sopa e pode reduzir o cobrimento dos agregados . A quantia de água apropriada pode ser determinada através de um grupo de tentativas.”

Lee (1981) estabeleceu que a umidade ótima na mistura contida em várias graduações de agregado e em particular na fração de partículas menores que 0,075mm. Ele recomenda que seja de 65% a 85% da umidade ótima o teor, usando o método de compactação da AASHTO, para estabilização com espuma. Ele condicionou que a adição de umidade para uma mistura de espuma após a estabilização com espuma de asfalto não é benéfica.



**Figura 2.3 – Influencia da Umidade de Compactação na Resistência de Hveem, para uma Mistura de Areia com 4% de Espuma de Asfalto (fonte: Jenkins, 2000)**

Acott (1979) estudou a influencia da umidade de compactação nos valores de Resistência de Hveem. Embora os resultados mostrados graficamente na Figura 2.3 , indicam um declínio nos valores de resistência com o aumento de umidade de compactação. Isto não possibilitou discernir desta informação de onde provem o declínio se do efeito da umidade na compactação ou do efeito da distribuição do ligante na mistura.

Sakr e Manke (1985) desenvolveram a relação para calcular o teor de umidade para a máxima densidade de misturas de espuma de asfalto, a qual considera o método da AASHTO modificado OMC, e percentagem de finos (PF) dos agregados e teor de betume (BC). Como sugerido pela equação, quanto maior o teor de betume menor será a umidade de compactação.

$$\text{MMC} = 8,92 + 1,48\text{OMC} + 0,4\text{PF} - 0,39\text{BC} \quad (2.1)$$

Onde:

MMC - Umidade de mistura,

OMC - Teor de umidade ótimo = umidade contida no agregado natural que provem a maior densidade seca para um certo método de compactação, usualmente modelo da AASHTO,

PF - Percentagem de finos,

BC - Teor de Betume.

O teor de umidade ótima na mistura é aproximadamente de 10 a 20 por cento maior que a umidade de mistura MMC, como previsto na equação 1. Para prevenir o tempo

consumido no trabalho de secagem da mistura após a operação de mistura, (para alcançar a MMC), Sahr e Manke (1985) sugeriram que a MMC deve ser usada nas etapas de mistura e compactação, pois não foram observadas diferenças significativas nas propriedades da mistura quando este procedimento foi utilizado.

Umidade na mistura de espuma após a compactação é uma terceira consideração concernente a umidade, e é diretamente influenciado pela cura da mistura. Shacker *et al* (1974) investigou “breccia”(tipo de agregado) estabilizada com espuma de asfalto em teste triaxial e achou que, indiferentemente do teor de betume, um incremento no grau de saturação resulta em um incremento na deformação permanente no princípio do repetimento de cargas. Isto é mais significativo em misturas de espuma abertas ao tráfego antes da cura adequada.

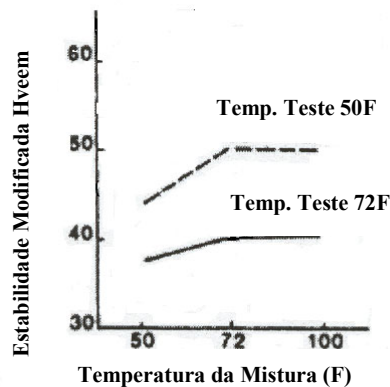
## 2.7 CONSIDERAÇÕES DE TEMPERATURA

A temperatura das misturas de espuma de asfalto podem influenciar o comportamento do material em três estágios diferentes, isto é:

- Mistura;
- Compactação;
- Vida de serviço (após compactação).

Além do reconhecimento da temperatura do ligante nas características da espuma, a temperatura dos componentes durante o processo de mistura tem recebido atenção de Bowering e Martin (1976) e Humberto Castedo Franco e Wood (1982). O trabalho de Bowering e Martin é baseado nas observações durante a pesquisa e conduz para uma consideração generalizada que, dependendo do tipo de agregado, a faixa de temperatura de mistura do agregado é entre 13°C e 23°C, abaixo disso a qualidade da mistura empobrecerá. Humberto Castedo Franco e Wood (1982) investigaram a influencia da temperatura do agregado dentro de uma gama de temperatura ambiente (10°C, 22°C e 38°C), revelou-se uma melhoria na Estabilidade Hveem, veja Figura 2.4.

Embora as misturas de espuma de asfalto são geralmente consideradas como misturas frias e como tal localizada e compactada em temperaturas ambientes, as vantagens em aquecer as misturas frias relacionadas com a compactação têm sido investigadas. Vários pesquisadores têm identificado o possível benefício da adição de calor.



**Figura 2.4 – Influencia da Temperatura do Agregado na Mistura na Resistência Hveem (fonte: Adaptado de Jenkins, 2000)**

Bowering e Martin (1976) aqueceram a superfície das misturas a 100°C para o propósito de cura e compactação, e comparou as propriedades com a mistura compactada a 23°C. O aquecimento da superfície levou as misturas a um aumento das densidades e significativo aumento no valor de coesão, mas resultou em Estabilidade Marshall variável. Roberts *et al* (1984) produziu resultados similares quando eles pesquisaram agregados reciclados, achando maiores densidades e melhores propriedades de engenharia como resistência à tração e estabilidade.

Engelbrecht *et al* (1985) aqueceram misturas de pavimento reciclado após a mistura e antes da compactação a uma temperatura de 160°C. Seus resultados concordam com aqueles outros pesquisadores, com o aumento das densidades e melhoria nas resistências. Infelizmente, a prática e a implicação de custo do duplo manejo da mistura de espuma inviabiliza o processo.

## 2.8 CONDIÇÕES DE COMPACTAÇÃO

A distribuição do ligante dentro da mistura de espuma difere da mistura a quente e a inclusão de água faz a diferenciação dessas duas misturas, assim como faz uma diferença na sua compactação. Uma técnica de compactação em laboratório que não somente encontra os vazios esperados no campo, mas também emula a orientação das partículas após a rolagem, isto é buscado da técnica de compactação de laboratório.

A influencia do nível de compactação e a técnica aplicada é significativa. Brennen *et al* (1983) apud Jenkins (2000), pesquisaram materiais reciclados e reportaram que o compactador giratório produz amostras de mistura de espuma de asfalto com o dobro de



estabilidade Marshall que aquelas amostras compactadas com os 75 golpes preconizados pela metodologia Marshall. Eles também concordaram que 75 golpes de compactação Marshall são insuficientes para simular a compactação de campo de misturas de espuma. E mais, eles mostraram que a máxima estabilidade e rigidez e o mínimo fluxo coincidiram no mesmo teor de ligante para a compactação no giratório mas não para a compactação Marshall.

Uma redução de 3% nos vazios comparando a amostra do laboratório com a do campo, foi verificada nos resultados de Brennen *et al.* (1983)

## 2.9 CONSIDERAÇÕES DE CURA

Cura de misturas betuminosas frias, seja com emulsão ou espuma de asfalto, é o processo pelo qual o material é misturado e compactado e é descarregada a água através de evaporação, repulsão de cargas de partículas ou poro-pressão induzindo fluxo. A redução da umidade leva a um incremento na resistência da mistura (ambas, as de tração e as de compressão). Bowering (1970) apud Jenkins (2000) estabeleceu que amostras de laboratório somente desenvolveram completamente sua resistência após a perda de grande parte de umidade de mistura.

Ruckel *et al* (1982) concorda com os resultados de outros pesquisadores, aonde pavimentos de mistura de espuma de asfalto exibiam prematuras fadigas (afundamento de trilha de roda), isso tendia a ocorrer em poucos dias em lugar de semanas ou meses após a construção. Clarke (1976) afirmou isto quando ele achou que misturas de espuma tendem melhorar com a idade, ação do tráfego e temperaturas como todos esses fatores que contribuem para remover a umidade da mistura de espuma. A última resistência que a estrada desenvolve faz um papel no desempenho do pavimento, mas a resistência após pouco tempo de cura representa o mais crítico período.

Macarrone *et al* (1994) mostrou que fillers ativos tem um efeito marcante na taxa de cura de misturas frias. A adição de 2% de cimento de pó de chaminé resulta em 80 % do módulo de resiliência achado em cura no forno, sendo alcançado em um dia na temperatura ambiente.(a qual leva mais do que trinta dias na temperatura ambiente sem o filler ativo, dependendo da mistura).

## 2.10 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ENGENHARIA

A literatura sobre mistura de espuma de asfalto atravessou várias décadas e como referência têm sido utilizados resultados de testes para caracterizar as propriedades da mistura. Os procedimentos de teste de mistura a quente tem experimentado maior transformação na década de 90 com a troca do método do projeto de mistura Marshall para testes mais fundamentais como Módulo de Resiliência, Deformação Lenta Dinâmica, Deformação Lenta Triaxial, etc. E mais, SHRP Superpave comissionou uma iniciativa de imensas proporções introduzindo novos procedimentos como o compactador giratório. Inexplicavelmente, isto tem dado orientação para os métodos de mistura a frio e muitas novas técnicas tem sido aplicadas no projeto de mistura de espuma de asfalto. Os limites de valores de vários testes para espuma de asfalto são, portanto, incertos, como os mecanismos de ruptura não são ainda claros. Para promover uma visão geral dos tipos de testes utilizados para pesquisas de espuma de asfalto para encontrar propriedades de desempenho que são identificados por medidas, a Tabela 2.2 foi estabelecida. Isto seria notado que certos testes podem abastecer diversos propriedades de desempenho.

**Tabela 2.2 - Métodos de Testes Históricos para Misturas de Espumas de Asfalto e suas Funções**

PROPRIEDADE DE DESEMPENHO	PROPRIEDADE DA MISTURA	TESTE
Trabalhabilidade	Coesão	Vane Shear
Resistência Fratura	Resistência à Tração e Energia de Fratura	Resistência à Tração Indireta ITS
	Coesão	Coesímetro de Hveem
Resistência à Fadiga	Deformação de Tração e Enrijecimento	Desempenho de Pavimento a Longo Tempo LTPP
Resistência à Deformação Permanente	Resistência ao Cisalhamento	Triaxial
		Coesímetro de Hveem
		Vane Shear
	Estabilidade	Estabilidade Marshall
		Resistência Hveem
Propagação de Cargas e Distribuição de Tensões	Módulo de Resiliência ou Enrijecimento	Teste de Tração Indireta ITT
		Triaxial Dinâmico ou Estático

PROPRIEDADE DE DESEMPENHO	PROPRIEDADE DA MISTURA	TESTE
Suscetibilidade a Umidade	Tensão Retida, Estabilidade ou Enrijecimento após Exposição a Umidade	Estabilidade Marshall
		Resistência à Tração Indireta ITS
		Teste de Tração Indireta ITT
		Triaxial
Resistência ao Achatamento	Tensão Compressiva	Resistência a Compressão Não Confinada UCS

### 2.10.1 Fadiga

Misturas de espuma de asfalto com alto teor de ligante (>3,5%) são consideradas a se comportar de forma similar a mistura a quente. Por esta razão é esperado que as misturas tenham uma vida de fadiga definida, exibindo trincamento como uma forma de fadiga.

A função de resistir às tensões de tração descrita pela resistência a tração de uma mistura na curva de resistência a tração, é considerado ser o fator primário de influência no desempenho de fadiga do material. Por esta razão o Teste de Resistência à Tração Indireta (ITS) é uma propriedade de engenharia que pode ser usado para prever a desempenho. Macarrone (1994) recomendou que amostras de espumas de asfalto teriam no mínimo valores de ITS de 200 kPa (seco) e 100 kPa (saturado) após a cura, para um bom desempenho, quando testado a 25°C e a uma velocidade de 0,87mm/s para atuação de tensão. Isto é aplicável para bases com resistência a tração horizontal, entretanto, por esta razão depende da estrutura do pavimento. A Resistência a Tração não é um valor determinístico e varia de acordo com a condição de cura.

### 2.10.2 Resistência Deformação Permanente

Shackel *et al* apud Jenkins (2000) estabeleceu que a resistência à deformação permanente é uma função do teor de ligante e do grau de saturação (% de vazios preenchidos com água) de um material tratado com espuma. A razão da deformação axial no pico de deformação ( $\varepsilon_{axial} / \varepsilon_{picoaxial}$ ) decresce com o aumento do ligante e do grau de saturação. Jenkins, 2000 complementa que estes pesquisadores acharam que a razão de

acumulação de deformação axial é uma função do teor de ligante. A relação segue uma função de parábola invertida com um ponto mínimo para cada teor de ligante, aumentando a taxa de deformação no outro lado deste mínimo.

### 2.10.3 Resistência ao Cisalhamento

Joubert *et al* apud Jenkins (2000) conduziram pesquisas em areias tratadas com espuma de asfalto e notou um incremento na resistência ao cisalhamento e aumento da rigidez com o tempo. Dessas pesquisas eles concluíram que, como elas levam dois anos para desenvolver significativa resistência, uma camada de areia tratada com espuma de asfalto irá trincar e não diminuirão as deflexões sob cargas durante esse período. O projeto de mistura de materiais arenosos e os níveis de tráfego seriam considerados antes desta manifestação generalizada ser aceita.

### 2.10.4 Rigidez

Misturas de espuma de asfalto incorporam um ligante que é visco-elástico pela sua natureza e como tal o comportamento desses materiais como pode ser esperado dependem da temperatura e da frequência de carregamento. Isto é particularmente importante para o teste dinâmico de Módulo de Resiliência  $M_r$  embora é também uma referência na resistência à tração e compressão, vida de fadiga etc. E mais para a influencia do ligante, outros fatores influenciam na rigidez dinâmica ( $M_r$ ) da misturas de espuma tem sido identificadas através de pesquisas.

Shackel *et al* (1974), através de testes triaxiais de “breccia”(tipo de agregado) tratado com espuma de asfalto, achou que  $M_r$  é maximizado com grau de saturação de 60% para um ligante de teor de 4%. E mais, o  $M_r$  foi incrementado sob repetições de carga para misturas com 85/100 e 100/120 de penetração e ambas a 5% e 6% de teor de ligante. O trabalho de Shackel mostrou que 10.000 repetições de carregamento em testes triaxiais, o  $M_r$  ótimo de “breccia” tratado com espuma era função não somente do grau de saturação, mas também do teor de ligante e sua penetração. Ligante com baixa penetração provem misturas mais rígidas, e altos teores de ligantes também provem rigidez (dentro de um certo valor).

Os resultados de Shackel *et al* formaram a base de Lancaster *et al* (1994) criaram uma aproximação para o projeto de mistura de espuma, o qual incluíram a otimização do

teor de ligante em termos de pico de Mr. Lancaster *et al* propuseram que esta aproximação seria adotada para ambos curas seca e saturada (24 horas a 60°C) repetiu testes de carga de resistência a tração indireta para verificar o módulo. Macarrone *et al* (1994) também propôs a aproximação de Lancaster *et al*, para eficiência em lugar de teste triaxial. A pesquisa de Macarrone *et al* provem uma relação entre o teor de filler e rigidez da mistura, mostrando que um incremento de 5% para 15% resulta em um aumento de 17% no módulo.

Acott e Myburgh (1982) apud Jenkins (2000) investigaram vários trechos de areia tratados com espuma de asfalto, através de trabalho de laboratório e diversas tentativas de seções. Eles acharam que o raio de curvatura inicial analisado por deflexão medida era baixo, indicando precoce enrijecimento na camada tratada.

Tia e Wood (1982) disseram que Mr aumenta significamente nos primeiros sete dias de cura na temperatura ambiente. A primeira semana é o período que é a maior parcela de umidade é perdida.

#### 2.10.5 Suscetibilidade à Umidade

Devido as seguintes razões, a suscetibilidade a umidade de mistura de espuma de asfalto é uma importante consideração:

- O ligante nas misturas de espuma de asfalto não cobrem completamente as partículas maiores dos agregados,
- Os teores de ligante utilizados na mistura são geralmente menores do que o equivalente em mistura a quente,
- O agregado mineral é umedecido o que no tempo da mistura reduz a sua adesão, e
- O teor de vazios da mistura é usualmente alto.

Little *et al* (1983) apud Jenkins (2000) usou um teste de saturação a vácuo para determinar a suscetibilidade à umidade em termos de Módulo de resiliência de uma mistura. Este teste segue os procedimentos mais tarde estipulados pelo Manual do Instituto do Asfalto (1992). Amostras são saturadas a vácuo sob pressão de 100mm de mercúrio por uma hora (com medição de água absorvida). Usando esta técnica com pedregulho silícios e areias que foram estabilizadas com espuma de asfalto foram encontrado bastante suscetibilidade a umidade.

## 2.11 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE PAVIMENTO

### 2.11.1 Deflexões

As medidas de deflexão de superfície de um pavimento sob uma aplicação de carga na superfície da camada, constituem um método de análise de interação de diferentes camadas de toda a estrutura do pavimento. Através da técnica de retro-análise isto pode prover uma informação útil na rigidez efetiva de várias camadas do pavimento.

Van Wijk e Wood (1983) disseram que na incorporação de espuma de asfalto para estabilização de materiais *in situ*, houve um incremento na deflexão média inicial em relação ao pavimento original. Portanto, após 250 dias as deflexões retornaram para a magnitude originalmente medida com o pavimento ainda aumentando sua rigidez. Para extensão desses resultados foram verificados por Lancaster *et al* (1994), quem reportou que as deflexões e raios de curvaturas somente reduziram marginalmente após estabilização com espuma de asfalto, mesmo assim após quatro meses de cura. As publicações sobre medidas de deflexão, entretanto, provem substanciais comparações entre estruturas idênticas incorporando espuma e sem incorporação referenciando seções de teste, e portanto somente provem limitadas informações para uso no desenvolvimento de modelos de análise de pavimento.

Jenkins (2000) concluiu que, as características comportamentais e modelo de ruptura de misturas de espuma de asfalto permanecem enigmáticas e inexplicadas na literatura. Que o procedimento de laboratório para prever comportamento projeto de mistura no campo, modelos de desempenho requerem desenvolvimento. Tais modelos seriam testados e misturas selecionadas no campo através de testes acelerados onde possíveis.

### 3 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO

#### 3.1 ETAPAS DA INVESTIGAÇÃO

A investigação foi dividida em três etapas.

Na primeira etapa foi avaliada a condição de comportamento estrutural do pavimento existente, através de dados de ensaios de deflexões, sondagem e avaliação de características funcionais, juntamente com o projeto de recuperação estrutural proposto.

Na segunda etapa foram avaliados: o projeto da mistura reciclada, as suas variações e caracterização da mistura projetada, juntamente nesta etapa serão avaliados os procedimentos de execução em campo e todas as variações sensíveis ao comportamento estrutural do pavimento como controles de umidade, de compactação e de espuma.

A terceira etapa consistiu na análise dos resultados obtidos de ensaios de deflexão após o pavimento ser colocado em serviço. Com pouco tempo de serviço, o pavimento apresentou alguns trechos com afundamento de trilha de roda e trincamento no revestimento, a partir disso foi feita monitoração das condições do pavimento, com essa monitoração foi elaborado um projeto de restabelecimento do revestimento. Como análise final foi elaborada uma previsão de desempenho de vida útil do pavimento através do programa PAVESYS9.

#### 3.2 PROJETO DE RESTAURAÇÃO

O projeto de restauração foi elaborado pelo LAPAV - Laboratório de Pavimentação da UFRGS através da supervisão do Engº Jorge Augusto P. Ceratti em abril de 2001. As etapas descritas na seqüência estão apresentadas nos trabalhos de Dama et al., 2001 e em Ceratti & Gonçalves, 2001, e o mesmo se divide da seguinte forma:

- Avaliação dos pavimentos
- Estado de superfície
- Irregularidade de superfície
- Condição estrutural
- Estrutura do pavimento existente
- Módulos elásticos das camadas – Retroanálise

- Estudos de tráfego
- Dimensionamento de alternativas de restauração
- Análise de desempenho de estratégias alternativas
- Solução indicada

### 3.2.1 Avaliação dos Pavimentos

#### 3.2.1.1 Estado de superfície

A condição de superfície do pavimento foi avaliada por meio da análise dos registros de defeitos. Sendo, para tanto, adotada a codificação da norma DNER-PRO 08/78 (Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos). As Figuras 3.1 e 3.2 mostram a variação do IGG ao longo do trecho e a relação entre este e a ocorrência de trincamento severo. Na Figura 3.3 estão representados os conceitos atribuídos aos pavimentos, de onde se observa que os segmentos abrangem todas as condições possíveis: BOM, REGULAR, MAU e PÉSSIMO.

Quanto a ocorrência de afundamentos em trilha de roda (ATR), se conclui não ser este um parâmetro crítico, haja vista a sua não incidência significativa em toda a extensão do trecho.

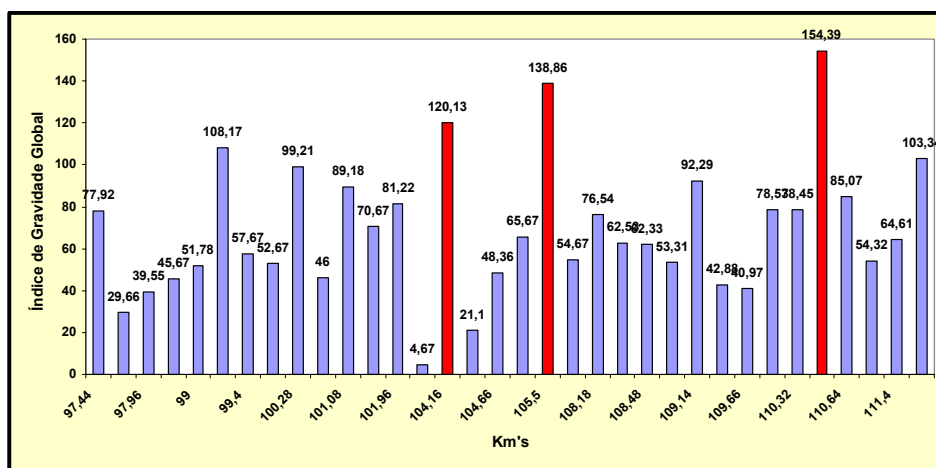


Figura 3.1 - Índice de Gravidade Global - Pista sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)



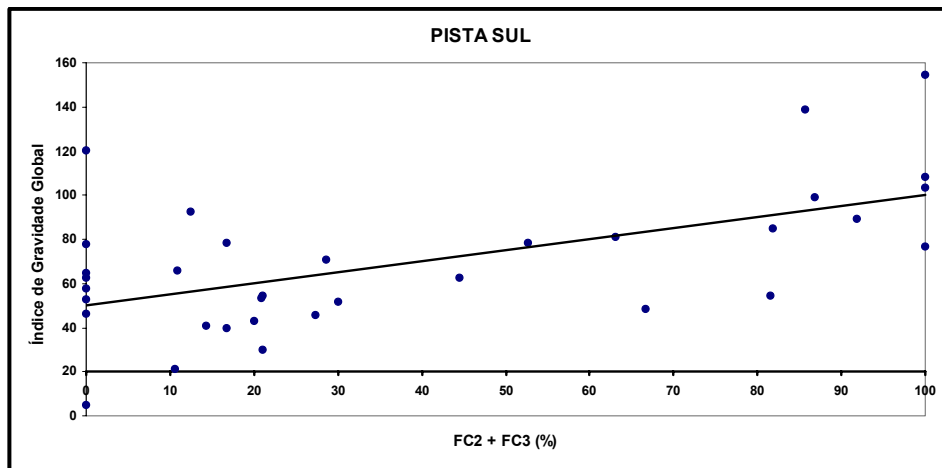


Figura 3.2 - Relação *IGG x FC23* - Pista sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

### 3.2.1.2 Irregularidade de superfície

A irregularidade longitudinal foi medida no mês de junho de 2000. A determinação do IRI (*International Roughness Index* - m/km) foi feita através da correlação:

$$QI = 13 \times IRI$$

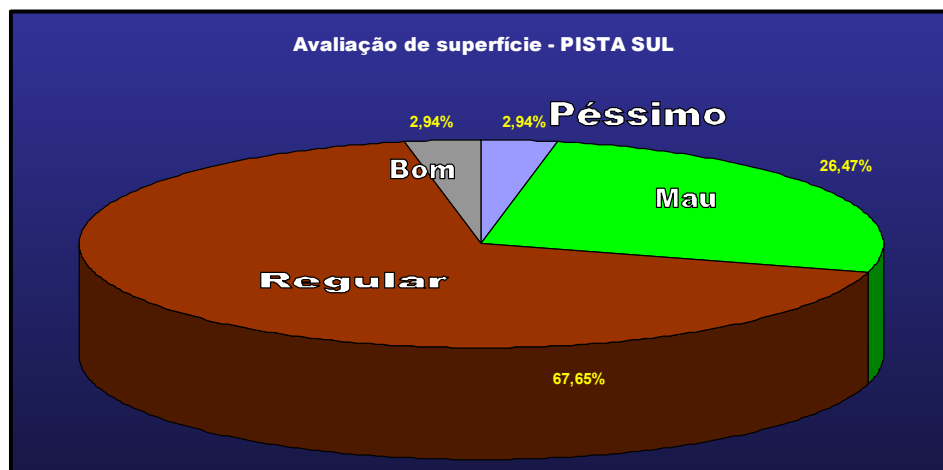


Figura 3.3 - Resultado da Avaliação da Condição de Superfície (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

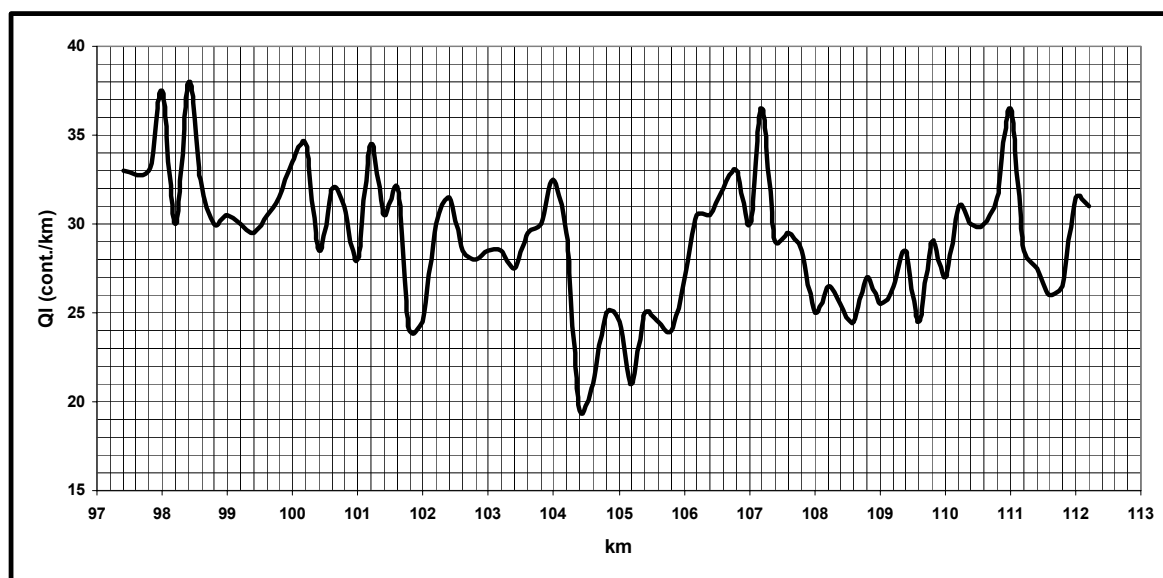
Na Figura 3.4 está representada a variação do QI ao longo do trecho em questão, de onde se conclui que a irregularidade longitudinal é, de modo geral, excelente. Para avaliação da condição funcional do pavimento, utilizou-se o critério mostrado na Tabela 3.1, onde a “Classe” que é ali indicada refere-se à categoria de qualidade funcional no que diz respeito ao conforto ao rolamento (irregularidade longitudinal), de acordo com a

classificação da OCDE.

**Tabela 3.1 - Classificação Funcional de Rodovias Pavimentadas (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

IRI (m/km)	QI (cont/km)	$v^*$ (km/h)	Condição Funcional	Categoria OCDE
$\leq 3$	$\leq 39$	$> 120$	Excelente	1
$> 3$ e $\leq 6,5$	$> 39$ e $\leq 84,5$	100 - 120	Aceitável	2
$> 6,5$ e $\leq 8,5$	$> 84,5$ e $\leq 110,5$	70 - 90	Tolerável	3
$> 8,5$ e $\leq 10,5$	$> 110,5$ e $\leq 136,5$	50 - 60	Intolerável	4
$> 10,5$	$> 136,5$	$< 50$	Péssima	5

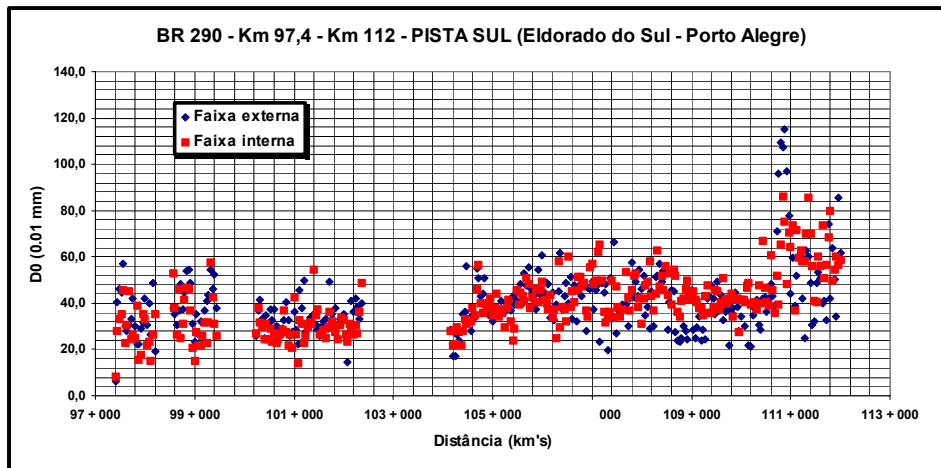
$v^*$  = velocidade de tráfego "confortável".



**Figura 3.4 - Irregularidade Longitudinal - Pista sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

### 3.2.2 Condição Estrutural

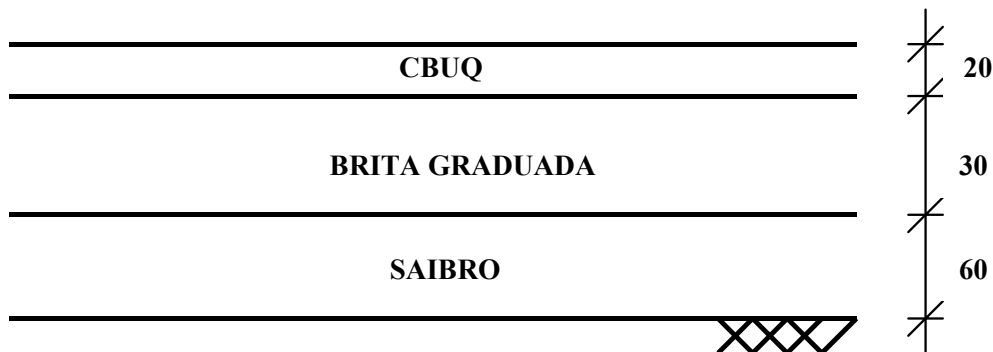
Os pavimentos foram avaliados por meio de levantamentos deflectométricos com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), utilizando-se um nível de carga de 40 kN. A determinação das deflexões foi efetuada de forma alternada entre as faixas de tráfego, de modo que o espaçamento entre estações de ensaio em uma mesma faixa foi de 40 metros na pista sul e de 80 metros na pista norte. A Figura 3.5 mostra as variações das deflexões máximas medidas com o FWD em ambas as faixas de tráfego.



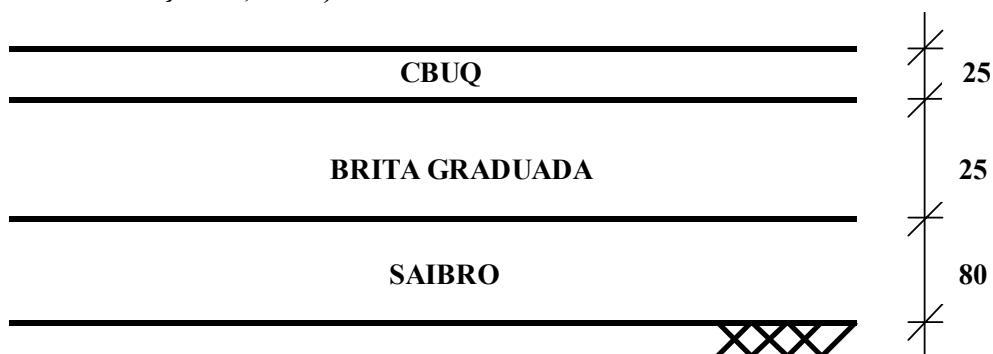
**Figura 3.5 - Deflexões Máximas - Eldorado do Sul - Porto Alegre (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

3.2.2.1 Estrutura do pavimento existente

A estrutura do pavimento existente foi identificada por meio de poços de sondagem. Os resultados obtidos são mostrados a seguir nas Figuras 3.6 e 3.7.



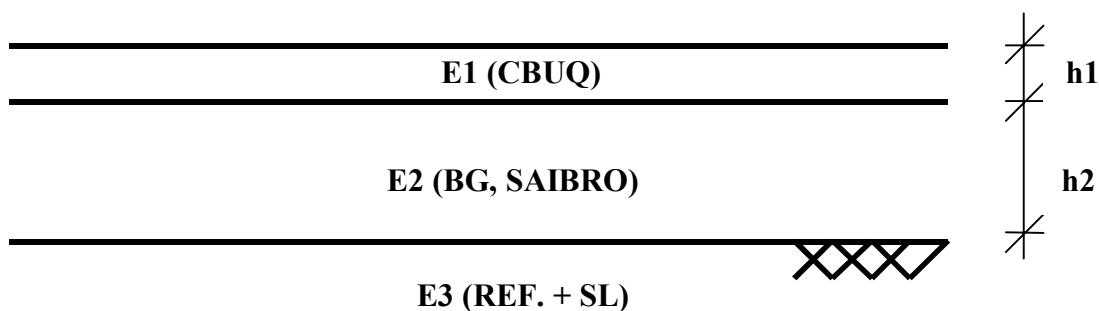
**Figura 3.6 - Pavimento do km 105 - Faixa Externa/Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**



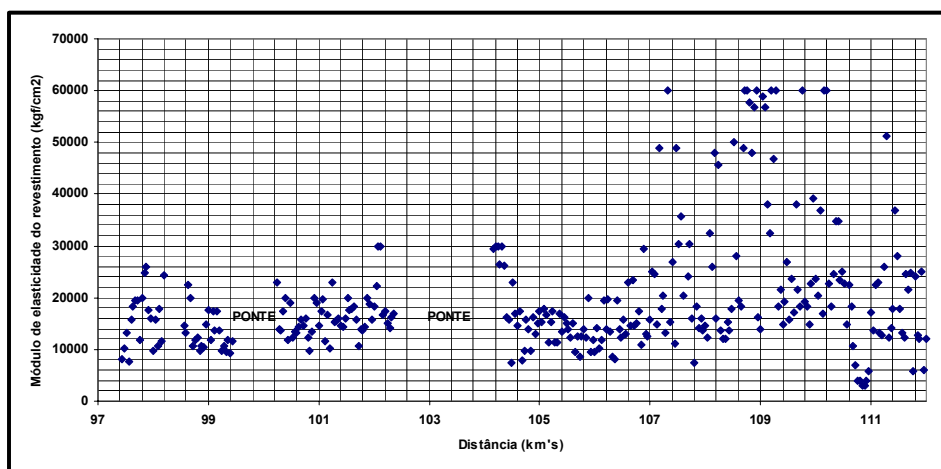
**Figura 3.7 - Pavimento do km 108,85 - Faixa Externa/Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

### 3.2.2.3 Módulos elásticos das camadas – retroanálise

Os módulos elásticos foram determinados efetuando-se a retroanálise das bacias de deflexões medidas através do FWD, sob a carga de 40 kN. Sendo, para tanto, configurado um sistema de três camadas, como ilustrado na Figura 3.8. Os resultados obtidos estão mostrados nas Figuras 3.9 e 3.10. Nas Figuras 3.11 até 3.18 estão mostradas as relações existentes entre os módulos elásticos das camadas e as deflexões medidas.



**Figura 3.8 - Estrutura para Retroanálise (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**



**Figura 3.9 - Módulos de Elasticidade do Revestimento na Pista Sul/Faixa Externa (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

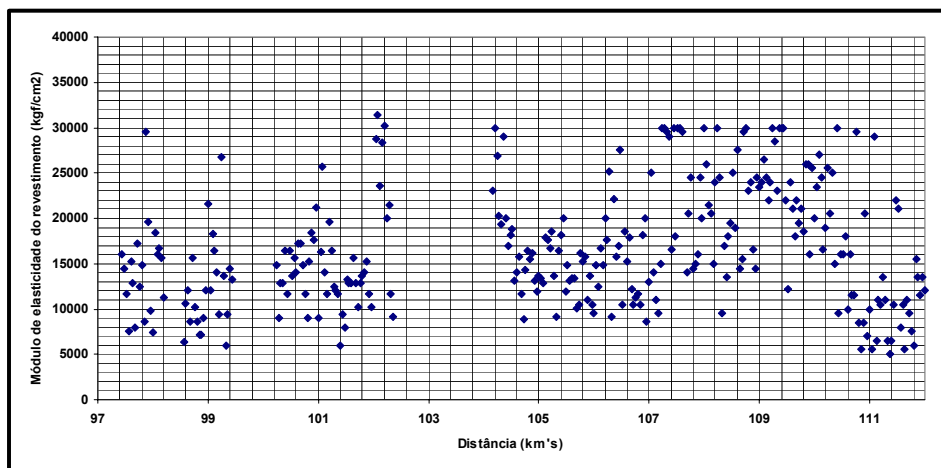


Figura 3.10 - Módulos de Elasticidade do Revestimento na Pista Sul/Faixa Interna  
(Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

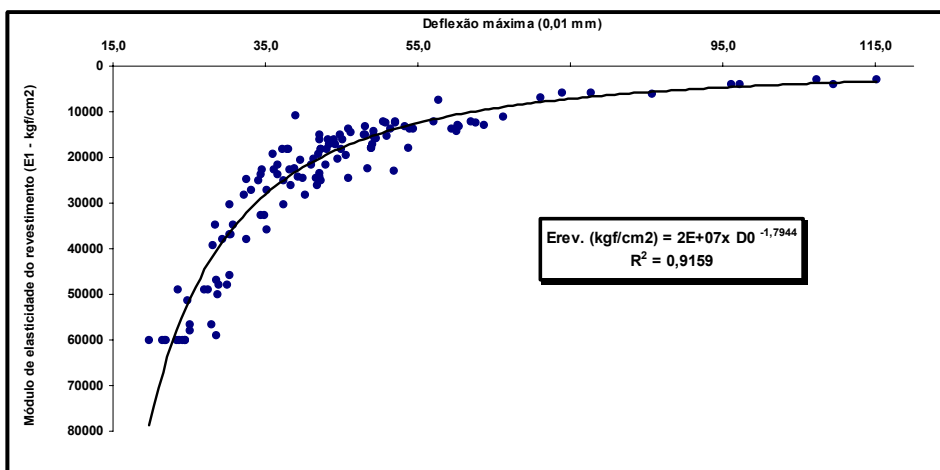


Figura 3.11 - Pista sul - km's - 107,00 a 112,00 - Faixa Externa (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

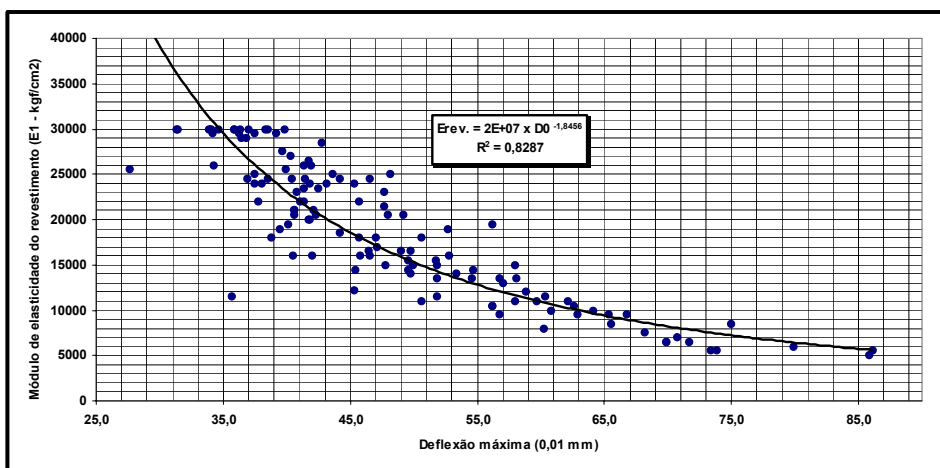


Figura 3.12 - Pista Sul - km's - 107,00 a 112,00 - Faixa Interna (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

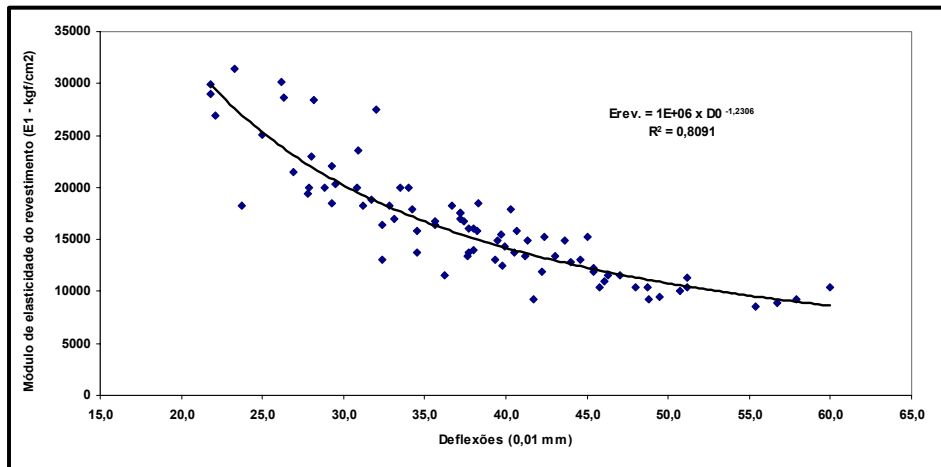


Figura 3.13 - Pista Sul - km's - 102,00 a 107,00 - Faixa Externa (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

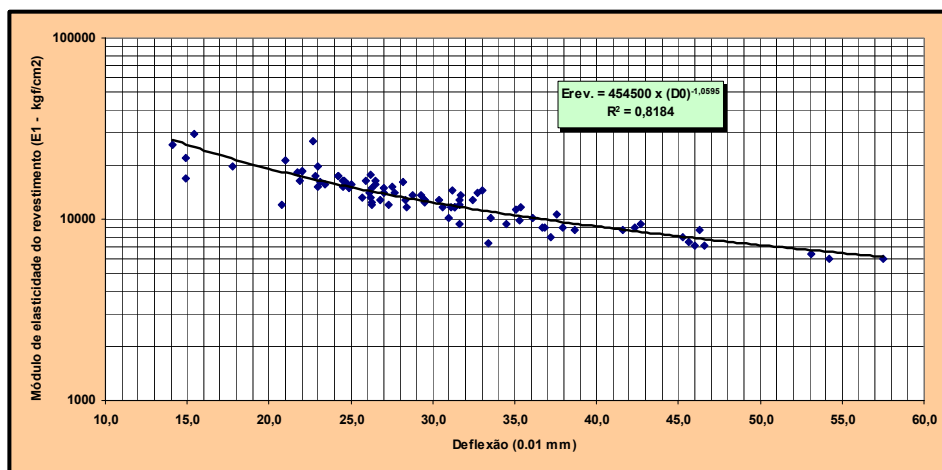


Figura 3.14 - Pista Sul - km's - 102,00 a 107,00 - Faixa Interna (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

