Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil e Ambiental

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECANÍSTICO DO NOVO PAVIMENTO DA BR232/PE, TRECHO: CARUARU - SÃO CAETANO

ELSEN PONTUAL SALES

Campina Grande
Data: Abril/2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECANÍSTICO DO NOVO PAVIMENTO DA BR–232/PE, TRECHO: CARUARU - SÃO CAETANO

ELSEN PONTUAL SALES

Campina Grande – Paraíba
Abril/2008

ELSEN PONTUAL SALES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande – PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.**

Área de Concentração: Geotecnia

Prof. Dr. José Afonso Gonçalves de Macêdo
Orientador

Profª. Drª. Licia Mouta da Costa
Orientador

Campina Grande - Paraíba

Abril/2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
ÁREA DE GEOTECNIA

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECANÍSTICO DO NOVO PAVIMENTO DA BR–232/PE, TRECHO: CARUARU - SÃO CAETANO

Por:

ELSEN PONTUAL SALES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande – PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.**

Campina Grande – Paraíba
Abril/2008

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Elsen Pontual Sales

Título: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECANÍSTICO DO NOVO PAVIMENTO DA BR–232/PE, TRECHO: CARUARU - SÃO CAETANO

Dissertação Defendida e Aprovada em: 25/04/2008

Pela Banca Examinadora

(Assinatura): _____

Prof. D.Sc. (Orientador) José Afonso Gonçalves de Macêdo
DEC/CTRN/UFCG

(Assinatura): Licia Mouta da Costa.

Profª. D.Sc. (Orientador) Licia Mouta da Costa
CTG-UFPE

(Assinatura): Laura Maria Goretti da Motta

Profª. D.Sc. Laura Maria Goretti da Motta – Examinador Externo
COPPE/UFRJ

(Assinatura): _____

Prof. PhD. Nilton Pereira de Andrade – Examinador Externo
UFPB

(Assinatura): _____

Prof. D.Sc. José Orlando Vieira Filho – Examinador Externo
UNICAP

S163ai Sales, Elsen Pontual.
Análise do comportamento mecanístico do novo pavimento da BR-232/PE, trecho: Caruaru – São Caetano / Elsen Pontual Sales.- Campina Grande, 2009.
368p. : il.
Orientadores: José Afonso Gonçalves de Macedo, Lícia Mouta da Costa
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CTRN
1. Geotecnia. 2. Pavimentação asfáltica. Agregados alternativos. 4. Granulometria.

UFPB/BC CDU: 624.13(043)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Aluísio e Maria Silvia (in memorian).
À minha esposa Vera Lúcia.
Aos meus filhos Elsen e Patrícia Maria.

AGRADECIMENTOS

À Santíssima Trindade, por possibilitar nossa existência e mostrar o caminho da luz.

À minha madrinha Nossa Senhora, por minha vida.

Aos meus pais, por minha formação humana e, em especial, à minha mãe por seus sacrifícios em prol de minha cidadania e dignidade.

À minha família, esposa e filhos, por me proporcionarem amor, carinho, atenção e demais boas condições ambientais estimuladoras que favorecem meu desempenho profissional.

Ao DER-PE, por possibilitar a realização das medidas e ensaios necessários à elaboração do trabalho além de contribuir fortemente em minha formação profissional.

À Maia Melo Engenharia LTDA., pelo apoio fundamental na realização de todo o curso de mestrado e na elaboração deste trabalho.

À UFCG, por realizar mais do que suas obrigações institucionais de oferta do curso de mestrado, atuando decisivamente como uma organização incentivadora, motivadora e paciente colaboradora na minha formação acadêmica.

Ao Professor, Orientador e amigo José Afonso Gonçalves Macedo, companheiro de todas as horas ao longo de todo o curso e em especial no período de elaboração deste trabalho, por seu empenho na transmissão de conhecimentos, dedicação ao ensino, bom humor e atitude profissional proativa.

À Professora Lícia Mouta da Costa, pela orientação complementar e competência no ensino de caideras do curso.

À Professora Laura Maria Goretti da Motta, pelo exemplo de profissional de engenharia e incansável batalhadora pelo ensino ético e tecnicamente embasado da engenharia de pavimentos, além da honrosa participação na banca examinadora.

Ao mestre dos muito e saudosos caminhos percorridos, desde a graduação, Professor José Orlando Vieira Filho, por sua competente habilidade em transmitir infindáveis conhecimentos com inigualável alegria, além da honrosa participação na banca examinadora.

Ao Professor Nilton Pereira de Andrade, pela honrosa participação na banca examinadora.

Aos mestres que ao longo da vida me repassaram conhecimentos, possibilitando crescimento pessoal e desempenho profissional, em especial ao mestre acadêmico e de conduta cidadã, Professor Antão Luiz de Melo (in memorian).