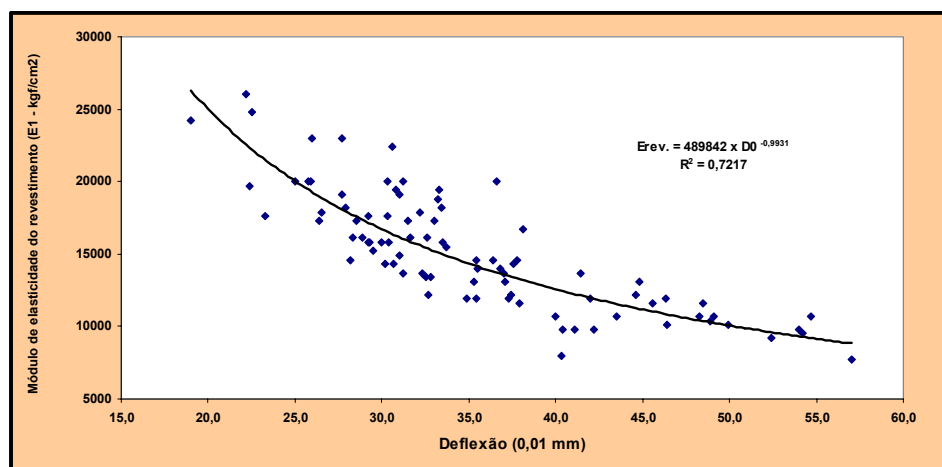


Figura 3.15 - Pista Sul - km's - 97,00 a 102,00 - Faixa Interna (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

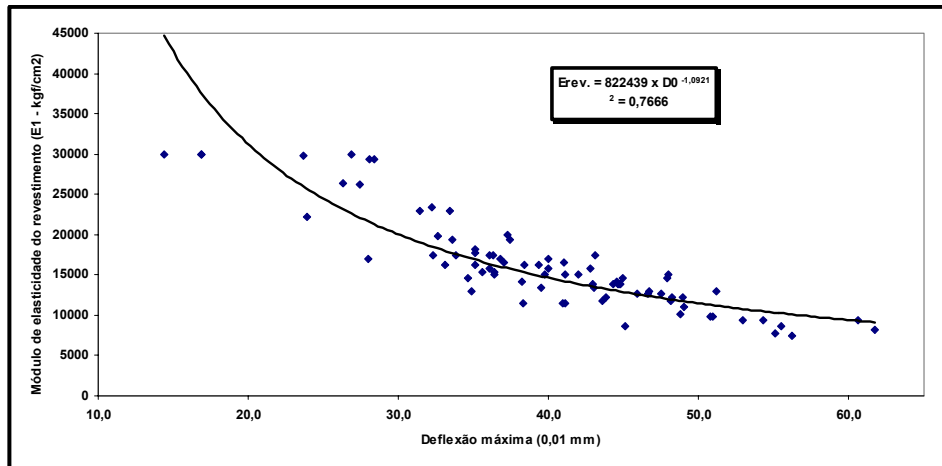


Figura 3.16 - Pista Sul - km's - 97,00 a 102,00 - Faixa Externa (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

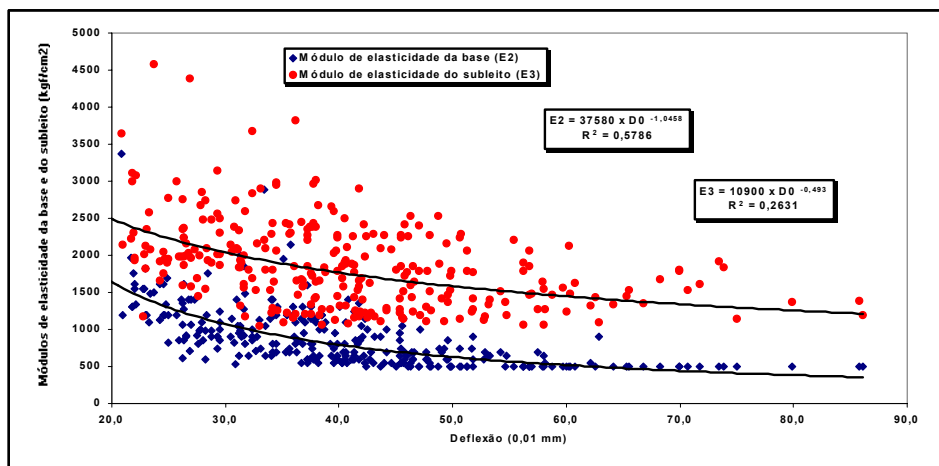


Figura 3.17 - Relações Módulos de Elasticidade da Base e do Subleito x Deflexões na Pista Sul/Faixa Interna (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

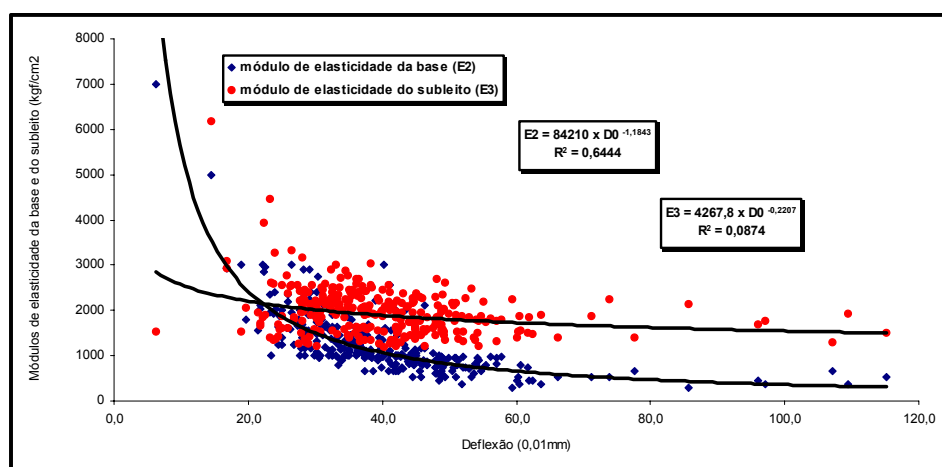


Figura 3.18 - Relações Módulos de Elasticidade da Base e do Subleito x Deflexões na Pista Sul/Faixa Externa (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

### 3.2.3 Estudos de Tráfego

O estudo realizado pela CONCEPA no período compreendido entre os meses de novembro de 1997 e agosto de 1999 levou aos resultados mostrados nas Tabelas 3.2 a 3.4, onde aparecem os números “N” calculados de acordo com os fatores de equivalência de cargas do USACE (Método do DNER, 1981). A contagem de tráfego foi efetuada no pedágio localizado em Eldorado do Sul (Tabela 3.3).

**Tabela 3.2 - Classificação do Tráfego Atuarante (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

Categoria	Tipos de veículos	Número de eixos
1	Automóvel/passeio Caminhoneta Furgão	2
2	Caminhão leve Furgão Ônibus Caminhão-trator	2
3	Automóvel com semi-reboque Caminhoneta com semi-reboque	3
4	Caminhão Ônibus Caminhão-trator Caminhão-trator com semi-reboque	3
5	Automóvel com reboque Caminhoneta com reboque	4
6	Caminhão com reboque Caminhão-trator com semi-reboque	4
7	Caminhão com reboque Caminhão-trator com semi-reboque	5
8	Caminhão com reboque Caminhão-trator com semi-reboque	6

A partir desse estudo e de análises complementares realizadas, ficou definido que o tráfego a ser adotado deverá ser dado por  $N_p = 2,06 \times 10^8$ .

**Tabela 3.3 - Contagem Volumétrica Classificatória (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

Mês	Categoria									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	especial
Nov./97	166457	27710	929	14675	184	6708	9941	1339	683	36
Dez./97	198624	30688	1300	16103	246	6483	9560	1349	37	38
Jan./98	187779	29067	1474	15935	216	6089	8014	1184	49	29
Fev./98	169554	25808	1538	14132	251	5650	7558	1108	44	13
Mar./98	171389	29599	1123	15836	197	6681	9649	1324	25	38



Mês	Categoria									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	especial
Abr./98	175662	27750	1077	15080	184	5836	10795	1951	48	51
Mai./98	170560	28214	822	14838	211	6543	12699	2433	29	78
Jun./98	158913	27928	761	14871	185	6408	12249	2387	349	83
Jul./98	171863	29300	735	15397	283	6419	11899	2074	840	168
Agos./98	169483	28159	636	14760	242	6485	10714	2027	778	87
Setem./98	169345	29307	813	15093	305	6819	10461	2098	746	70
Out./98	190554	29880	1119	15045	446	6401	10498	2073	1227	92
Nov./98	171823	28123	803	14159	342	6245	9080	1836	1035	78
Dez./98	206338	30756	1219	14961	144	6920	8040	1707	3	16
Jan./99	194820	28289	1558	14431	133	6355	7193	1378	2	19
Fev.99	177183	25471	1737	13374	131	5353	7312	1549	2	30
Mar./99	175844	29785	1295	16377	131	6963	10435	1967	2	20
Abr./99	170149	27424	888	14099	120	5954	10654	2146	6	37
Mai./99	175476	29288	797	15080	145	6662	11905	2472	1	28
Jun./99	161404	28349	794	13997	106	5890	10739	2269	0	57
Jul./99	173618	28750	887	13464	103	5702	10074	2184	0	52
Agos./99	164880	29228	714	14826	128	6288	11386	2591	0	76
TOTAL	3871718	628873	23019	326533	4433	138854	220855	41446	5906	1196
V.D.M	5496	974,267	23,8	494,2	4,267	209,6	379,533	86,367		2,534
MÉDIA POR PISTA	2748	487,13	11,9	247,1	2,134	104,8	189,767	43,1834		1,267

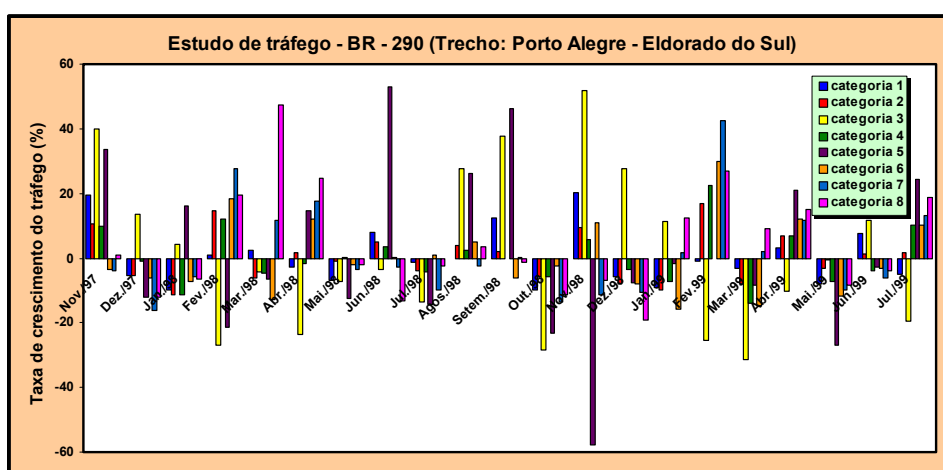


Figura 3.19 - Crescimento do Tráfego (novembro de 1997 até julho de 1999) (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

**Tabela 3.4 - Projeção do Tráfego e do Número N (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

Ano	Passeio	Coletivo + carga leve	Carga	Total	Número N	N Acumulado
2000	1008142	267995	123279	1399416	1,1E+07	1,07E+07
2001	1038386	270675	128210	1437271	1,1E+07	2,16E+07
2002	1069538	273382	133338	1476258	1,1E+07	3,26E+07
2003	1101624	276116	138672	1516412	1,1E+07	4,38E+07
2004	1134673	278877	144219	1557768	1,1E+07	5,51E+07
2005	1168713	281666	149987	1600366	1,2E+07	6,67E+07
2006	1203774	284482	155987	1644244	1,2E+07	7,83E+07
2007	1239888	287327	162226	1689441	1,2E+07	9,02E+07
2008	1277084	290200	168715	1736000	1,2E+07	1,02E+08
2009	1315397	293102	175464	1783963	1,2E+07	1,15E+08
2010	1354859	296033	182483	1833375	1,2E+07	1,27E+08
2011	1395505	298994	189782	1884280	1,3E+07	1,40E+08
2012	1437370	301984	197373	1936727	1,3E+07	1,52E+08
2013	1480491	305003	205268	1990762	1,3E+07	1,65E+08
2014	1524905	308054	213479	2046438	1,3E+07	1,79E+08
2015	1570653	311134	222018	2103805	1,3E+07	1,92E+08
2016	1617772	314245	230899	2162916	1,4E+07	2,06E+08

### 3.2.4 Dimensionamento das alternativas de restauração

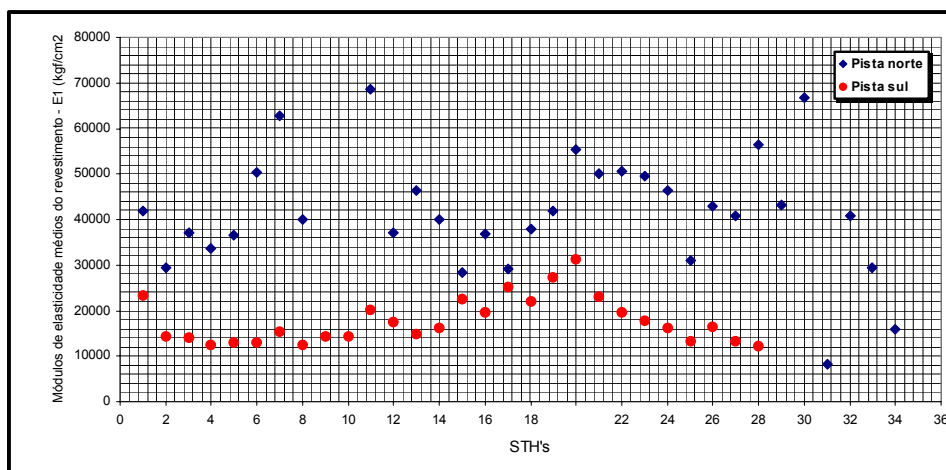
#### 3.2.4.1 Aplicação do procedimento DNER-PRO 269/94

Efetuando-se a intersecção das fronteiras dos segmentos homogêneos em termos de deflexões e em termos de estado de superfície, foram obtidos os Subtrechos Homogêneos mostrados na Tabela 3.5, os quais serão as unidades de análise para efeito do projeto de restauração dos pavimentos. Nesta Tabela, aparecem também os seguintes dados:

- $D_0$  = deflexão média, sob a carga de 40 kN;
- FC23 = percentagem das estacas com trincas Classe 2 ou 3;
- IGG = índice de gravidade global;
- DC = Deflexão de projeto (0,01 mm);
- DCAR = deflexão característica após a reciclagem (0,01 mm);

- HC = espessura de corte (cm);
- Mef. = módulo de resiliência efetivo do revestimento existente (kgf/cm<sup>2</sup>);
- MRc = módulo de resiliência da mistura reciclada (kgf/cm<sup>2</sup>);
- Dadm. = deflexão máxima admissível (0,01mm).

Na Figura 3.20 estão representados os valores médios dos módulos de elasticidade obtidos através da retroanálise realizada.



**Figura 3.20 - Valores Médios dos Módulos de Elasticidade (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

**Tabela 3.5 - Segmentos Homogêneos - Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

STH	Início (km)	Final (km)	FC23 (%)	IGG
1	97,44	97,58	0	77,92
2	97,58	97,96	21,05	29,66
3	97,96	98,2	16,67	39,55
4	98,2	99,0	27,27	45,67
5	99,0	99,2	30	51,78
6	99,2	99,4	100	108,17
7	99,4	99,44	0	57,67
8	99,44	100,28	0	52,67
9	100,28	101,04	86,84	99,21
10	101,04	101,08	0	46
11	101,08	101,82	91,89	89,18
12	101,82	101,96	28,58	70,67
13	101,96	102,34	63,15	81,22
14	102,34	104,16	0	4,67
15	104,16	104,26	0	120,13
16	104,26	104,66	10,52	21,1
17	104,66	104,76	66,67	48,36
18	104,76	105,5	10,81	65,67

STH	Início (km)	Final (km)	FC23 (%)	IGG
19	105,5	107,8	85,71	138,86
20	107,8	108,18	21,05	54,67
21	108,18	108,36	100	76,54
22	108,36	108,48	0	62,53
23	108,48	108,68	44,44	62,33
24	108,68	109,14	20,84	53,31
25	109,14	109,30	12,5	92,29
26	109,30	109,66	20	42,88
27	109,66	109,94	14,28	40,97
28	109,94	110,32	52,63	78,53
29	110,32	110,56	16,67	78,45
30	110,56	110,64	100	154,39
31	110,64	110,86	81,82	85,07
32	110,86	111,40	81,48	54,32
33	111,40	111,68	0	64,61
34	111,68	112,56	100	103,34

As deflexões medidas pelo FWD foram corrigidas através da seguinte função, Rocha Filho (1996):

$$\beta = \frac{1,0}{a \times h_1^b + 1}, \text{ para } a > 0 \text{ e } b > 0 \quad (3.1)$$

A aplicação do modelo apresentado foi feita de acordo com os limites apresentados na Tabela 3.6. As Tabelas 3.6 e 3.7 mostram os parâmetros utilizados e os resultados obtidos aplicando-se a norma para a definição das soluções de restauração.

**Tabela 3.6 - Fatores de Correção das Deflexões Medidas (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

$h_1$ (cm)	$\beta$	Parâmetros
5,0	0,91	$a = 6,136 \times 10^{-3}$
7,5	0,84	$b = 1,756$
10,0	0,68	$R^2 = 0,94$
15,0	0,62	$\sigma = 0,248$

### 3.2.4.2 Solução contemplando a reciclagem parcial do revestimento existente

Devido as elevadas espessuras das camadas asfálticas dos pavimentos existentes em ambas as pistas de tráfego e, também, em função das elevadas espessuras de

recapeamento definidas quando da aplicação do DNER/PRO-269/94 na pista sul, foram geradas soluções de restauração envolvendo a reciclagem do revestimento asfáltico. Para tanto, foi definido previamente que o módulo de elasticidade da mistura asfáltica reciclada deverá atingir um valor mínimo de 2.500MPa. As soluções derivadas do procedimento aplicado estão mostradas nas Tabelas 3.6 e 3.7.

**Tabela 3.7 - Soluções Envolvendo Recapeamento Simples - Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

STH		Final (km)	Extensão (m)	DC (0,01 mm)	Hef (cm)	NP	Dadm. (0,01 mm)	(cm)	Solução
1	97,44	98	560	68,23	6,11	2,06E+08	38,46	11,10	RS (10 cm)
2	98	98,16	160	64,03	6,88	2,06E+08	38,46	10,05	RS (10 cm)
3	98,16	98,7	540	73,06	5,32	2,06E+08	38,46	12,16	RS (10 cm)
4	98,7	98,8	100	75,32	4,99	2,06E+08	38,46	12,61	RS (10 cm)
5	98,8	100,24	1440	77,10	4,74	2,06E+08	38,46	12,95	RS (10 cm)
6	100,24	100,32	80	64,03	6,88	2,06E+08	38,46	10,05	RS (10 cm)
7	100,32	101,3	980	58,39	8,10	2,06E+08	38,46	8,39	RS (10 cm)
8	101,3	101,42	120	73,06	5,32	2,06E+08		12,16	RS (10 cm)
9	101,42	101,58	160	55,00	8,95	2,06E+08	38,46	7,24	RS (8 cm)
10	101,58	101,86	280	62,10	7,27	2,06E+08	38,46	9,51	RS (8 cm)
11	101,86	104,15	2290	62,74	7,14	2,06E+08	38,46	9,70	RS (8 cm)
12	104,15	105,02	870	71,77	5,52	2,06E+08	38,46	11,89	RS (12 cm)
13	105,02	105,08	60	68,06	6,13	2,06E+08	38,46	11,06	RS (12 cm)
14	105,08	107,3	2220	79,84	4,38	2,06E+08	38,46	13,44	RS (12 cm)
15	107,3	107,94	640	82,58	4,05	2,06E+08	38,46	13,89	RS (12 cm)
16	107,94	108,00	60	85,48	3,71	2,06E+08	38,46	14,34	RS (12 cm)
17	108,00	108,16	160	86,29	3,63	2,06E+08	38,46	14,46	RS (12 cm)
18	108,16	108,30	140	79,19	4,47	2,06E+08	38,46	13,33	RS (12 cm)
19	108,30	108,82	520	89,03	3,34	2,06E+08	38,46	14,86	RS (12 cm)
20	108,82	109,5	680	73,23	5,30	2,06E+08	38,46	12,20	RS (12 cm)
21	109,5	109,82	320	75,00	5,04	2,06E+08	38,46	12,55	RS (12 cm)
22	109,82	111,02	1200	114,52	1,32	2,06E+08	38,46	17,60	RS (17 cm)
23	111,02	111,1	80	112,74	1,43	2,06E+08	38,46	17,45	RS (17 cm)
24	111,1	111,64	540	110,48	1,58	2,06E+08	38,46	17,25	RS (17 cm)
25	111,64	111,76	120	108,39	1,72	2,06E+08	38,46	17,05	RS (17 cm)
26	111,76	111,9	140	116,13	1,22	2,06E+08	38,46	17,73	RS (17 cm)
27	111,9	112,44	540	122,58	0,85	2,06E+08	38,46	18,23	RS (17 cm)
28	112,44	112,56	120	116,13	1,22	2,06E+08	38,46	17,73	RS (17 cm)

**Tabela 3.8 - Soluções Envolvendo Reciclagem - Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

STH	DC	Mef	Mrc	Dadm	Mrc/Mef	HC	DCAR	SOLUÇÃO	HC	DCAR	SOLUÇÃO	HC	DCAR	SOLUÇÃO	HC	DCAR	SOLUÇÃO
1	68,23	4067,74	25000	38,46	6,15	5	57,46		10	49,36		15	43,07		20	38,07	RC (20 cm)
2	64,03	4843,93	25000	38,46	51,61	5	55,03		10	48,04	RC (10cm)	15	42,47	RC (15 cm)	20	37,94	RC (20 cm)
3	73,06	3368,45	25000	38,46	74,22	5	60,15		10	50,77	RC (10cm)	15	43,69	RC (15 cm)	20	38,17	RC (20 cm)
4	75,32	3097,70	25000	38,46	80,71	5	61,37		10	51,39	RC (10cm)	15	43,95	RC (15 cm)	20	38,21	RC (20 cm)
5	77,10	2905,38	25000	38,46	86,05	5	62,30		10	51,86	RC (10cm)	15	44,14	RC (15 cm)	20	38,23	RC (20 cm)
6	64,03	4843,93	25000	38,46	51,61	5	55,03		10	48,04	RC (10cm)	15	42,47	RC (15 cm)	20	37,94	RC (20 cm)
7	58,39	6245,16	25000	38,46	40,03	5	51,60	RC (5cm)	10	46,08	RC (10cm)	15	41,53	RC (15 cm)	20	37,70	RC (20 cm)
8	73,06	3368,45	25000	38,46	74,22	5	60,15		10	50,77	RC (10cm)	15	43,69	RC (15 cm)	20	38,17	RC (20 cm)
9	55,00	7362,00	25000	38,46	33,96	5	49,44	RC (5cm)	10	44,80	RC (10cm)	15	40,88	RC (15 cm)	20	37,52	RC (20 cm)
10	62,10	5271,03	25000	38,46	47,43	5	53,88	RC (5cm)	10	47,39	RC (10cm)	15	42,16	RC (15 cm)	20	37,87	RC (20 cm)
11	62,74	5123,15	25000	38,46	48,80	5	54,26		10	47,61	RC (10cm)	15	42,27	RC (15 cm)	20	37,89	RC (20 cm)
12	71,77	3537,80	25000	38,46	70,67	5	59,45		10	50,41	RC (10cm)	15	43,53	RC (15 cm)	20	38,15	RC (20 cm)
13	68,06	4094,33	25000	38,46	61,06	5	57,37		10	49,31	RC (10cm)	15	43,05	RC (15 cm)	20	38,06	RC (20 cm)
14	79,84	2638,88	25000	38,46	94,74	5	63,72		10	52,55	RC (10cm)	15	44,42	RC (15 cm)	20	38,26	RC (20 cm)
15	82,58	2404,63	25000	38,46	103,97	5	65,10		10	53,21	RC (10cm)	15	44,68	RC (15 cm)	20	38,28	RC (20 cm)
16	85,48	2186,44	25000	38,46	114,34	5	66,53		10	53,88	RC (10cm)	15	44,93	RC (15 cm)	20	38,29	RC (20 cm)

STH	DC	Mef	MRC	Dadm	MRC/Mef	HC	DCAR	SOLUÇÃO	HC	DCAR	SOLUÇÃO	HC	DCAR	SOLUÇÃO	HC	DCAR	SOLUÇÃO
17	86,29	2130,64	25000	38,46	117,34	5	66,92		10	54,07	RC (10cm)	15	45,00	RC (15 cm)	20	38,30	RC (20 cm)
18	79,19	2698,49	25000	38,46	92,64	5	63,39		10	52,39	RC (10cm)	15	44,35	RC (15 cm)	20	38,26	RC (20 cm)
19	89,03	1954,84	25000	38,46	127,89	5	68,22		10	54,66	RC (10cm)	15	45,21	RC (15 cm)	20	38,30	RC (20 cm)
20	73,23	3348,06	25000	38,46	74,67	5	60,24		10	50,82	RC (10cm)	15	43,71	RC (15 cm)	20	38,18	RC (20 cm)
21	75,00	3134,52	25000	38,46	79,76	5	61,19		10	51,30	RC (10cm)	15	43,91	RC (15 cm)	20	38,20	RC (20 cm)
22	114,52	977,58	25000	38,46	255,73	5	78,99		10	59,12	RC (10cm)	15	46,62	RC (15 cm)	20	38,12	RC (20 cm)
23	112,74	1020,52	25000	38,46	244,97	5	78,31		10	58,86	RC (10cm)	15	46,55	RC (15 cm)	20	38,14	RC (20 cm)
24	110,48	1078,98	25000	38,46	231,70	5	77,43		10	58,52	RC (10cm)	15	46,45	RC (15 cm)	20	38,16	RC (20 cm)
25	108,39	1137,42	25000	38,46	219,80	5	76,60		10	58,20	RC (10cm)	15	46,36	RC (15 cm)	20	38,19	RC (20 cm)
26	116,13	940,66	25000	38,46	265,77	5	79,60		10	59,35	RC (10cm)	15	46,68	RC (15 cm)	20	38,10	RC (20 cm)
27	122,58	810,57	25000	38,46	308,43	5	81,95		10	60,21	RC (10cm)	15	46,89	RC (15 cm)	20	38,01	RC (20 cm)
28	116,13	940,66	25000	38,46	265,77	5	79,60		10	59,35	RC (10cm)	15	46,68	RC (15 cm)	20	38,10	RC (20 cm)

### 3.2.4.3 Solução Indicada

Quando das análises pelo procedimento DNER PRO-269/94, o trecho em questão teve, como solução de restauração, para todos os segmentos homogêneos estabelecidos, um recapeamento em CBUQ com espessuras elevadas. Analisando-se conjuntamente estas espessuras, a condição estrutural e de superfície e o tráfego de projeto, concluiu-se que as espessuras preconizadas para restauração do pavimento não asseguram o seu desempenho em termos da ocorrência de trincamento por fadiga da nova camada de revestimento.

Desta forma, recomendou-se a adoção das medidas mostradas na Tabela 3.8 envolvendo a reciclagem do revestimento existente em ambas as faixas de tráfego com espuma de asfalto. Define-se como espessura a ser reciclada 16,0 cm com a inclusão de capa de CBUQ com 5,0 cm. As soluções para a restauração do pavimento dos acostamentos devem ser definidas através de compatibilidade geométrica, de modo a não se permitir um desnível entre a pista e os acostamentos superior a 1 cm.

A mistura reciclada com espuma de asfalto foi dosada em laboratório, na Empresa COPAVEL Consultoria de Engenharia Ltda, que possui o equipamento necessário para a determinação do teor de espuma e de finos necessário na mistura. Foram coletadas amostras nos km 98+040, km 101+920 e km 109+000 para a realização da dosagem. O material reciclado deve apresentar resistência à tração indireta mínima de 0,10 MPa quando imersa e 0,2 MPa quando seca, na dosagem em laboratório e segundo especificações existentes na literatura internacional. Deverá ainda apresentar módulo de resiliência mínimo de 2.500 MPa para se adequar estruturalmente ao dimensionamento executado.

No caso das pontes, deve ser aplicado um recapeamento simples em CBUQ na espessura mínima que pode ser obtida com a faixa B adotada (4 cm).

**Tabela 3.9 - Medidas para Restauração - Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

STH No.	Início (km)	Final (km)	Tipo de Revestimento	Extensão (m)	Solução Indicada (cm) REVESTIMENTO - CBUQ
1	97,44	98	CBUQ	560	RC (16) + RS (5)
2	98	98,16	CBUQ	160	RC (16) + RS (5)
3	98,16	98,7	CBUQ	540	RC (16) + RS (5)
4	98,7	98,8	CBUQ	100	RC (16) + RS (5)



STH No.	Início (km)	Final (km)	Tipo de Revestimento	Extensão (m)	Solução Indicada (cm) REVESTIMENTO - CBUQ
5	98,8	100,24	CBUQ	1440	RC (16) + RS (5)
6	100,24	100,32	CBUQ	80	RC (16) + RS (5)
7	100,32	101,3	CBUQ	980	RC (16) + RS (5)
8	101,3	101,42	CBUQ	120	RC (16) + RS (5)
9	101,42	101,58	CBUQ	160	RC (16) + RS (5)
10	101,58	101,86	CBUQ	280	RC (16) + RS (5)
11	101,86	104,15	CBUQ	2290	RC (16) + RS (5)
12	104,15	105,02	CBUQ	870	RC (16) + RS (5)
13	105,02	105,08	CBUQ	60	RC (16) + RS (5)
14	105,08	107,3	CBUQ	2220	RC (16) + RS (5)
15	107,3	107,94	CBUQ	640	RC (16) + RS (5)
16	107,94	108,00	CBUQ	60	RC (16) + RS (5)
17	108,00	108,16	CBUQ	160	RC (16) + RS (5)
18	108,16	108,30	CBUQ	140	RC (16) + RS (5)
19	108,30	108,82	CBUQ	520	RC (16) + RS (5)
20	108,82	109,5	CBUQ	680	RC (16) + RS (5)
21	109,5	109,82	CBUQ	320	RC (16) + RS (5)
22	109,82	111,02	CBUQ	1200	RC (16) + RS (5)
23	111,02	111,1	CBUQ	80	RC (16) + RS (5)
24	111,1	111,64	CBUQ	540	RC (16) + RS (5)
25	111,64	111,76	CBUQ	120	RC (16) + RS (5)
26	111,76	111,9	CBUQ	140	RC (16) + RS (5)
27	111,9	112,44	CBUQ	540	RC (16) + RS (5)
28	112,44	112,56	CBUQ	120	RC (16) + RS (5)

### 3.2.5 Estimativa do desempenho a ser oferecido pela solução proposta

#### 3.2.5.1 Justificativa do modelo utilizado

Para efeito de estimativa do desempenho a ser oferecido pelo pavimento restaurado, foi utilizado um modelo de previsão de desempenho mecanístico-empírico. Tal modelo está formalizado em um programa computacional (*Finite Layer Analysis of Pavement Structures*) com base em uma formulação que explica as leis de fadiga de concretos asfálticos observadas em laboratório e que reproduz o processo de geração de trincas na camada asfáltica que foi registrado na Pista Circular de Nantes (OCDE, 1991). O modelo foi, em seguida, calibrado de modo a reproduzir o desempenho observado em rodovias em serviço no Brasil por Rodrigues, R.M. (2000), a fim de inserir no modelo aspectos que não puderam ser introduzidos na sua formulação teórica, tais como: variabilidade construtiva, efeito da ação combinada de cargas

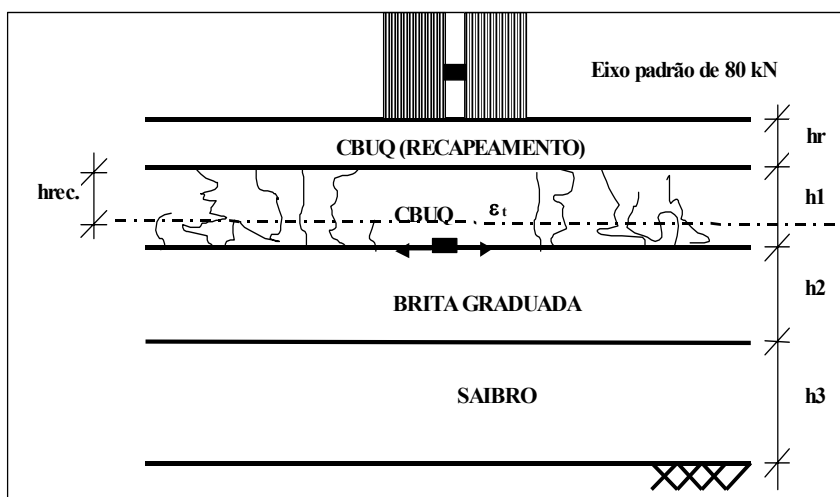
de eixo diferentes, intemperismo e alterações com a idade das propriedades dos materiais, efeitos das práticas construtivas, efeitos das cargas dinâmicas e variabilidade lateral da incidência das cargas de roda.

Foram adotados os seguintes valores para os parâmetros requeridos pelo modelo:

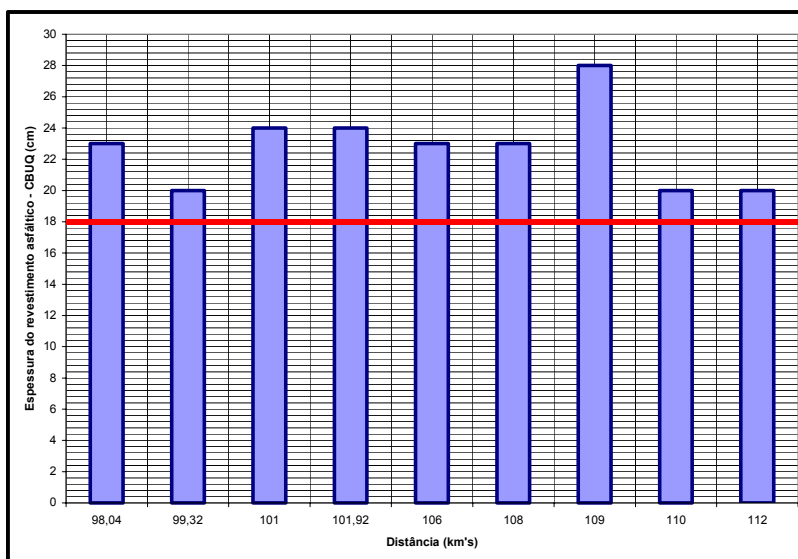
- Nível de Confiabilidade do projeto = 95 %
- Mistura asfáltica tipo CBUQ:
  - Volume de vazios de ar = 4 %
  - Teor de asfalto em volume = 12 %
  - Tipo de asfalto: CAP20 (penetração a 25<sup>o</sup>C igual a 55)
  - Diâmetro máximo de agregados = 3/4"
  - Percentagem que passa na peneira #200 = 4 %
  - Atendimento aos critérios de dosagem do Método Marshall
- Temperaturas médias mensais do ar ao longo do ano:
  - JAN = 23.6 °C
  - FEV = 23.9 °C
  - MAR = 23.8 °C
  - ABR = 19.7 °C
  - MAI = 17.6 °C
  - JUN = 12.2 °C
  - JUL = 12.8 °C
  - AGO = 15.0 °C
  - SET = 15.0 °C
  - OUT = 17.5 °C
  - NOV = 19.2 °C
  - DEZ = 22.3 °C
- A estrutura típica considerada nas análises efetuadas está apresentada na Figura 3.21.

- A variação da espessura da camada asfáltica de revestimento do pavimento existente está mostrada na Figura 3.22.

O tráfego de projeto é dado por  $N_{ano} = 1,64 \times 10^7$  repetições anuais do eixo padrão rodoviário de 80 kN, de acordo com os fatores de equivalência de cargas do Método do DNER (USACE), e por  $N_{ano} = 4,95 \times 10^6$  em termos dos fatores de equivalência de cargas da AASHTO.



**Figura 3.21 - Estrutura de Referência para Análise Mecânica das Alternativas de Restauração - Pista Sul (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**



**Figura 3.22 - Variação das Espessuras do Revestimento Asfáltico ao Longo do Trecho (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)**

### 3.2.6 Resultados obtidos

Os resultados obtidos indicam que ao se adotar as seguintes medidas de restauração envolvendo a reciclagem parcial (RC) do revestimento existente e recapeamento (RS) em CBUQ:

- Alternativa 01: Fresagem (6 cm) + RC (12 cm) + RS (4 cm)
- Alternativa 02: RC (18 cm) + RS (4 cm)
- Alternativa 03: RC (16 cm) + RS (5 cm)

obtém-se a previsão de desempenho mostrada nas Figuras 3.23 a 3.25, na forma da evolução futura da percentagem de área trincada (TR) e dos afundamentos em trilha de roda (ATR). Um valor de área trincada igual a 22 % corresponde à condição em que tem-se as duas trilhas de roda completamente ocupadas por trincas de fadiga no padrão couro-de-crocodilo, momento em que o pavimento deve ser restaurado, a fim de evitar degradação posterior mais acentuada da estrutura devido à entrada de águas pluviais através das trincas do revestimento. A partir desta condição, também, não é mais viável o uso de práticas de conservação do tipo selagem de trincas.

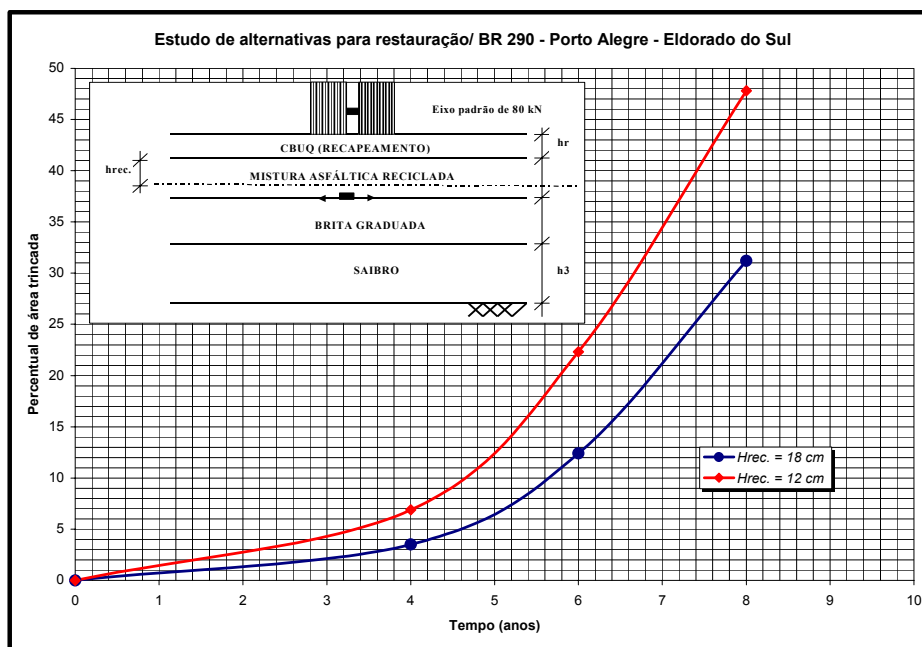


Figura 3.23 - Previsão da Evolução do Trincamento por Fadiga (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

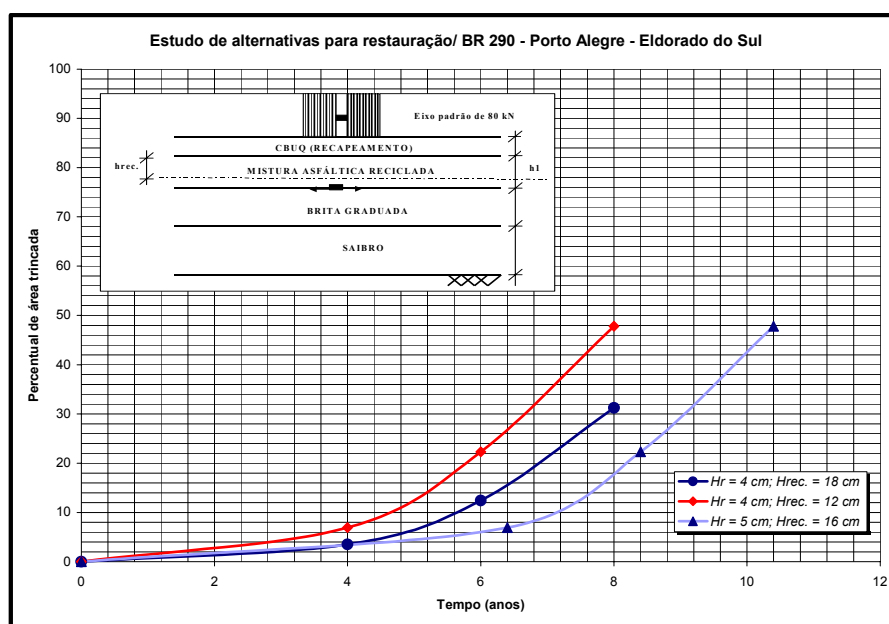


Figura 3.24 - Previsão da Evolução do Trincamento por Fadiga (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

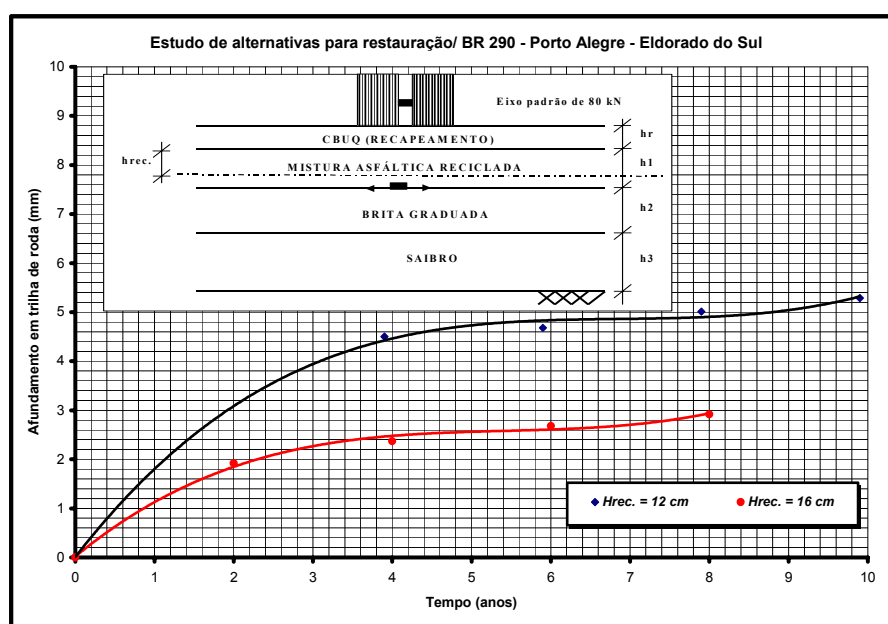


Figura 3.25 - Previsão da Evolução da Ocorrência de Afundamentos em Trilha de Roda (Fonte: Ceratti & Gonçalves, 2001)

### 3.3 PROJETO DA MISTURA RECICLADA

#### 3.3.1 Apresentação

O estudo consistiu na avaliação de amostras retiradas nos trechos escolhidos após avaliação de dados de sondagem e de deflexão, que mostraram estarem em piores condições estruturais.

Os locais escolhidos foram os seguintes:

- - km 98,04
- - km 101,92
- - km 109,00

Além dos materiais coletados na pista, foi enviada, também, amostra de CAP-20.

Através de amostra retirada no trecho, com a utilização de uma máquina fresadora, e ensaiando-a, se torna possível determinar a quantidade de CAP que deve ser dosado para a mistura. Os ensaios de caracterização dos materiais enviados para a empresa de consultoria COPAVEL, estão apresentados em planilhas anexas.

#### 3.3.2 Mistura de Agregados

De posse das granulometrias dos materiais foram definidas percentuais de misturas, de forma a buscar um enquadramento na faixa granulométrica mostrada na Tabela 3.10:

**TABELA 3.10 - Peneiramento do Material Fresado (Fonte: Copavel, 2001)**

Peneiras de Malha Quadrada		% passando,
Tipo	Abertura mm	em peso
2"	50,8	100
3/4"	19,1	67 - 100
3/8"	9,5	46 - 76
Nº 4	4,8	34 - 63
Nº 8	2,4	25 - 52
Nº 30	0,60	13 - 36
Nº 100	0,15	7 - 24
Nº 200	0,075	5 - 20

Para atender a faixa granulométrica prevista foram definidas as misturas de materiais

apresentadas na Tabela 3.11:

**Tabela 3.11 - Previsão de Percentagem de Filler (Fonte: Copavel, 2001)**

AMOSTRA	% CBUQ Fresado	% Calcáreo Dolomítico
Km 98,04	97	3
Km 101,92	97	3
Km 109,00	96	4

### 3.3.3 Definição de Teor de CAP

Depois de definidas as porcentagens de materiais para a mistura, foram moldados corpos-de-prova com diversos teores de CAP, em forma de espuma de asfalto, para determinação do teor ótimo de aplicação deste último.

A mistura dos materiais é feita com auxílio de um equipamento especial que simula a produção de CAP em forma de espuma (equipamento móvel de laboratório para análise de espuma de asfalto WLB 10 – WIRTGEN). Os corpos-de-prova com os diversos teores de espuma de asfalto, são moldados em cilindros Marshall, utilizando a energia de 75 golpes por face.

Os resultados são apresentados nos anexos.

Com base nos resultados encontrados, recomendou-se a incorporação do teor de CAP mostrado na Tabela 3.12, em forma de espuma de asfalto:

**Tabela 3.12 Teores de Espuma de Asfalto (Fonte: Copavel, 2001)**

Estudo	Teor de CAP (%)
Km 98,04	2,8
Km 101,92	2,8
Km 109,00	2,7

A mistura final (material reciclado + filler + água + espuma de asfalto) foi definida em função dos resultados de ensaios de resistência à tração indireta (compressão diametral), em corpos-de-prova secos e saturados, conforme planilhas em anexo.

### 3.4 EXECUÇÃO EM CAMPO

A seguir é demonstrada a técnica usada em campo para execução da reciclagem com espuma de asfalto. O período de obra foi entre os dias 19 de março ao dia 23 de julho de 2001.

Ao contrário de algumas percepções, adicionando um agente estabilizante de espuma de asfalto, isto não muda a natureza do material em relação a uma mistura de asfalto a quente, ou seja, ela permanece com natureza de material granular e deve permanecer como tal. Também de uma perspectiva de construção, a principal diferença entre espuma de asfalto e outros estabilizantes é a versatilidade da natureza do produto. A precisão de tempo que deve ser seguida quando estiver trabalhando com agentes estabilizantes cimentantes, e os cuidados requeridos no tratamento com emulsão asfáltica, não se aplicam quando estiver trabalhando com espuma de asfalto. Uma vez aplicada e compactada na base reciclada, os materiais tratados com espuma de asfalto podem ser submetidos ao tráfego em pouco tempo com um mínimo de detrimento e, contanto que o teor de umidade na mistura seja mantido, ela pode ser retrabalhada dentro de um período razoável (Asphalt Academy, 2002).

#### 3.4.1 Procedimento de Execução em Campo

O procedimento de execução no campo seguiu as seguintes etapas:

##### a) Início dos serviços

- Sondagem com a própria recicladora, a qual foi utilizada a modelo WR-2500, marca WIRTGEN, para avaliação da umidade do material, através de pesagem antes e depois de secá-lo em uma frigideira. Calibração da máquina, quanto a umidade a ser adicionada para compactação;
- Verificação da temperatura do CAP e teste para avaliar a taxa de expansão e o tempo de meia-vida. A avaliação da taxa de expansão e do tempo de meia-vida foram verificados a cada 50 m no início, depois eram verificados a cada reposicionamento da recicladora;
- Fresagem de 5 a 6 cm para remoção de capa a fim de reciclar um camada mais profunda.





**Figura 3.26 - Recicladora WR-2500 – Wirtgen reciclando**

**b) Reciclagem**

- Espalhamento de calcáreo dolomítico manual através de rodos, os sacos eram posicionados de forma que a quantidade de um saco pudesse abranger uma área proporcional a 3% em peso do material a ser reciclado;
- Avanço da recicladora numa velocidade de 4m/min, atrás da recicladora constantemente se fazia uma verificação da profundidade que estava sendo reciclada através de remoção do material com picareta;
- No processo de reciclagem foi coletado o material antes da compactação para análise da granulometria, teor de CAP e moldagem de corpos de prova para análise de Resistência à Tração Indireta seco e saturado. Esta retirada de amostra se dava 2 vezes ao dia.

**c) Compactação**

- Após a passagem da recicladora, entrava com a motoniveladora (utilizou-se uma Caterpillar modelo 140G) para acomodar melhor o material devido a pré-compactação que os pneus da recicladora faziam, então iniciava-se o processo de compactação, foram utilizados 3 rolos compactadores: 1 rolo pé-de-carneiro marca Muller modelo VAP-70 de pressão variável 9.300/21.000Kg, 1 rolo tambor liso marca Muller modelo VAP-70 de pressão variável 9.300/21.000Kg e 1 rolo de pneu marca Muller AP-23 de pressão variável 8.100/23.100Kg (lastro cheio).



**Figura 3.27 - Compactação Camada Reciclada com Rolo Tipo Pé-de-Carneiro**

- No trecho experimental, para avaliação de número de passadas, observou-se que iniciando com cinco passadas de rolo compactador pé-de-carneiro na segunda rotação, seguido de quinze passadas de rolo de pneu, com pressão dos pneus entre 100 e 120 PSI, juntamente com rolo liso na segunda rotação também, alcançava-se a densidade de laboratório, mas não a máxima densificação, que só foi encontrada após 28 passadas dos rolos de pneu e o liso.
  - Entre as passadas de rolo pé-de-carneiro e os outros, passava-se a motoniveladora para regularizar a superfície que ficava irregular devido as marcas das patas do rolo.
  - Utiliza-se o caminhão pipa para molhar a superfície quando o material reciclado começava a grudar no rolo liso, essa umidificação era extremamente superficial para não comprometer a umidade de todo material.
  - No processo de compactação eram executados ensaios de densidade “in situ” conforme método DNER ME/DNER 92-64 e também retirada de corpo de prova para análise de Resistência à Tração Indireta seco e saturado.
- d) Cura
- Após a compactação, aplicava-se emulsão asfáltica RR-1-C e espalhava-se areia média lavada, para fazer liberação ao tráfego, após sete dias.



**Figura 3.28 - Capa Selante após Reciclagem e antes da Capa Asfáltica**

e) Revestimento

- Completado o tempo de cura inicial, fez-se a aplicação de capa asfáltica tipo C.B.U.Q., com espessura de cinco cm, conforme método do DNER ES 318/97;

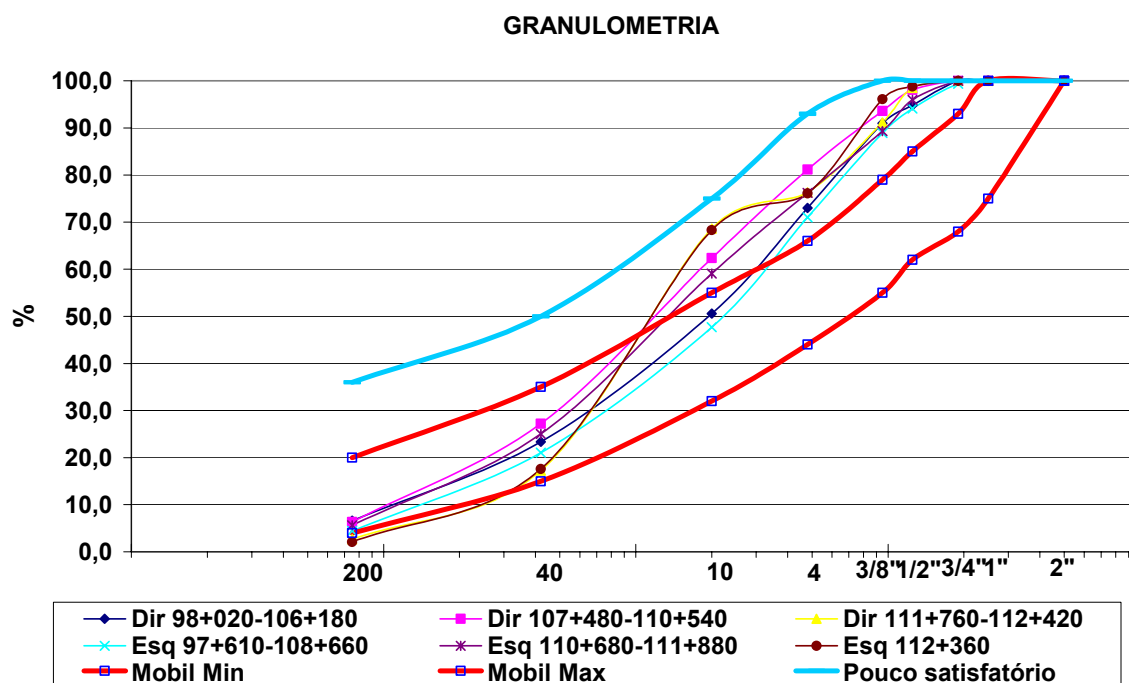
## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após a reciclagem. Também será feita uma análise e discussão dos resultados. Em vista da ocorrência de alguns insucessos em trechos localizados, o período de análise e compreensão do comportamento do pavimento reciclado com espuma de asfalto prolongou-se até a estabilização dos defeitos registrados no revestimento.

Foram avaliadas as características da reciclagem e suas conseqüências para o mau comportamento parcial do pavimento.

### 4.1 GRANULOMETRIA

As granulometrias resultantes segundo suas semelhanças em cada peneira, segmentada por trecho, perfazem as seguintes curvas, salientando as curvas envoltórias ideais segundo Móbil com limite de zona fina ou com pouco satisfatória para reciclagem:



**Figura 4.1 - Curvas Granulométricas Resultantes da Reciclagem**

Avaliando a Figura 4.1, conclui-se que há uma sensível mudança de granulometria

na peneiras de nº 10 e nº 40, principalmente nos trechos entre os Km 107+500 ao Km 112+600 nas duas faixas, verifica-se que neste trecho a composição granulométrica do material que passa entre as peneiras de nº 10 e de #2", encontra-se na zona fina.

Para analisar a recomendação de Ruckel *et al*, sobre o teor de espuma segundo a composição granulométrica de filler teríamos o seguinte:

- Passando na peneira 4,75mm > 50%
- Passando na peneira 0,075mm  $3,0\% < P_{200} < 7,50\%$

Portanto teria-se um teor de espuma ideal segundo Ruckel entre 3,5 e 4,0%, em relação ao agregado seco.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DA ESPUMA

Segundo Jenkins (2000), na investigação da espuma de asfalto, muitos fatores podem ser identificados como tendo uma influência na qualidade e características da espuma. Estes fatores são listados, como uma identificação genérica positiva(↑) ou negativa(↓) nos efeitos da espuma:

### Asfalto

- Tipo de asfalto
- Temperatura do asfalto durante a espumação, se alta(↑)
- Taxa de spray de asfalto, se muito tempo(↓)
- Aditivos (Espumantes e anti-espumantes) (↑)

### Água para espuma

- Taxa de aplicação de água para espuma, muito alta ou baixa(↓)
- Composição da água
- Temperatura da água durante espumação, se alta temperatura (↑)
- Quantidade de ar na moléculização da água, quantidade corrente(↑)
- Aditivos(espumantes) (↑)

### Equipamentos e Regulagens

- Pressão de asfalto, otimizada(↑)
- Pressão de água, otimizada(↑)
- Pressão de ar para moléculização da água, otimizada(↑)
- Temperatura do ar, alta temperatura(↑)

- Temperatura para captura da espuma, alta temperatura(↑)
- Umidade relativa, alta umidade(↑)
- Configuração da câmara de expansão e bico de espuma

Devido à quase exaustiva natureza desta lista e à interdependência da natureza dos fatores, somente aqueles que tem tido notáveis significados na influencia no processo de formação de espuma tem sido selecionado para investigação (Jenkins, 2000).

O índice de Espuma ou FOAM INDEX (FI) leva em conta o efeito combinado da expansão e estabilidade da espuma de asfalto, é desejável elaborar uma espuma suficiente para que possa ser misturada e dispersa no agregado mineral. Razão de expansão e meia-vida, como correntemente aplicado pelos engenheiros, são meramente dois pontos na curva. Os parâmetros são variáveis dependentes, e como tais não poderiam ser especificadas independentemente.

A área abaixo do caimento da curva dentro dos limites especificados, provida de uma medida integrada de expansão e estabilidade da espuma é então um importante parâmetro para análise da espuma. Esta área definida como Foam Index (FI), é desenvolvida na tese de Jenkins, (2000) com o propósito de caracterização e otimização da espuma. Ele também demonstra uma indicação da energia armazenada pela espuma com respeito ao tempo. E, a sua fórmula é apresentada abaixo:

$$FI = A_1 + A_2$$

$$FI = \frac{-\pi_{1/2}}{\ln 2} \left( 4 - ER_m - 4 \ln \left( \frac{4}{ER_m} \right) \right) + \left( \frac{1+c}{2c} \right) * ER_m * t_s \quad (4.1)$$

Onde:

$\pi_{1/2}$  – Meia-Vida da espuma de asfalto;

$ER_a$  – Razão de Expansão da espuma com a consideração da decadência durante o tempo de aspersão;

$ER_m$  – Razão de Expansão da espuma no momento da descarga dentro da vasilha no momento em que esta fique completa, no fim do tempo de aspersão;

$A_1$  – Área abaixo da curva do gráfico (Razão de expansão x Tempo), representada entre o começo da  $ER_a$  e seu final;

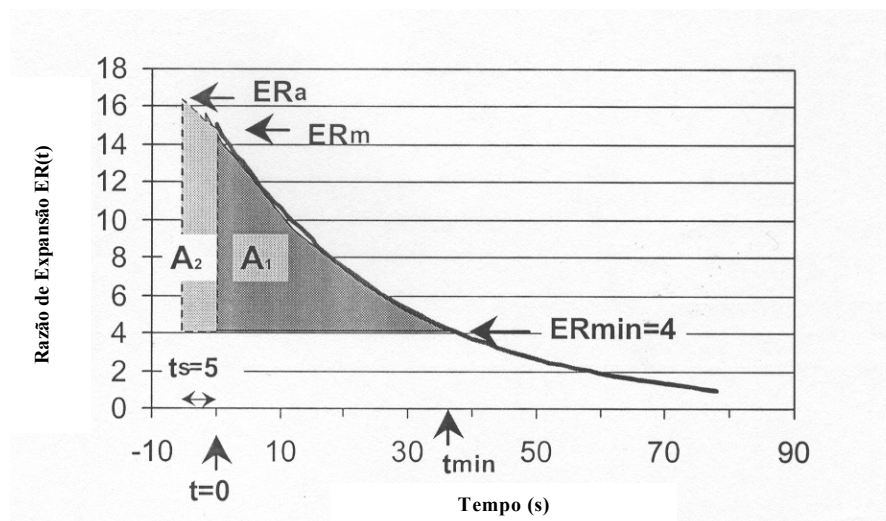
$A_2$  – área abaixo da curva do gráfico (Razão de expansão x Tempo), representada

entre o  $ER_m$  e a Razão de Expansão igual a 4.

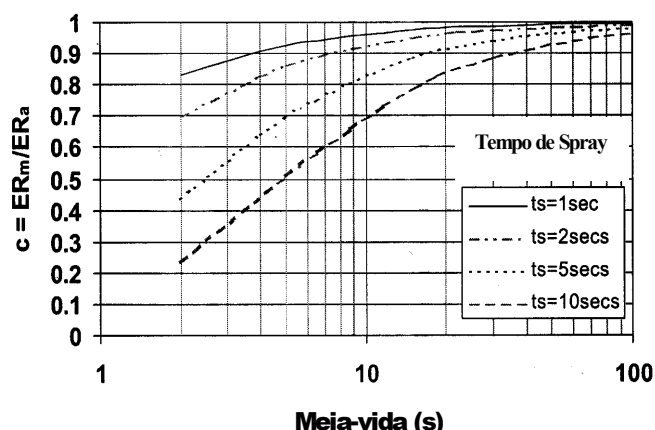
As áreas  $A_1$  e  $A_2$  tem como limite inferior a Razão de Expansão igual a 4.

$t_s$  – Tempo de descarga até completar a vasilha;

$c$  – Relação entre  $ER_m$  e  $ER_a$  obtida no gráfico mostrado abaixo (Figura 4.3) elaborado por Jenkins(2000), o qual ele utilizou como base a Teoria de Retro-análise.



**Figura 4.2 – Índice de Espuma para Caracterização da “espumabilidade” de Asfalto para uma Dada Razão de Aplicação de Água, aonde  $\text{fi}=\text{a1}+\text{a2}$  (fonte: Adaptada de Jenkin, 2000)**

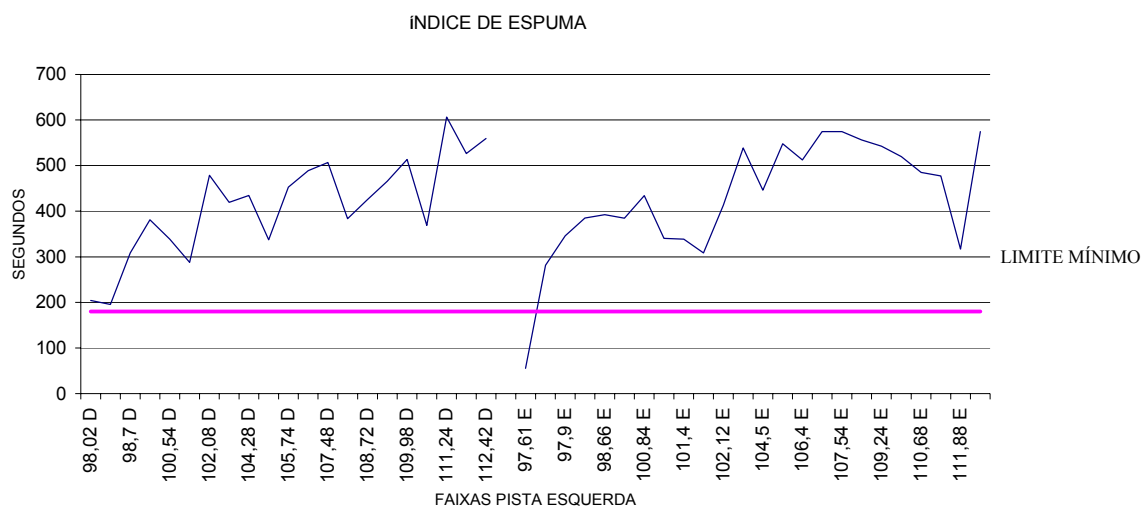


**Figura 4.3 – Relação entre a Atual e a Máxima Medida de Razão de Expansão (Fonte: Jenkins, 2000)**

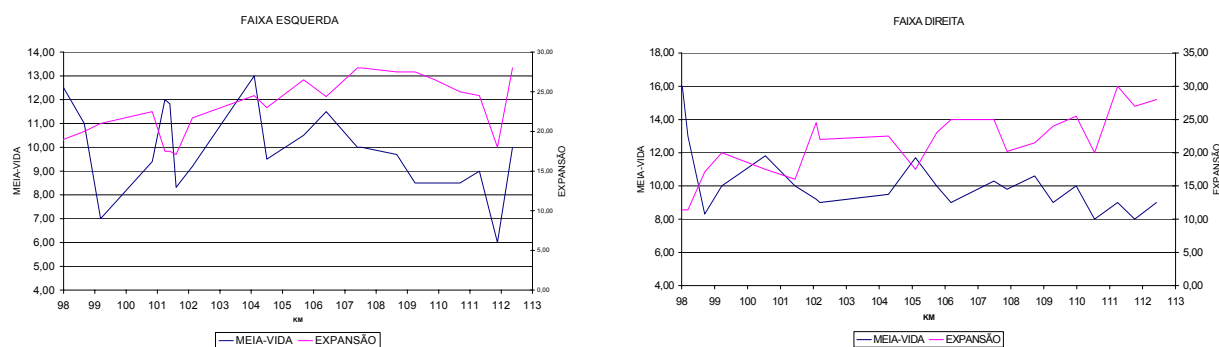
O Índice de Espuma (FI) sofrerá uma decadência na curva do gráfico de Razão de Expansão com o Tempo proporcional ao FI com aumentos de Meia-Vida. Esta influencia pode ser substancial quando o aumento na Meia-Vida é bastante expressivo, o qual no caso de alguns tipos de espumas serem tratadas com aditivos. Embora seja possível calcular

matematicamente a meia-Vida, isto pode ser confuso na prática e é mais importante considerar a Razão de Expansão e Meia-Vida em conjunto com o Índice de Espuma (FI).

No caso da Reciclagem na BR-290, os resultados dos índices de espuma alcançados, estão demonstrados no gráfico abaixo:



**Figura 4.4 – Resultados dos Índices de Espuma Encontrados**



**Figura 4.5 - Gráficos Comparativos de Meia-vida e Expansão**

Segundo Jenkins (2000), para uso de espuma de asfalto em reciclagem de pavimentos a frio e para misturas a quente o limite mínimo desejável para o Índice de Espuma é de 180.

Mesmo tendo o Índice de Espuma alcançado valores aceitáveis, há de verificar que a Meia-Vida e a taxa de expansão não atingiram valores satisfatórios, mais adiante no item 4.4 Características dos Fluidos, o resultado da umidade excessiva em campo demonstra o motivo de se ter a Meia-Vida, com valores baixos e a Razão de Expansão com valores relativamente altos.



## 4.3 CARACTERÍSTICAS DO ASFALTO

### 4.3.1 Característica do Asfalto Empregado na Reciclagem

O asfalto aplicado foi o indicado pela Consultora COPAVEL, ou seja, cimento de asfalto tipo CAP-20, que segundo o fornecedor (conforme laudo técnico da Ipiranga Asfaltos), apresentavam penetração 53. Lembrando o que diz o guia técnico “The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials”, Asphalt Academy (2002),

“Ligantes com valores de penetração entre 80 e 200 são geralmente selecionados, embora ligantes mais moles ou mais duros tem sido usados com sucesso. Por razões práticas, o asfalto mais duro geralmente é evitado devido a possível obstrução nos bicos de espuma (no campo) e uma pobre qualidade de espuma, levando a uma pobre distribuição do ligante na mistura.”

Segundo o Manual de Reciclagem a Frio da Wirtgen, (1998) sugere que asfaltos mais duros (grau Pen<100) são em geral preferidos em climas mais quentes.

A temperatura de aplicação do CAP ficou na média aceitável de 175°C.

O teor de CAP adicionado sob a forma de espuma para todo o trecho foi de 2,5%, em relação ao agregado seco, haja vista que, no projeto de dosagem da COPAVEL com esse teor a mistura apresentou bom desempenho.

### 4.3.2 Característica do Asfalto Empregado na Capa Asfáltica

Foram retiradas duas amostras da capa asfáltica a fim de se verificar as características do asfalto empregado. Os resultados estão demonstrados no Quadro 4.1.

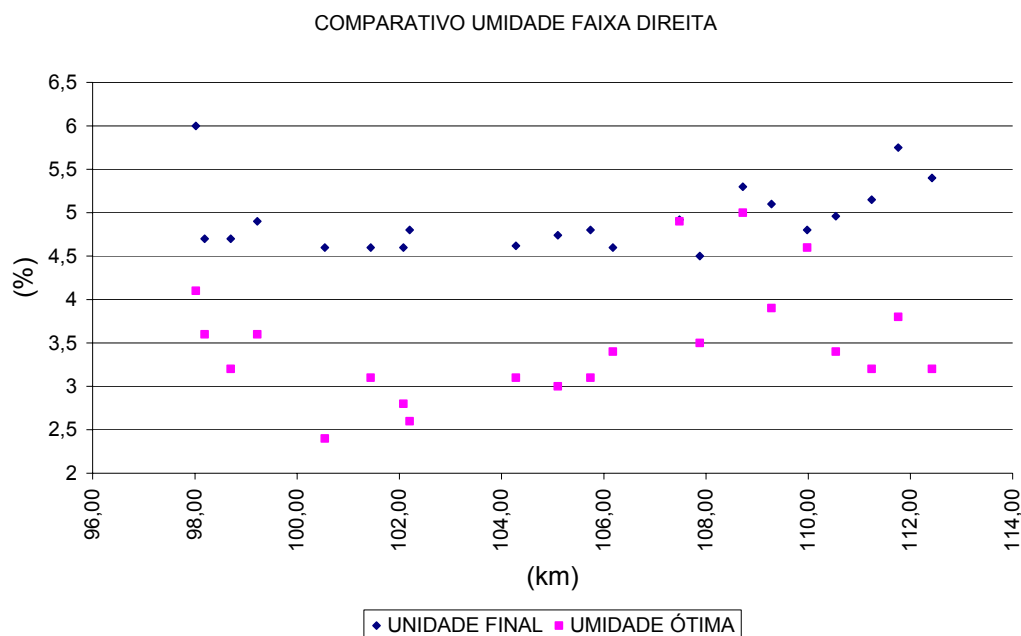
**Quadro 4.1 - Quadro de Resultados das Características do Asfalto Empregado na Capa Asfáltica (CDT – IASA/Betel, 2002)**

Ensaio	Método	Unidade	Especificação CAP - 20	RESULTADOS	
				AMOSTRA 1	AMOSTRA 2
Teor de betume	ASTM D 2172	%	---	5,7	5,2
Ponto de Amolecimento	NBR 6560	°C	---	54,2	61,6
Penetração (100g, 5s, 25°C)	NBR 6576	dmm	50 mín	29	14
Índice de Suscetibilidade Térmica	---	---	(-1,5) a (+1,0)	(-1,34)	(-1,17)

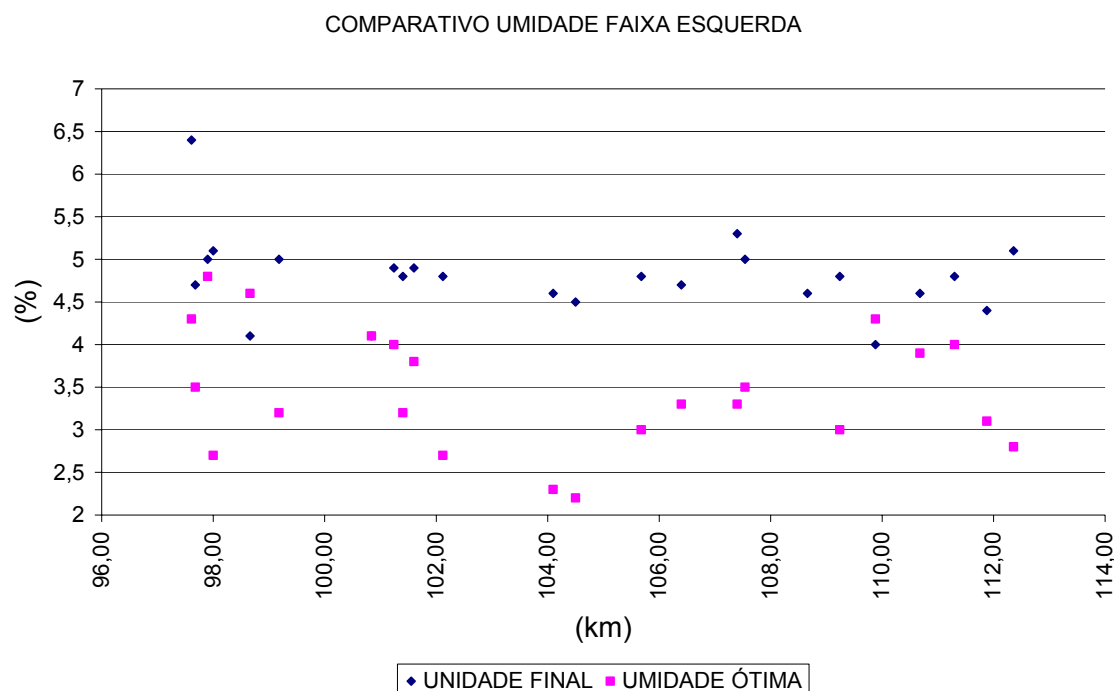
Ensaio	Método	Unidade	Especificação CAP - 20	RESULTADOS	
				AMOSTRA 1	AMOSTRA 2
Viscosidade a 60°C	ASTM D 4402-87	P	> 4x viscos. original *	7360	---
Viscosidade Brookfield a 135°C	ASTM D 4402-87	cP	(120 s, mín)	548 (253,2 s)	1006 (464,8 s)
177°C			(30 - 150 s)	90 (41,6 s)	131,5 (60,7 s)
Ductilidade a 25°C	NBR 6293	cm	20 mín *	> 100	30,8
Spot Test	ME-028 (Met. Interno)	---	Negativo	Negativo	Negativo

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DOS FLUÍDOS

Nas características dos fluídos foi avaliada a quantidade de água adicionada para elaboração da espuma, bem como a água para atingir a umidade ótima de compactação. A umidade final contempla o somatório dos dois teores de água, e esta representada nos gráfico 4.6 e 4.7.



**Figura 4.6 - Comparativo Umidade Final X Umidade Ótima – faixa direita**



**Figura 4.7 - Comparativo Umidade Final X Umidade Ótima – faixa esquerda**

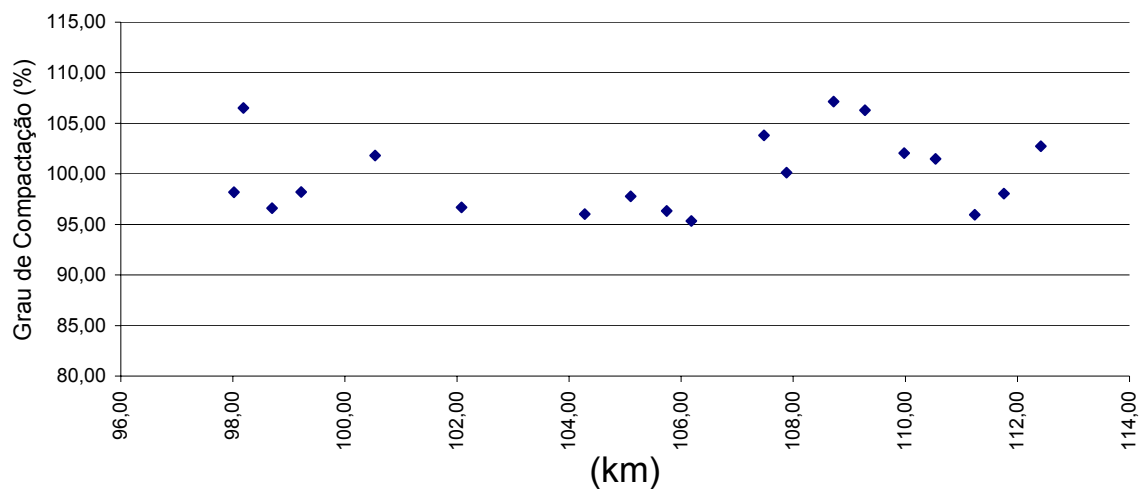
Em quase em toda a extensão das duas faixas a umidade final, encontra-se acima da umidade ótima. Lee apud Jenkins (1981), recomenda que seja utilizado 65% a 85% da umidade ótima na estabilização usando compactação standard da AASHTO.

Relacionando a Meia-Vida com a umidade final, verifica-se o que diz no Manual de Reciclagem a Frio da Wirtgen (1998),

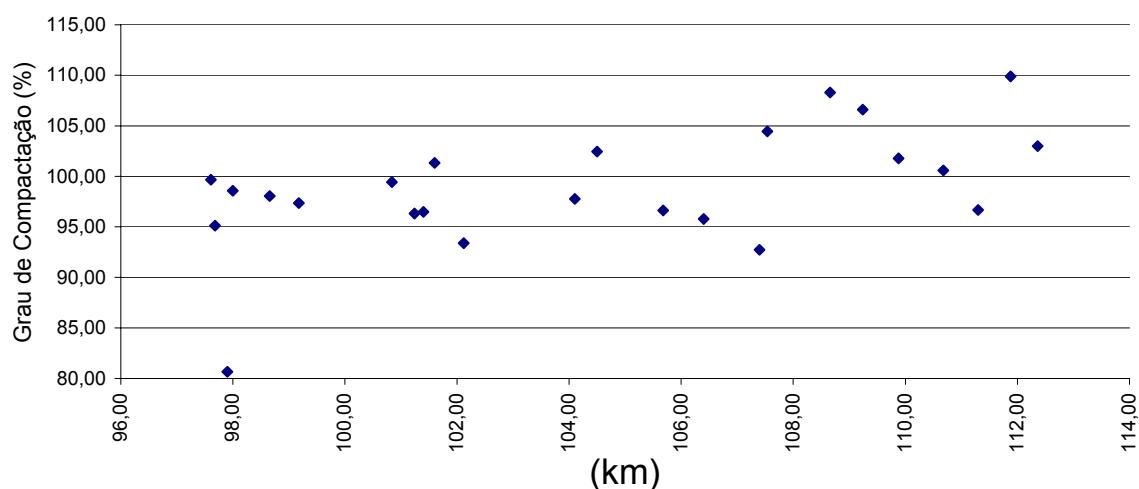
“A quantidade de água adicionada ao asfalto é um dos fatores mais importantes da caracterização da espumação de um asfalto. Geralmente, a taxa de expansão aumenta com o aumento na quantidade de água adicionada, enquanto que a Meia-Vida diminui.”

#### 4.5 CARACTERÍSTICAS DA COMPACTAÇÃO

As Figuras 4.8 e 4.9 mostram os graus de compactação da reciclagem em relação a densidade de máxima de campo compactado com energia de proctor modificado, para cada ponto analisado foi feita moldagem do corpo de prova e avaliado a densidade.



**Figura 4.8 - Gráfico do Grau de Compactação da Reciclagem – Faixa Direita**



**Figura 4.9 - Gráfico do Grau de Compactação da Reciclagem – Faixa Esquerda**

Cabe lembrar o que Brennen *et al* apud Jenkins (1983) notou que, há uma redução de 3% nos vazios de ar do laboratório para o campo, ou seja, há uma acomodação melhor dos agregados em campo que justifica alguns valores com grau de compactação acima de 100 % observados nos gráficos 4.8 e 4.9.

#### 4.6 CARACTERÍSTICAS DE CURA

Como tempo de cura, foi adotado, em média, uma semana após o término da reciclagem. Foi colocada uma camada de emulsão asfáltica e espalhada areia sobre a reciclagem, para que o mesmo recebesse o tráfego. Após a reciclagem ser liberada ao tráfego com a camada protetora superficial de emulsão com areia (capa selante), foi aplicada uma

camada de concreto betuminoso a quente na espessura de 5 cm. Passado dois meses, após ter colocado o CBUQ, o trecho apresentou afundamento de trilha de roda e trincamento em alguns pontos, principalmente aonde a umidade final da reciclagem ficou acima da umidade ótima. Abaixo é mostrada a foto de um poço de sondagem no Km 109, faixa esquerda, nota-se nitidamente os efeitos de soerguimento do pavimento e afundamento de trilha de roda.



**Figura 4.10 Trincheira Escavada no km 109 Mostrando o Comportamento do Afundamento de Trilha de Roda nas Camadas do Pavimento**

Para delimitar o CBUQ e a reciclagem fez-se uma marca com giz colorido. O que se nota é que na região central do pavimento, entre trilhos de roda, houve um soerguimento da reciclagem, enquanto que nas trilhas de roda houve um afundamento da camada, comprovando o que disse Ruckel *et al* apud Jenkins (1982), que quando pavimentos de mistura de espuma exibem defeitos prematuros (soerguimento ou afundamento), isso tende a ocorrer em semanas ou meses após a construção. Clarke apud Jenkins (1976) achou misturas de espuma tendendo a se desenvolver devido a idade, tráfego e ação da temperatura (fatores de cura), como sendo os motivos que contribuem para a remoção da umidade do pavimento. Haja visto que, o pavimento em questão a umidade final estava acima da umidade ótima, a água excedente (água livre) sai da camada reciclada, nas fases de compactação através das forças de pressão e sucção, e na fase após liberação ao tráfego através de sua ação. Segundo Walt *et al* (1999),

“para pavimentos de tráfego pesado pode ser aconselhável acrescentar cimento para ajudar a perder a água através do processo químico do cimento e da ocorrência de forças de Van der Waal nos estágios preliminares do processo de cura. Portanto, a água de absorção do material para ser misturado com a espuma pode requerer um difícil controle de água extra adicionada para ajudar no processo de fabricação da espuma. Isto dependerá da condição

de umidade in-situ, características de água de absorção de adsorção dos materiais determinados.”

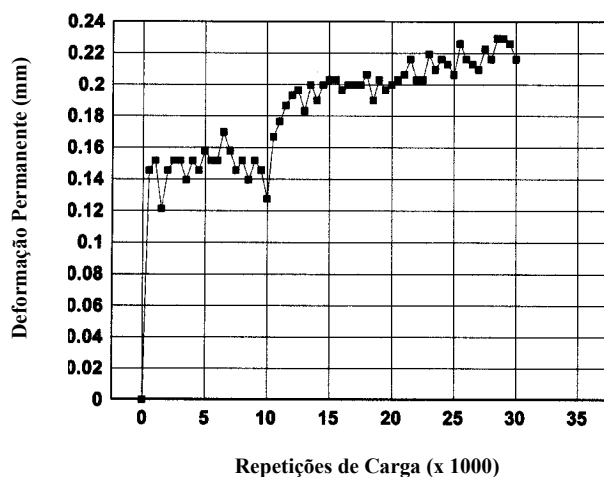
Sobre problemas que podem ser antecipados com asfaltos desbalanceados Walt *et al* (1999), comentam:

“Se a fase de água do asfalto saturado está em contato com a superfície de um papel absorvente, ela “raspará”, ou seja, separará as moléculas de asfalto (frações aromáticas e parafinas) levando o asfalto a ficar desbalanceado com muitas moléculas médias e largas . Este novo asfalto que é formado é duro, frágil e tirará o momento que entra em contato com água. Um asfalto leve pode ser usado para superar este problema.

Portanto esta condição não deve ser confundida com a condição quando se adiciona cal ou cimento para tratar materiais de misturas com asfalto. A cal ou cimento que são adicionados formam parte da estrutura molecular (porção solúvel) do asfalto e isto leva ao enrijecimento do asfalto...

...Os finos naturais de alguns agregados (por exemplo: calcrete) podem ter um efeito similar como o cimento ou cal no asfalto, que tem um incremento na viscosidade do asfalto e conseqüentemente na espessura de cobertura...

...Se o agregado é poroso, a umidade e a percentagem de ligante requerida para o cobertura são otimizados, permitindo espaço suficiente nos poros não preenchidos ou dentro da estrutura do poro da fase de água do asfalto saturado para ser absorvido por projeto, este material estabilizado será continuamente melhorado com o tempo, aumentando a durabilidade da matriz de espuma de asfalto”



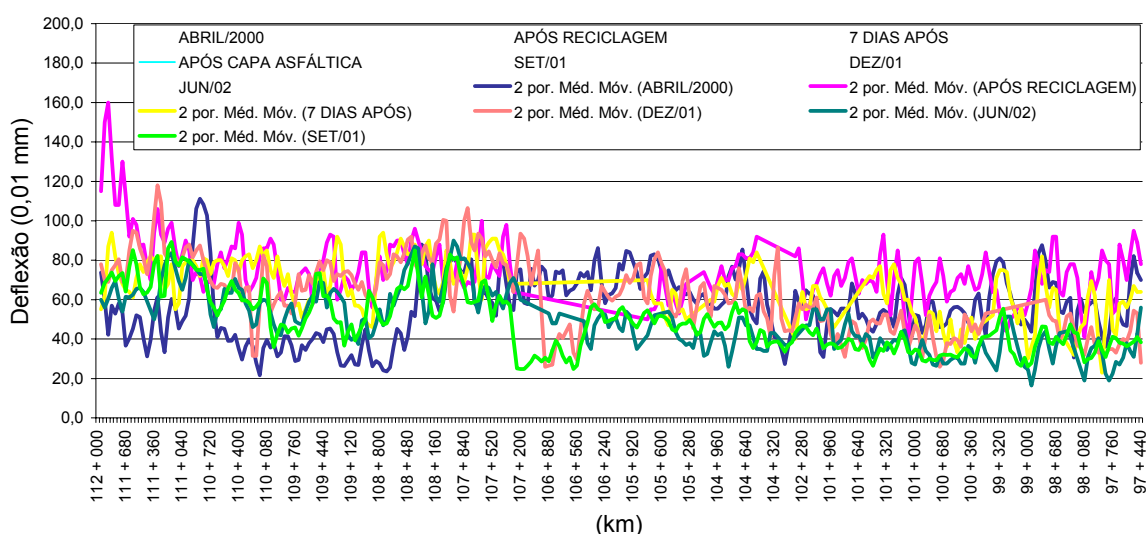
**Figura 4.11 - Gráfico Demonstrando a Progressão de Deformação Permanente Após 24 Horas de Cura em uma Camada de 20 cm (fonte: Adaptado de Jenkins, 2000)**

Sobre tempo de cura, demonstram os resultados que foram produzidos nas pesquisas

de Jenkins (2000), que as primeiras 24 horas de cura reflete as características do material após sua estabilização. A vida estimada de  $4,73 \times 10^6$  repetições de carga de eixo de 80kN (para formar uma trinca de 10mm, na vertical, em uma camada de 200mm de espessura) reflete o baixo nível de deformação que pode ser esperado. Portanto, até o material ser curado, ele é sensível a ruptura.