Aos meus irmãos Yves e José Hermínio, pelo sempre presente apoio e exemplo de companheirismo.

Ao apoio do sempre eficiente Sérgio Pedroza, na competente edição informatizada deste trabalho.

À Engenheira Mirtes Macedo pela oferta farta e proveitosa de material didático.

Aos meus companheiros de curso, em especial, João Baptista Souza, Yêda Gondim, Joel Ventura Filho, Rômulo Ferreira e Luciano Melo, pela paciência, incentivo e salutar convivência, antes e durante o evento.

Aos Engenheiros de DER-PE Carlos Estima, Carlos Alencar e Severino Monteiro, por suas participações decisivas possibilitando a realização de pesquisas na BR-232/PE.

Aos Engenheiros Antônio Flávio Andrada e Marília Gabriela Moreira, pela elaboração e cessão de trabalhos que auxiliaram o desenvolvimento deste.

Aos Diretores da Maia Melo Engenharia LTDA., Rogério Giglio e Stanley Fortes Baptista pela compreensão e apoio ao longo do desenvolvimento e realização do curso de mestrado e deste trabalho.

À empresa Andrade Gutierrez, pela realização de diversas etapas das pesquisas de dados no trecho da BR-232/PE e por estar sempre disponível na facilitação da obtenção das informações.

À Contécnica Engenharia LTDA., pela elaboração e disponibilização do Projeto de Engenharia de Duplicação e Restauração da BR-232/PE e, atuando como supervisora das obras do trecho, participar ativamente na obtenção dos dados de pesquisa.

Aos companheiros colaboradores da Maia Melo que direta ou indiretamente participaram da elaboração deste trabalho, por sua paciência, compreensão e ajuda.

EPÍGRAFE

"Se fossem escolher entre alternativas, as decisões seriam fáceis. Uma decisão inclui a seleção e a formulação de alternativas."
(Kenneth Burke)

Resumo da Tese apresentada à UFCG/PB como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil.

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECANÍSTICO DO NOVO PAVIMENTO DA BR–232/PE, TRECHO: CARUARU - SÃO CAETANO

Elsen Pontual Sales

Abril/2008

Orientadores: José Afonso Gonçalves de Macêdo e Licia Mouta da Costa

A pesquisa que originou este trabalho se desenvolveu em um segmento de 10,0 km, de um total de 19,8 km, da nova pista duplicada do trecho, então em obras de restauração e duplicação, da BR-232/PE compreendido entre as cidades de Caruaru e São Caetano, Pernambuco.

A obra, em sua totalidade, foi executada no período compreendido entre o início de 2006 e o final de 2007 e ao longo do desenvolvimento dos serviços foram realizadas pesquisas em parte do novo pavimento da pista duplicada, tão logo fosse sendo concluído. Assim, além dos ensaios tradicionais de caracterização física dos materiais que compunham a última camada de terraplenagem e a estrutura do pavimento, também foram feitos ensaios triaxiais dinâmicos das camadas granulares, ensaios de fadiga, resistência à tração e compressão diametral das camadas asfáltica e uma campanha deflectométrica ao longo do segmento pesquisado.

Através da utilização dos programas computacionais FEPAVE2 e RETRAN5-L, obteve-se indicadores, sob a ótica mecanística, do desempenho atual do pavimento e a expectativa de seu comportamento futuro, para atendimento a um tráfego cujas pesquisas de pesagem de eixos existentes na região também foram analisadas neste trabalho, de forma a melhor caracterizar a solicitação de cargas ao pavimento.

De forma complementar, foram criadas as condições de avaliação futura dos comportamentos de duas bases distintas, utilizadas no segmento estudado, a composta por Brita Graduada Simples - BGS e a formada por Macadame Hidráulico - MH.

Thesis summany presented to UFCG/PB as a part of a necessary requirement for getting master degree in science in Civil Engineering.

ANALYSIS OF THE MECHANISTIC BEHAVIOR OF THE NEW PAVEMENT OF BR-232/PE, FROM CARUARU TO SÃO CAETANO.

Elsen Pontual Sales

April, 2008

Subject: CIVIL ENGINEERING

Supervisors: José Afonso Gonçalves de Macedo and Licia Mouta Costa

The research that led to this work was developed in a section of 10.0 km, of a total of 19.8 km, the new doubled track of the segment, then in works of restoration and duplication of BR-232/PE between the cities of Caruaru and São Caetano, Pernambuco.

The work in its entirety, was executed in the period between early 2006 and late 2007 and throughout the development of the services were performed research in the new pavement of the duplicated track, once it had been completed. Thus, besides the traditional tests of physical characterization of the materials of the last layer of earth and structure of the pavement, were also made dynamic triaxial test of granular layers, the fatigue tests, traction strength and diameter compression of the asphalt layers and a deflectometer campaingn along the studied segment.