#### 4.7 CARACTERÍSTICAS DE DEFLEXÕES

Neste item serão apresentados os dados de deflexão da pista sentido Eldorado – Porto Alegre faixa externa. No item seguinte serão apresentados os dados de módulo de resiliência das amostras de reciclagem e de capa asfáltica, e no item 5 um estudo comparativo de retroanálise, através das medições de bacias de deflexão. No gráfico abaixo, estão demonstradas as deflexões avaliadas desde a avaliação do pavimento antes da reciclagem em abril de 2000, este levantamento inicial feito com FWD (Falling Weight Deflectometer), depois de 5 e 7 dias após a reciclagem com a Viga Benkelman simples medindo apenas a deflexão pontual, e após a execução da capa asfáltica utilizando a viga eletrônica (Deflectógrafo Digital), e três levantamentos posteriores, um feito em setembro de 2001, utilizando o FWD, o segundo realizado em dezembro de 2001, e o último levantamento feito em junho de 2002, também utilizando a viga eletrônica, para o segundo e terceiro levantamento após a reciclagem.



**Figura 4.12 Gráfico dos Levantamentos de Deflexões no Ponto de Aplicação da Carga**

#### 4.8 CARACTERÍSTICAS DE RIGIDEZ E RESISTENCIA À TRAÇÃO INDIRETA

Como todos materiais visco-elásticos, a rigidez da espuma de asfalto depende da razão de carregamento, nível de tensão e temperatura. Geralmente, a rigidez tem sido mostrada que se eleva quando do aumento do teor de finos. Em muitos casos os módulos de resiliência de misturas de espuma de asfalto têm mostrado ser superiores que misturas de asfalto quente equivalentes em altas temperaturas (acima de 30°C). Asfaltos espumados podem alcançar rigidezes comparáveis com materiais tratados com cimento, com algumas vantagens de flexibilidade e resistência à fadiga. (CR98/077 FOAMED ASPHALT MIXES – MIX DESIGN PROCEDURE apud Ramanujam e Fernando, 1997).

Neste item será mostrado os módulos de resiliência de corpos de prova retirados na pista e moldados antes da compactação. Os ensaios de módulo de resiliência foram feitos no Laboratório de Pavimentação da UFRGS, e foi obedecida a norma DNER- ME133/94. Após a apresentação dos resultados de módulo, será discutido o comparativo de retroanálise com outros dados característicos da reciclagem. Convém lembrar que os dados analisados neste item e em outros anteriores, são da faixa externa, que representa a faixa mais carregada, aonde a amostra foi retirada da faixa da esquerda esta anotada ao lado a seguinte indicação “(FE)”.

**Quadro 4.2 – Quadro de Resultados de Ensaio de Módulo de Resiliência e de Resistência à Tração Indireta.**

LOCAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)		RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	
	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA
	Moldado Laboratório	Retirado na Pista	Moldado Laboratório	Retirado na Pista
100+340(FE)		3.085		0,637
100+840		2.870		0,624
101+340(FE)		3.570		0,616
101+340		4.205		0,799
101+840		6.280		0,781
102+200	4.268		0,494	
102+340(FE)		3.475		0,656
104+100	4.070		0,494	
104+690		3.067		0,608



LOCAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)		RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	
	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA
	Moldado Laboratório	Retirado na Pista	Moldado Laboratório	Retirado na Pista
104+710		3.437		0,639
105+100	2.572		0,358	
105+280	4.078		0,474	
106+180	2.220		0,375	
106+400	3.445		0,532	

Os ensaios acima foram realizados nos meses de abril e maio de 2001, ou seja, na época da execução da reciclagem. No mês de março de 2002, com o propósito de analisar profundamente as camadas de capa asfáltica e de reciclagem, pois o pavimento apresentava defeitos como afundamento de trilha de roda e trincamento da capa asfáltica, como citado anteriormente, foram removidas placas de aproximadamente 1 metro de cada lado e na espessura total de reciclagem mais capa. Foram escolhidos os pontos da faixa direita nos Km 112+080, 112+170 e Km 98+000. Em cada placa foram removidos três corpos de prova através de sonda rotativa. As placas removidas podem ser vistas abaixo nas Figuras 4.13 a 4.15.



**Figura 4.13 - Placas Removidas nos km 98, km 112+080 e km 112+170**



**Figura 4.14 - Detalhe da Espessura da Capa Asfáltica**



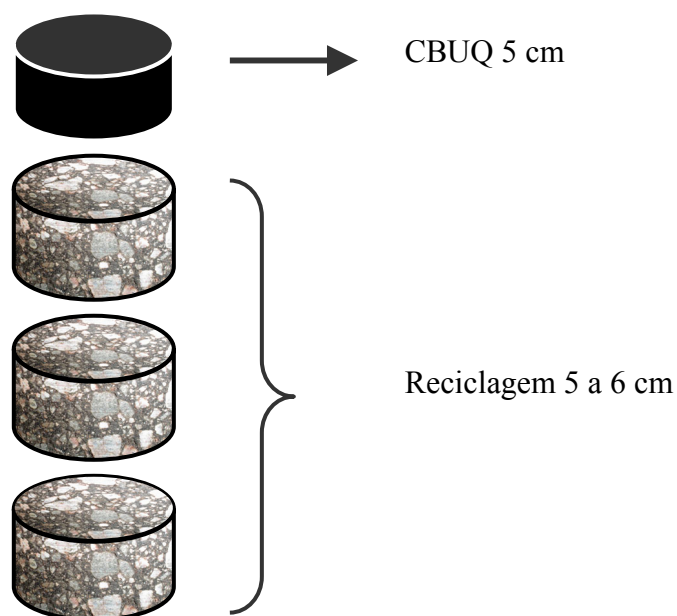
**Figura 4.15 – Detalhe da Camada Reciclada**

**Quadro 4.3 – Resultado de Módulos de Resiliência e Resistencia à Tração Indireta de Corpo de Provas in situ**

LOCAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)		RESISTENCIA À TRAÇÃO (MPa)	
	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA
	Retirado na Pista	Retirado na Pista	Retirado na Pista	Retirado na Pista
98+000 Capa		5.025		0,803
<b>Superior</b>				
<b>Meio</b>	3.289		0,593	
<b>Inferior</b>	2.780		0,463	
112+080 Capa		7.768		1,287

LOCAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)		RESISTENCIA À TRAÇÃO (MPa)	
	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA	RECICLAGEM	CAPA ASFÁLTICA
	Retirado na Pista	Retirado na Pista	Retirado na Pista	Retirado na Pista
<b>Superior</b>	6.880		0,829	
<b>Meio</b>	6.590		0,839	
<b>Inferior</b>	5.110		0,776	
<b>112+170 Capa</b>		7.600		1,106
<b>Superior</b>	7.170		0,887	
<b>Meio</b>	5.865		0,740	
<b>Inferior</b>	4.020		0,552	
<b>112+200</b>		5.803		1,325
<b>Inferior</b>	4.040		0,771	

Para melhor interpretação de como foram separadas as camadas das placas, a Figura 4.16 abaixo demonstra as separações em partes.



**Figura 4.16 - Corte Transversal das Camadas de Análise do Pavimento Reciclado**

As camadas de reciclagem e de capa asfáltica apresentaram bom comportamento em qualquer um dos pontos de análise, portanto, notou-se uma redução do módulo de resiliência e de resistência à tração nas camadas mais profundas, salientando que, a análise em laboratório

não levou em consideração o estado de tensões da camada in situ.

Depois de executadas as retroanálises dos segmentos homogêneos da pista esquerda (item 5.1), verificou-se a disparidade dos valores de módulos de resiliência da camada reciclada entre o calculado pelo programa Laymod4 e os valores obtidos em laboratório através do ensaio por compressão diametral. Diante desse fato optou-se por fazer a avaliação do módulo de resiliência através do sistema de câmara triaxial, pois as magnitudes dos módulos apresentados nas retro-análises demonstraram as mesmas conclusões de Jenkins (2000), ou seja,

“Estas misturas com espuma de asfalto, as quais exibem comportamento *“como material granular”*, podem ser analisados pela adaptação de técnicas usadas para modelos de desempenho de materiais granulares”

Na sua pesquisa Jenkins(2000), fez uma comparação entre materiais granulares misturados e não misturados com espuma de asfalto, e segundo os ensaios ele chegou as seguintes conclusões:

Para ensaios de caracterização de comportamento de resistência ao cisalhamento:

- Comparado com o material equivalente granular, a mistura a frio com espuma de asfalto sofre um acréscimo na coesão, para mais de 100kPa após a cura. Uma moderada redução associada no ângulo de atrito  $\phi$  de menos de 10° ocorre depois da inclusão do ligante.
- Em casos aonde o filler ativo tal como cimento é incluído na mistura de espuma, um substancial aumento ocorre na coesão, levando para mais de 800kPa. O ângulo de atrito  $\phi$ , associado em tais casos aproxima de zero.
- A deformação na tensão máxima aplicada no teste de cisalhamento triaxial, é mais alta para misturas com espuma de asfalto do que para materiais equivalentes granulares. O valor de deformação aumenta de 0,6% a 1,3% através da inclusão de espuma de asfalto, para os resultados dos testes numa razão de deslocamento de 1 mm/s.

Para ensaios de caracterização de comportamento de deformação resiliente:

- Modelos usados para comportamento de resiliência de materiais granulares são aplicáveis para misturas com espuma de asfalto com menos do que 4% de ligante e sem adição de cimento.

Para ensaios de caracterização de comportamento de deformação permanente:

- O comportamento de deformação permanente de uma gama de misturas de

espuma tem mostrado, que uma razão crítica de  $\sigma_d / \sigma_{d,f}$  define o limite entre o crescimento de deformação permanente estável para acelerada, ou seja, após o repetimento de  $10^6$  ciclos a velocidade de deformação aumenta.

- Dois modelos foram desenvolvidos para descrever o comportamento da deformação permanente na mistura de espuma. O primeiro modelo cobre todas as misturas com até 4% de ligante e sem cimento. Este modelo tem a razão crítica de  $\sigma_d / \sigma_{d,f} = 55\%$  para definir o limite entre desenvolvimento de deformação permanente rápido e moderado. O segundo modelo cobre misturas de espuma com até 1% de cimento num prazo médio para longo do estado de cura e misturas com até 2% de cimento numa condição inicial de cura. Este modelo tem uma razão crítica de  $\sigma_d / \sigma_{d,f} = 41\%$  acima da qual a deformação acelerada comanda a velocidade da deformação.

Aonde,

$\sigma_d / \sigma_{d,f}$  - Razão da tensão desvio ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) atuante pela tensão desvio na condição de ruptura.

#### 4.9 MÓDULOS DE RESILIÊNCIA OBTIDOS ATRAVÉS DE ENSAIO TRIAXIAL

Para este ensaio, foram aproveitadas as placas usadas para análise de módulo de resiliência por compressão diametral e resistência à tração indireta (Figura 4.13), dos quais foram possíveis fazer mais extrações de 4 corpos de prova. O ensaio foi realizado conforme o método de ensaio para verificação de comportamento resiliente de materiais granulares sob carga repetida. Os modelos de comportamento elástico adotados foram os seguintes:

- **modelo K- $\theta$** , o qual relaciona o módulo resiliente ao primeiro invariante das tensões, ( $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_1 + 2\sigma_3$ ). Os resultados geralmente são expressos através da equação:

$$M_r = K_1 \theta^{K_2},$$

onde

$M_r$  - Módulo de Resiliência

$K_1$  e  $K_2$ - parâmetros de modelo

- **modelo K- $\sigma_3$** , o qual relaciona o módulo resiliente à tensão confinante. Os resultados geralmente são expressos através da equação:

$$M_r = K_5 \sigma_3^{K_6},$$

onde

$M_r$  - Módulo de Resiliência

$\sigma_3$  - tensão confinante

$K_5$  e  $K_6$ - parâmetros de modelo

#### 4.9.1 Ensaio de Módulo de Resiliência

Com o objetivo de obter-se os módulo de resiliência para os quatro amostras, foram realizados ensaios de compressão triaxial com cargas repetidas empregando o equipamento construído pelo LAPAV, o qual vem sendo utilizado no desenvolvimento de pesquisas na área de pavimentação, desde o final dos anos de 1980.

##### 4.9.1.1 Descrição do equipamento triaxial de cargas repetidas

O equipamento comporta amostras com 20 cm de altura por 10 cm de diâmetro. A câmara triaxial é uma câmara convencional, com parede de acrílico. As pressões verticais e horizontais (confinantes) são aplicadas através de sistemas pneumáticos por intermédio de reguladores de pressão, cuja capacidade é de 700 kPa e 400 kPa, respectivamente. Com a limitação do manômetro de Bourdon em 400 kPa, o último estado de tensões aplicado nos corpos de prova foi  $\sigma_3 = 140$  kPa e  $\sigma_d = 360$  kPa, conforme apresentado no Quadro 4.4.

O controle dos intervalos de aplicação de carga é realizado através de um temporizador, com duração de carregamento de 0,1 s com uma frequência igual a 1,0 Hz. A deformação axial do corpo de prova é medida por um transdutor de deformação do tipo LVDT (Linear Variable Differential Transducer), que transforma as leituras de deformações axiais durante o carregamento repetido do ensaio em potencial elétrico, cujo valor é registrado no programa de leitura.

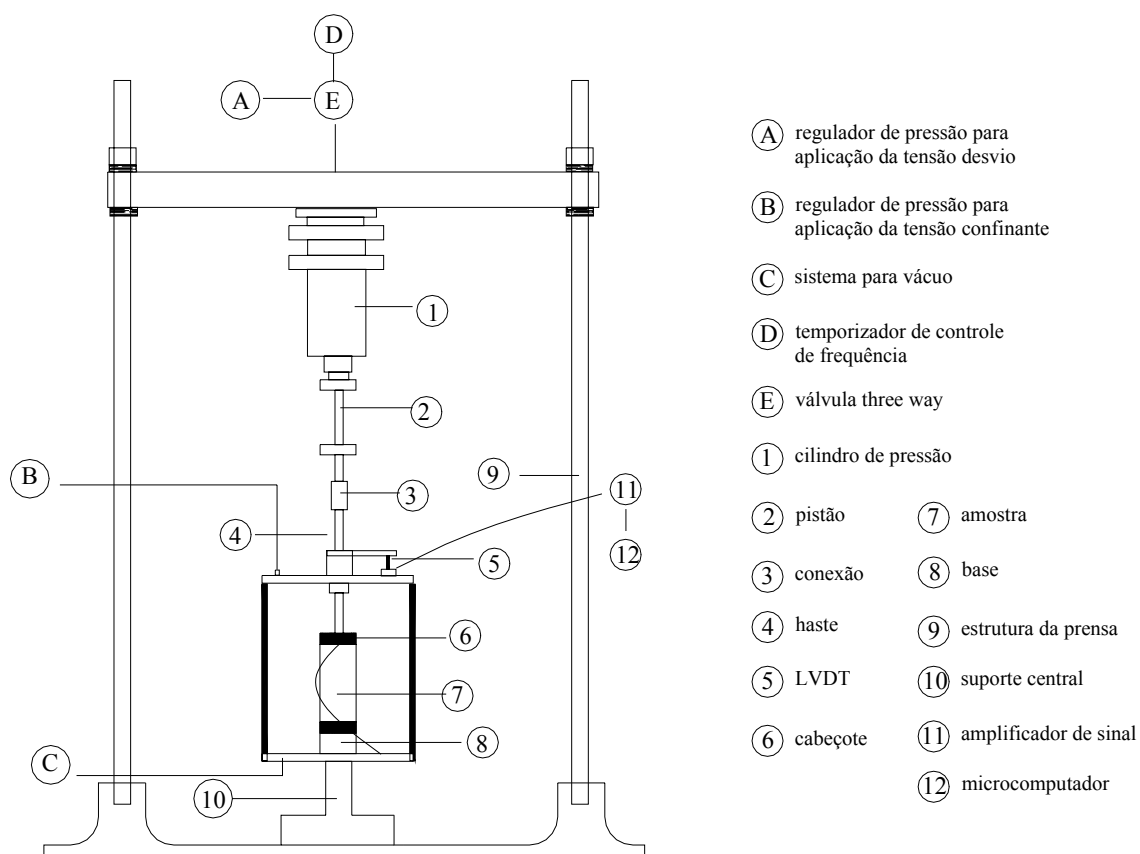
Para esta análise foi utilizada uma rotina computacional, com utilização do software

HP-VEE, para a aquisição de dados e transformação destes em resultados de módulo de resiliência, em cada estágio de aplicação de carga. Conforme descreve Werk (2000) apud Casagrande (2003), as principais vantagens proporcionadas pela rotina estão no fato de sua programação ser baseada em técnicas de programação visual e a possibilidade de utilização de várias sub-rotinas pré-programadas, adaptando-as às combinações de tensões aplicadas, (DNER-MR 131/94 ou AASHTO TP 46-94 (1996)). Nas Figuras 4.15 e 4.16 são apresentados o sistema computacional utilizado e os componentes do equipamento.

**Quadro 4.4 – Sequência de Carregamento para a Determinação do Módulo Resiliente em Materiais Granulares – DNER-ME 131/94**

TENSÕES APLICADAS NA ETAPA DE CONDICIONAMENTO		
$\sigma_3 = 70$ kPa	$\sigma_d = 70$ kPa	
	$\sigma_d = 210$ kPa	
$\sigma_3 = 105$ kPa	$\sigma_d = 315$ kPa	
CARREGAMENTOS - ESTADO DE TENSÕES		
$\sigma_3$ kPa	$\sigma_d$ kPa	$\sigma_1 / \sigma_3$
21	21	2
	42	3
	63	4
35	35	2
	70	3
	105	4
53	53	2
	105	3
	158	4
70	70	2
	140	3
	210	4
105	105	2
	210	3
	315	4
140	140	2
	280	3
	360	3,57





**Figura 4.17 – Equipamento de Ensaios Triaxiais de Carga Repetida (fonte: Casagrande, 2003)**



**Figura 4.18 – Sistema Computacional Utilizado na Aquisição dos Dados**

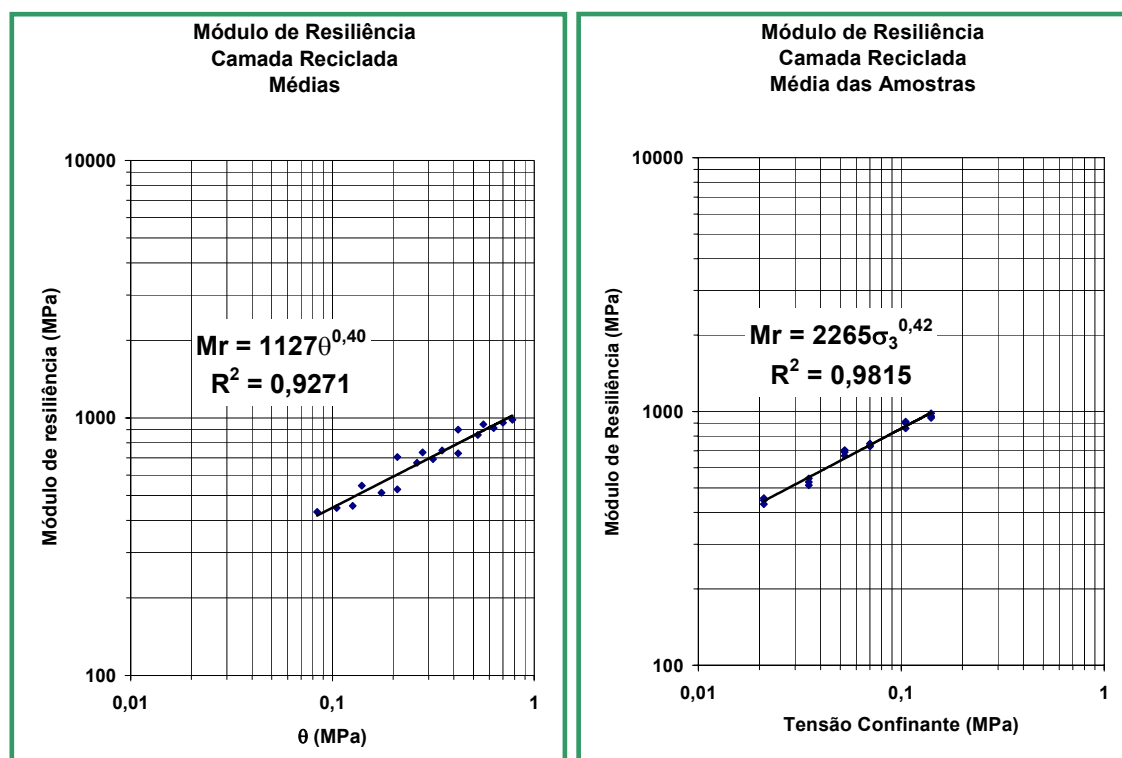


#### 4.9.2 Resultados de Módulos de Resiliência

Os resultados dos ensaios de módulo de resiliência estão demonstrados na Tabela 4.1 e Figura 4.19.

**Tabela 4.1 - Parametros k1, k2, k5 e k6 dos Modelos de Comportamento k- $\theta$  e k- $\sigma_3$**

Amostra	$M_r = K_1 \theta^{K_2}$			$M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$		
	$K_1$	$K_2$	$R^2$	$K_5$	$K_6$	$R^2$
Amostra 1	764	0,30	0,8633	1.210	0,29	0,7841
Amostra 2	756	0,41	0,9475	1.454	0,41	0,9059
Amostra 3	1.858	0,44	0,8264	4.261	0,49	0,9500
Amostra 4	1.392	0,38	0,9008	2.699	0,40	0,9561
Média dos CP'S	1127	0,40	0,9271	2.265	0,42	0,9815



**Figura 4.19 Comportamento Elástico da Camada de Reciclagem com Espuma de Asfalto**

## 5 ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA

Neste item será feita a análise de desempenho da estrutura, considerando que se passaram 8 meses do término da execução da reciclagem, ou seja, as condições em que se encontrava o pavimento em junho de 2002.

Para analisar o desempenho foram feitas retroanálises nos três segmentos homogêneos, que apresentaram comportamento semelhante segundo critério deflectométrico, será utilizado o programa LAYMOD-4, e adotado a estrutura com as características como demonstrado abaixo na figura 5.3, e com as bacias de deflexão dos pontos analisados na bacia dos Quadros 5.1 e 5.2.

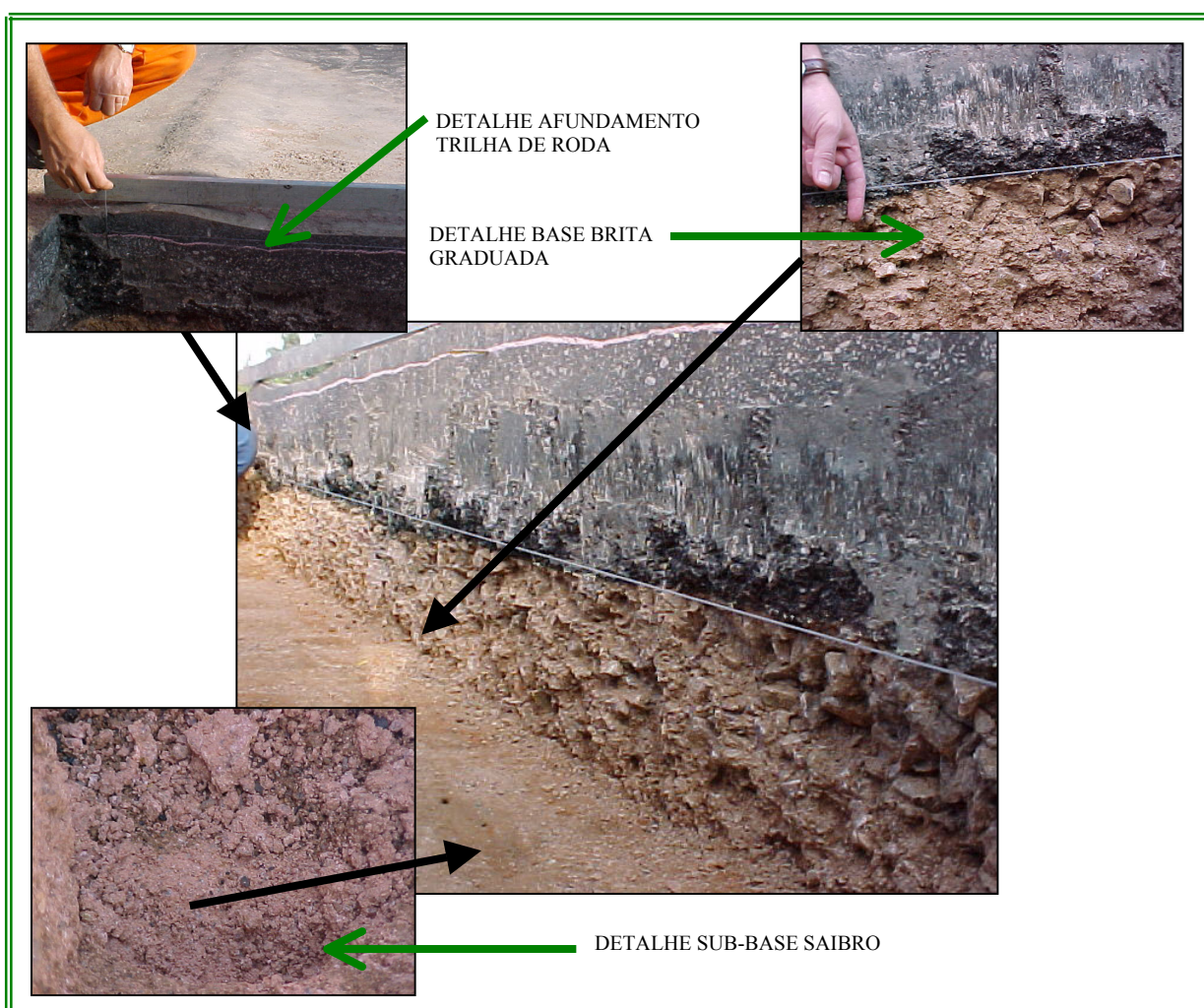
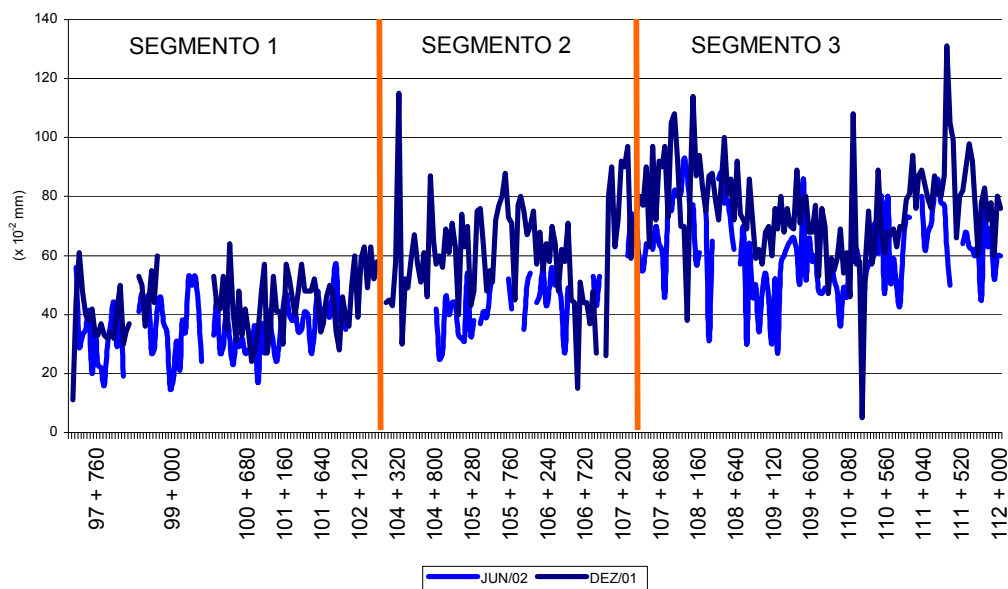


Figura 5.1 Detalhes da Estrutura do Pavimento Reciclado

Após ser feita a análise dos módulos, será feito o cálculo de vida útil restante de com a ajuda do programa PAVESYS 9.



**Figura 5.2 – Gráfico Comparativo de Deflexões Medidas com FWD (dez/01) e Viga Eletrônica(jun/02)**

Conforme se nota no gráfico acima no período de dezembro de 2001 à junho de 2002, houve uma significativa diminuição nos níveis de deflexões, o que demonstra o achado de Van Wijk and Wood apud Jenkins (2000), que após 250 dias as deflexões retornam à magnitude originalmente medidas com o pavimento ainda aumentando sua rigidez. Lancaster *et al* apud Jenkins (2000) reportou que deflexões e raios de curvatura somente reduzirão marginalmente após quatro meses de cura.

Para fim de análise o trecho foi dividido em três partes, segundo o nível deflectométrico, os Quadros 5.1 e 5.2 abaixo demonstram as bacias característica de deflexões correspondentes de cada trecho.

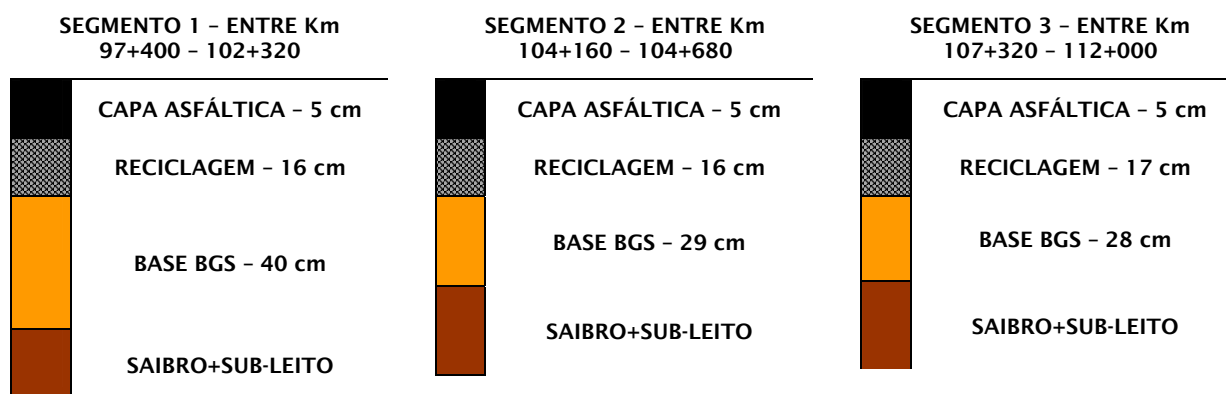
**Quadro 5.1 – Bacias de Deflexões Características de Cada Segmento Homogêneo em Dez/2001**

POSIÇÃO	BACIA DE DEFORMAÇÃO (x 0,01mm)						
	0	20	30	45	65	90	120
Km	Df1	Df2	Df3	Df4	Df5	Df6	Df7
97+400 - 102+360	36,6	25,8	20,1	14,4	9,5	6,0	3,9
104+160 - 106+480	47,7	33,6	25,8	18,2	11,8	7,4	4,5
107+320 - 112+000	62,2	44,9	35,0	25,1	16,5	10,5	6,7

**Quadro 5.2 – Bacias de Deflexões Características de Cada Segmento Homogêneo em Jun/2002**

POSIÇÃO	BACIA DE DEFORMAÇÃO (x 0,01mm)						
	0	25	31	62	93	119	150
Km	Df1	Df2	Df3	Df4	Df5	Df6	Df7
97+400 - 102+360	36,1	26,8	24,9	15,5	9,8	6,5	4,1
104+160 - 106+480	43,0	32,5	30,1	18,2	11,1	7,5	4,9
107+320 - 112+000	60,0	47,9	44,3	27,1	16,2	10,7	6,8

Com o objetivo de avaliar a melhoria que o tempo de cura provoca ao longo do tempo, foi feita uma análise comparativa dos módulos de resiliência das camadas constituintes da reciclagem. Para realizar esta análise foi utilizado o programa Laymod4, introduzindo no programa as bacias deflectométricas de dezembro de 2001 e junho de 2002, de acordo com as espessuras das camadas dadas na figura 5.3.



**Figura 5.3 – Espessuras das Camadas de Pavimentação para Análise no LAYMOD4**

## 5.1 RESULTADOS DE RETROANÁLISE DO LAYMOD4

Nos quadros abaixo estão demonstrados os resultados das retroanálises das bacias de cada segmento homogêneo. Nestes quadros pode-se observar o comparativo dos módulos da capa asfáltica em campo e com o laboratório, a conversão foi feita através da correlação geral do "The Asphalt Institute's Thickness Design Manual" (MS-1 de 1982, nona edição) que é dada por:

$$\log|E^*| = 5.553833 + 0.028829 \frac{P_{200}}{f^{0.17033}} - 0.03476V_V + 0.070377\eta_{70^\circ F, 10^6} + 0.000005t_p^{(1.3+0.49825 \log f)} P_{ac}^{0.5} - 0.00189t_p^{(1.3+0.49825 \log f)} \frac{P_{ac}^{0.5}}{f^{1.1}} + 0.931757f^{-0.02774} \quad (5.1)$$

onde:

$|E^*|$  = módulo dinâmico, em psi;

$P_{200}$  = fração dos agregados que passa na peneira #200 (%);

$f$  = frequência do carregamento (Hz);

$V_V$  = volume de vazios de ar (%);

$\eta_{70^\circ F, 10^6}$  = viscosidade absoluta do asfalto a 70°F, em poises  $\times 10^6$ ;

$P_{ac}$  = teor de asfalto (% em peso da mistura);

$t_p$  = temperatura (°F).

Conforme sugerido pelo próprio MS-1, o parâmetro  $\eta_{70^\circ F}$  pode ser estimado por:

$$\eta_{70^\circ F} = 29508,2 Pen_{77^\circ F}^{-2,1939}$$

onde  $\eta_{70^\circ F}$  é a viscosidade a 70°F em milhões de poises e  $Pen_{77^\circ F}$  é a penetração do asfalto a 77°F (25°C).

Além do comparativo de módulo da capa asfáltica em campo e em laboratório, foi feita a verificação dos modelos de comportamento elástico obtidos através do ensaio de módulo de resiliência em camara triaxial, os resultados dos modelos estão elencados no item 4.9.2. Para determinação das tensões principais no meio da camada de reciclagem, foi utilizado o programa Elsym5, as tensões representadas nos quadros abaixo.

Os resultados de análise estão demonstrados abaixo, separados por data.

## 5.1.1 Resultados da retro-análise das bacias de deflexões de Dezembro de 2001

Quadro 5.3 – Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 1, Dezembro 2001

SEGMENTO 1 - ENTRE Km 97+400 - 102+320								
Camada	E médio (MPa)	Desvio	Cv (%)	Módulo CUQ Corrigido à 25°C	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_1 \theta^K$ (MPa)	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$ (MPa)	Tensão Horizontal XX / yy - MPa (x=0/x=150mm)	$\Sigma$ Tensões Principais MPa (x=0/x=150 mm)
Capa Asfáltica	9.496	1.220	12,85	8.151	-----	-----	-----	-----
Reciclagem	893	168	18,87	-----	678	653	0,074 / <b>0,052</b>	0,339
							0,108 / 0,117	<b>0,281</b>
Base BGS	97	7	7,38	-----	-----	-----	-----	-----
Saibro+Sub-Leito	192	19	9,88	-----	-----	-----	-----	-----
Erro (%)	16,64	16,64	99,98	-----	-----	-----	-----	-----

Quadro 5.4 – Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 2, Dezembro 2001

SEGMENTO 2 - ENTRE Km 104+160 - 106+480								
Camada	E médio (MPa)	Desvio	Cv (%)	Módulo CUQ Corrigido à 25°C	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_1 \theta^K$ (MPa)	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$ (MPa)	Tensão Horizontal XX / yy - MPa (x=0/x=150mm)	$\Sigma$ Tensões Principais MPa (x=0/x=150 mm)
Capa Asfáltica	7.533	2.117	28,11	5.986	-----	-----	-----	-----
Reciclagem	623	181	29,15	-----	660	596	0,063 / <b>0,042</b>	0,316
							0,095 / 0,104	<b>0,263</b>
Base BGS	79	18	23,21	-----	-----	-----	-----	-----
Saibro+Sub-Leito	165	24	14,93	-----	-----	-----	-----	-----
Erro (%)	4,42	8,11	183,37	-----	-----	-----	-----	-----

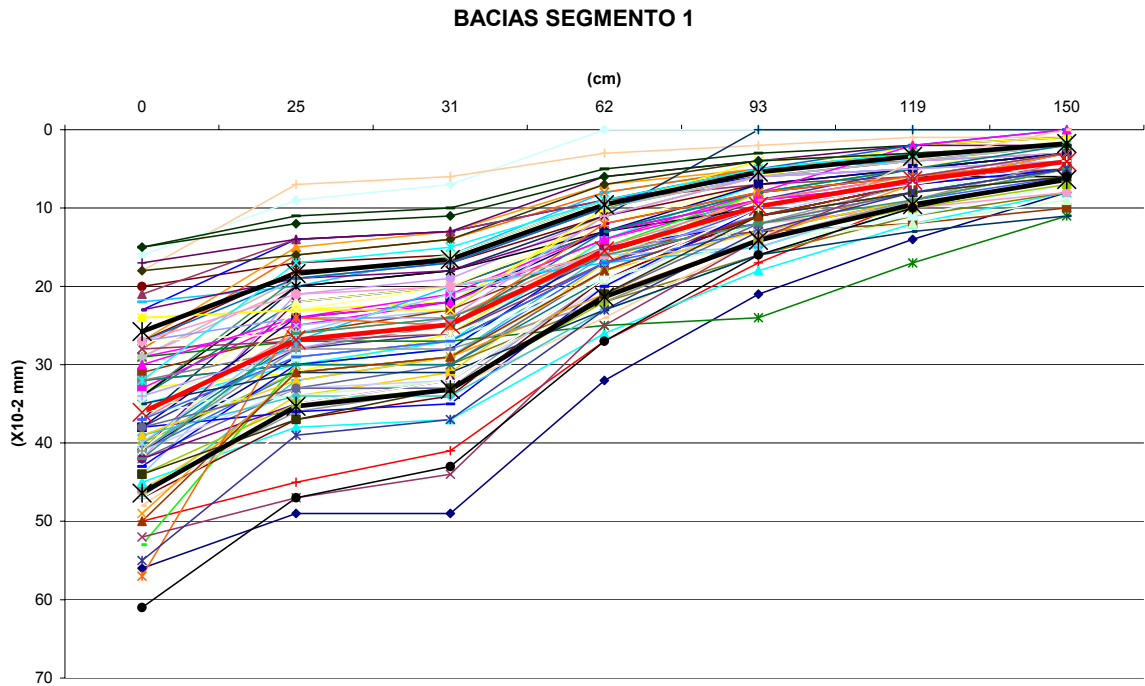
**Quadro 5.5 – Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 3, Dezembro 2001**

SEGMENTO 3 - ENTRE Km 107+320 - 112+000								
Camada	E médio (MPa)	Desvio	Cv (%)	Módulo CUQ Corrigido à 25°C	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_1 \theta^k$ (MPa)	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$ (MPa)	Tensão Horizontal XX / yy - MPa (x=0/x=150mm)	$\Sigma$ Tensões Principais MPa (x=0/x=150 mm)
Capa Asfáltica	7.254	1.954	26,94	5.384				
Reciclagem	501	219	43,69		644	570	0,055 / 0,038	0,290
							0,084 / 0,092	0,247
Base BGS	70	19	27,82					
Saibro+Sub-Leito	125	23	18,96					
Erro (%)	2,33	2,76	118,56					

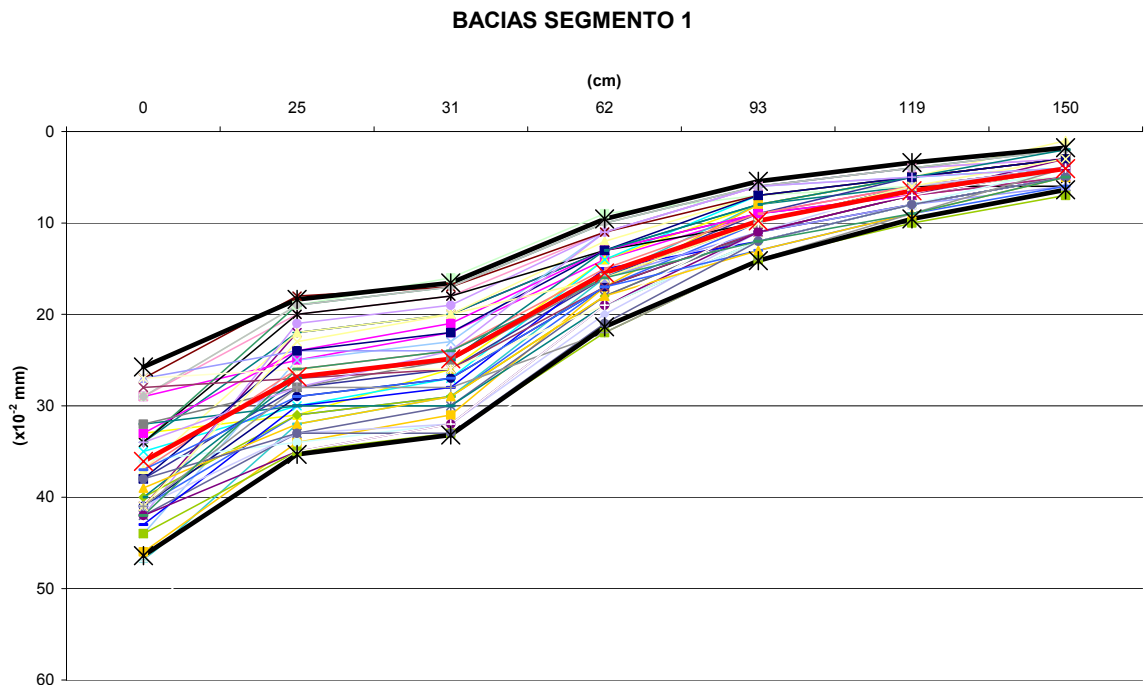
Analisando os resultados, verificaram-se altos coeficientes de variação (CV), valores de módulos da reciclagem ficaram bem inferiores ao esperado, ou seja, o módulo de reciclagem muito abaixo de 2.500 MPa, a base de brita graduada apresentou módulo não compatível com uma rodovia de tráfego pesado como a BR-290/RS, bem aquém do pretendido, e o módulo de sub-leito (saibro+solo), mostrou-se bastante competente. Os módulos de resiliência da reciclagem retroanalisados ficaram com valores bem aproximados dos obtidos em ensaio de laboratório.

### 5.1.2 Resultados das Bacias de Deflexão de Junho de 2002

As bacias de deflexão obtidas através da viga eletrônica apresentaram bastante dispersões, pois, ela não impede que haja algumas distorções de leitura. O ponto de medição da leitura além de ser um ponto pequeno, esta sujeito a registrar qualquer tipo de irregularidade, ou mesmo ser afetado pelo vento. Estas situações estão resolvidas no FWD, então para que haja uma comparação de módulos entre as leituras de dezembro de 2001 e junho de 2002, as bacias medidas em junho de 2002 (Figuras 5.4, 5.6 e 5.8), tiveram um tratamento estatístico, ou seja, foram eliminadas as bacias que se encontraram fora das envoltórias da bacia média  $\pm$  o desvio padrão (Figura 5.5, 5.7 e 5.9).



**Figura 5.4 - Bacias de Deflexão do Segmento 1**



**Figura 5.5 - Bacias de Deflexão do Segmento 1 Tratadas Estatisticamente**



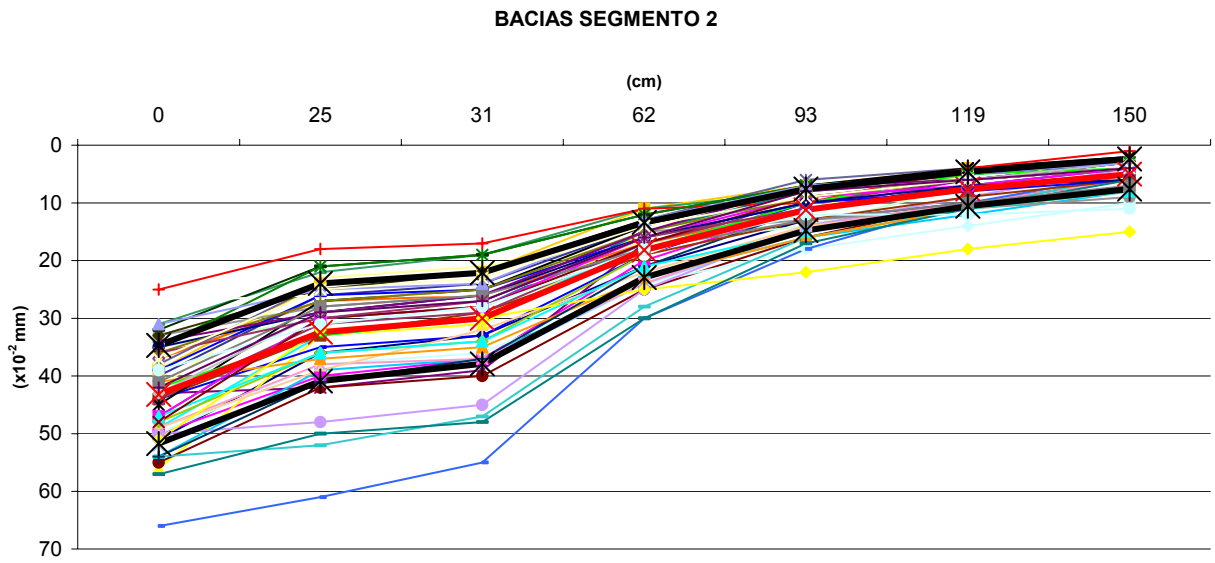


Figura 5.6 - Bacias de Deflexão do Segmento 2

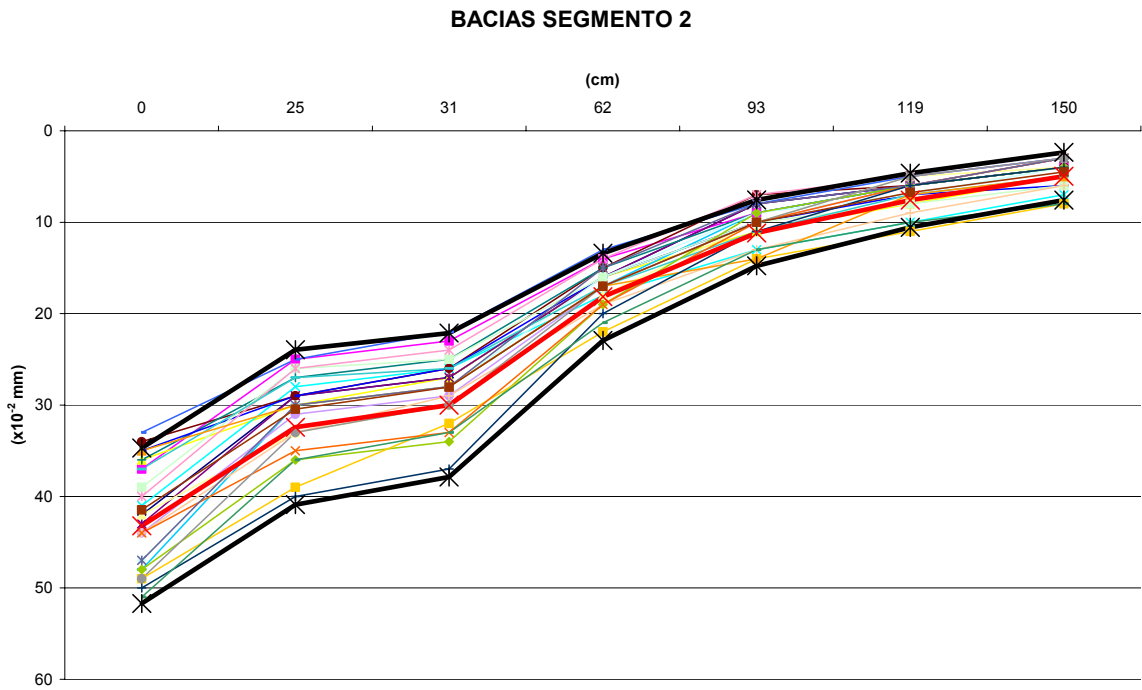
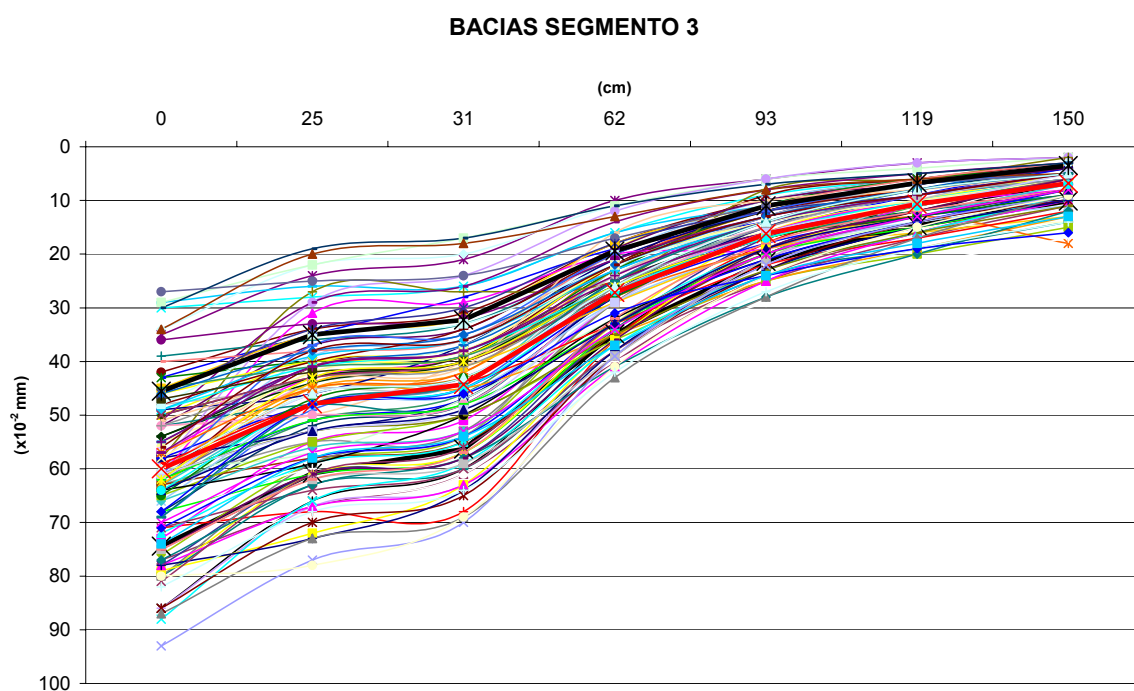
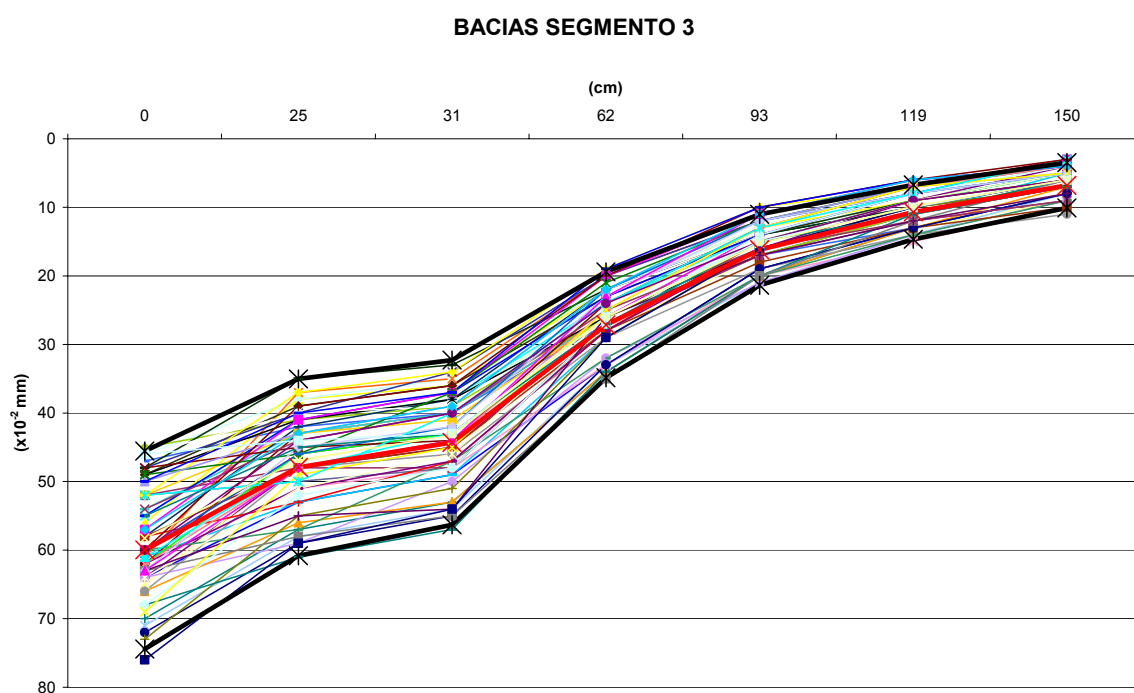


Figura 5.7 - Bacias de Deflexão do Segmento 2 Tratadas Estatisticamente



**Figura 5.8 - Bacias de Deflexão do Segmento 3**



**Figura 5.9 - Bacias de Deflexão do Segmento 3 Tratadas Estatisticamente**

**Quadro 5.6 – Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 1 , Junho de 2002**

SEGMENTO 1 - ENTRE Km 97+400 - 102+320								
Camada	E médio (MPa)	Desvio	Cv (%)	Módulo CUQ Corrigido à 25°C	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_1 \theta^{K_2}$ (MPa)	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$ (MPa)	Tensão Horizontal XX / yy - MPa (x=0/x=150mm)	$\Sigma$ Tensões Principais MPa (x=0/x=150 mm)
Capa Asfáltica	9.587	1.185	12,37	3.890	-----	-----	-----	-----
Reciclagem	981	82	8,44	-----	701	723	0,087 / 0,066	0,364
							0,123 / 0,134	0,306
Base BGS	83	19	23,05	-----	-----	-----	-----	-----
Saibro+Sub-Leito	148	36	24,41	-----	-----	-----	-----	-----
Erro (%)	12,09	7,01	57,98	-----	-----	-----	-----	-----

**Quadro 5.7 – Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 2 , Junho 2002**

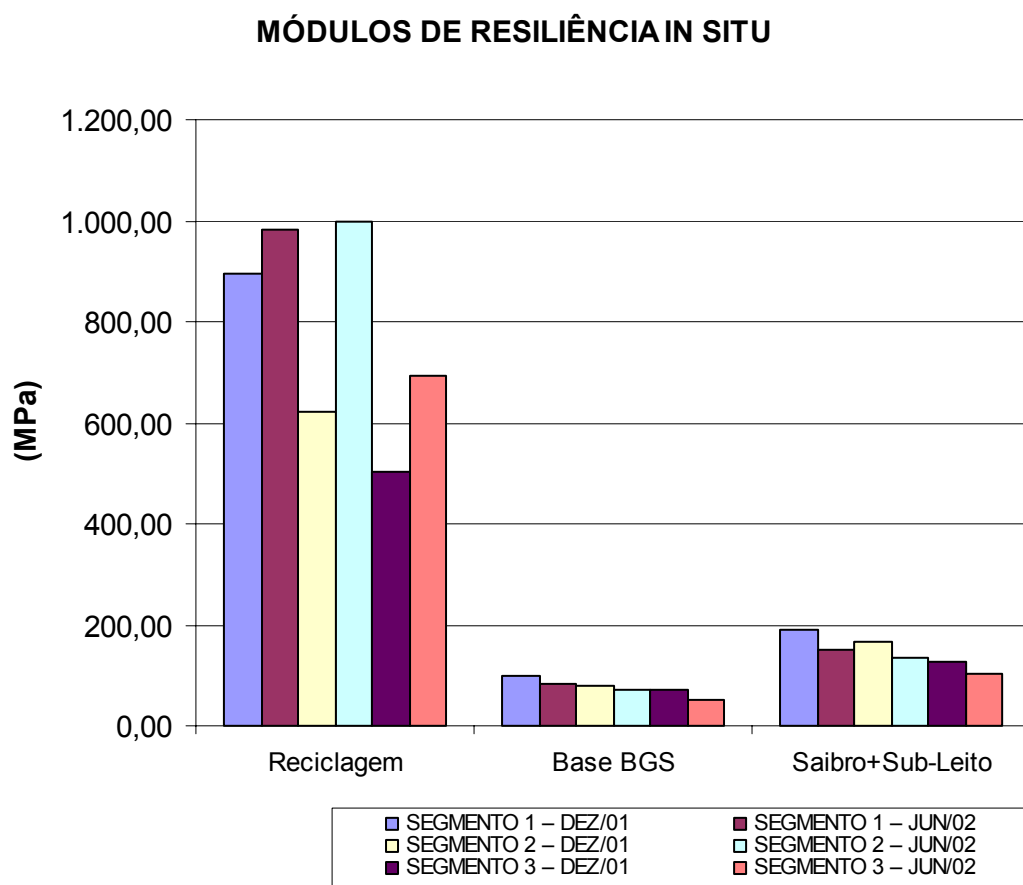
SEGMENTO 2 - ENTRE Km 104+160 - 106+480								
Camada	E médio (MPa)	Desvio	Cv (%)	Módulo CUQ Corrigido à 25°C	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_1 \theta^{K_2}$ (MPa)	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$ (MPa)	Tensão Horizontal XX / yy - MPa (x=0/x=150mm)	$\Sigma$ Tensões Principais MPa (x=0/x=150 mm)
Capa Asfáltica	8.884	2.026	22,81	3.149	-----	-----	-----	-----
Reciclagem	996	16	1,66	-----	710	747	0,093 / 0,072	0,378
							0,130 / 0,141	0,316
Base BGS	70	21	30,82	-----	-----	-----	-----	-----
Saibro+Sub-Leito	136	24	18,09	-----	-----	-----	-----	-----
Erro (%)	8,47	2,68	31,64	-----	-----	-----	-----	-----

**Quadro 5.8 – Resultados da Análise dos Módulos Faixa Externa Segmento 3 , Junho 2002**

SEGMENTO 3 - ENTRE Km 107+320 - 112+000								
Camada	E médio (MPa)	Desvio	Cv (%)	Módulo CUQ Corrigido à 25°C	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_1 \theta^k$ (MPa)	Módulo Reciclagem aplicando Modelo $M_r = K_5 \sigma_3^{K_6}$ (MPa)	Tensão Horizontal XX / yy - MPa (x=0/x=150mm)	$\Sigma$ Tensões Principais MPa (x=0/x=150 mm)
Capa Asfáltica	6.252	2.092	33,47	3.228				
Reciclagem	691	233	33,81		692	709	0,084 / 0,063	0,353
							0,118 / 0,128	0,295
Base BGS	50	0,4	0,83					
Saibro+Sub-Leito	104	8	8,59					
Erro (%)	16,90	6,54	38,74					

### 5.1.3 Comparativo de Resultados de Módulo de Resiliência

Após as avaliações das retro-análises, com o uso do programa Laymod-4, pode se verificar, conforme o gráfico abaixo (Figura 5.10), que houve aumento dos módulos de resiliência das camadas de reciclagem, em contrapartida, como era de se esperar, os módulos das camadas de brita graduada ficaram ligeiramente menores. Constata-se dessa forma a afirmação de vários pesquisadores tal como Joubert et al apud Jenkins (1989) que conduziu um pesquisa sobre areias tratadas com espuma de asfalto e notou um aumento na resistência ao cisalhamento e enrijecimento com o tempo. Desta pesquisa eles concluíram que, como a camada reciclada leva dois anos para desenvolver significativa resistência, a camada de areia tratada com espuma irá trincar e não decrescerão as deflexões neste período, ou seja, o tempo de cura é um dos fatores primordiais no aumento da rigidez da camada reciclada.



**Figura 5.10 Comparativo dos Módulos de Cada Segmento**

## 6 ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL RESTANTE

Resistência à fadiga é um importante fator na determinação da capacidade estrutural das camadas de pavimento tratadas com espuma de asfalto. Misturas de espuma de asfalto tem características mecânicas que estão entre as características de estruturas granulares e estruturas cimentadas. Bissada apud K M Muthen (1987) considera que as características de fadiga de espuma de asfalto será dessa forma, inferior daquela de materiais de mistura asfáltica a quente. Little *et al* apud K M Muthen (1983) provou esta evidência quando ele mostrou que certas misturas de espuma de asfalto exibiam respostas inferiores que a de misturas asfálticas convencionais ou misturas granulares com emulsão de alta qualidade. Estes achados são contraditórios aos resultados de aproximação adotados por Macarrone *et al* apud K M Muthen (1993) que sugerem que as características de fadiga de espuma de asfalto são similares aquelas de misturas de asfalto a quente.

Neste capítulo serão feitos cálculos para se estimar a vida útil da camada reciclada da Rodovia BR-290 entre os km 97,40 e km 112,6. A vida útil será avaliada através do programa computacional Pavesys9.

### 6.1 VERIFICAÇÃO DOS MÓDULOS RESULTANTES DO LAYMOD4

Os dados de módulo das camadas, foram os apresentados pelas retroanálises do programa Laymod4 e verificados através das deflexões das bacias médias de cada segmento.

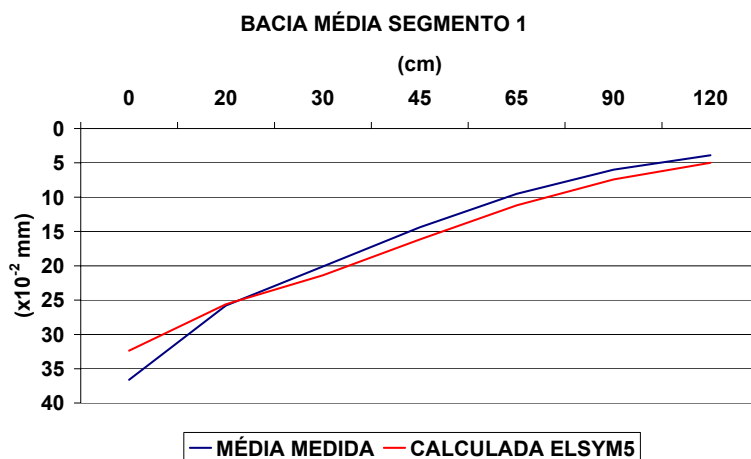
Nos quadros abaixo estão os dados de entrada do programa Elsym5, segundo os segmentos e conforme data de medição das bacias deflectométricas.

**Quadro 6.1 - Dados Pertinentes a Todas Análises**

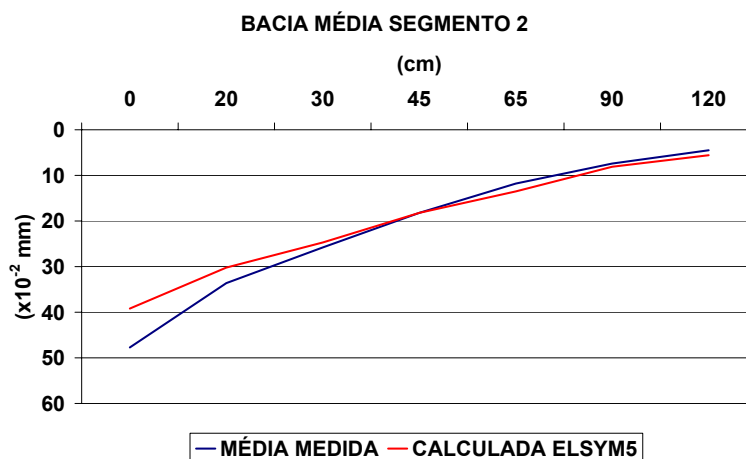
Nº DE CARGAS	CARGA POR RODA	PONTOS DE APLICAÇÃO	PRESSÃO DE CONTATO
2	20.500N	X=0; Y=0 / X=300mm; y=0	0,56MPa (80psi)

### 6.1.1 Resultados para Medições de Dezembro de 2001

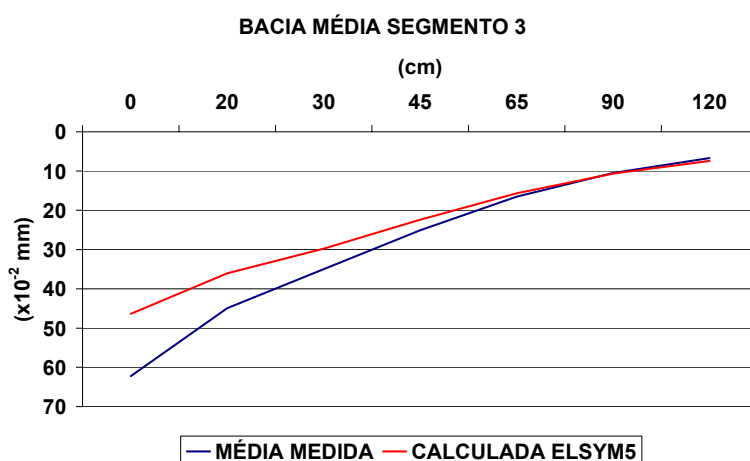
Nos gráficos das Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 estão demonstradas as aproximações da bacia média de cada um dos segmentos, conforme Quadro 5.1 estudados com a bacia encontrada através do Elsym5.



**Figura 6.1 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 1**



**Figura 6.2 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 2**



**Figura 6.3 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 3**

**Quadro 6.2 - Resultados Tensões Horizontais para Medições de Dezembro de 2001 – Segmento 1**

Prof. (mm)	X (mm)	$\varepsilon_{XX}$ ( $\mu$ strain)	$\varepsilon_{YY}$ ( $\mu$ strain)	$\sigma_{XX}$ (MPa)	$\sigma_{YY}$ (MPa)
50	0	71,67	94,53	0,844	1,018
50	150	-68,28	82,11	-0,535	0,607

Observações:

1. Para as tensões e deformações específicas o sinal “+” indica tração e “-” compressão.
2. Os valores pintados são os críticos para a verificação mecânica.

**Quadro 6.3 - Resultados de Tensões Horizontais para Medições de Dezembro de 2001 – Segmento 2**

Prof. (mm)	X (mm)	$\varepsilon_{XX}$ ( $\mu$ strain)	$\varepsilon_{YY}$ ( $\mu$ strain)	$\sigma_{XX}$ (MPa)	$\sigma_{YY}$ (MPa)
50	0	100,70	134,50	0,962	1,166
50	150	-87,94	118,30	-0,521	0,721



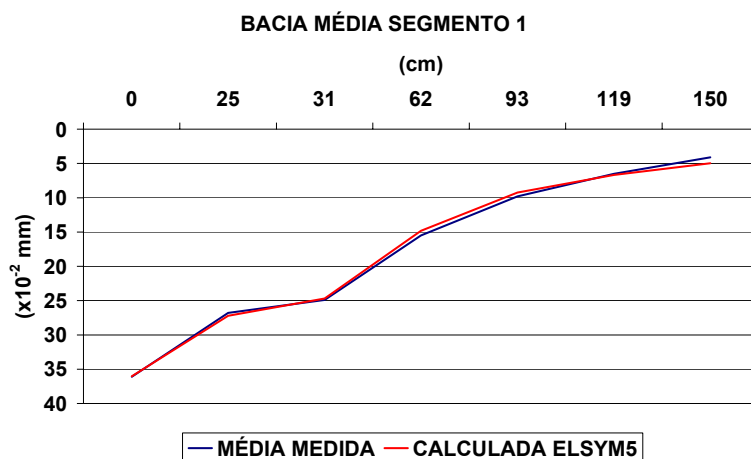
**Quadro 6.4 - Resultados de Tensões Horizontais para Medições de Dezembro de 2001 – Segmento 3**

Prof. (mm)	X (mm)	$\varepsilon_{XX}$ ( $\mu$ strain)	$\varepsilon_{YY}$ ( $\mu$ strain)	$\sigma_{XX}$ (MPa)	$\sigma_{YY}$ (MPa)
50	0	118,50	160,40	1,115	1,358
50	150	-95,16	142,70	-0,515	0,8651

Cabe observar nos Quadros acima que, as tensões de tração gerada na fibra inferior da capa asfáltica, segundo análise do programa Elsym5, e que conforme verificado no ensaio de análise de resistência à tração indireta no Quadro 4.3, as mesmas estão apresentando valores superiores aos da tensão máxima ensaiada, ou seja, comprova-se dessa forma o que gerou o trincamento na capa asfáltica devido ao seu enrijecimento excessivo devido a condição do ligante.

### 6.1.2 Resultados para medições de junho de 2002

Nos gráficos das Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 estão demonstradas as aproximações da bacia média de cada um dos segmentos estudados, conforme Quadro 5.2 com a bacia encontrada através do Elsym5.



**Figura 6.4 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 1**

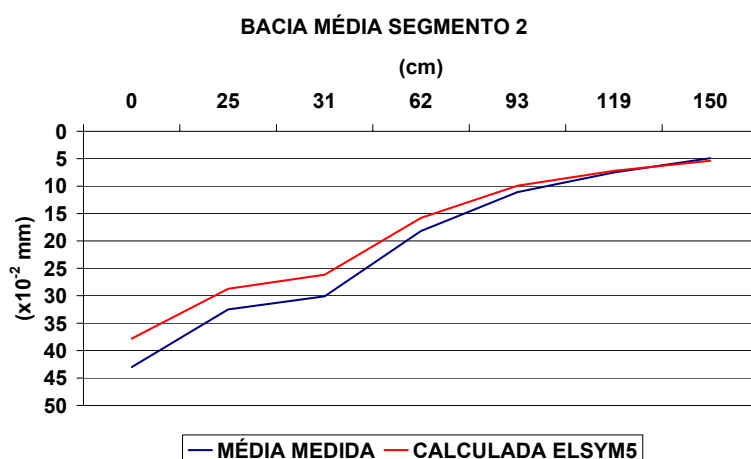


Figura 6.5 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 2

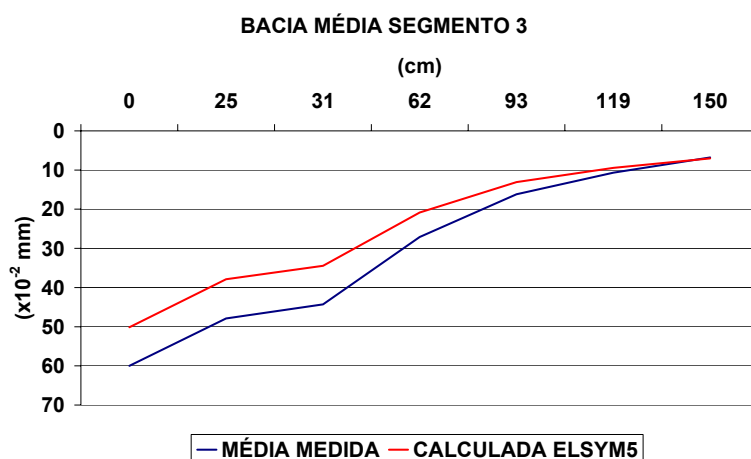


Figura 6.6 - Comparativo Bacia Medida em Campo e Calculada pelo ELSYM5 do Segmento 3

Quadro 6.5 - Resultados de Tensões Horizontais para Medições de Junho de 2002 – Segmento 1

Prof. (mm)	X (mm)	$\varepsilon_{XX}$ ( $\mu$ strain)	$\varepsilon_{YY}$ ( $\mu$ strain)	$\sigma_{XX}$ (MPa)	$\sigma_{YY}$ (MPa)
50	0	65,96	86,44	0,773	0,930
50	150	-66,31	74,52	-0,5374	0,542

**Quadro 6.6 - Resultados de Tensões Horizontais para Medições de Junho de 2002 – Segmento 2**

Prof. (mm)	X (mm)	$\varepsilon_{XX}$ ( $\mu$ strain)	$\varepsilon_{YY}$ ( $\mu$ strain)	$\sigma_{XX}$ (MPa)	$\sigma_{YY}$ (MPa)
50	0	65,14	84,60	0,693	0,831
50	150	-70,24	72,17	-0,543	0,468

**Quadro 6.7 - Resultados de Tensões Horizontais para Medições de Junho de 2002 – Segmento 3**

Prof. (mm)	X (mm)	$\varepsilon_{XX}$ ( $\mu$ strain)	$\varepsilon_{YY}$ ( $\mu$ strain)	$\sigma_{XX}$ (MPa)	$\sigma_{YY}$ (MPa)
50	0	91,13	117,70	0,6782	0,811
50	150	-103,00	99,53	-0,570	0,442

## 6.2 CÁLCULO DA VIDA ÚTIL ATRAVÉS DO PROGRAMA PAVESYS9

O Pavesys9 é um programa para computador para análise de comportamento da vida útil, tanto no aspecto funcional como no estrutural, para pavimentos novos como recuperados. São utilizados modelos mecanístico-empíricos para a verificação de desempenho. O programa fornece uma análise inicial da seção do pavimento através de métodos empíricos. No caso de pavimentos rodoviários, aplica-se o Método do DNER(atual DNIT) e o Guia de Projeto de Pavimentos da AASHTO.

Após a análise inicial o Pavesys9, faz uma análise estrutural do pavimento (cálculo das tensões e deformações aplicadas pelas cargas do eixo à estrutura, em cada estação climática). A próxima etapa do programa é o cálculo da perda gradual de serventia do pavimento com o tempo (desempenho funcional, relativo à irregularidade longitudinal) juntamente com a contribuição relativa de cada camada nas deformações plásticas sofridas pela estrutura sob a ação das cargas repetidas do tráfego, ao mesmo tempo em que é calculada a evolução de área trincada (TR) e dos afundamentos em trilha de roda (ATR) com o tempo, descrevendo o desempenho estrutural do pavimento.

### 6.2.1 Dados de Entrada no Pavesys9

Apresenta-se a seguir no Quadro 6.8, os dados comuns à todas verificações com o

Pavesys9 nos segmentos analisados até então:

**Quadro 6.8 - Dados Relativos as Verificações com o PAVESYS9**

Tipo de Pavimento		Rodoviário
Tipo de Estrutura		Pavimento flexível
Número Total de Camadas		4
Velocidade operacional do veículos comerciais (Km/h)		80
Número total de camadas asfálticas		2
Volume diário médio de veículos comerciais		1.500
Tráfego de Projeto AASHTO (1 ANO)		4,95 x 10 <sup>6</sup>
Tráfego de Projeto USACE (1 ANO)		1,64 x 10 <sup>7</sup>
Distancia transversal entre rodas		28,8
Valor de Serventia Inicial (PSI) (Capa Restaurada)		4,0
Valor de Serventia Final (PSI) (Capa Restaurada)		2,0
ESTAÇÕES CLIMÁTICAS	JAN	23,6°C
	FEV	23,9°C
	MAR	23,8°C
	ABR	19,7°C
	MAI	17,6°C
	JUN	12,2°C
	JUL	12,8°C
	AGO	15°C
	SET	15°C
	OUT	17,5°C
	NOV	19,2°C
	DEZ	22,3°C

O programa Pavesys9 oferece a possibilidade de fazer a análise como pavimento recuperado, mas como não há capa asfáltica remanescente, que elimina a possibilidade de camadas com trincamento a se propagar, e se conhecendo os módulos de todas as camadas contribuintes, a opção de pavimento flexível novo é que melhor se adequa.

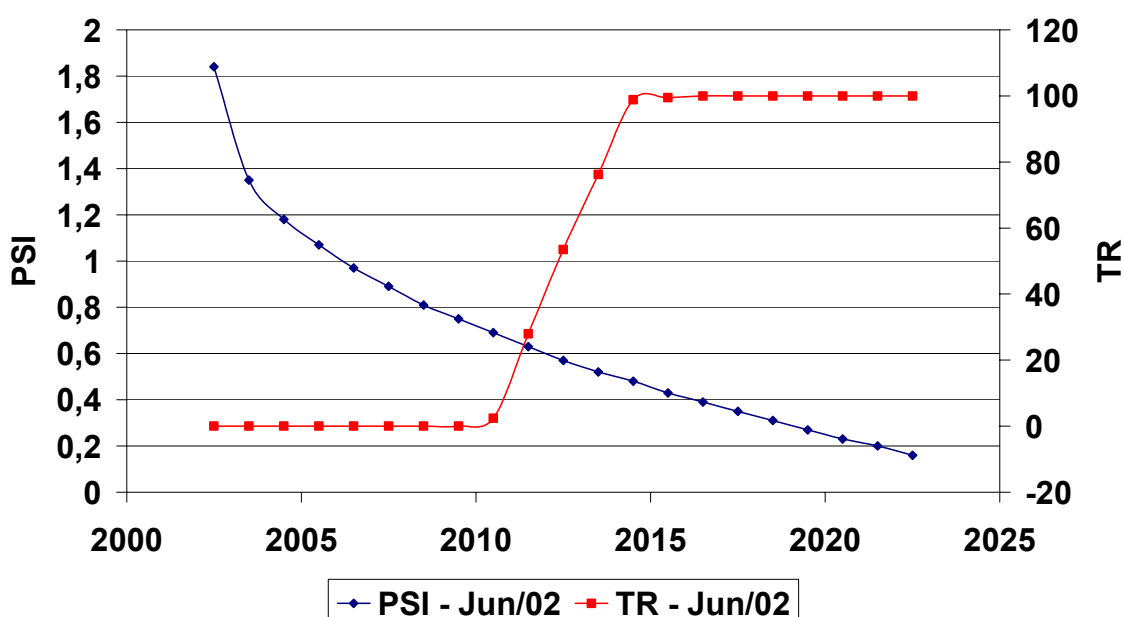
A capa asfáltica considerada para análise no PAVESYS9 tem as características, conforme Quadro 6.9 abaixo.

**Quadro 6.9 - Propriedades da Mistura Asfáltica Analisada no PAVESYS9**

Volume de vazios de ar (% da Mistura Total)	4,00
Teor de asfalto (% em peso da mistura total)	5,50
Penetração do asfalto a 25°C (0,1 mm)	50,00
Diametro máximo dos agregados (mm)	19,05
Fino dos agregados (% < #200)	7,00
Estabilidade Marshall da mistura (kgf)	1.000,00
Fluência Marshall da mistura (mm)	3,00
Resistencia à tração em compressão diametral a 25°C (MPa)	0,847
Módulo de resiliência em compressão diametral a 25° C (MPa)	3.597

A mudança dos dados de capa asfáltica deteriorada por uma com condições de vida de fadiga aceitável pelo projeto, se justifica pelo fato de verificar-se o seu comportamento de perda de Serventia Atual com o tempo, e que a condição estrutural tem pouca variação em se considerando uma ou outra, conforme demonstram as Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 em comparação com as Figuras 6.10, 6.11 e 6.12, respectivamente, que relacionam a condição funcional (PSI-Serventia Atual) com a condição estrutural (TR-Área de Trincamento) de cada segmento, considerando o levantamento de Junho de 2002. Embora os módulos das camadas inferiores a da capa asfáltica, teoricamente tenham alteração, devido a alteração do módulo da capa asfáltica, a ordem de grandeza não representa ser de grande magnitude, haja visto que o nível tensões que chegam as camadas inferiores é praticamente o mesmo.

### SEGMENTO 1 - s/ trocar capa



**Figura 6.7 - Gráfico de Desempenho do Pavimento do Segmento 1 com Condições de Capa Atuais**

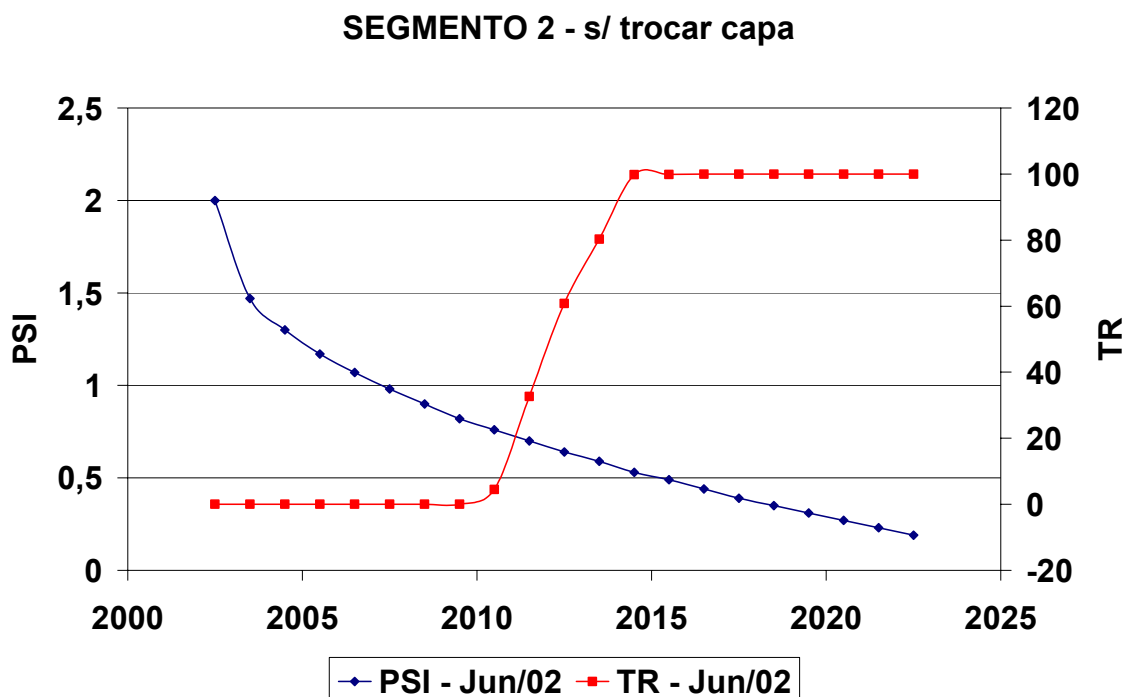


Figura 6.8 - Gráfico de Desempenho do Pavimento do Segmento 2 com Condições de Capa Atuais

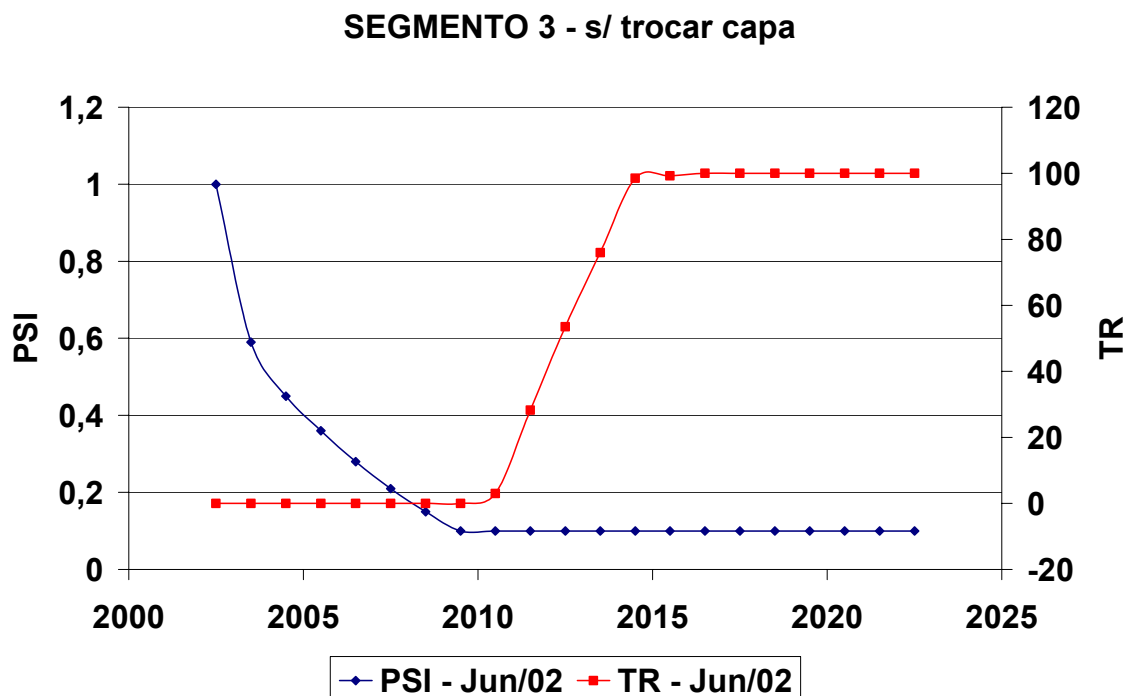


Figura 6.9 - Gráfico de Desempenho do Pavimento do Segmento 2 com Condições de Capa Atuais

## 6.2.2 Dados Relativos as Medições de Dezembro de 2001

Além dos dados acima foram introduzidos os dados de espessura(cm), Tipo de material, módulo de resiliência (MPa) e CBR de cada camada conforme Quadro abaixo.

**Quadro 6.10 - Dados das Camadas dos Segmentos Homogeneos para Análise no PAVESYS9 - Dez/01**

SEGMENTO 1				
	Espessura (cm)	Módulo Resiliência (MPa)	TIPO	CBR
CAMADA 2	16	893	PMF	
CAMADA 3	40	97	BG	57
CAMADA 4	450	191	GC	58
SEGMENTO 2				
CAMADA 2	16	623	PMF	
CAMADA 3	29	79	BG	47
CAMADA 4	450	165	GC	50
SEGMENTO 3				
CAMADA 2	17	501	PMF	
CAMADA 3	28	70	BG	41
CAMADA 4	450	125	SC	31

Nota-se no Quadro 6.10 acima a indicação da camada de reciclagem como PMF, pois os comportamentos elásticos (Módulo de Resiliência) se assemelharam a de um PMF e para as camadas de saibro + sub-leito o material apresenta bastante heterogeneidade ao longo do trecho, nas sondagens à época da execução da reciclagem foi notado pelo pessoal de campo uma concentração de saibro de cor amarela no trecho entre o Km 107 e Km 112(segmento 3) e nos outros trechos de saibro de cor rósea. Segundo análise granulométrica o saibro de cor rosa tem em sua granulometria mais de 50% de material retido na peneira nº 4 e entre 12% a 16% passando na peneira nº 200, caracterizando segundo o Sistema Unificado de Casagrande (Unified Soil Classification System – ASTM D2487) como solo de granulação grossa “GC”, e o saibro de cor amarela tem em sua granulometria menos de 50% de material retido na peneira nº 4 e de 18% a 30% de material passando na peneira nº 200, caracterizando segundo o Sistema Unificado de Casagrande (Unified Soil Classification System – ASTM D2487)

como solo de granulação grossa “SC”.

### 6.2.3 Dados Relativos as Medições de Junho de 2002

Demonstra-se no Quadro 6.11 abaixo os dados de entrada relativos as medições de deflexões em junho de 2002.