Through the application of softwares FEPAVE 2 and RETRAN5-L, it was obtained indicators, under the mechanistic view of the current performance of the pavement and the expectation of its future behavior, to attend a traffic whose weighing research of axles of the region were also analyzed in this work in order to better characterize the application of loads to the pavement.

Additionally, conditions were created for further evaluation of the behavior of two different basis used in the studied segment , the one consisted of Simple Graded Gravel - SGG and consisted of Hydraulic Macadam - HM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema de um dimensionamento mecanístico de um pavimento (Motta, 1991 a*pud* Medina e Motta, 2005) 29

Figura 2.2: Influência da temperatura na vida de fadiga (Pinto, 1991) citado por Medina (1997) 52

Figura 2.3. Relação de formas geométricas dos corpos-de-prova (Souza, 2007) 58

Figura 2.4: Estado de tensões gerados no ensaio de tração indireta (Souza, 2007) 60

Figura 2.5: Equipamento de Ensaio a Compressão diametral de cargas repetidas (Souza, 2007) 62

Figura 2.6: Comportamento da tensão e deformação, no ensaio de fadiga a tensão controlada (Monismith e Deacon, 1969) 63

Figura 2.7: Comportamento da tensão e deformação, no ensaio de fadiga a deformação constante (Monismith e Deacon, 1969) 63

Figura 2.8: Comportamento da tensão e deformação, no ensaio de fadiga com um modo de corregamento intermediário (Monismith e Deacon, 1969) 64

Figura 2.9: Diagrama da vida de fadiga para diversos modos de carregamento (Monismith e Deacon, 1969) 65

Figura 2.10: Deformação causada por subleito (ou camadas de pavimentos pouco compactadas ou inadequadas) 67

Figura 2.11: Deformação causada por mistura asfáltica fraca 67

Figura 2.12: Esquema de diferentes bacias deflectométricas para uma mesma deflexão Máxima (Cavalcante, 2005) 76

Figura 2.13: Ilustração da hipótese adotada pelo DNIT (Salini, 1999). 76

Figura 2.14 – Ilustração do equipamento triaxial dinâmico de compressão axial (DNER, 1994e) 80

Figura 2.15 – Esquema ilustrativo da determinação do módulo de resiliência em laboratório (WSDOT, 1995a). 81

Figura 2.16 – Foto do equipamento triaxial dinâmico da COPPE/UFRJ (Neto, 2004) 82

Figura 2.17 - Esquema da viga Benkelman (DNER, 1994d) 87

Figura 2.18 - Ilustração da viga Benkelman (www.contenco.com.br) 87

Figura 2.19 - Esquema do posicionamento da viga Benkelman (DNER, 1994d) 88

Figura 2.20 - Ilustração do ensaio realizado com a viga Benkelman (Motta et al, 2002). 88

Figura 2.21 – Modelos de comportamento tensão deformação existentes no FEPAVE2 (Silva, 2001). 96

Figura 2.22 – Modelos Sistema de coordenadas utilizado pelo programa ELSYM5 (Silva, 2001) 98

Figura 3.1 – Estratégia de desenvolvimento para a região diretamente atendida pela BR-232/PE, trecho Recife – São Caetano (CONDEPE/FIDEM, 2007) 105

Figura 3.2 – Evolução populacional de Caruaru (IBGE, 2001)..... 109

Figura 3.3 – Distribuição do IDH, Caruaru (IBGE, 2001) 111

Figura 3.4 – Evolução populacional de São Caetano (IBGE). 113

Figura 3.5 – Distribuição do IDH, São Caetano (IBGE) 115

Figura 3.6 – Mapa de Situação do segmento da rodovia objeto deste estudo, Caruaru – São Caetano 123

Figura 3.7 – Fotografias da BR-232/PE, segmento: Caruaru – São Caetano (Autor, dez/2007). 132

Figura 3.8 - Seção transversal tipo trechos rurais, do projeto de duplicação..... 133

Figura 3.9 e 3.10 - Seção transversal tipo de retornos do projeto de duplicação..... 133

Figura 4.1 – Registro de fotografia de satélite do trecho entre Caruaru e São Caetano da BR-232 (Google Earth). 157

Figura 4.2 – Gráfico linear de pavimentação do segmento estudado nesta pesquisa..... 158

Figura 4.3 – Seção Transversal-Tipo de Pavimentação do segmento desta pesquisa..... 158

Figura 4.4 – Esquema usado para locar pontos de extração dos corpos-de-prova in loco..... 169

Figura 4.5 – Esquema da Viga Benkelman utilizada na BR-232, trecho: Caruaru – São Caetano..... 180