**Quadro 6.11 - Dados das Camadas dos Segmentos Homogeneos para Análise no PAVESYS9 - Jun/02**

SEGMENTO 1				
	Espessura (cm)	Módulo Resiliência (MPa)	TIPO	CBR
CAMADA 2	16	981	PMF	
CAMADA 3	40	83	BG	49
CAMADA 4	450	148	GC	45
SEGMENTO 2				
CAMADA 2	16	996	PMF	
CAMADA 3	29	70	BG	41
CAMADA 4	450	136	GC	41
SEGMENTO 3				
CAMADA 2	17	691	PMF	
CAMADA 3	28	50	BG	29
CAMADA 4	450	104	SC	26

### 6.2.4 Resultados de Avaliação do Pavesys9

Os resultados serão apresentados em forma de gráficos para análise de vida útil, mostrando um comparativo de análise funcional (valor de serventia - PSI) e de análise estrutural (Porcentagem de Área Trincada – TR) e Tabelas mostrando a contribuição de Afundamento de Trilha de Roda de cada camada.



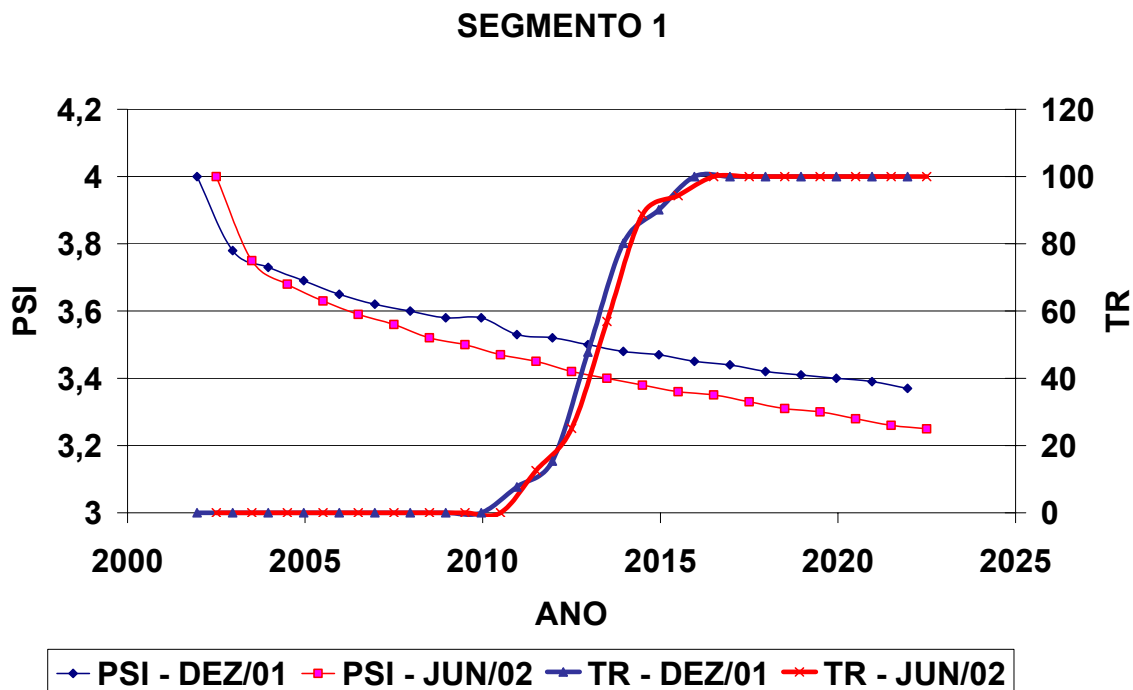


Figura 6.10 - Gráfico Comparativo de PSI e TR entre Dez/01 e Jun/02 – Segmento 1

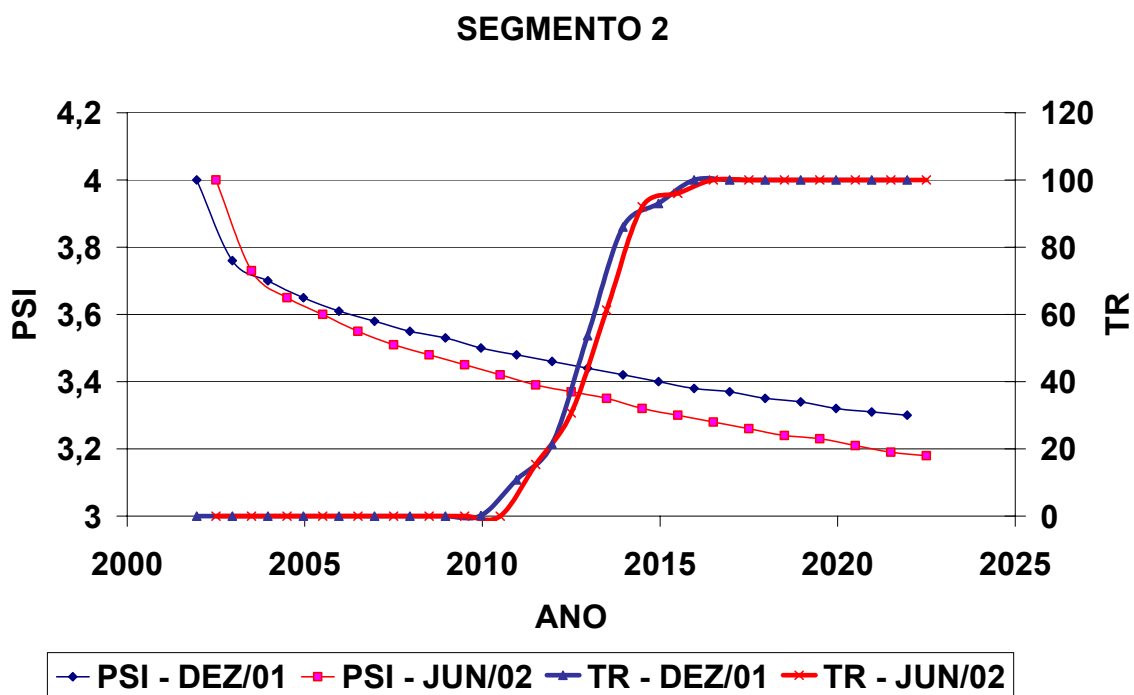


Figura 6.11 - Gráfico Comparativo de PSI e TR entre Dez/01 e Jun/02 – Segmento 2

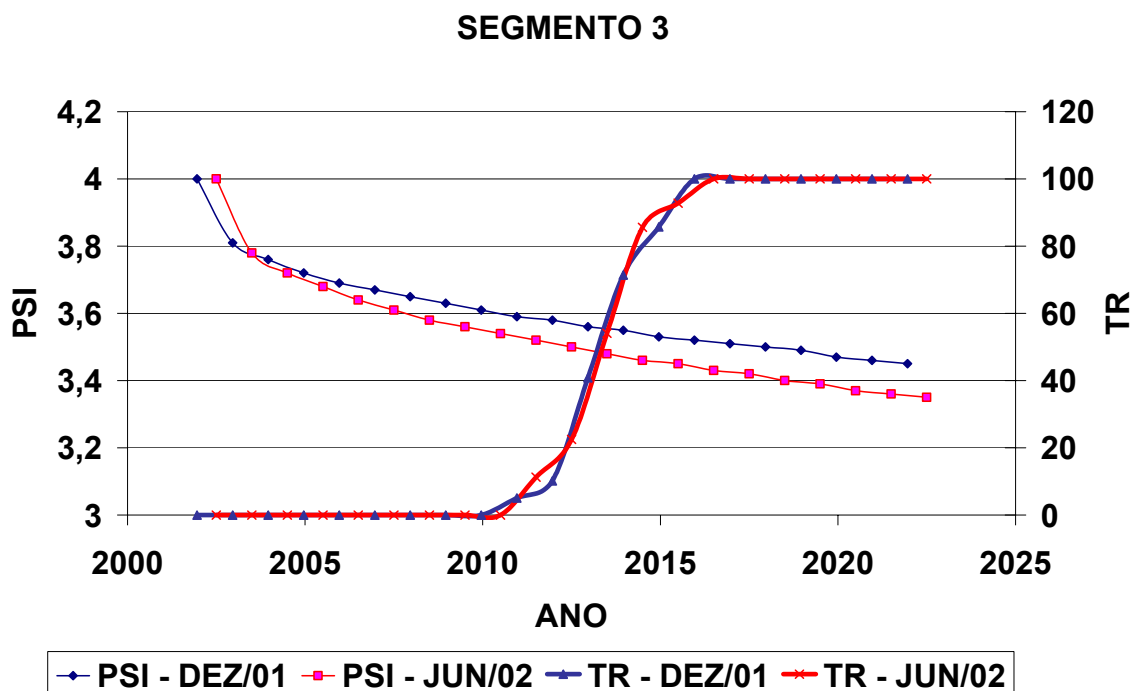


Figura 6.12 - Gráfico Comparativo de PSI e TR entre Dez/01 e Jun/02 – Segmento 3

Quadro 6.12 - Resultado de Verificação Conforme Método da AASHTO e DNER

	SN - Número Estrutural	VIDA DE SERVIÇO (AASHTO) anos	DNER
Segmento 1 - Dez/01	4,48	31	>20 ANOS
Segmento 1 - Jun/02	4,22	11	>20 ANOS
Segmento 2 - Dez/01	4,00	10	>20 ANOS
Segmento 2 - Jun/02	3,85	5	>20 ANOS
Segmento 3 - Dez/01	4,02	6	>20 ANOS
Segmento 3 - Jun/02	3,61	2	>20 ANOS

**Quadro 6.13 - Demonstrativo de Contribuição de Cada Camada para o Afundamento de Trilha de Roda**

	CAMADAS	CONTRIBUIÇÃO DAS CAMADAS EM ATR (%) - Dez/01	CONTRIBUIÇÃO DAS CAMADAS EM ATR (%) - Jun/02
Segmento 1	Capa Asfáltica	12,7	10,4
	Reciclagem	27,1	22,5
	Brita Graduada	25	24,8
	Saibro + Solo	35	42,1
Segmento 2	Capa Asfáltica	11,2	9,49
	Reciclagem	23,9	20,3
	Brita Graduada	22,7	21,7
	Saibro + Solo	42	48,3
Segmento 3	Capa Asfáltica	14,7	12,1
	Reciclagem	32,3	26,9
	Brita Graduada	32,4	43,5
	Saibro + Solo	20,5	17,2

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões que permitiram que se chegasse após análises do comportamento da reciclagem através de dados coletados em campo e algumas sugestões para futuras pesquisas.

### 7.1 CONCLUSÕES

- 1) A reciclagem com espuma de asfalto é uma boa alternativa de recuperação de pavimento, desde que a recuperação seja devidamente projetada e bem executada.
- 2) Verificou-se a forte influência da água no processo. As propriedades da mistura reciclada são dependentes do somatório da umidade da espuma, da umidade “in situ” do pavimento antes da reciclagem, e da água de infiltração.
- 3) O índice de espuma FI elaborado por Jenkins (2000), não garante totalmente a condição de espuma de boa qualidade, pois, no caso da reciclagem na Rodovia BR-290/RS este índice esteve sempre acima do mínimo esperado de 180, mas devido a grande quantidade de água, a espuma teve principalmente no Segmento 3 (entre km 107+320 ao km 112+000), a vida média entre 9 e 10 e a taxa de expansão entre 20 e 25. Segundo Jenkins (2000) para reciclagem de pavimento o valor mínimo desejável para meia-vida é de 13 segundos e a taxa mínima desejável é de 17, ou seja no momento da mistura a espuma com baixa vida média não se propaga de forma homeogênea, e ainda o filme de betume fica extremamente fino devido ao seu alongamento (além de seu limite de ductilidade), provocando a ruptura precoce.
- 4) O cálculo da umidade total (umidade “in situ” + umidade para formar espuma), deve ser previamente realizado sabendo-se exatamente qual é a umidade no trecho a ser reciclado. Conclui-se que devem ser executadas sondagens pelo menos a cada 500 metros, para obtenção da umidade “in situ” para evitar o que ocorreu no trecho do segmento 3 (entre km 107+320 e km 112+000). Comprova-se segundo vários autores como Jenkins(2000), Collings *et al* (2002) que a umidade da mistura deve ficar entre

70% a 100% da umidade ótima, preferencialmente no máximo a 85% da umidade ótima. Ainda com relação a umidade, o manual “O projeto e uso de materiais tratados com espuma de asfalto” do Asphalt Academy, aconselha a fazer a capa selante após os 10cm do topo da camada reciclada atingir 50% da umidade ótima, ou uma semana dependendo das condições regionais.

- 5) O ensaio de laboratório de módulo de resiliência da camada reciclada, deve ser feito como se ensaia material granular, ou seja, sob estado triaxial de tensões de compressão. As retro-análises, bem como o ensaio triaxial demonstraram a dependência do material reciclado a este estado de tensões.
- 6) Os modelos  $K-\theta$  e  $K-\sigma_3$ , representam bem o comportamento elástico da reciclagem. Os parâmetros  $K_2$  e  $K_6$  que representam a dependência do módulo de resiliência com relação ao estado de tensões, são praticamente os mesmos.
- 7) O efeito da cura do material reciclado ficou bem evidenciado nos módulos resultantes após aproximadamente 1 ano do término da execução da reciclagem, pois o aumento médio de rigidez ficou em torno de 20 a 30%. Outra evidência, da melhoria do comportamento do pavimento passado seis meses de cura, é o reflexo na tensão de tração gerada na fibra inferior da capa asfáltica que passou de uma média de 1,18MPa para 0,857MPa e conseqüentemente a deformação específica passou de 129,81  $\mu$  strains para 96,24  $\mu$  strains.
- 8) O segmento 3 foi o trecho que apresentou a maior evidência da combinação de fatores, que possivelmente justificam a não obtenção do comportamento esperado do pavimento recuperado. O afundamento de trilha de roda precoce se deve a maior quantidade de água do que a necessária no momento da mistura da reciclagem, em torno de 25%, e como a reciclagem no período de cura elimina a água excedente dando espaço à vazios, a camada adensou, provocando afundamento de trilha de roda variando de 3 a 5cm. A camada de brita graduada apresentava um módulo médio de aproximadamente 70 MPa, que após o enrijecimento da camada reciclada diminuiu para 50 MPa verificando através da avaliação da previsão de desempenho pelo Pavesys9 sendo o maior contribuinte para afundamento de trilha de roda.

- 9) Embora não seja o objetivo dessa dissertação, há de se verificar a rápida perda do ponto de penetração do asfalto na capa asfáltica, como pode se observar nos ensaios de módulo de resiliência no laboratório realizados em maio de 2001 e em março de 2002 (Quadros 4.2 e 4.3), devido a este enrijecimento foi propiciado a geração de tensões na fibra inferior acima da capacidade de resistência da mistura. No estudo que a ABCR – Associação das Concessionárias Rodoviárias, solicitou à Imperpav Engenharia, está comprovado o rápido envelhecimento do CAP, obtido nas principais refinarias do Brasil, cito este estudo para lembrar a reciclagem com espuma de asfalto assim como a capa asfáltica dependem da penetração do CAP.
- 10) O comportamento elástico da camada reciclada na BR-290/RS, é um comportamento intermediário entre material de camada granular e mistura asfáltica, pois o seu módulo de resiliência oscilou entre 650 MPa a 900 MPa, que é maior que o de uma brita graduada convencional, e com resistência à tração de 0,4 a 0,8 MPa, equivalente a uma mistura asfáltica.
- 11) O uso do programa LAYMOD4, para elaboração de bacias retro analisadas, comprovou sua confiabilidade no tratamento de dados obtidos através do Falling Weight Deflectometer e também de dados obtidos através da viga eletrônica.

## 7.2 SUGESTÕES

Com a finalidade de complementar o estudo apresentado nesta dissertação, sugere-se:

- 1) Analisar o comportamento de misturas recicladas com espuma de asfalto, em materiais granulares tal como brita graduada ou solo estabilizado granulometricamente, com reciclagem in situ, e quando disponível no Brasil usinadas em usina com câmara de misturador com injeção de espuma de asfalto, pois há pouca bibliografia a respeito do comportamento de reciclagem com espuma de asfalto com materiais e condições climáticas do Brasil.
- 2) Estudar o comportamento quanto à deformação permanente em camadas recicladas com espuma de asfalto.

- 3) Analisar o efeito do envelhecimento do ligante em uma mistura reciclada, pois há alguns fatores que contribuem para o contato do ligante com o ar e a água, como o processo de mistura e de cura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERROYD F. M. L. e HICKS B. J. Foamed Bitumen Recycling. **Highways January 1988**, p. 42-45. Disponível em:  
<<http://asphalt.csir.co.za/FArefs/Akeroyd%20&%20Hicks.pdf>>.
- ASPHALT ACADEMY – The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials: INTERIM TECHNICAL GUIDELINES TG2, 95p.
- BOWERING R. H. e MARTIM C. L. **Production and Application of Mixtures Evaluation and Performance of Pavements**, p.453-477. Disponível em:<<http://asphalt.csir.co.za/FArefs/Bowering%20&%20Martin.pdf>>.
- CASAGRANDE, F. L. **Estudo da Influência do Teor de Finos na Condutividade Hidráulica e deformabilidade Elástica de Britas**. Dissertação de Mestrado (UFRGS), Porto Alegre, 2003.
- CERATTI, J. A. e GONÇALVES, F. P. Projeto de Restauração do Pavimento da rodovia BR-290, Trecho Porto Alegre-Eldorado do Sul. Porto Alegre: LAPAV, 2001. 41 p. Relatório Técnico.
- CERATTI, J. A. Projeto Final de Engenharia de Restauração Rodoviária (versão 1), Trecho Porto Alegre-Eldorado do Sul. Porto Alegre: LAPAV, 2002. 39 p. Relatório Técnico.
- CSIR TRANSPORTEK, Foamed Asphalt Mixes/Mix Design Procedure: **CR-98/077**, 31p. Disponível em:<<http://asphalt.csir.co.za/foamasph/foamasph.pdf>>.
- DAMA M., CASAGRANDE F. L., GONÇALVES F. P. e CERATTI, J. **Aplicação de Reciclagem a Frio com Espuma de Asfalto na Restauração da BR-290 no Trecho Eldorado do Sul a Porto Alegre**. 33ª Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis, 2001.



DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM **Pavimentação – reciclagem `a frio “in situ” com espuma de asfalto**. DNER, 1ªEdição, Riode Janeiro, 2000

FRAENKEL, B. B. **Engenharia Rodoviária**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. p. 107-112.

JENKINS K. J., VAN DE VEN M. F. C. e GROOT J. L. A. Characterisation of Foamed Bitumen. In: Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 7, XXX, 1999.

Disponível em:

<<http://asphalt.csir.co.za/Farefs/CAPSA%20'99%20Jenkins%20100.pdf>>.

JENKINS K. J., Mix Design Considerations for Cold and Half-Warm Bituminous Mixes With Emphasis on Foamed Bitumen. Stellenbosch: University of Stellenbosch, 2000, 366p., (Tese de Pós-Doutorado).

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 1997, 380 p.

NUÑEZ, W. P. **Estabilização Físico-Química de um Solo Residual de Arenito Botucatu, Visando seu Emprego na Pavimentação**. Dissertação de Mestrado (UFRGS), Porto Alegre, 1991.

PINTO, S. e PREUSSLER, E. Pavimentação Rodoviária. Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 2001, 259 p.

ROBERTS F. L., ENGELBRECHT J. C. e KENNEDY T. W. **Evaluation of recycled Mixtures Using Foamed Asphalt**, p. 78-85. Disponível em:<<http://asphalt.csir.co.za/FArefs/Roberts%20et%20al.pdf>> Acesso em: 02 mar. 2003.

ROCHA FILHO, N. R. **Estudo de Técnicas para Avaliação de Pavimentos por meio de Levantamentos Deflectométricos**. Dissertação de Mestrado (ITA), 1996.

RODRIGUES, R. M. **Apostila Sistema de Gerência de Pavimentos Parte II**. Porto Alegre: Pavesys Engenharia, 2001. 154p

SALTHÉ J. E., GIAMPAGLIA H. R. e JÚNIOR A. F. Avaliação de Cimentos Asfálticos de Petróleo para Emprego em Pavimentação, IMPERPAV ENGENHARIA: São Paulo, 2003. 25p.

WIRTGEN GmbH, **Manual de Reciclagem a Frio Wirtgen**. São Paulo, 1988, 171p. Manual Técnico.

WALT, V. D. N., BOTHA P., SEMMELINK C., BLOEMFONTEIN F. E. e SALMINEN N. The Use of Foamed Bitumen in Full-Depth In-Place Recycling of Pavement Layers Illustrating the Basic Concept of Water Saturation In The Foam Process, 23p.. In: Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 7, XXX, 1999. Disponível:<<http://asphalt.csir.co.za/FArefs/CAPSA%20'99%20vd%20Walt.pdf>>.

WIRTGEN GmbH, **Rehabilitation of a Heavily Trafficked Road** – Pavement Investigation and Construction Report. Windhagen, 2001, 45p.. Manual Técnico.

WYCK A. V., YODER E. J. e WOOD L. E. Determination of Structural Equivalency Factors of Recycled Layers by Using Field Data, p. 122-132. Disponível em:<<http://asphalt.csir.co.za/FArefs/v%20Wyk%20et%20al.pdf>>.

## **ANEXO – A**

### **RELATÓRIO DE DOSAGEM COPAVEL**

**CONCEPA**  
**CONCESSIONÁRIA DA RODOVIA OSÓRIO - PORTO**  
**ALEGRE**

**ESTUDO DE ESPUMA DE ASFALTO**

Rodovia: BR-290

Trecho: Osório – Porto Alegre

MARÇO – 2001

# SUMÁRIO

## **1. APRESENTAÇÃO**

## **2. AMOSTRAS RECEBIDAS NO LABORATÓRIO**

## **3. MISTURA DE AGREGADOS**

## **4. DEFINIÇÃO DO TEOR DE CAP**

## **5. ANEXOS**

- km 98,04
- km 101,92
- km 109,00

## 1. APRESENTAÇÃO

A COPAVEL – Consultoria de Engenharia Ltda. apresenta, neste Relatório, o resultado da dosagem de materiais para a execução de reciclagem com espuma-de-asfalto, na rodovia BR-290.

A reciclagem com espuma-de-asfalto é uma mistura realizada no local com emprego de equipamentos próprios para esta finalidade.

A execução compreende a fresagem do pavimento existente, eventual adição de agregados (produtos de britagem) e cimento. A esta mistura de agregados se incorpora material betuminoso em forma de espuma-de-asfalto e água, compondo uma mistura homogeneizada que será espalhada e compactada.

A espuma-de-asfalto utilizada na mistura é o processo de expansão do CAP aquecido quando em contato com pequenas quantidades de água fria. O asfalto aquecido explode em bolhas quando em contato a água fria. Este fenômeno faz com que o CAP expanda-se muitas vezes mais que seu volume original resultando em uma espuma.

O objetivo da utilização da espuma-de-asfalto é aumentar o volume e a energia superficial do CAP, tornando-o apto a recobrir agregados frios e/ou úmidos sem a necessidade de recorrer à adição de solventes ou emulsificantes. No processo de formação da espuma a viscosidade do CAP é enormemente reduzida, tornando-o capaz de dispersar-se entre os agregados.

Através de amostra retirada no trecho e ensaiando-a, se torna possível determinar a quantidade de CAP que deve ser dosado para a mistura.

As planilhas com os resultados dos ensaios estão apresentadas em anexo.

## **2. AMOSTRAS RECEBIDAS NO LABORATÓRIO**

Foram recebidas amostras dos seguintes locais:

- km 98,04
- km 101,92
- km 109,00

Além dos materiais coletados na pista, foi recebida, também, amostra de CAP-20.

Os ensaios de caracterização dos materiais enviados estão apresentados em planilhas anexas.

### 3. MISTURA DE AGREGADOS

De posse das granulometrias dos materiais foram definidas percentuais de misturas, de forma a buscar um enquadramento na seguinte faixa granulométrica:

<b>Peneiras de Malha Quadrada</b>		<b>% passando, em peso</b>
<b>Tipo</b>	<b>Abertura mm</b>	
2"	50,8	100
3/4"	19,1	67 - 100
3/8"	9,5	46- 76
Nº 4	4,8	34 – 63
Nº 8	2,4	25 – 52
Nº 30	0,60	13 – 36
Nº 100	0,15	7 - 24
Nº 200	0,075	5 - 20

Para atender a faixa granulométrica prevista foram definidas as seguintes misturas de materiais:

<b>AMOSTRA</b>	<b>% CBUQ</b>	<b>% Calcáreo</b>
	<b>Fresado</b>	<b>Dolomítico</b>
Km 98,04	97	3
Km 101,92	97	3
Km 109,00	96	4

As granulometrias das composições dos materiais estão apresentadas em anexo.



#### 4. DEFINIÇÃO DO TEOR DE CAP

Depois de definidas as porcentagens de materiais para a mistura, foram moldados corpos-de-prova com diversos teores de CAP, em forma de espuma-de-asfalto, para determinação do teor ótimo de aplicação deste último.

A mistura dos materiais é feita com auxílio de um equipamento especial que simula a produção de CAP em forma de espuma. Os corpos-de-prova com os diversos teores de espuma-de-asfalto, são moldados em cilindros Marshall, utilizando a energia de 75 golpes por face.

Os resultados são apresentados em anexo.

Com base nos resultados encontrados, recomenda-se a incorporação do seguinte teor de CAP, em forma de espuma-de-asfalto:

<b>Estudo</b>	<b>Teor de CAP (%)</b>
Km 98,04	2,8
Km 101,92	2,8
Km 109,00	2,7

A mistura final (material reciclado + filer + água + espuma de asfalto) é definida em função dos resultados de ensaios de resistência à tração indireta (compressão diametral), em corpos-de-prova secos e saturados.



**Km 98,040**



## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO ( FOAMED BITUMEN)

Obra: BR - 290	Trecho:	Local da Coleta: km 98,04
Interessado: CONCEPA	Data início: 04/03/2001	Data término: 08/03/2001
Amostra: 97% CBUQ Fresado + 3% Calcáreo Dolomítico	Operador: Jesus / Alex	Registro:

### DADOS / PARÂMETROS DA AMOSTRA E ESPUMA

% pass # n 200: 5,3 %    Umidade ótima: 5,8 %    Teor de CAP (%b): 4,8 % ( ROTAREX     REFLUXO     SOXLET  )

% água na espuma: 2,0%    Expansão da espuma: 24 vezes    Meia vida: 12s    Número de golpes: 75

Quantidade de água à acrescentar na amostra: 464 ml

#### 1 - Verificação da umidade e do teor total de CAP

1.1 - Com 1,8 % de espuma inicial e acréscimo de - %

TESTE Nº	TEOR DE UMIDADE						TEOR DE CAP		
	CÁPSULA		Amostra úmida + cápsula (g)	Amostra seca + cápsula (g)	Água (g)	Amostra Seca (g)	h %	CAP Adicionado %	CAP %
	Nº	massa (g)							
1	190	55,30	607,60	581,80	25,80	526,50	4,9	1,8	6,6
2	205	58,53	565,10	541,30	23,80	482,77	4,9	2,2	7,0
3	187	57,55	557,80	534,10	23,60	476,55	5,0	2,8	7,6
4	215	56,30	643,10	616,20	26,90	559,90	4,8	3,5	8,3
5	200	57,07	574,40	550,20	24,20	493,13	4,9	4,2	9,0

Observações:	CAP 20
--------------	--------



## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

### 2 - Determinação do I.T.S. ( Indirect Tensile Strength)

km 98,04

(Sensibilidade do anel: 0,0215 kN)

#### 2.1 - com 1,8 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten-sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
1	1047,9	-	6,62	10,14	0,0210	225	4.838	461	-
2	1050,4	-	6,60	10,14	0,0210	230	4.945	472	-
3	1042,6	1088,2	6,60	10,17	0,0210	220	4.730	-	450
4	1040,1	1086,2	6,56	10,11	0,0208	218	4.687	-	451
MÉDIA								467	451
T.R. = 96 %									

#### 2.2 - com 2,2 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten-sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
6	1039,1	-	6,54	10,13	0,0208	250	5.375	517	-
7	1037,9	-	6,65	10,04	0,0210	250	5.375	512	-
8	1037,9	1084,0	6,62	10,10	0,0210	240	5.160	-	491
9	1036,0	1083,2	6,63	10,14	0,0210	228	4.902	-	465
MÉDIA								515	478
T.R. = 95 %									

#### 2.3 - com 2,8 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten-sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
11	1037,8	-	6,44	10,10	0,0204	250	5.375	526	-
12	1037,8	-	6,55	10,14	0,0208	245	5.268	506	-
13	1038,0	1056,6	6,56	10,12	0,0209	235	5.052	-	483
14	1038,1	1052,1	6,64	10,12	0,0211	235	5.052	-	479
MÉDIA								516	481
T.R. = 93 %									

#### 2.4 - com 3,5 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten-sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
16	946,2	-	6,63	10,07	0,0210	240	5.160	491	-
17	1043,2	-	6,63	10,16	0,0211	230	4.945	469	-
18	1042,5	1072,9	6,67	10,10	0,0212	225	4.837	-	457
19	1040,2	1071,2	6,59	10,10	0,0204	220	4.730	-	453
MÉDIA								480	455
T.R. = 95 %									

#### 2.5 - com 4,2 % de espuma

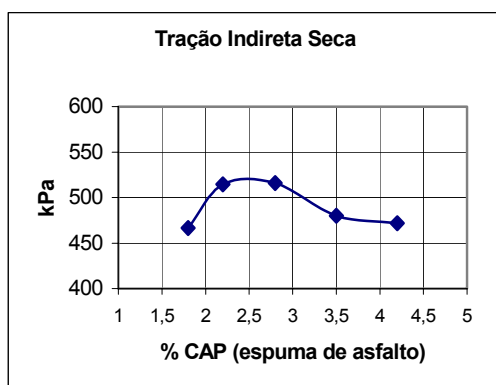
CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten-sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
21	1047,2	-	6,47	10,16	0,0207	230	4.945	478	-
22	1039,8	-	6,36	10,15	0,0203	220	4.730	466	-
23	1042,1	1070,5	6,64	10,10	0,0211	180	3.870	-	367
24	1042,4	1071,8	6,47	10,12	0,0206	180	3.870	-	376
MÉDIA								472	372
T.R. = 79 %									



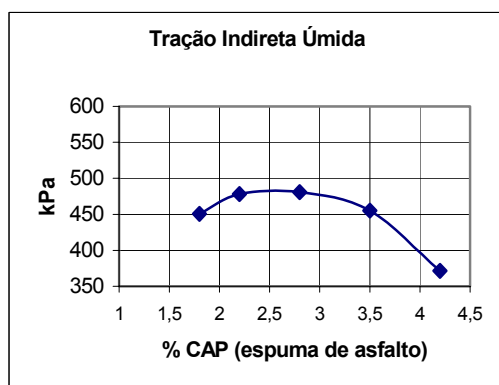
## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

### 3 - Gráficos de I.T.S (Indirect Tensile Strength)

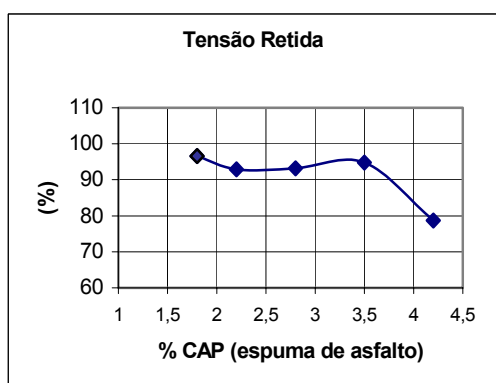
km 98,04



CP Nº	(KN)	II h D (m³)	Tração Indireta	
			(kPa)	Média
1	4.838	0,0210	461	467
2	4.945	0,0210	472	
6	5.375	0,0208	517	515
7	5.375	0,0210	512	
11	5.375	0,0204	526	516
12	5.268	0,0208	506	
16	5.160	0,0210	491	480
17	4.945	0,0211	469	
21	4.945	0,0207	478	472
22	4.730	0,0203	466	



CP Nº	(KN)	II h D (m³)	Tração Indireta	
			(kPa)	Média
3	4.730	0,0210	450	451
4	4.687	0,0208	451	
8	5.160	0,0210	491	478
9	4.902	0,0210	465	
13	5.052	0,0209	483	481
14	5.052	0,0211	479	
18	4.837	0,0212	457	455
19	4.730	0,0204	453	
23	3.870	0,0211	367	372
24	3.870	0,0206	376	



#### TEOR ÓTIMO DE CAP (espuma de asfalto)

##### RESULTADO DOS ENSAIOS-TESTE

Teor mínimo admissível: \_\_\_\_\_%

Teor ótimo (recomendável) **2,8 %**

Teor máximo admissível: \_\_\_\_\_%

Obs. :

ITS (seco) = 530 kPa    ITS úmido =

Data: 09-03-2001

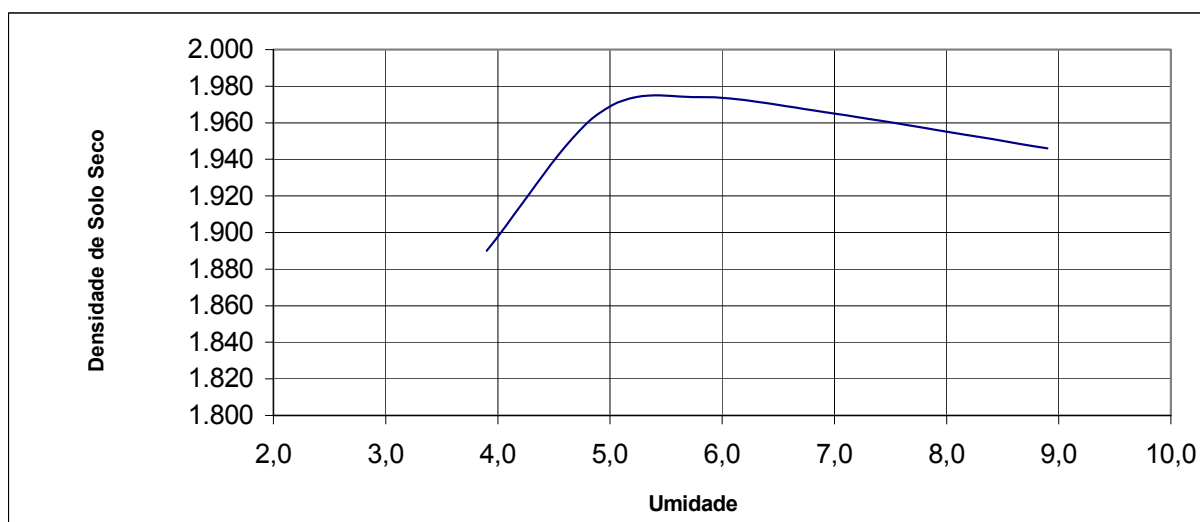
Calculista: *Jésus*



## COMPACTAÇÃO

Rodovia BR - 290	Interessado CONCEPA	Local Pista Sul (Faixa Externa)				Nº
km 98,040	Furo	Profunf.	Material 97,0% CBUQ Fresado + 3,0% Calcáreo Dolomítico			Estudo Traço Base Reciclada
%Mat. Ret. Pen nº 4 35,2	Proctor Modificado		Golpes 56		Operador Divanildo	Data
<b>Úmidade Higroscópica</b>						
Capsula nº	123	201	205	187	170	200    181,0
C+S+A	640,60	460,00	646,20	572,71	644,6	658,6    660,9
C+S	618,50	449,00	613,40	539,00	596,8	657,0    659,4
A-Água	22,10	19,28	32,80	33,71	47,8	1,6    1,5
C-Capsula	55,76	55,94	50,53	57,55	57,43	57,07    61,64
S-Solo	562,74	393,62	561,17	481,45	539,67	599,93    597,76
Úmidade -h	3,9	4,9	5,8	7,0	8,9	0,3    0,3
ÚMIDADE MÉDIA	6,1					0,3

ÚMIDADE CALCULADA						Peso Material		
Água Adicionada (g)	240	300	360	420	480	6000		
% Agua Adicionada	4	5	6	7	8	Peso Mat. Seco		
M+S+A	8.370	8.462	8.373	8.675	8.746	5982		
M. Moida	4.287	4.233	4.085	4.320	4.338	<b>MOLDES</b>		
S+A	4.083	4.229	4.288	4.355	4.408	Nº	Pêso	Volume
Dens. Úmida	1.964	2.051	2.089	2.103	2.119	357	4.287	2.079
Dens. Convers.	1.888	1.953	1.970	1.965	1.962	359	4.233	2.062
Dens. Seca	1.890	1.965	1.974	1.965	1.946	392	4.085	2.053
Dens. máx. (g/cm³)	1.974					365	4.320	2.071
Umidade Ótima (%)	5,8					385	4.338	2.080





## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA)

Local de coleta: km 98,040

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

TEOR DE CAP		1,8%					
APÓS MOLDAGEM DO CP		APÓS IMERSÃO DO CP					
<b>Corpo de Prova - CP N°</b>			<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	1ª Medida	h <sub>1</sub>	6,63	6,65	6,52	6,58	6,55
	2ª Medida	h <sub>2</sub>	6,64	6,65	6,47	6,48	6,56
	3ª Medida	h <sub>3</sub>	6,63	6,54	6,56	6,54	6,59
	4ª Medida	h <sub>4</sub>	6,56	6,57	6,56	6,65	6,53
	ALTURA MÉDIA	H	6,62	6,60	6,53	6,56	6,56
	1ª Medida	d <sub>1</sub>	10,14	10,14	10,17	10,11	10,12
	2ª Medida	d <sub>2</sub>	10,14	10,14	10,17	10,12	10,15
	3ª Medida	d <sub>3</sub>	10,14	10,14	10,17	10,11	10,16
	DIÂMETRO MÉDIO	D	10,14	10,14	10,17	10,11	10,14
	Temperatura do banho	t					
	Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>					
	Temperatura do CP no Ensaio	T					
	Carga de Ruptura do CP	F					
	Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H}$					





## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA)

Local de coleta: km 98,040

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP  APÓS IMERSÃO DO CP

TEOR DE CAP		2,2%												
Corpo de Prova - CP N°	6	7	8	9	10									
1ª Medida	h <sub>1</sub>	cm	6,52	6,68	6,64	6,64	6,62	6,64	6,62	6,62				
2ª Medida	h <sub>2</sub>	cm	6,57	6,68	6,63	6,63	6,60	6,63	6,60	6,66				
3ª Medida	h <sub>3</sub>	cm	6,58	6,63	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60				
4ª Medida	h <sub>4</sub>	cm	6,50	6,63	6,60	6,60	6,60	6,64	6,64	6,68				
ALTURA MÉDIA	H	cm	6,54	6,66	6,62	6,62	6,63	6,63	6,65	6,65				
1ª Medida	d <sub>1</sub>	cm	10,13	1,10	10,09	10,09	10,12	10,12	10,12	10,12				
2ª Medida	d <sub>2</sub>	cm	10,13	10,09	10,09	10,09	10,13	10,13	10,12	10,12				
3ª Medida	d <sub>3</sub>	cm	10,15	10,10	10,09	10,09	10,13	10,13	10,12	10,12				
DIÂMETRO MÉDIO	D	cm	10,14	7,10	10,09	10,09	10,13	10,13	10,12	10,12				
Temperatura do banho	t	° C												
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>	horas												
Temperatura do CP no Ensaio	T	° C												
Carga de Ruptura do CP	F	kgf												
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>												



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA)

Local de coleta: km 98,040

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP

APÓS IMERSÃO DO CP

### TEOR DE CAP

**2,8%**

Corpo de Prova - CP N°		11	12	13	14	15
ALURA do CP	1ª Medida	6,39	6,50	6,51	6,61	6,68
	2ª Medida	6,46	6,54	6,60	6,63	6,54
	3ª Medida	6,49	6,60	6,60	6,65	6,52
	4ª Medida	6,43	6,54	6,54	6,66	6,56
ALTURA MÉDIA		6,44	6,55	6,56	6,64	6,58
DIÂMETRO do CP	1ª Medida	10,12	10,12	10,16	10,10	10,12
	2ª Medida	10,12	10,13	10,19	10,10	10,15
	3ª Medida	10,12	10,12	10,16	10,10	10,12
DIÂMETRO MÉDIO		10,12	10,12	10,17	10,10	10,13
Temperatura do banho		t	° C			
Tempo de Imersão		t <sub>i</sub>	horas			
Temperatura do CP no Ensaio		T	° C			
Carga de Ruptura do CP		F	kgf			
Resistência à Tração		$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>			



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA)

Local de coleta: km 98,040

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

TEOR DE CAP		APÓS MOLDAGEM DO CP <input type="checkbox"/> APÓS IMERSÃO DO CP <input type="checkbox"/>									
		<b>3,5%</b>									
Corpo de Prova - CP N°			16	17	18	19	20				
ALTURA do CP	1ª Medida	h <sub>1</sub>	cm	5,96	6,54	6,69	6,64	6,73			
	2ª Medida	h <sub>2</sub>	cm	6,05	6,66	6,64	6,54	6,66			
	3ª Medida	h <sub>3</sub>	cm	6,07	6,77	6,64	6,54	6,72			
	4ª Medida	h <sub>4</sub>	cm	6,03	6,55	6,70	6,63	6,80			
ALTURA MÉDIA		H	cm	6,03	6,63	6,67	6,59	6,73			
DIÂMETRO do CP	1ª Medida	d <sub>1</sub>	cm	10,06	10,14	10,10	10,16	10,05			
	2ª Medida	d <sub>2</sub>	cm	10,08	10,17	10,10	10,19	10,06			
	3ª Medida	d <sub>3</sub>	cm	10,08	10,17	10,10	10,20	10,06			
DIÂMETRO MÉDIO		D	cm	10,07	10,16	10,10	10,18	10,06			
Temperatura do banho		t	° C								
Tempo de Imersão		t <sub>i</sub>	horas								
Temperatura do CP no Ensaio		T	° C								
Carga de Ruptura do CP		F	kgf								
Resistência à Tração		$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>								



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA)

Local de coleta: km 98,040

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP  APÓS IMERSÃO DO CP

### TEOR DE CAP

**4,2%**

<b>Corpo de Prova - CP N°</b>							
1ª Medida	h <sub>1</sub>	cm	6,47	6,37	6,69	6,44	6,53
2ª Medida	h <sub>2</sub>	cm	6,40	6,41	6,57	6,41	6,58
3ª Medida	h <sub>3</sub>	cm	6,45	6,33	6,60	6,50	6,63
4ª Medida	h <sub>4</sub>	cm	6,55	6,31	6,69	6,53	6,58
ALTURA MÉDIA	H	cm	6,47	6,36	6,64	6,47	6,58
1ª Medida	d <sub>1</sub>	cm	10,16	10,14	10,09	10,12	10,11
2ª Medida	d <sub>2</sub>	cm	10,15	10,14	10,11	10,12	10,11
3ª Medida	d <sub>3</sub>	cm	10,16	1,17	10,11	10,12	10,11
DIÂMETRO MÉDIO	D	cm	10,16	7,15	10,10	10,12	10,11
Temperatura do banho	t	° C					
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>	horas					
Temperatura do CP no Ensaio	T	° C					
Carga de Ruptura do CP	F	kgf					
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>					



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOVIA: BR - 290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km 98,040

REGISTRO:

TRAÇÃO N :

FAIXA:

OPERADOR: Clecio

DATA: 08/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			1	2	3	4	5				
1	PESO AO AR	g	1.047,9	1.050,4	1.042,6	1.040,1	1.039,6				
2	PESO COM FITA	g	1.054,5	1.056,7	1.048,9	1.046,3	1.045,7				
3	PESO DA FITA	g	6,6	6,3	6,3	6,2	6,1				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.068,1	1.071,0	1.062,9	1.061,4	1.060,6				
6	PESO DA PARAFINA	g	13,6	14,3	14,0	15,1	14,9				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	514,2	515,5	509,1	507,6	507,4				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,8	6,5	6,5	6,4	6,3				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	15,3	16,1	15,7	17	16,7				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	531,8	532,9	531,6	530,4	530,2				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1.970,0	1.971,0	1.961,0	1.961,0	1.961,0				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1965								
			9 = 3/4	10 = 6/7	11 = 5-8-9-10			12 = 1/11			

1,8 % CAP

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			6	7	8	9	10				
1	PESO AO AR	g	1.039,1	1.037,5	1.037,9	1.036,0	1.033,7				
2	PESO COM FITA	g	1.045,3	1.043,7	1.044,4	1.042,4	1.040,2				
3	PESO DA FITA	g	6,2	6,2	6,5	6,4	6,5				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.060,6	1.059,7	1.059,8	1.057,5	1.055,9				
6	PESO DA PARAFINA	g	15,3	16,0	15,4	15,1	15,7				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	509,6	501,9	505,4	498,9	499,8				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	64,0	6,4	6,7	6,6	6,7				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	17,2	18,0	17,3	17,0	17,6				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	527,4	533,4	530,4	535	531,8				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1.970,0	1.945,0	1.957,0	1.936,0	1.944,0				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1950								

2,2 % CAP



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOVIA: BR - 290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km 98,040

REGISTRO:

TRAÇON :

FAIXA:

OPERADOR: Clecio

DATA: 08/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			11	12	13	14	15				
1	PESO AO AR	g	1.037,8	1.038,0	1.033,1	1.037,9	1.040,5				
2	PESO COM FITA	g	1.044,1	1.044,3	1.039,5	1.044,1	1.046,9				
3	PESO DA FITA	g	6,3	6,3	6,4	6,2	6,4				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.059,3	1.063,9	1.053,5	1.058,4	1.061,4				
6	PESO DA PARAFINA	g	15,2	19,6	14	14	14,5				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	508,7	508,8	499,8	503,4	509,8				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,5	6,5	6,6	6,4	6,6				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	17,1	17,1	15,7	16,1	16,3				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	527,0	526,6	531,4	532,5	528,7				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1.969,0	1.971,0	1.944,0	1.949,0	1.968,0				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1960								
			9 = 3/4	10 = 6/7	11 = 5-8-9-10	12 = 1/11					

2,8 % CAP

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			16	17	18	19	20				
1	PESO AO AR	g	946,2	1.043,5	1.042,5	1.040,2	1.044,7				
2	PESO COM FITA	g	952,6	1.050,0	1.048,9	1.046,7	1.049,8				
3	PESO DA FITA	g	6,4	6,5	6,4	6,5	5,1				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	966,3	1.064,1	1.063,9	1.060,1	1.063,9				
6	PESO DA PARAFINA	g	13,7	14,1	15,0	13,4	14,1				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	460,3	506,9	503,5	501,6	505,7				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,6	6,7	6,6	6,7	5,3				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	15,4	15,8	16,9	15,1	15,8				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	483,96	534,7	536,9	536,7	537,1				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1.955,0	1.952,0	1.942,0	1.938,0	1.945,0				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1946								

3,5 % CAP



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOVA: BR-290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km98,040

REGISTRO:

TRAÇON:

FAIXA:

OPERADOR: Clelio

DATA: 08/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO GP.			21	22	23	24	25				
1	PESO AO AR	g	1.047,2	1.039,8	1.042,1	1.042,4	1.039,5				
2	PESO COM FORTA	g	1.053,7	1.046,1	1.048,4	1.047,5	1.045,7				
3	PESO DA FORTA	g	6,5	6,3	6,3	5,1	6,2				
4	DENSIDADE DA FORTA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO DA PARAFINA	g	1.039,7	1.032,6	1.033,8	1.034,6	1.032,3				
6	PESO DA PARAFINA	g	16,0	16,5	15,4	17,1	16,6				
7	DENSIDADE DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	518,7	512,3	520,4	510,6	506,8				
9	VOLUME DA FORTA	cm <sup>3</sup>	6,7	6,5	6,5	5,3	6,4				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	18	18,5	17,3	19,2	18,7				
11	VOLUME DO GP.	cm <sup>3</sup>	526,3	525,3	519,6	529,5	530,4				
12	DENSIDADE APARENTE	$\delta_{ap}$	1.990,0	1.979,0	2.001,0	1.969,0	1.960,0				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1980								

4,2 % CAP

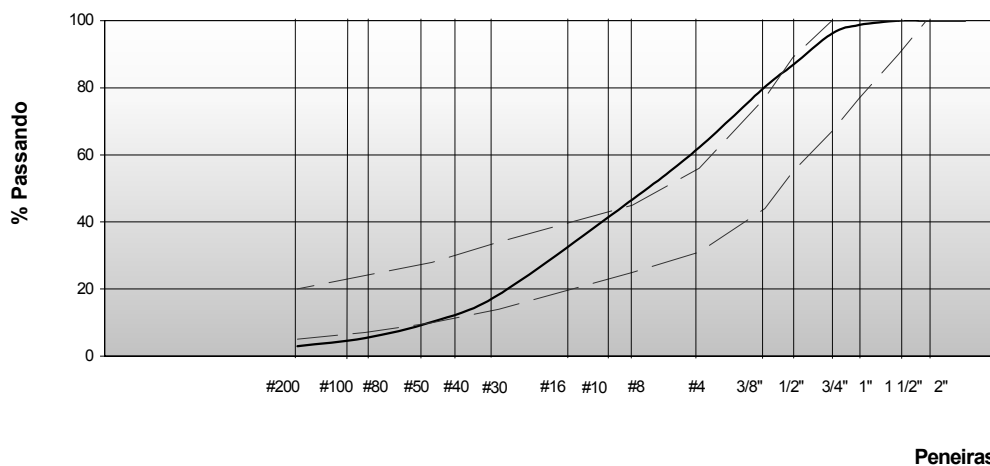


## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA		Sub-Trecho Pista Sul - (Faixa Externa)	Nº
Km: 98,040	Furo	Profund.:	Material CBUQ Fresado (Lavado)	Estudo Traço para Base Reciclada
Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA	RESUMO
Joarez	Am.Total Úmi.	5.249,3	Cápsula nº	Pedregulho: Acima 4,8 mm <b>37,8</b>
Data:	Retido nº 10	1.537,6	C + S + A	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm <b>15,6</b>
17/02/2001	Pas.nº 4 úmi.	3.711,7	C + S	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm <b>28,3</b>
Amostra Menor nº10	Pêso da água	10,9	A - Água	Areia Fina: Nº 40 - 200 <b>15,5</b>
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca	3.700,6	C - Cápsula	Passando Nº 200 <b>2,9</b>
Retido nº 10	Am.Total Sêca	5.238,2	S - Solo	Total <b>100,0</b>
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	300,0	Úmidade	Retido: Nº 10 - 200 <b>43,8</b>
	Am. Me. Nº 4 Sêca	299,10	F. de Correção	<b>100,3</b>

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol						50,8
11/2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	38,1
1Pol	65,66		1,25	1,3	98,7	25,4
3/4 Pol	136,92		2,61	3,9	96,1	19,1
1/2 Pol	490,58		9,37	13,2	86,8	12,7
3/8 Pol	341,70		6,52	19,8	80,2	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	943,60		18,01	37,8	62,2	4,8
Nº 8	74,75	24,99	15,55	53,3	46,7	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	136,00	45,47	28,30	81,6	18,4	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	39,20	13,11	8,16	89,8	10,2	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	23,36	7,81	4,86	94,6	5,4	0,15
Nº 200	11,81	3,95	2,46	97,1	2,9	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA





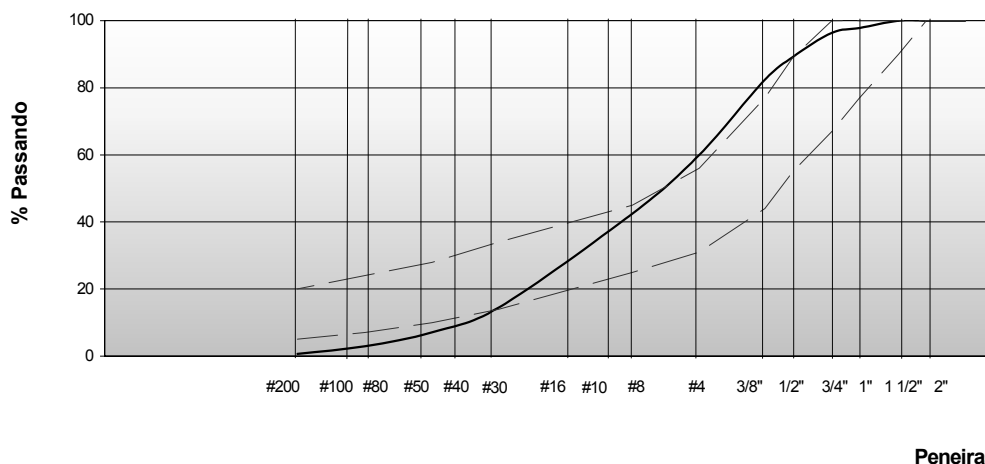


## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA		Sub-Trecho Pista Sul - (Faixa Externa)	Nº		
Km: 98,040	Furo	Profund.:	Material CBUQ Fresado (Seco)	Estudo Traço para Base Reciclada		
Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA	RESUMO		
Joarez	Am.Total Úmi.	<b>4.723,2</b>	Cápsula nº	<b>171</b>	Pedregulho: Acima 4,8 mm	<b>40,0</b>
Data:	Retido nº 10	<b>1.581,1</b>	C + S + A	<b>310,28</b>	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm	<b>17,5</b>
17/02/2001	Pas.nº 4 úmi.	<b>3.142,1</b>	C + S	<b>309,57</b>	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm	<b>27,9</b>
Amostra Menor nº10	Pêso da água	<b>9,4</b>	A - Água	<b>0,71</b>	Areia Fina: Nº 40 - 200	<b>13,8</b>
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca	<b>3.132,7</b>	C - Cápsula	<b>55,46</b>	Passando Nº 200	<b>0,7</b>
Retido nº 10	Am.Total Sêca	<b>4.713,8</b>	S - Solo	<b>254,11</b>	Total	<b>100,0</b>
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	<b>300,0</b>	Úmidade	<b>0,3</b>	Retido: Nº 10 - 200	<b>41,7</b>
	Am. Me. Nº 4 Sêca	<b>299,10</b>	F. de Correção	<b>100,3</b>		

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.			0,00	0,0	100,0	76,2
2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	50,8
11/2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	38,1
1 Pol	102,89		2,18	2,2	97,8	25,4
3/4 Pol	66,24		1,41	3,6	96,4	19,1
1/2 Pol	340,97		7,23	10,8	89,2	12,7
3/8 Pol	319,43		6,78	17,6	82,4	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	1057,60		22,44	40,0	60,0	4,8
Nº 8	87,46	29,24	17,53	57,6	42,4	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	139,30	46,57	27,93	85,5	14,5	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	36,81	12,31	7,38	92,9	7,1	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	20,98	7,01	4,21	97,1	2,9	0,15
Nº 200	11,01	3,68	2,21	99,3	0,7	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA





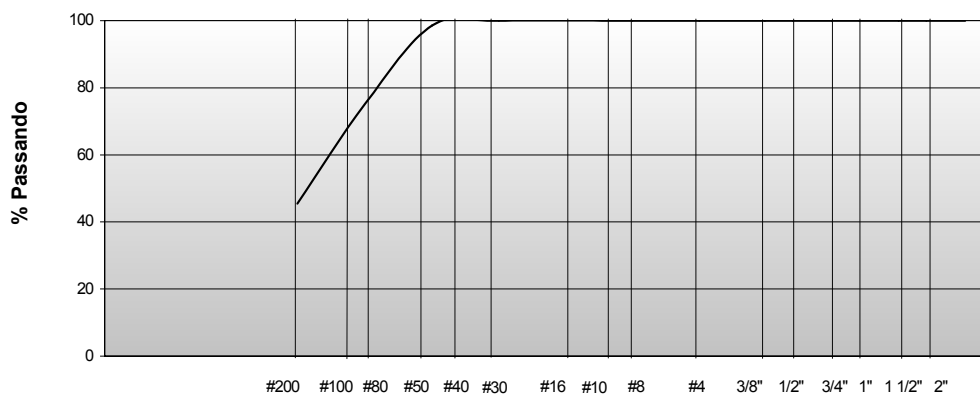
## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado Freeway - Consórcio Construtor	Local Caçapava do Sul	Nº
km: 98,040	Furo	Profund.: Material Calcáreo Dolomítico - (Lavado)	Estudo Traço Base Reciclada

Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Joarez	Am.Total	Úmi.	Cápsula nº	171	Pedregulho: Acima 4,8 mm	0,0
Data:	Retido nº 10		C + S + A	310,28	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm	0,0
27/02/2001	Pas.nº 4 úmi.		C + S	309,57	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm	0,0
Amostra Menor nº10	Pêso da água		A - Água	0,71	Areia Fina: Nº 40 - 200	54,5
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca		C - Cápsula	55,46	Passando Nº 200	45,5
Retido nº 10	Am.Total Sêca	4.713,8	S - Solo	254,46	Total	100,0
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	300,0	Úmidade	0,3	Retido: Nº 10 - 200	54,5
	Am. Me. Nº 4 Sêca	299,10	F. de Correção	100,3		

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol						50,8
11/2 Pol						38,1
1Pol						25,4
3/4 Pol						19,1
1/2 Pol						12,7
3/8 Pol						9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4						4,8
Nº 8						2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	0,00		0,00	0,0	100,0	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	13,95		1,40	1,4	98,6	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	231,73		23,29	24,7	75,3	0,15
Nº 200	296,95		29,85	54,5	45,5	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



Peneiras



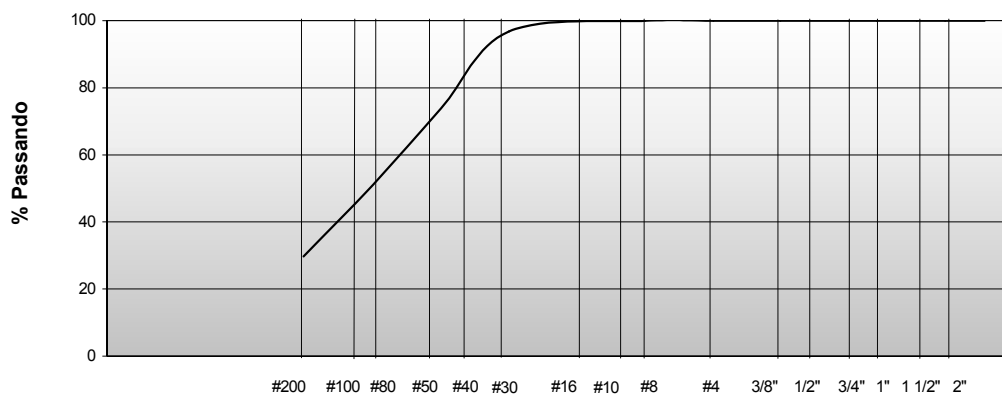
## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado Freeway - Consórcio Construtor	Local Caçapava do Sul	Nº
km: 98,040	Furo	Profunf.:	Material Calcáreo Dolomítico - (Seco)
			Estudo Traço Base Reciclada

Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Joarez	Am.Total Úmi.		Cápsula nº		Pedregulho: Acima 4,8 mm	0,0
Data:	Retido nº 10		C + S + A		Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm	0,0
27/02/2001	Pas.nº 4 úmi.		C + S		Areia Média: 2,0 - 0,42 mm	3,2
Amostra Menor nº10	Pêso da água		A - Água		Areia Fina: Nº 40 - 200	67,0
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca		C - Cápsula		Passando Nº 200	29,8
Retido nº 10	Am.Total Sêca	1.598,1	S - Solo		Total	100,0
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	300,0	Úmidade		Retido: Nº 10 - 200	70,2
	Am. Me. Nº 4 Sêca	299,10	F. de Correção	100,0		

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol						50,8
1 1/2 Pol						38,1
1 Pol						25,4
3/4 Pol						19,1
1/2 Pol						12,7
3/8 Pol						9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4						4,8
Nº 8	0,00	0,00	0,00	0,0	100,0	2,4
Nº 10						2
Nº 16	1,38	0,09	0,09	0,1	99,9	1,2
Nº 30	49,92	3,12	3,12	3,2	96,8	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	366,38	22,89	22,93	26,1	73,9	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	365,75	22,89	22,89	49,0	51,0	0,15
Nº 200	338,95	21,21	21,21	70,2	29,8	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



Peneiras

**Km 101,920**



## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

Obra: BR - 290	Trecho: Osório - Porto Alegre	Local da Coleta: km 101,920
Interessado: CONCEPA	Data início: 19/03/2001	Data término: 23/03/2001
Amostra: 97% CBUQ Fresado + 3% Calcáreo Dolomítico	Operador: Jesus	Registro:

### DADOS / PARÂMETROS DA AMOSTRA E ESPUMA

% pass # n 200: 5,1%    Unidade ótima: 4,4%    Teor de CAP (%b): 5,5% (ROTAREX     REFLUXO     SOXLET )

% água na espuma: 2,0%    Expansão da espuma: 28 vezes    Meia vida: 12s    Número de golpes: 75

Quantidade de água à acrescentar na amostra: - ml

#### 1 - Verificação da umidade e do teor total de CAP

1.1 - Com 1,8% de espuma inicial e acréscimo de - %

TESTE Nº	TEOR DE UMIDADE						TEOR DE CAP		
	CÁPSULA		Amostra úmida + cápsula (g)	Amostra seca + cápsula (g)	Água (g)	Amostra Seca (g)	h %	CAP Adicionado %	CAP %
	Nº	massa (g)							
1	303	59,14	543,10	523,70	19,40	464,56	4,2	1,8	7,3
2	275	56,41	529,60	510,00	19,70	453,59	4,3	2,4	7,8
3	295	55,30	553,70	534,40	19,30	479,10	4,0	3	8,5
4	333	61,63	501,20	482,80	18,40	421,17	4,4	3,7	9,2
5	325	53,52	473,50	456,90	16,60	403,38	4,1	4,3	9,8

Observações:	CAP - 20
--------------	----------



## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

### 2 - Determinação do I.T.S. ( Indirect Tensile Strength)

km 101,920

(Sensibilidade do anel: 0,0215 kN)

#### 2.1 - com 1,8 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
26	1044,6	-	6,73	10,15	0,0215	152	3,314	282	-
27	1048,3	-	6,71	10,15	0,0214	166	3,488	326	-
28	1045,2	1065,7	6,72	10,14	0,0214	114	2,485	-	232
29	1049,5	1071,5	6,80	10,14	0,0217	115	2,507	-	231
							MÉDIA	304	232
								T.R. = 76 %	

#### 2.2 - com 2,4 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
31	1049,1	-	6,69	10,20	0,0214	176	3,706	346	-
32	1052,1	-	6,73	10,14	0,0214	165	3,597	346	-
33	1051,8	1073,6	6,74	10,18	0,0215	125	2,725	-	253
34	1047,8	1068,4	6,70	10,15	0,0214	137	2,987	-	279
							MÉDIA	346	266
								T.R. = 77 %	

#### 2.3 - com 3,0 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
36	1058,9	-	6,75	10,20	0,0216	178	3,880	359	-
37	1047,9	-	6,79	10,18	0,0217	170	3,924	362	-
38	1030,6	1051,4	6,71	10,10	0,0213	105	2,616	-	246
39	1051,5	1071,5	6,88	10,10	0,0218	110	2,943	-	270
							MÉDIA	361	258
								T.R. = 72 %	

#### 2.4 - com 3,7 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
41	1049,6	-	6,72	10,14	0,0214	155	3,379	316	-
42	1050,5	-	6,75	10,18	0,0215	147	3,423	318	-
43	1052,3	1073,6	6,81	10,10	0,0216	110	2,398	-	222
44	1048,2	1070,2	6,68	10,15	0,0213	105	2,289	-	215
							MÉDIA	317	219
								T.R. = 69 %	

#### 2.5 - com 4,3 % de espuma

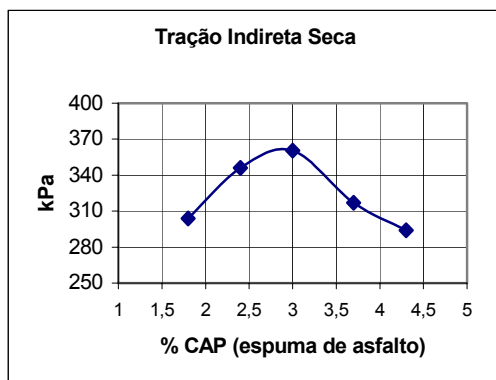
CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
46	1049,2	-	6,79	10,13	0,0216	148	3,226	299	-
47	1055,8	-	6,88	10,12	0,0219	155	3,161	289	-
48	1036,2		6,79	10,12	0,0216	100	2,180	-	220
49	1051,7		6,83	10,18	0,0218	95	2,071	-	190
							MÉDIA	294	205
								T.R. = 70 %	



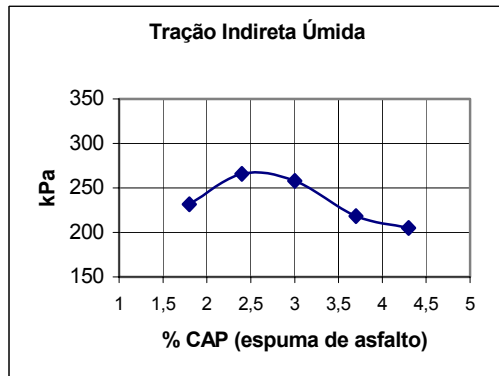
## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

### 3 - Gráficos de I.T.S (Indirect Tensile Strength)

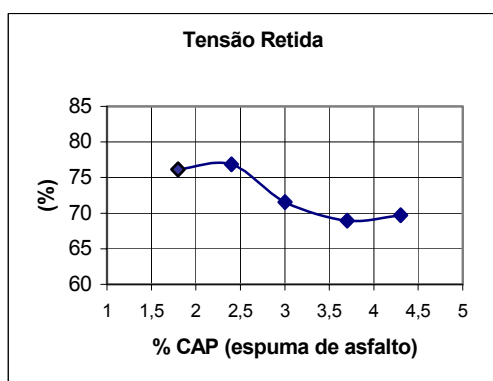
km 101,920



CP N°	(KN)	Il h D (m³)	Tração Indireta	
			(kPa)	Média
26	3	0,0215	282	304
27	3	0,0214	326	
31	4	0,0214	346	346
32	4	0,0214	346	
36	4	0,0216	359	361
37	4	0,0217	362	
41	3	0,0214	316	317
42	3	0,0215	318	
46	3	0,0216	299	294
47	3	0,0219	289	



CP N°	(KN)	Il h D (m³)	Tração Indireta	
			(kPa)	Média
28	2	0,0214	232	232
29	3	0,0217	231	
33	3	0,0215	253	266
34	3	0,0214	279	
38	3	0,0213	246	258
39	3	0,0218	270	
43	2	0,0216	222	219
44	2	0,0213	215	
48	2	0,0216	220	205
49	2	0,0218	190	



#### TEOR ÓTIMO DE CAP (espuma de asfalto)

##### RESULTADO DOS ENSAIOS-TESTE

Teor mínimo admissível: \_\_\_\_\_%

Teor ótimo (recomendável) 2,8 %

Teor máximo admissível: \_\_\_\_\_%

Obs. :

ITS (seco) = 365 kPa    ITS úmido = -

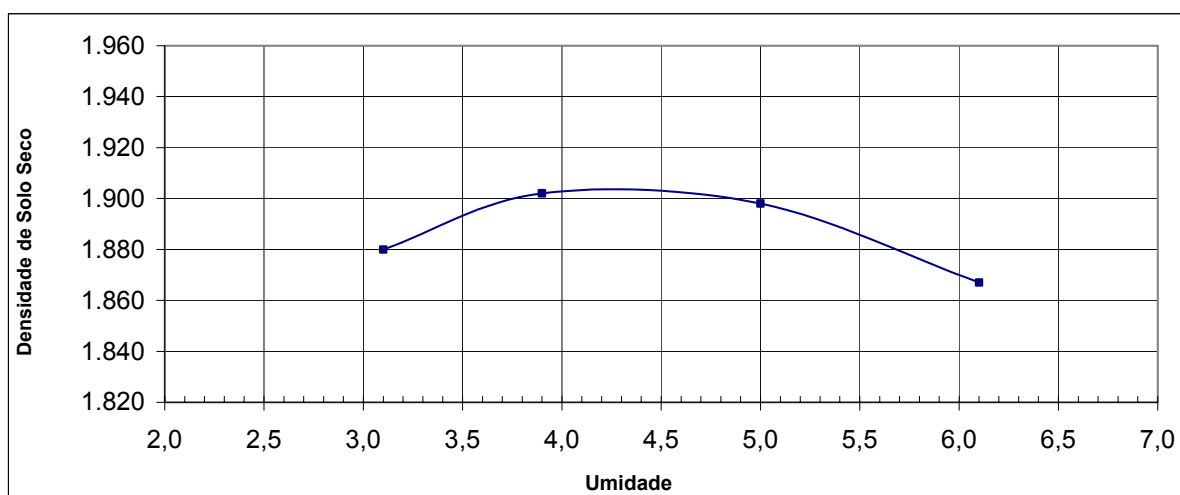
Data: 23-03-2001

Calculista: Jésus



## COMPACTAÇÃO

Rodovia BR - 290	Interessado CONCEPA	Trecho Osório - Porto Alegre				Nº
km 101,920	Furo	Profunf.	Material 97,0% CBUQ Fresado + 3,0% Calcáreo Dolomítico			Estudo Traço para Base Reciclada
%Mat. Ret. Pen nº 4 66,0 %	Proctor Modificado		Golpes 56		Operador Vitor	Data 16/03/2001
<b>Úmidade Higroscópica</b>						
Capsula nº	<b>330</b>	<b>303</b>	<b>291</b>	<b>295</b>		<b>335</b>
C+S+A	717,12	604,00	614,06	703,61		804,5
C+S	696,98	583,47	587,45	666,42		802,7
A-Água	20,14	20,53	26,61	37,19		1,8
C-Capsula	60,68	59,14	58,10	55,30		53,77
S-Solo	636,30	524,33	529,35	611,12		748,91
Úmidade -h	3,1	3,9	5,0	6,1		0,2
ÚMIDADE MÉDIA	4,5					
ÚMIDADE CALCULADA						<b>Pêso Material</b> 6000
Água Adicionada (g)	180	240	300	360		<b>Pêso Mat. Seco</b> 5988
% Agua Adicionada	3	4	5	6		<b>MOLDES</b>
M+S+A	8150	8120	8120	8100		<b>Nº</b>
M. Moida	4.133	4.060	4.003	4.044		<b>Pêso</b>
S+A	3.972	4.060	4.117	4.056		<b>Volume</b>
Dens. Úmida	1.938	1.976	1.993	1.981		314
Dens. Convers.	1.881	1.900	1.898	1.896		322
Dens. Seca	1.880	1.902	1.898	1.867		339
<b>Dens. máx. (g/cm³)</b>	1.910					340
<b>Umidade Ótima (%)</b>	4,4					342
						4.060
						4.003
						4.044
						4.133
						4.084







## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 101,920

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP  APÓS IMERSÃO DO CP

TEOR DE CAP		1,8%								
Corpo de Prova - CP N°			26	27	28	29	30			
ALTURA do CP	1ª Medida	h <sub>1</sub>	cm	6,66	6,72	6,80	6,78			
	2ª Medida	h <sub>2</sub>	cm	6,77	6,70	6,75	6,74			
	3ª Medida	h <sub>3</sub>	cm	6,72	6,74	6,80	6,78			
	4ª Medida	h <sub>4</sub>	cm	6,70	6,75	6,86	6,80			
ALTURA MÉDIA		H	cm	6,71	6,73	6,80	6,78			
DIÂMETRO do CP	1ª Medida	d <sub>1</sub>	cm	10,15	10,14	10,14	10,18			
	2ª Medida	d <sub>2</sub>	cm	10,15	10,14	10,14	10,18			
	3ª Medida	d <sub>3</sub>	cm	10,15	10,14	10,14	10,18			
DIÂMETRO MÉDIO		D	cm	10,15	10,14	10,14	10,18			
Temperatura do banho		t	° C							
Tempo de Imersão		t <sub>i</sub>	horas							
Temperatura do CP no Ensaio		T	° C							
Carga de Ruptura do CP		F	kgf							
Resistência à Tração		$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>							



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 101,920

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP  APÓS IMERSÃO DO CP

**2,4%**

**TEOR DE CAP**

Corpo de Prova - CP N°	31	32	33	34	35
1ª Medida	6,64	6,76	6,68	6,70	6,80
2ª Medida	6,74	6,75	6,76	6,70	6,78
3ª Medida	6,74	6,72	6,82	6,70	6,74
4ª Medida	6,66	6,70	6,72	6,70	6,80
ALTURA MÉDIA	6,70	6,73	6,75	6,70	6,78
1ª Medida	10,20	10,14	10,18	10,15	10,12
2ª Medida	10,20	10,14	10,18	10,15	10,12
3ª Medida	10,20	10,14	10,18	10,15	10,12
DIÂMETRO MÉDIO	10,20	10,14	10,18	10,15	10,12
Temperatura do banho	t				
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>	horas			
Temperatura do CP no Ensaio	T	° C			
Carga de Ruptura do CP	F	kgf			
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2.F}{\pi D.H}$	kgf/cm <sup>2</sup>			



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 101,920

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP  APÓS IMERSÃO DO CP

**3,0%**

**TEOR DE CAP**

Corpo de Prova - CP N°	36	37	38	39	40
1ª Medida	h <sub>1</sub> cm	6,78	6,66	6,90	6,78
2ª Medida	h <sub>2</sub> cm	6,80	6,72	6,85	6,73
3ª Medida	h <sub>3</sub> cm	6,78	6,76	6,85	6,80
4ª Medida	h <sub>4</sub> cm	6,73	6,72	6,95	6,80
ALTURA MÉDIA	H cm	6,76	6,72	6,89	6,78
1ª Medida	d <sub>1</sub> cm	10,20	10,10	10,10	10,18
2ª Medida	d <sub>2</sub> cm	10,20	10,10	10,10	10,18
3ª Medida	d <sub>3</sub> cm	10,20	10,10	10,10	10,18
DIÂMETRO MÉDIO	D cm	10,20	10,10	10,10	10,18
Temperatura do banho	t ° C				
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub> horas				
Temperatura do CP no Ensaio	T ° C				
Carga de Ruptura do CP	F kgf				
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2.F}{\pi D.H}$ kgf/cm <sup>2</sup>				



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 101,920

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  APÓS MOLDAGEM DO CP       APÓS IMERSÃO DO CP

**3,7%**

### TEOR DE CAP

Corpo de Prova - CP N°	41	42	43	44	45
1ª Medida	6,76	6,75	6,80	6,68	6,80
2ª Medida	6,70	6,74	6,88	6,70	6,83
3ª Medida	6,78	6,77	6,78	6,68	6,80
4ª Medida	6,72	6,76	6,80	6,68	6,81
ALTURA MÉDIA	6,74	6,76	6,82	6,69	6,81
1ª Medida	10,14	10,18	10,10	10,15	10,14
2ª Medida	10,14	10,18	10,10	10,15	10,14
3ª Medida	10,14	10,18	10,10	10,15	10,14
DIÂMETRO MÉDIO	10,14	10,18	10,10	10,15	10,14
Temperatura do banho	t	° C			
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>	horas			
Temperatura do CP no Ensaio	T	° C			
Carga de Ruptura do CP	F	kgf			
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2.F}{\pi D.H}$	kgf/cm <sup>2</sup>			



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 101,920

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:  ANTES MOLDAGEM DO CP       APÓS IMERSÃO DO CP

TEOR DE CAP		4,3%							
Corpo de Prova - CP N°		46	47	48	49	50			
ALTURA do CP	1ª Medida	h <sub>1</sub>	cm	6,81	6,84	6,74	6,90	6,92	
	2ª Medida	h <sub>2</sub>	cm	6,80	6,86	6,86	6,82	6,85	
	3ª Medida	h <sub>3</sub>	cm	6,78	6,92	6,82	6,78	6,78	
	4ª Medida	h <sub>4</sub>	cm	6,80	6,90	6,75	6,85	6,80	
ALTURA MÉDIA		H	cm	6,80	6,88	6,79	6,84	6,84	
DIÂMETRO do CP	1ª Medida	d <sub>1</sub>	cm	10,13	10,12	10,12	10,18	10,18	
	2ª Medida	d <sub>2</sub>	cm	10,13	10,12	10,12	10,18	10,18	
	3ª Medida	d <sub>3</sub>	cm	10,13	10,12	10,12	10,18	10,18	
DIÂMETRO MÉDIO		D	cm	10,13	10,12	10,12	10,18	10,18	
Temperatura do banho		t	° C						
Tempo de Imersão		t <sub>i</sub>	horas						
Temperatura do CP no Ensaio		T	° C						
Carga de Ruptura do CP		F	kgf						
Resistência à Tração		$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>						


**ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**  
 (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOVIA: BR - 290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km 109,00

REGISTRO:

TRAÇON :

FAIXA:

OPERADOR: Clecio

DATA: 21/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			26	27	28	29	30				
1	PESO AO AR	g	1.044,6	1.048,3	1.045,2	1.049,5	1.048,5				
2	PESO COM FITA	g	1.052,0	1.055,5	1.051,5	1.055,8	1.055,2				
3	PESO DA FITA	g	7,4	7,2	6,3	6,3	6,7				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.058,0	1.062,1	1.057,3	1.062,3	1.062,0				
6	PESO DA PARAFINA	g	6,0	6,6	5,8	6,5	6,8				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	498,2	501,3	495,1	499,0	498,2				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	7,6	7,4	6,5	6,5	6,7				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	6,74	7,41	6,51	7,3	7,64				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	545,44	545,97	549,2	549,51	549,26				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1,91	1,92	1,90	1,90	1,90				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1,91								

9 = 3/4      10 = 6/7      11 = 5-8-9-10      12 = 1/11

1,8 % CAP

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			31	32	33	34	35				
1	PESO AO AR	g	1.049,1	1.052,1	1.051,8	1.047,8	1.056,0				
2	PESO COM FITA	g	1.055,3	1.058,8	1.058,5	1.084,1	1.061,3				
3	PESO DA FITA	g	6,2	6,7	6,7	6,3	5,3				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.061,8	1.065,2	1.065,2	1.061,2	1.068,8				
6	PESO DA PARAFINA	g	6,5	6,4	6,7	7,1	7,5				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	501,4	506,7	500,6	500,8	567,1				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,4	6,9	6,9	6,5	5,5				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	7,3	7,2	7,5	8,0	8,4				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	546,71	544,41	550,18	545,94	547,82				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1,91	1,93	1,91	1,91	1,92				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1,92								

9 = 3/4      10 = 6/7      11 = 5-8-9-10      12 = 1/11

2,4 % CAP



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOVIA: BR - 290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km 109,00

REGISTRO:

TRAÇÃO N :

FAIXA:

OPERADOR: Cielcio

DATA: 08/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			36	37	38	39	40				
1	PESO AO AR	g	1.056,9	1.047,9	1.030,6	1.051,5	1.044,4				
2	PESO COM FITA	g	1.063,4	1.055,0	1.038,0	1.057,6	1.050,7				
	PESO DA FITA	g	6,5	7,1	7,4	6,1	6,3				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.070,3	1.061,7	1.043,6	1.064,3	1.057,8				
6	PESO DA PARAFINA	g	6,9	6,7	5,6	6,7	7,1				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	505,2	494,7	492,5	498,6	493,9				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,7	7,31	7,62	6,28	6,49				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	7,75	7,52	6,29	7,52	7,97				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	550,7	552,2	537,2	551,9	549,4				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	2								
			9 = 3/4	10 = 6/7	11 = 5-8-9-10		12 = 1/11				

3,0 % CAP

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			41	42	43	44	45				
1	PESO AO AR	g	1.049,6	1.050,5	1.052,3	1.048,2	1.047,4				
2	PESO COM FITA	g	1.055,8	1.057,9	1.058,9	1.055,2	1.054,8				
3	PESO DA FITA	g	6,2	7,4	6,6	7,0	7,4				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.063,2	1.063,1	1.064,5	1.061,2	1.060,4				
6	PESO DA PARAFINA	g	7,4	5,2	5,6	6,0	5,6				
7	DENS.DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	501,4	500,6	504,7	502,2	497,4				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,39	7,62	6,8	7,21	7,62				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	8,3	5,8	6,3	6,7	6,3				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	547,1	549,04	546,71	545,05	549,09				
12	DENS.APARENTE	$\delta_{ap}$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	2								

3,7 % CAP



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOMA: BR-290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km109,00

REGISTRO:

TRAÇON:

FAIXA:

OPERADOR: Celso

DATA: 08/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO C.P.			46	47	48	49	50				
1	PESO AO AR	g	1.049,2	1.055,8	1.036,2	1.051,7	1.053,1				
2	PESO COM FITA	g	1.056,2	1.061,8	1.042,9	1.058,9	1.059,9				
3	PESO DA FITA	g	7,0	6,0	6,7	7,0	6,4				
4	DENSIDADE DA FITA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.061,8	1.057,6	1.047,8	1.064,6	1.055,7				
6	PESO DA PARAFINA	g	5,6	5,8	4,9	5,9	6,2				
7	DENS DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	500,3	501,7	493,3	496	501,4				
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	7,2	6,2	6,9	7,2	6,6				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	6,29	6,51	5,5	6,62	6,96				
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	548	553,21	542,1	554,77	550,75				
12	DENS. APARENTE	$\delta_{ap}$	1,91	1,90	1,91	1,89	1,91				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	1,90								

4,3 % CAP



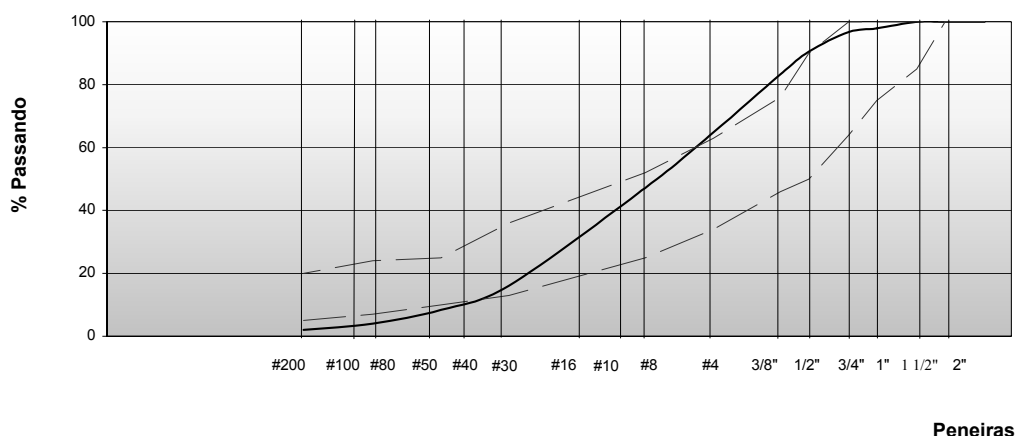


## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA		Trecho Osório - Porto Alegre	Nº
km: 101,920	Furo	Profunf.:	Material CBUQ Fresado (Lavado)	Estudo Traço para Base Reciclada
Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA	RESUMO
Joarez	Am.Total Úmi.	4.931,3	Cápsula nº	Pedregulho: Acima 4,8 mm
Data:	Retido nº 10	1.732,2	C + S + A	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm
17/02/2001	Pas.nº 4 úmi.	3.199,1	C + S	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm
Amostra Menor nº10	Pêso da água	10,1	A - Água	Areia Fina: Nº 40 - 200
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca	3.189,5	C - Cápsula	Passando Nº 200
Retido nº 10	Am.Total Sêca	4.921,7	S - Solo	Total
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	300,0	Úmididade	0,3
	Am. Me. Nº 4 Sêca	299,10	F. de Correção	100,3
				Retido: Nº 10 - 200
				45,2

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol.						50,8
1 1/2 Pol.	0,00		0,00	0,0	100,0	38,1
1 Pol.	101,95		2,07	2,1	97,9	25,4
3/4 Pol.	59,83		1,22	3,3	96,7	19,1
1/2 Pol.	303,96		6,18	9,5	90,5	12,7
3/8 Pol.	358,40		7,28	16,7	83,3	9,5
1/4 Pol.						6,4
Nº 4	908,10		18,45	35,2	64,8	4,8
Nº 8	81,58	27,28	17,68	52,9	47,1	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	143,44	47,96	31,08	83,9	16,1	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	35,38	11,83	7,67	91,6	8,4	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	20,23	6,76	4,38	96,0	4,0	0,15
Nº 200	9,34	3,12	2,02	98,0	2,0	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



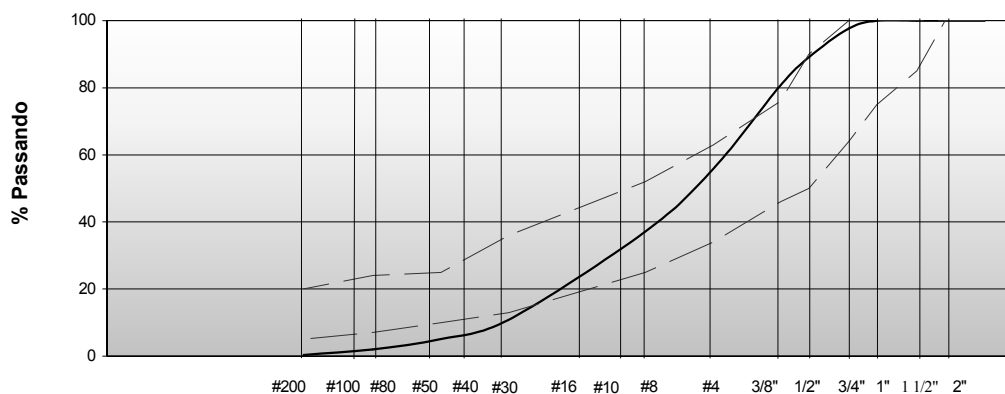


## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA		Trecho Osório - Porto Alegre	Nº
km: 101,920	Furo	Profunf.:	Material CBUQ Fresado (Seco)	Estudo Traço para Base Reciclada
Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA	RESUMO
Joarez	Am.Total Úmi.	4.462,3	Cápsula nº	177
Data:	Retido nº 10	1.965,0	C + S + A	377,39
17/02/2001	Pas.nº 4 úmi.	2.497,3	C + S	376,40
Amostra Menor nº10	Pêso da água	7,5	A - Água	0,99
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca	2.489,9	C - Cápsula	55,64
Retido nº 10	Am.Total Sêca	4.454,8	S - Solo	320,76
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	300,0	Úmidade	0,3
	Am. Me. Nº 4 Sêca	299,10	F. de Correção	100,3