Figura 4.6 – Esquema de realização das medidas com a Viga Benkelman. 181

Figura 4.7 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 01. 184

Figura 4.8 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 02. 184

Figura 4.9 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 03. 184

Figura 4.10 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 04. 185

Figura 4.11 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 05. 185

Figura 4.12 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 06. 185

Figura 4.14 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 08. 186

Figura 4.15 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 09. 186

Figura 4.16 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 10. 187

Figura 4.17 – Dados estatísticos do resumo das retroanálises realizadas nos segmentos deste estudo 189

Figura 4.18 – Desempenho estrutural através dos dados das retroanálises dos segmentos em estudo 190

Figura 5.1 - Histograma Comparativo de Precipitações Mensais no local deste estudo..... 198

Figura 5.2 - Distribuição das Deflexões Máximas dos levantamentos deste estudo no segmento analisado 198

Figura 5.3 - Histograma de deflexões levantadas na presente pesquisa 199

Figura 5.4 - Histograma de deflexões obtidas no controle tecnológico da construção da obra (fiscalização do DER-PE) - Médias..... 200

Figura 5.5 - Histograma do desvio padrão dos dados do controle tecnológico da construção da obra (fiscalização do DER-PE)..... 200

Figura 5.6 - Histograma do coeficiente de variação dos dados do controle tecnológico da construção da obra (fiscalização do DER-PE)..... 201

Figura 5.7 - Estrutura de Pavimento Considerada na Retroanálise..... 205

Figura 5.9 – Granulometria da Mistura Asfáltica do tipo Binder – faixa B, usada na obra do segmento em estudo 217

Figura 5.10 - Granulometria da Mistura Asfáltica – faixa C, usada na obra do segmento em estudo..... 217

Figura 5.11 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral LEP/UFCG. 228

Figura 5.12 - Curvas de Fadiga à Tensão Controlada das misturas asfálticas utilizadas no segmento em estudo 230

Figura 5.13 – Representação gráfica do modelo composto de resiliência para os materiais de base, sub-base e camada final de terraplenagem do segmento em estudo..... 232

Figura 5.14 - Estrutura de pavimento analisada para BR232PE..... 234

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Dados da obra de duplicação e restauração da BR-232/PE, trecho: Caruaru – São Caetano..... 25
Tabela 2.1 – Percentual de veículos comerciais na faixa de tráfego de projeto (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006). 33
Tabela 2.2 – Fatores de equivalência de cargas do USACE (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006) 34
Tabela 2.3 – Fatores de equivalência de cargas da AASHTO (Soares e Motta, 2001)..... 35
Tabela 2.4 – Valores de ESALF para os diferentes eixos (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006)..... 36
Tabela 2.5 – Cálculo do Fator de Carga (Souza, 1981; DNER, 1996) 37
Tabela 2.6 - Altura média de chuva x Fator climático regional, SOUZA (1981)..... 40
Tabela 2.7 – Intervalos de carga por tipo de eixo para uso no método PCA/84. 42
Tabela 2.8: Temperaturas médias mensais de 30 anos de observação (1961-1990) das capitais brasileiras em ^{o}C. 45
Tabela 2.9: Critério de fadiga segundo o tipo de carregamento (Souza, 2007) 65
Tabela 2.11: Modelos para Determinação da Deformação Permanente (Souza, 2007)..... 71
Tabela 2.12: Parâmetros “A” e “B” do modelo da Shell Oil de previsão da deformação vertical limite no topo do subleito. 73
Tabela 2.13: Parâmetros A e B de modelos de previsão da deformação vertical limite no topo do subleito citadas por Santos (1998). 73
Tabela 2.14 – Valores de Coeficiente de Poisson para alguns materiais de pavimentação (TRB, 1975) 90
Tabela 2.15 – Lista dos programas mais utilizados em retroanálise (Cavalcante, 2005) 93
Tabela 3.1 - População por Situação de Domicílio, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001) 108
Tabela 3.2 – Nível educacional da população jovem e adulta, Caruaru (IBGE, 2001) 109
Tabela 3.3 - Nível Educacional da população adulta (25 anos ou mais), 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001).. 109
Tabela 3.4 - Indicadores de Renda, Pobreza e Desigualdade, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)..... 110
Tabela 3.5 - Porcentagem da Renda Apropriada por Extratos da População, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001) 110
Tabela 3.6 - Acesso a Serviços Básicos, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001) 110
Tabela 3.7 - Acesso a Bens de Consumo, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001) 111
Tabela 3.8 – IDH de Caruaru (IBGE, 2001)..... 111
Tabela 3.9 - População por Situação de Domicílio, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)..... 112
Tabela 3.10 – Nível educacional da população jovem e adulta, São Caetano (IBGE, 2001) 113
Tabela 3.11 - Nível Educacional da população Adulta (25 anos ou mais), 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)..... 113
Tabela 3.12 - Indicadores de Renda, Pobreza e Desigualdade, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)..... 114
Tabela 3.13 - Porcentagem da Renda Apropriada por Extratos da População, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)..... 114
Tabela 3.14 - Acesso a Serviços Básicos, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001) 114
Tabela 3.15 - Acesso a Bens de Consumo, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001) 115
Tabela 3.16 – IDH de São Caetano (IBGE, 2001) 115
Tabela 3.17 – Características da RD – Agreste Central (Agência CONDEPE/FIDEM, 2007)..... 121

Tabela 3.18 – Fatores de Veículos utilizados no projeto de duplicação do segmento em estudo..... 124
Tabela 3.19 – Resumo da pesquisa de tráfego do projeto de duplicação (VMD – nos dois sentidos)..... 125
Tabela 3.20 – Tráfego projetado constante do projeto de duplicação do segmento em análise (VMD nos dois sentidos). 126
Tabela 3.21 – Número N do projeto de duplicação do segmento em análise. 126
Tabela 3.22 – Resumo estatístico do solo do subleito da nova pista do projeto de duplicação. 134
Tabela 3.23 – Dados sobre a realização da pesquisa de pesagem de eixos (Moreira, 2005) 136
Tabela 3.24 – Excessos de carga (em %) para cada tipo de eixo (Moreira, 2005) 136
Tabela 3.25 – Veículos pesquisados na BR-232/PE em 2007 (Andrada, 2007)..... 137
Tabela 3.26 - Eixos pesquisados na BR-232/PE em 2007 (Andrada, 2007). 138
Tabela 3.27 – Excessos de peso verificados na pesquisa de eixos da BR-232/PE realizada em 2007 (Andrada, 2007)..... 138
Tabela 3.28 – Veículos pesquisados na BR-101/PE em 2007 (Andrada, 2008)..... 139
Tabela 3.29 - Eixos pesquisados na BR-101/PE em 2007 (Andrada, 2007). 139
Tabela 3.30– Excessos de peso verificados na pesquisa de eixos da BR-101/PE realizada em 2007 (Andrada, 2007)..... 140
Tabela 3.31 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal) 142
Tabela 3.32 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal) 143
Tabela 3.33 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal) 143
Tabela 3.34 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso nominal) 143
Tabela 3.35 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso nominal) 143
Tabela 3.36 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso nominal) 144
Tabela 3.37 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso nominal) 144
Tabela 3.38 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)..... 145
Tabela 3.39 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)..... 145
Tabela 3.40 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)..... 146
Tabela 3.41 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados peso equivalente - USACE)..... 146
Tabela 3.42 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - USACE)..... 146

Tabela 3.43 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - USACE)..... 146
Tabela 3.44 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso equivalente - USACE)..... 147
Tabela 3.45 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)..... 147
Tabela 3.46 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)..... 147
Tabela 3.47 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO) 148
Tabela 3.48 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados peso equivalente - AASHTO)..... 148
Tabela 3.49 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - AASHTO)..... 148
Tabela 3.50 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - AASHTO) 149
Tabela 3.51 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso equivalente - AASHTO)..... 149
Tabela 3.52 - BR-232/PE e 101/PE: Comparativo entre os pesos nominais e equivalentes admitidos como representativos das pesquisas de tráfego analisadas..... 149
Tabela 3.53 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Nominal e Metodologia de FEC do USACE) 151
Tabela 3.54 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Nominal e Metodologia de FEC da AASHTO) 152
Tabela 3.55 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Equivalente USACE) 153
Tabela 3.56 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Equivalente AASHTO) 154
Tabela 3.57 - BR-232/PE; Pesquisas de 2004 e 2007 – Peso Médio Transportado..... 155
Tabela 3.58 - BR - 101/PE; Pesquisas de 2004 e 2007 – Peso Médio Transportado..... 155
Tabela 3.59 - BR - 232 E 101/PE; Pesquisas de 2004 e 2007 – Peso Médio Transportado 155
Tabela 4.1 – Ensaios de caracterização de empréstimos e jazidas que seriam utilizados nas camadas de acabamento de terraplenagem e sub-base dos segmentos restantes a pavimentar. 160
Tabela 4.2 – Ensaio de resistência à tração da fase inicial das amostras de CBUQ, faixas B e C do segmento em estudo 161
Tabela 4.3 – Ensaio de fadiga por compressão diametral de amostras de CBUQ, faixa B usados nesta pesquisa 163
Tabela 4.4 – Ensaio de fadiga por compressão diametral de amostras de CBUQ, faixa C usados nesta pesquisa 164
Tabela 4.5 – Resumo dos módulos resilientes ensaiados na fase inicial com CBUQ B e C 165