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol						50,8
1 1/2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	38,1
1 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	25,4
3/4 Pol	103,46		2,32	2,3	97,7	19,1
1/2 Pol	381,35		8,56	10,9	89,1	12,7
3/8 Pol	377,87		8,48	19,4	80,6	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	1102,30		24,74	44,1	55,9	4,8
Nº 8	100,47	33,59	18,77	62,9	37,1	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	140,28	46,90	26,21	89,1	10,9	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	31,14	10,41	5,82	94,9	5,1	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	16,66	5,57	3,11	98,0	2,0	0,15
Nº 200	8,95	2,99	1,67	99,7	0,3	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



Peneiras



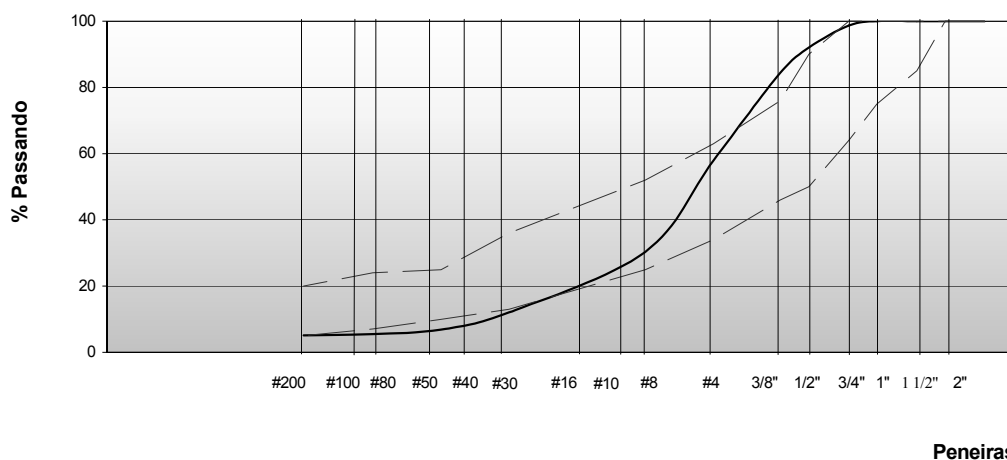
## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA	Trecho Osório - Porto Alegre	Nº
km: 101,920	Furo	Profund.: Material 97,0% CBUQ Fresado + 3,0% Calcário Dolomítico	Estudo Traço para Base Reciclada

Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Vlitor	Am.Total Úmi.	5.000,0	Cápsula nº	78	Pedregulho: Acima 4,8 mm	42,1
Data:	Retido nº 10	3.481,8	C + S + A	89,65	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm	27,6
14/03/2001	Pas. nº 4 úmi.	1.518,2	C + S	89,44	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm	18,3
Amostra Menor nº10	Pêso da água	4,5	A - Água	0,21	Areia Fina: Nº 40 - 200	6,9
Recip. Nº 41	Pas. nº 4 sêca	1.513,7	C - Cápsula	9,85	Passando Nº 200	5,1
Retido nº 10	Am.Total Sêca	4.995,4	S - Solo	79,59	Total	100,0
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	400,0	Úmidade	0,3	Retido: Nº 10 - 200	25,2
	Am. Me. Nº 4 Sêca	398,80	F. de Correção	100,3		

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol						50,8
11/2 Pol						38,1
1Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	25,4
3/4 Pol	66,00		1,32	1,3	98,7	19,1
1/2 Pol	330,48		6,62	7,9	92,1	12,7
3/8 Pol	381,90		7,65	15,6	84,4	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	1326,00		26,54	42,1	57,9	4,8
Nº 8	1377,4		27,57	69,7	30,3	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	240,50	60,31	18,27	88,0	12,0	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	67,50	16,93	5,13	93,1	6,9	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	18,30	4,59	1,39	94,5	5,5	0,15
Nº 200	5,20	1,30	0,40	94,9	5,1	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



**Km 109,000**



## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO ( FOAMED BITUMEN)

<b>Obra:</b> BR - 290	<b>Trecho:</b> Osório - Porto Alegre	<b>Local da Coleta:</b> km 109,00
<b>Interessado:</b> CONCEPA	<b>Data início:</b> 17/03/2001	<b>Data término:</b> 21/03/2001
<b>Amostra:</b> 96% CBUQ Fresado + 4% Calcáreo Dolomítico	<b>Operador:</b> Jesus / Vítor	<b>Registro:</b>

### DADOS / PARÂMETROS DA AMOSTRA E ESPUMA

% pass # n 200: 4,4%    Umidade ótima: 5,3%    Teor de CAP (%b): 5,2% (ROTAREX     REFLUXO     SOXLET  )

% água na espuma: 2,0%    Expansão da espuma: 24 vezes    Meia vida: 11s    Número de golpes: 75

Quantidade de água à acrescentar na amostra: - ml

#### 1 - Verificação da umidade e do teor total de CAP

1.1 - Com 1,8% de espuma inicial e acréscimo de - %

TESTE Nº	TEOR DE UMIDADE							TEOR DE CAP	
	CÁPSULA		Amostra úmida + cápsula (g)	Amostra seca + cápsula (g)	Água (g)	Amostra Seca (g)	h %	CAP Adicionado %	CAP %
	Nº	massa (g)							
1	178	55,68	725,70	697,30	28,40	641,62	4,4	1,1	
2	327	55,64	692,46	663,66	28,80	608,02	4,7	1,8	
3	304	57,43	573,62	550,74	22,88	493,31	4,6	2,4	
4	298	60,92	647,93	621,53	22,40	560,61	4,7	3	
5	282	56,13	612,68	587,40	25,28	531,27	4,8	3,7	

<b>Observações:</b>	CAP - 20 O 3º ponto do ensaio encontra-se fora da curva de Resistência e fora da Densidade Marshall. O motivo de tal ocorrência pode ter sido a compactação feita em apenas um dos lados do CP.
---------------------	--



## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

### 2 - Determinação do I.T.S. ( Indirect Tensile Strength)

km 109,00

(Sensibilidade do anel: 0,0215 kN)

#### 2.1 - com 1,1 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
1	1003,4	-	6,08	10,14	0,0194	180	3,924	405	-
2	1004,6	-	6,17	10,10	0,0196	180	3,924	400	-
3	1003,2	-	6,10	10,16	0,0195	150	3,270	-	335
4	1002,5	-	6,09	10,16	0,0194	140	3,052	-	315
<b>MÉDIA</b>								<b>403</b>	<b>325</b>
<b>T.R. = 81 %</b>									

#### 2.2 - com 1,8 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
6	991,9	-	6,03	10,14	0,0199	190	4,142	416	-
7	994,9	-	6,12	10,10	0,0196	188	4,980	418	-
8	996,1	-	6,06	10,16	0,0193	155	3,379	-	352
9	993,1	-	6,10	10,13	0,0195	155	3,379	-	347
<b>MÉDIA</b>								<b>417</b>	<b>350</b>
<b>T.R. = 84 %</b>									

#### 2.3 - com 2,4 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
11	998,7	-	5,99	10,18	0,0192	170	3,706	386	-
12	993,6	-	6,12	10,13	0,0196	180	3,924	400	-
13	1048,7	-	6,40	10,13	0,0204	150	3,270	-	321
14	1046,9	-	6,04	10,15	0,0202	155	3,379	-	335
<b>MÉDIA</b>								<b>393</b>	<b>328</b>
<b>T.R. = 84 %</b>									

#### 2.4 - com 3,0 % de espuma

CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
16	1050,5	-	6,03	10,14	0,0202	190	4,142	410	-
17	1047,2	-	6,04	10,13	0,0201	195	4,251	423	-
18	1047,3	-	6,03	10,12	0,0201	155	3,375	-	334
19	1049,6	-	6,03	10,16	0,0202	155	3,375	-	334
<b>MÉDIA</b>								<b>417</b>	<b>334</b>
<b>T.R. = 80 %</b>									

#### 2.5 - com 3,7 % de espuma

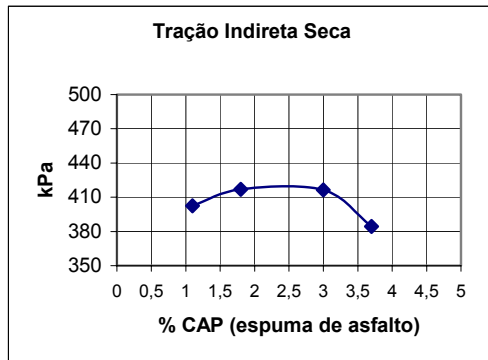
CP Nº	Massa		Altura (cm)	Diâmetro (cm)	II h D (m)	Leitura no exten- sômetro	P (kN)	Tração Indireta ITS	
	Seca (g)	Saturada (g)						Seca (kPa)	Úmida (kPa)
21	1042,4	-	6,03	10,15	0,0201	175	3,763	374	-
22	1015,6	-	6,01	10,11	0,0196	180	3,870	395	-
23	1050,0	-	6,04	10,16	0,0204	130	2,834	-	282
24	1048,3	-	6,04	10,08	0,0204	135	2,943	-	289
<b>MÉDIA</b>								<b>385</b>	<b>286</b>
<b>T.R. = 74 %</b>									



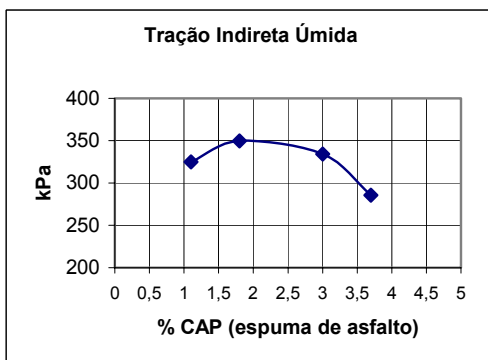
## DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ESPUMA DE ASFALTO (FOAMED BITUMEN)

### 3 - Gráficos de I.T.S (Indirect Tensile Strength)

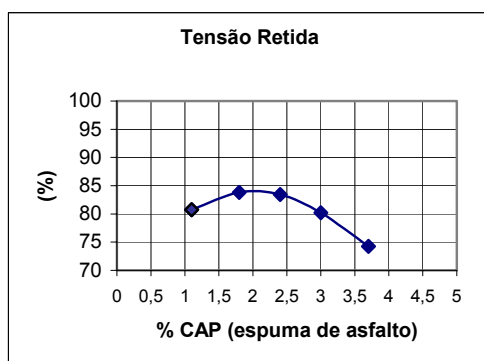
km 109,00



CP N°	(KN)	Il h D (m³)	Tração Indireta	
			(kPa)	Média
1	4	0,0194	405	403
2	4	0,0196	400	
6	4	0,0199	416	417
7	5	0,0196	418	
11	4	0,0192	386	393
12	4	0,0196	400	
16	4	0,0202	410	417
17	4	0,0201	423	
21	4	0,0201	374	385
22	4	0,0196	395	



CP N°	(KN)	Il h D (m³)	Tração Indireta	
			(kPa)	Média
3	3	0,0195	335	325
4	3	0,0194	315	
8	3	0,0193	352	350
9	3	0,0195	347	
13	3	0,0204	321	328
14	3	0,0202	335	
18	3	0,0201	334	334
19	3	0,0202	334	
23	3	0,0204	282	286
24	3	0,0204	289	



#### TEOR ÓTIMO DE CAP (espuma de asfalto)

##### RESULTADO DOS ENSAIOS-TESTE

Teor mínimo admissível: \_\_\_\_\_%

Teor ótimo (recomendável) 2,7 %

Teor máximo admissível: \_\_\_\_\_%

Obs. :

ITS (seco) = 420 kPa    ITS úmido = -

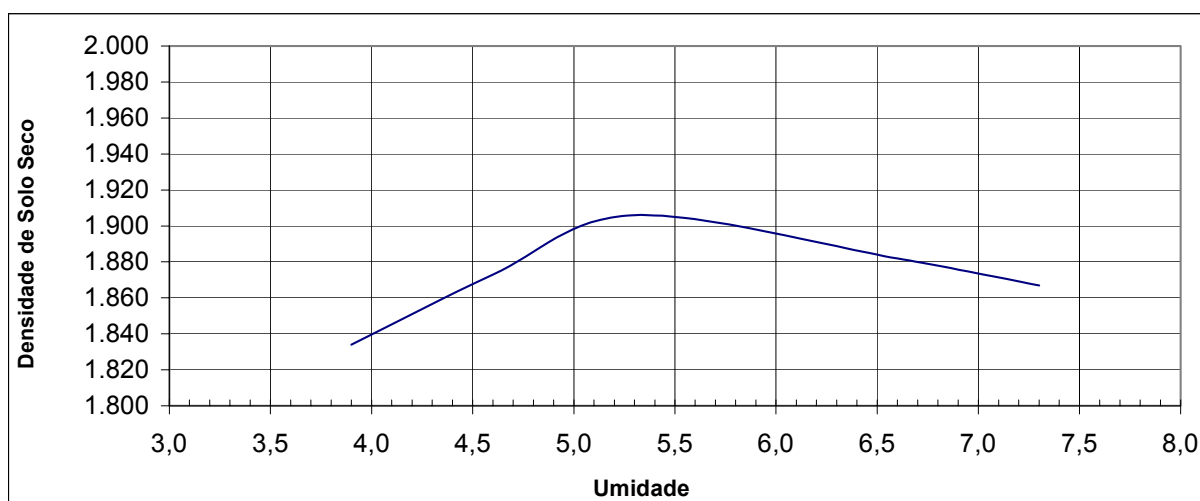
Data: 22-03-2001

Calculista: *Jésus*



## COMPACTAÇÃO

Rodovia BR - 290	Interessado CONCEPA	Trecho Osório - Porto Alegre				Nº
km 109,00	Furo	Profunf.	Material 96,0% CBUQ Fresado + 4,0% Calcáreo Dolomítico			Estudo Traço para Base Reciclada
%Mat. Ret. Pen nº 4 35,2	Proctor Modificado		Golpes 55		Operador Vitor	Data 10/03/2001
<b>Úmidade Higroscópica</b>						
Capsula nº	<b>176</b>	<b>199</b>	<b>204</b>	<b>200</b>	<b>208</b>	<b>173</b>
C+S+A	614,10	555,74	503,80	592,10	571,90	686,1
C+S	593,20	533,94	481,20	558,90	536,70	654,1
A-Água	20,90	21,80	22,60	33,20	35,2	32,0
C-Capsula	55,85	57,94	57,04	57,07	54,26	55,76
S-Solo	537,35	476,00	424,16	501,83	482,44	598,34
Úmidade -h	3,9	4,6	5,3	6,6	7,3	0,5
ÚMIDADE MÉDIA	5,5					0,5
ÚMIDADE CALCULADA	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	<b>Pêso Material</b> 6000
Água Adicionada (g)	180	240	300	360	420	<b>Pêso Mat. Seco</b>
% Agua Adicionada	3	4	5	6	7	<b>MOLDES</b>
M+S+A	8.298	8.360	9.420	8.200	8.470	<b>Nº</b>
M. Moida	4.367	4.300	5.253	4.085	4.296	<b>Pêso</b>
S+A	3.931	4.060	4.167	4.119	4.174	<b>Volume</b>
Dens. Úmida	1.898	1.957	2.011	2.004	2.007	390
Dens. Convers.	1.843	1.881	1.915	1.891	1.875	354
Dens. Seca	1.834	1.873	1.906	1.882	1.867	419
<b>Dens. máx. (g/cm³)</b>	1.906					392
<b>Umidade Ótima (%)</b>	5,3					369
						4.085
						2.053
						4.296
						2.080







## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 109,00

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:

APÓS MOLDAGEM DO CP

APÓS IMERSÃO DO CP

### TEOR DE CAP

**1,1%**

Corpo de Prova - CP N°		1	2	3	4	5
1ª Medida	h <sub>1</sub>	6,00	6,20	6,11	6,13	6,10
2ª Medida	h <sub>2</sub>	6,10	6,14	6,14	6,10	6,12
3ª Medida	h <sub>3</sub>	6,10	6,15	6,09	6,12	6,14
4ª Medida	h <sub>4</sub>	6,12	6,20	6,06	6,01	6,12
ALTURA MÉDIA	H	6,08	6,17	6,10	6,09	6,12
1ª Medida	d <sub>1</sub>	10,14	10,10	10,16	10,16	10,16
2ª Medida	d <sub>2</sub>	10,14	10,10	10,16	10,16	10,12
3ª Medida	d <sub>3</sub>	10,14	10,10	10,16	10,16	10,12
DIÂMETRO MÉDIO	D	10,14	10,10	10,16	10,16	10,13
Temperatura do banho	t					
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>					
Temperatura do CP no Ensaio	T					
Carga de Ruptura do CP	F					
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$					



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 109,00

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:

APÓS MOLDAGEM DO CP

APÓS IMERSÃO DO CP

### TEOR DE CAP

**1,8%**

Corpo de Prova - CP N°	6	7	8	9	10
1ª Medida	h <sub>1</sub> cm	6,10	6,08	6,20	6,10
2ª Medida	h <sub>2</sub> cm	6,03	5,96	6,08	6,13
3ª Medida	h <sub>3</sub> cm	6,14	6,06	6,03	6,10
4ª Medida	h <sub>4</sub> cm	6,20	6,14	6,10	6,05
ALTURA MÉDIA	H cm	6,12	6,06	6,10	6,10
1ª Medida	d <sub>1</sub> cm	10,10	10,16	10,13	10,14
2ª Medida	d <sub>2</sub> cm	10,10	10,16	10,13	10,14
3ª Medida	d <sub>3</sub> cm	10,10	10,16	10,13	10,14
DIÂMETRO MÉDIO	D cm	10,10	10,16	10,13	10,14
Temperatura do banho	t ° C				
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub> horas				
Temperatura do CP no Ensaio	T ° C				
Carga de Ruptura do CP	F kgf				
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$ kgf/cm <sup>2</sup>				



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 109,00

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:

APÓS MOLDAGEM DO CP

APÓS IMERSÃO DO CP

### TEOR DE CAP

**2,4%**

Corpo de Prova - CP N°	11	12	13	14	15
1ª Medida	h <sub>1</sub>	6,04	6,34	6,04	6,04
2ª Medida	h <sub>2</sub>	5,98	6,43	6,03	6,04
3ª Medida	h <sub>3</sub>	5,88	6,43	6,03	6,05
4ª Medida	h <sub>4</sub>	6,07	6,40	6,04	6,04
ALTURA MÉDIA	H	5,99	6,40	6,04	6,04
1ª Medida	d <sub>1</sub>	10,17	10,13	10,15	10,18
2ª Medida	d <sub>2</sub>	10,19	10,13	10,15	10,18
3ª Medida	d <sub>3</sub>	10,19	10,13	10,15	10,18
DIÂMETRO MÉDIO	D	10,18	10,13	10,15	10,18
Temperatura do banho	t	° C			
Tempo de Imersão	t <sub>i</sub>	horas			
Temperatura do CP no Ensaio	T	° C			
Carga de Ruptura do CP	F	kgf			
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$	kgf/cm <sup>2</sup>			



## ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Obra: BR - 290 (CONCEPA) / Osório - Porto Alegre

Local de coleta: km 109,00

DOSAGEM: Asfalto / Espuma

Responsável: Jesus

ENSAIO:

APÓS MOLDAGEM DO CP

APÓS IMERSÃO DO CP

TEOR DE CAP

**3,0%**

Corpo de Prova - CP N°	16	17	18	19	20
1ª Medida	cm	6,04	6,03	6,03	6,04
2ª Medida	cm	6,04	6,03	6,03	6,04
3ª Medida	cm	6,04	6,03	6,03	6,05
4ª Medida	cm	6,05	6,03	6,03	6,05
ALTURA MÉDIA	cm	6,04	6,03	6,03	6,05
1ª Medida	cm	10,13	10,12	10,17	10,10
2ª Medida	cm	10,13	10,12	10,16	10,10
3ª Medida	cm	10,13	10,12	10,16	10,10
DIÂMETRO MÉDIO	cm	10,13	10,12	10,16	10,10
Temperatura do banho	° C				
Tempo de Imersão	horas				
Temperatura do CP no Ensaio	° C				
Carga de Ruptura do CP	kgf				
Resistência à Tração	$\delta R = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot H}$				


**ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**  
 (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOVIA: BR - 290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km 109,00

REGISTRO:

TRAÇON :

FAIXA:

OPERADOR: Clecio

DATA: 21/03/2001

DENSIDADE APARENTE												
NÚMERO DO C.P.			1	2	3	4	5					
1	PESO AO AR	g	1.003,4	1.004,6	1.003,2	1.002,5	1.005,6					1,1% CAP
2	PESO COM FITA	g	1.010,3	1.012,6	1.010,0	1.009,5	1.013,4					
3	PESO DA FITA	g	6,9	8,0	6,8	7,0	7,8					
4	DENSIDADE DA FITA	δ	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97					
5	PESO PARAFINADO	g	1.020,8	1.023,4	1.020,8	1.020,4	1.023,8					
6	PESO DA PARAFINA	g	10,5	10,8	10,8	10,9	10,4					
7	DENS.DA PARAFINA	δ	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89					
8	PESO IMERSO	g	507,8	506,8	508,5	506,6	507,8					
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	7,1	8,2	7,0	7,2	8,0					
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	11,8	12,1	12,1	12,2	11,7					
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	494,09	496,3	493,2	494,4	496,3					
12	DENS.APARENTE	δap	2.031,0	2.024,0	2.034,0	2.028,0	2.026,0					
13	MÉDIA	δapm	2029									

9 = 3/4      10 = 6/7      11 = 5-8-9-10      12 = 1/11

DENSIDADE APARENTE												
NÚMERO DO C.P.			6	7	8	9	10					
1	PESO AO AR	g	991,9	994,9	996,1	993,1	997,2					1,8% CAP
2	PESO COM FITA	g	998,6	1.003,0	1.002,7	999,8	1.004,4					
3	PESO DA FITA	g	6,7	8,2	6,6	6,7	7,7					
4	DENSIDADE DA FITA	δ	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97					
5	PESO PARAFINADO	g	1.009,4	1.013,8	1.013,7	1.010,6	1.015,6					
6	PESO DA PARAFINA	g	10,8	10,8	11,0	10,8	10,7					
7	DENS.DA PARAFINA	δ	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89					
8	PESO IMERSO	g	502,8	503,8	506,0	501,4	504,8					
9	VOLUME DA FITA	cm <sup>3</sup>	6,9	8,5	6,1	6,9	7,9					
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	12,8	12,1	12,4	12,1	12,0					
11	VOLUME DO C.P.	cm <sup>3</sup>	486,4	489,4	489,22	490,2	490,9					
12	DENS.APARENTE	δap	2.045,0	2.054,0	2.072,0	2.026,0	2.031,0					
13	MÉDIA	δapm	2046									



## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

(MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

RODOMA: BR-290 (CONCEPA)

LOCAL DE COLETA: km109,00

REGISTRO:

TRAÇON:

FAIXA

OPERADOR Celso

DATA 08/03/2001

DENSIDADE APARENTE											
NÚMERO DO CP.			21	22	23	24	25				
1	PESO AO AR	g	1.042,4	1.015,6	1.050,0	1.048,3	1.052,3				
2	PESO COM FTA	g	1.049,1	1.022,5	1.057,0	1.055,2	1.058,7				
3	PESO DA FTA	g	6,7	6,9	7,0	6,9	6,4				
4	DENSIDADE DA FTA	$\delta$	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>				
5	PESO PARAFINADO	g	1.056,1	1.029,4	1.064,2	1.061,7	1.065,5				
6	PESO DA PARAFINA	g	7,0	6,9	7,2	6,5	7,3				
7	DENS DA PARAFINA	$\delta$	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>				
8	PESO IMERSO	g	530	517,8	528,4	530,3	529,1				
9	VOLUME DA FTA	cm <sup>3</sup>	6,9	7,1	7,2	7,1	6,6				
10	VOLUME DA PARAFINA	cm <sup>3</sup>	7,9	7,8	8,1	7,3	8,2				
11	VOLUME DO CP.	cm <sup>3</sup>	511,3	496,7	520,5	516,9	521,6				
12	DENS. APARENTE	$\delta_{ap}$	2039,0	2045,0	2017,0	2028,0	2017,0				
13	MÉDIA	$\delta_{apm}$	2029								

3,7% CAP

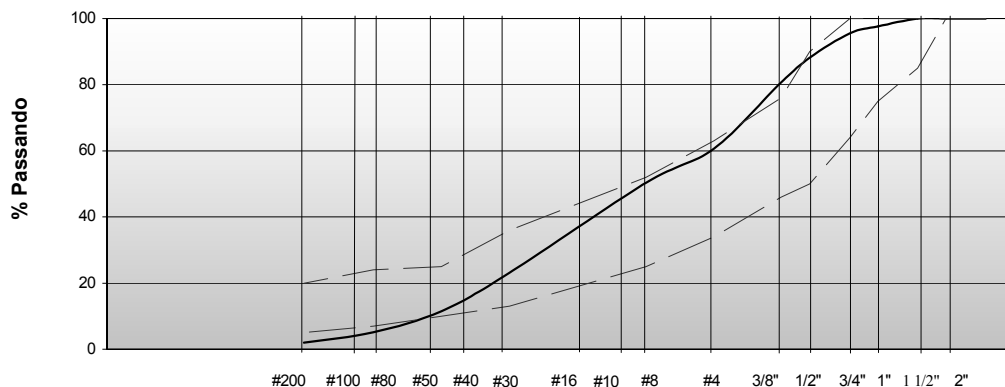


## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA		Sub-Trecho Pista Sul - (Faixa Externa)	Nº
km: 109,00	Furo	Profunf.:	Material CBUQ Fresado (Lavado)	Estudo Traço para Base Reciclada
Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA	RESUMO
Joarez	Am.Total Úmi.	<b>4.878,2</b>	Cápsula nº	Pedregulho: Acima 4,8 mm <b>39,3</b>
Data:	Retido nº 10	<b>1.912,3</b>	C + S + A	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm <b>10,3</b>
17/02/2001	Pas.nº 4 úmi.	<b>2.965,9</b>	C + S	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm <b>27,1</b>
Amostra Menor nº10	Pêso da água	<b>14,8</b>	A - Água	Areia Fina: Nº 40 - 200 <b>21,2</b>
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca	<b>2.951,1</b>	C - Cápsula	Passando Nº 200 <b>2,0</b>
Retido nº 10	Am.Total Sêca	<b>4.863,4</b>	S - Solo	Total <b>100,0</b>
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	<b>300,0</b>	Úmidade	Retido: Nº 10 - 200 <b>48,3</b>
	Am. Me. Nº 4 Sêca	<b>298,50</b>	F. de Correção	<b>100,5</b>

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.	0		0,00	0,0	100,0	76,2
2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	50,8
1 1/2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	38,1
1 Pol	114,27		2,35	2,3	97,7	25,4
3/4 Pol	100,65		2,07	4,4	95,6	19,1
1/2 Pol	360,25		7,41	11,8	88,2	12,7
3/8 Pol	362,25		7,45	19,3	80,7	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	974,90		20,05	39,3	60,7	4,8
Nº 8	50,87	17,04	10,34	49,7	50,3	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	133,55	44,74	27,15	76,8	23,2	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	57,72	19,34	11,73	88,5	11,5	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	31,18	10,45	6,34	94,9	5,1	0,15
Nº 200	15,27	5,12	3,10	98,0	2,0	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



Peneiras



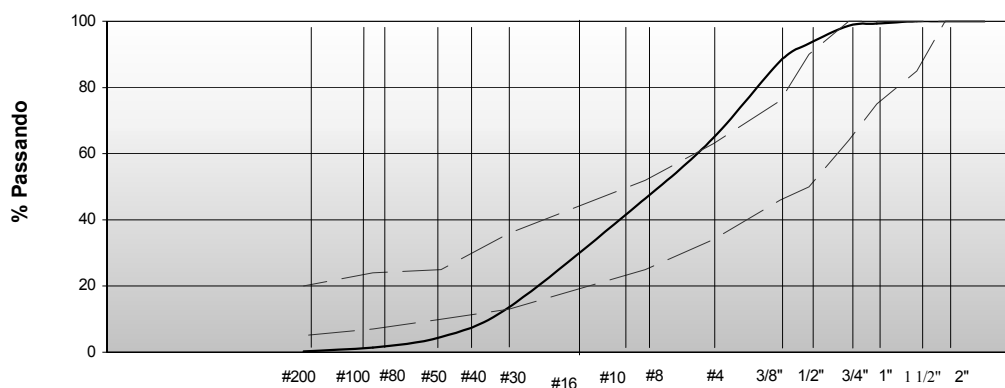
## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA	Sub-Trecho Pista Sul - (Faixa Externa)		Nº
km: 109,00	Furo	Profunf.:	Material CBUQ Fresado (Seco)	Estudo Traço para Base Reciclada

Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Joarez	Am.Total Úmi.	<b>4.878,5</b>	Cápsula nº	<b>162</b>	Pedregulho: Acima 4,8 mm	<b>35,2</b>
Data:	Retido nº 10	<b>1.713,4</b>	C + S + A	<b>209,10</b>	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm	<b>18,3</b>
17/02/2001	Pas.nº 4 úmi.	<b>3.165,1</b>	C + S	<b>208,31</b>	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm	<b>32,9</b>
Amostra Menor nº10	Pêso da água	<b>15,8</b>	A - Água	<b>0,79</b>	Areia Fina: Nº 40 - 200	<b>13,3</b>
Recip. Nº 41	Pas.nº 4 sêca	<b>3.149,4</b>	C - Cápsula	<b>38,70</b>	Passando Nº 200	<b>0,3</b>
Retido nº 10	Am.Total Sêca	<b>4.862,8</b>	S - Solo	<b>169,61</b>	Total	<b>100,0</b>
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	<b>300,0</b>	Úmidade	<b>0,5</b>	Retido: Nº 10 - 200	<b>46,2</b>
	Am. Me. Nº 4 Sêca	<b>298,50</b>	F. de Correção	<b>100,5</b>		

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.	0		0,00	0,0	100,0	76,2
2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	50,8
11/2 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	38,1
1Pol	32,90		0,68	0,7	99,3	25,4
3/4 Pol	32,00		0,66	1,3	98,7	19,1
1/2 Pol	261		5,37	6,7	93,3	12,7
3/8 Pol	257,90		5,30	12,0	88,0	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	1129,60		23,23	35,2	64,8	4,8
Nº 8	84,33	28,25	18,30	53,5	46,5	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	151,52	50,76	32,87	86,4	13,6	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	41,25	13,82	8,95	95,4	4,6	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	14,90	4,99	3,23	98,6	1,4	0,15
Nº 200	5,32	1,78	1,15	99,7	0,3	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



Peneiras



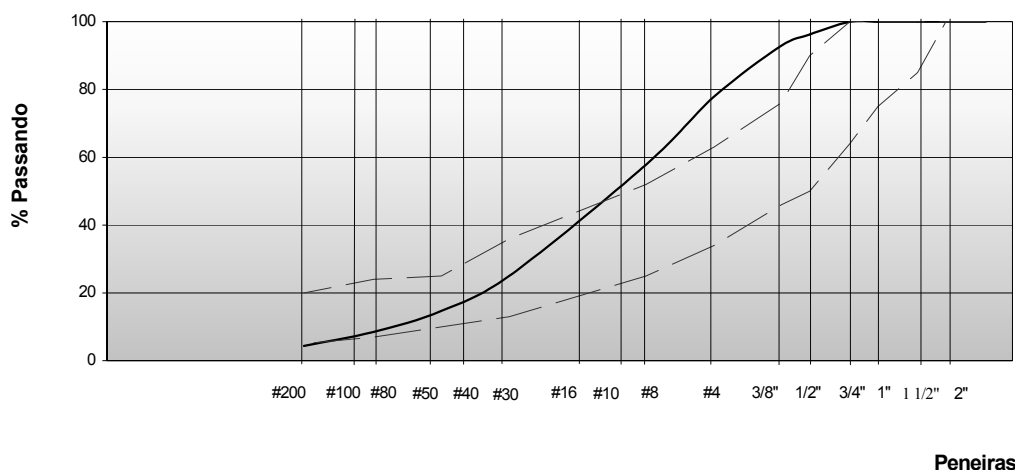


## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ( SIMPLES)

Rodovia BR -290	Interessado CONCEPA		Sub-Trecho Pista Sul - (Faixa Externa)	Nº		
km: 109,00	Furo	Profund.:	Material 96,0% CBUQ Fresado + 4,0% Calcário Dolomítico	Estudo Traço para Base Reciclada		
Operador:	AMOSTRA TOTAL SECA		ÚMIDADE HIGROSCÓPICA	RESUMO		
Joarez	Am.Total Úmi.	<b>5.000,0</b>	Cápsula nº	<b>172</b>	Pedregulho: Acima 4,8 mm	<b>22,1</b>
Data:	Retido nº 10	<b>2.102,9</b>	C + S + A	<b>85,48</b>	Areia Grossa: 4,8 - 2,0 mm	<b>20,0</b>
17/02/2001	Pas. nº 4 úmi.	<b>2.897,1</b>	C + S	<b>85,12</b>	Areia Média: 2,0 - 0,42 mm	<b>32,7</b>
Amostra Menor nº10	Pêso da água	<b>14,4</b>	A - Água	<b>0,36</b>	Areia Fina: Nº 40 - 200	<b>20,7</b>
Recip. Nº 41	Pas. nº 4 sêca	<b>2.882,1</b>	C - Cápsula	<b>10,09</b>	Passando Nº 200	<b>4,4</b>
Retido nº 10	Am.Total Sêca	<b>4.985,6</b>	S - Solo	<b>75,03</b>	Total	<b>100,0</b>
Recip. Nº 252	Am. Me. Nº 4 Úmid	<b>400,0</b>	Úmidade	<b>0,5</b>	Retido: Nº 10 - 200	<b>53,4</b>
	Am. Me. Nº 4 Sêca	<b>398,00</b>	F. de Correção	<b>100,5</b>		

PENEIRA	MATERIAL RETIDO				Por. Que Passa da Amostra Total	Peneira mm
	Pêso - g	Porc. da Amost. Menor Nº10	Por. Amostra Total	Porcentagem Acumulada		
3 Pol.						76,2
2 Pol						50,8
11/2 Pol						38,1
1Pol						25,4
3/4 Pol	0,00		0,00	0,0	100,0	19,1
1/2 Pol	187,9		3,77	3,8	96,2	12,7
3/8 Pol	169,60		3,40	7,2	92,8	9,5
1/4 Pol						6,4
Nº 4	746,70		14,98	22,1	77,9	4,8
Nº 8	998,7		20,03	42,2	57,8	2,4
Nº 10						2
Nº 16						1,2
Nº 30	225,30	56,61	32,73	74,9	25,1	0,6
Nº 40						0,42
Nº 50	71,70	18,02	10,42	85,3	14,7	0,3
Nº 80						0,18
Nº 100	42,40	10,65	6,16	91,5	8,5	0,15
Nº 200	28,50	7,16	4,14	95,6	4,4	0,074
Fundo						

### GRANULOMETRIA



Peneiras

## **ANEXO – B**

**LAUDO MASSA ASFÁLTICA**

**IPIRANGA ASFALTOS**

Paulínia, 05 de Junho de 2002.

**PARA:** CONCEPA – CONSÓRCIO CONSTRUTOR TRS

A/C.: Eng.º Marcelo Dama

**DE:** CDT – IASA/Betel – Paulínia/SP.

Laboratório de Desenvolvimento.

**Ref:** Estudo Técnico 11/002 – 02

Teor de Betume e Caracterização de Massa Asfáltica

Obra: BR-290 - Freeway

Conforme solicitado, seguem os resultados obtidos com os ensaios realizados com as amostras de massa asfáltica encaminhadas:

- **IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA**

**PLACA Nº01:** Consórcio Construtor TRS – Pista Sul – Faixa Esquerda – Trilha Esquerda

**Km 108 + 920      Serviço: Capa sobre a reciclagem**

Data: 15/ 05/ 02

**PLACA Nº02:** Consórcio Construtor TRS – Pista Sul – Faixa Esquerda – Trilha Esquerda

**Km 108 + 570      Serviço: Capa sobre a reciclagem**

Data: 15/ 05/ 02

**1 – Caracterização do Ligante**

A recuperação do ligante da massa asfáltica é realizado com base no método ASTM D 1856-95a (Método de recuperação de ligante pelo Abson)

ENSAIO	MÉTODO (c/ base em)	UNID .	ESPECIF. CAP - 20	RESULTADOS	
				I	AMOSTRA 2
Teor de betume	ASTM D 2172	%	---	5,7	5,2
Ponto de Amolecimento	NBR 6560	°C	---	54,2	61,6
Penetração (100g, 5s, 25°C)	NBR 6576	dmm	50 mín	29	14
Índice de Suscetibilidade Térmica	---	---	(-1,5) a (+1,0)	(-1,34)	(-1,17)
Viscosidade a 60°C	ASTM D 4402-87	P	> 4x viscos. original *	7360	---
Viscosidade Brookfield a 135°C 177°C	ASTM D 4402-87	cP	(120 s, mín) (30 – 150 s)	548 (253,2 s) 90 (41,6 s)	1006 (464,8 s) 131,5 (60,7 s)
Ductilidade a 25°C	NBR 6293	cm	20 mín *	> 100	30,8
Spot Test	ME-028 (Met. Interno)	---	Negativo	Negativo	Negativo

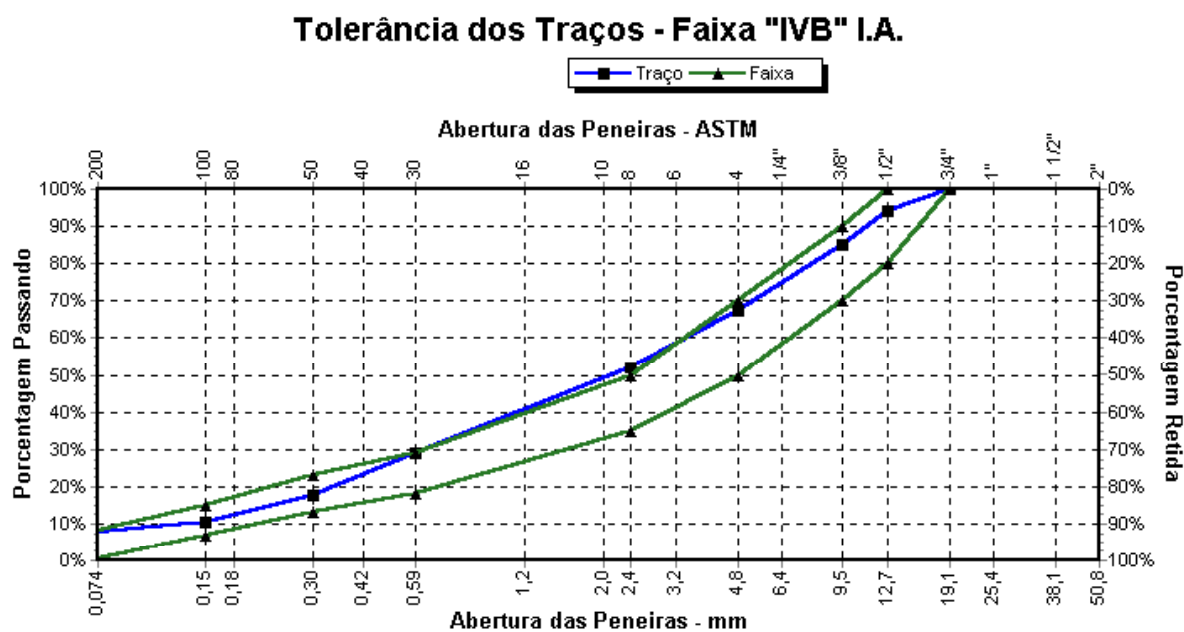
\* Especificações válidas após ensaio de Efeito do Calor e do Ar (ECA)

## 2 – Estudo de Granulometria

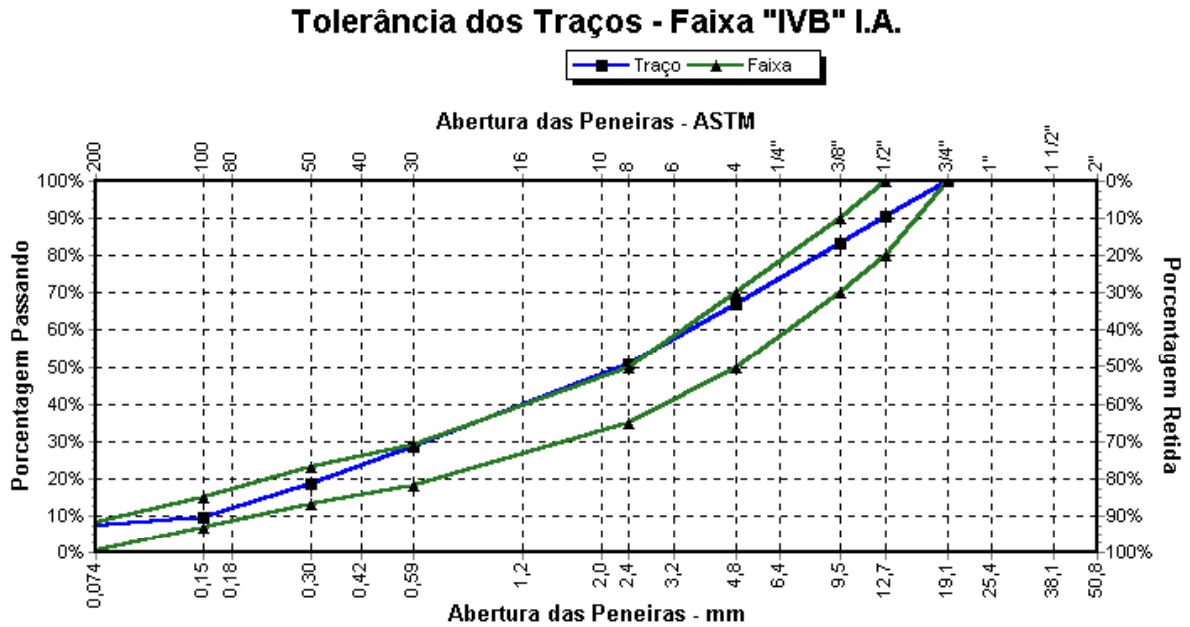
<i>Material</i>	Faixa "IVB" I.A. (%)		AMOSTRA 01	AMOSTRA 02
	Limite Inferior	Limite Superior		
<b>Peneiras e % de Material</b>	<b>Passante</b>			
19,1mm : 3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0
12,7mm : 1/2"	80.0	100.0	93.9	90.7
9,5mm : 3/8"	70.0	90.0	84.9	83.3
4,8mm : n°4	50.0	70.0	67.3	67.0
2,4mm : n°8	35.0	50.0	51.9	50.9
0,59mm : n°30	18.0	29.0	29.1	28.5
0,30mm : n°50	13.0	23.0	17.5	18.5
0,15mm : n°100	7.0	15.0	10.3	9.7
0,074mm : n°200	0.0	8.0	7.4	6.9

### 2.1 – Análise de Granulometrias

#### - Tolerância dos traços para Amostra 1



- Tolerância dos traços para Amostra 2



Atenciosamente,

*Eng<sup>o</sup> Anelise Lamaro Zanon*

Analista de Desenvolvimento  
CDT – Ipiranga Asfaltos S/A

*Eng<sup>o</sup> José Marcelo Almeida*

Coordenador de Negócios  
Coordenadoria Comercial Sul