Tabela 4.6 – Ensaio de resistência à tração; fase intermediária do CBUQ C desta pesquisa 166
Tabela 4.8 – Cadastro dos corpos-de-prova extraídos "in loco" da capa de rolamento. 170
Tabela 4.9 – Cadastro dos corpos-de-prova extraídos "in loco" da camada de ligação (binder). 171
Tabela 4.10 – Resumo dos módulos resilientes ensaiados na fase final com CBUQ B e C de corpos-de-prova moldados na Usina de Asfalto – fase final 172
Tabela 4.11 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova moldados em usina para CBUQ C deste estudo – etapa final. 173
Tabela 4.12 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova moldados em usina para CBUQ B deste estudo – etapa final. 173
Tabela 4.13 – Resumo dos módulos de resiliência dos corpos-de-prova extraídos na pista CBUQ C deste estudo – etapa final 174
Tabela 4.14 – Resumo dos módulos de resiliência dos corpos-de-prova extraídos na pista CBUQ B deste estudo – etapa final 174
Tabela 4.15 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova extraídos na pista para CBUQ C do segmento em estudo – etapa final. 175
Tabela 4.16 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova extraídos na pista para CBUQ B do segmento em estudo – etapa final. 176
Tabela 4.17 – Ensaio Triaxial Dinâmico para a camada de base do segmento em estudo. 177
Tabela 4.18 – Ensaio Triaxial Dinâmico para a camada de sub-base do segmento em estudo. 178
Tabela 4.19 – Ensaio Triaxial Dinâmico para a última camada de terraplenagem (MS) do segmento em estudo. 179
Tabela 4.20 - Deflexões Benkelman – faixa de tráfego externa (Lado Direito). 182
Tabela 4.21 - Deflexões Benkelman – faixa de tráfego interna (Lado Esquerdo). 183
Tabela 4.22 – Resumo das retroanálises realizadas por segmento deste estudo 188
Tabela 5.2 – Deflexões Máximas – Lado Esquerdo no segmento em estudo. 194
Tabela 5.3 – Correspondência entre defl. nos dois levantamentos (deflexão máxima e medida na bacia) 202
Tabela 5.4 - Bacias medidas em campo nos locais com deflexões máxima, mínima e média de cada segmento para análise nesta pesquisa 203
Tabela 5.7 – Caracterização dos materiais do segmento em análise das camadas terrosas do pavimento (UFCG) 211
Tabela 5.8 – Composição Granulométrica da Brita Graduada Simples (BGS) empregada na Base do segmento analisado, feita na UFCG 212
Tabela 5.9 - Parâmetros de Compactação e CBR com variação de umidade – BGS do segmento em estudo, feito na UFCG 212
Tabela 5.10 - Granulometria dos agregados e filer (% passando) utilizados nas misturas asfálticas do segmento em estudo, feita na UFCG 213
Tabela 5.11 - Características dos agregados minerais da mistura asfáltica desta pesquisa, feita na UFCG 214
Tabela 5.12 – Caracterização de material betuminoso da mistura asfáltica desta pesquisa, feita na UFCG 215
Tabela 5.13 - Composição das Misturas Asfálticas utilizadas nas obras do segmento em estudo 216
Tabela 5.14 - Granulometria das Misturas Asfálticas utilizadas nas obras do segmento em estudo 216

Tabela 5.15 - Projeto de Mistura CBUQ – Binder – Faixa B da obra do segmento em estudo 218
Tabela 5.16 - Projeto de Mistura CBUQ – Capa – Faixa C. da obra do segmento em estudo 218
Tabela 5.17 - Cadastro dos corpos-de-prova retirados da pista 219
Tabela 5.18 - Dimensões dos corpos-de-prova retirados da Pista 220
Tabela 5.19 - Dimensões dos corpos-de-prova moldados em laboratório/usina da construtora e medidas feitas pela UFCG 221
Tabela 5.20 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista da camada de capa pela equipe da pesquisa 222
Tabela 5.21 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista - capa. Continuação. 223
Tabela 5.22 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista da camada de binder pela equipe da pesquisa 224
Tabela 5.23 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista - binder. Continuação. 225
Tabela 5.24 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova moldados em laboratório da camada de binder feita pela UFCG. 226
Tabela 5.25 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova moldados em laboratório da camada de capa feita pela UFCG 227
Tabela 5.26 - Resistência a Tração (RT) Estática obtida por Compressão Diametral dos corpos-de-prova de laboratório e campo do segmento em estudo 228
Tabela 5.27 - Valores de Módulo de Resiliência (MR) dos corpos-de-prova de campo e laboratório do segmento em estudo 229
Tabela 5.28 - Modelo de Fadiga – Tensão Controlada dos corpos-de-prova de campo e laboratório do segmento em estudo 229
Tabela 5.29 - Relação MR/RT das Misturas Asfálticas 229
Tabela 5.30. – Resultado dos ensaios de módulo resiliente baseados nos modelos granular ($MR=K_1 s_3^{k2}$) e argiloso ($MR=K_1 \gamma_d^{k2}$) 231
Tabela 5.31 – Resultado dos ensaios de módulo resiliente baseados no modelo composto. 232
Tabela 5.32 – Resultados dos parâmetros de deformabilidade obtidos a partir da simulação com o FEPAVE2. 235
Tabela 5.33 – Contribuição percentual das camadas na deflexão total e faixa de módulos obtidas com o FEPAVE2. 235

LISTA DE SÍMBOLOS

ε : Deformação de tração repetida.

μ : Coeficiente de Poisson.

Σ : Superfície Específica.

τ : Resistência ao cisalhamento.

θ : Atrito interno.

$\Delta\sigma$: Diferença de tensões (tensão vertical e horizontal).

ε_{abs} : Deformação permanente absoluta.

σ_{axial} : Tensão axial.

ε_e : Deformação elástica.

ε_{esp} : Deformação permanente específica ou relativa.

ε_i : Deformação resiliente inicial.

ε_p : Deformação plástica.

δ_r : Deslocamento resiliente.

ε_r : Deformação específica resiliente (recuperável).

ε_t : Deformação total.

σ_t : Tensão de tração.

C : Coesão.

CAP : Cimento Asfáltico de Petróleo.

CBUQ : Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

D : Diâmetro do corpo-de-prova.

D_a : Densidade aparente da mistura.

D_{adm} : Deflexão admissível.

DC : Deformação Controlada.

DMM : Densidade Máxima Medida.

DMT : Densidade Máxima Teórica.

F : Carga vertical.

H : Altura do corpo-de-prova.

IP : Índice de penetração.

IST : Índice de Suscetibilidade Térmica.

k_i, n_i : Parâmetros experimentais (vida de fadiga).

LVDT : Linear Variable Differential Transducer.

M_a : Massa do agregado na mistura.

MF : Fator Modo.

Mr : Módulo de resiliência.

M_t : Massa da mistura.

N_f : Vida de fadiga.

P : Penetração do asfalto.

PA : Ponto de Amolecimento.

PAG : Proporção de agregado graúdo.

ρ_{ap} : Densidade aparente do agregado.

PCA : Percentagem de fração graúda do agregado em relação ao peso total da mistura.

ρ_{ef} : Densidade efetiva do agregado.

ρ_r : Densidade real do agregado.

PTMN : Peneira tamanho máximo nominal.

RBV : Relação Betume Vazios.

RRT : Razão de Resistência à Tração por compressão diametral.

RT : Resistência a Tração por compressão diametral.

S_b : Módulo de rigidez do ligante betuminoso.

TC : Tensão Controlada.

T_F : Espessura do filme de ligante asfáltico.

σ_{vsl} : Tensão vertical limite no sub-leito.

V_{ag} : Volume de agregados.

VAM : Vazios do Agregado Mineral.

V_{ap} : Volume aparente do agregado.

V_{ar} : Volume de ar.

V_b : Volume de asfalto.

V_{ba} : Volume de asfalto absorvido.

V_{bef} : Volume de asfalto efetivo.

VCA_{DRC} : Vazios do Agregado Graúdo (DRC = “Dry Rodder Unit Weight”).

VCA_{MIX} : Vazios do Agregado Graúdo na mistura.

V_{ef} : Volume efetivo do agregado.

V_r : Volume real do agregado.

V_s : Volume do sólido.

V_{sef} : Volume do sólido efetivo.

V_v : Volume de vazios.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 24

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 28

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 28
2.2 TRÁFEGO 30
2.2.1 Número N 31
2.2.2 Fatores de Equivalência de Carga x Fator de Carga (FEC x FC). 33
2.2.3 Fator de Eixo 38
2.2.4 Fator de Veículo 38
2.2.5 Fator Climático Regional 39
2.2.6 Convergência de metodologias 40
2.2.7 Outros Procedimentos de Consideração do Tráfego 42
2.3 CLIMA 43
2.3.1 Temperatura no Pavimento 46
2.3.2 Umidade no Pavimento 48
2.4 FADIGA 50
2.4.1 Fadiga na Mistura Asfáltica 52
2.4.1 Ensaios de Fadiga 56
2.5 DEFORMAÇÃO PERMANENTE 66
2.6 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS 74
2.6.1 Ensaios Destrutivos 78
2.6.2 Ensaios Não-destrutivos 85
2.6.3 Retroanálise de Deflexões Recuparáveis em Pavimentos 88
2.6.4 Programas Computacionais 94

CAPÍTULO 3: O TRECHO EM ESTUDO 104

3.1 INFORMAÇÕES GERAIS 104
3.1.1 Dados Socioeconômicos dos Municípios Diretamente Atendidos. 107
3.1.2 Meio Físico da Região de Influência do Trecho 116
3.1.2 Meio Antrópico da Área 119
3.2 INFORMAÇÕES DE PROJETO 122
3.2.1 Identificação do Segmento 122
3.2.2 Localização 122

3.2.3 Tráfego 124

3.2.4 Características Geométricas. 127

3.2.5 Novo Pavimento 130

3.3 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES 134
3.3.1 – Pesquisa de pesagem de eixos nas BR-232 e BR-101/PE realizada em 2004. 135

3.3.2 – Pesquisa de pesagem de eixos na BR-232/PE realizada em 2007 137

3.3.3 – Pesquisa de pesagem de eixos na BR-101/PE realizada em 2007 138

3.3.4 – Peso nominal e equivalente transportado por tipo de eixo 140

3.3.4.1 – Peso nominal 142

3.3.4.2 – Peso equivalente (ponderado c/ FEO USACE) 144

3.3.4.3 – Peso equivalente (ponderado c/ FEO AASHTO) 147

3.3.4.4 – Exemplos comparativos 149

3.3.5 – Distribuição de pesos transportados por tipo de eixo 155

3.3.6 – Considerações finais 156

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS 157

4.1 INTRODUÇÃO 157
4.2 METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS 159
4.2.1 Estudos iniciais. 159

4.2.2 Estudos intermediários. 165

4.2.3 Estudos Finais. 168

4.2.3.2 Medidas de deflexão 180

CAPÍTULO 5 - CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 191

5.1 – Introdução 191
5.2 – Ensaios de Campo 191
5.3– Avaliação Estrutural Não-Destrutiva através de Retroanálise 204
5.4 –Ensaios de Laboratório 209
5.4.1 – Caracterização Tradicional, Compactação e CBR 209

5.4.2 Características do Revestimento 213

5.4.3 Agregados 213

5.4.4 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 214

5.4.5 Misturas Asfálticas 215

5.4.6 Propriedades Físicas e Mecânicas das Misturas Asfálticas. 218

5.4.7 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral 227

5.4.8 Ensaios de Módulo de Resiliência e Fadiga do Concreto Betuminoso Usinado a Quente 228

5.4.9 – Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas 230

5.4.10 Avaliação Estrutural Destrutiva com Base nos Ensaios de Laboratório 232

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 237

6.1 CONCLUSÕES 237

6.1.1 Tráfego (dados apresentados no capítulo 3) 237

6.1.2 Pavimento (dados apresentados nos capítulos 4 e 5) 239

6.2 RECOMENDAÇÕES 240

6.2.1 Tráfego 240

6.2.2 Pavimento 241

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 243

APÊNDICE A - TABELAS DE CÁLCULO DAS PESQUISAS DE TRÁFEGO 254

APÊNDICE B - ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO 312

B1 - Estudos Iniciais 313

B2 - Estudos Intermediários 324

B3 - Estudos Finais 329

B3.1 – Corpos-de-Prova Pista 330

B3.2 – Corpos-de-Prova Usina 344

B3.3 – Defletometria 353

B3.4 – Informações do Executor 363

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

No Brasil, de modo geral, o transporte rodoviário ocupa um lugar destacado na participação da movimentação de cargas. Esse papel preponderante do modal rodoviário tem diversas causas, destacando-se entre elas o surgimento da indústria automobilística nacional na década de 50 e a expansão da malha de rodovias pavimentadas, em especial durante os décadas de 50 e 70, em detrimento dos demais modais.

No caso específico de Pernambuco, o modal rodoviário concentra 86,4% da movimentação de cargas. Cabe destacar que 56% do tráfego nas rodovias do Estado ocorrem em 10% da malha estadual pavimentada (Plano Logístico de Pernambuco, 2004)

Basicamente, a malha rodoviária do Estado é estruturada a partir de quatro grandes corredores, sendo três transversais (BR-101, BR-116 e BR-104) e um longitudinal (BR-232). Articulam-se, a esta estrutura principal, duas rodovias arteriais primárias longitudinais (BR-122 e BR-110) e uma arterial secundária transversal (BR- 235) e diversas rodovias estaduais. As demais rodovias arteriais secundárias, coletoras, de ligação etc, estabelecem as complementações da rede rodoviária do Estado.

Dessa forma, a BR – 232 se constitui no único corredor de transporte do Estado que se desenvolve no sentido leste-oeste, coincidindo com a forma alongada do estado, sendo, portanto, o corredor de transporte que integra praticamente todos os 185 municípios de Pernambuco.

Por sua importância, a rodovia vem sendo objeto de intervenções de aumento de capacidade e restaurações. Em 2006, foi concluída a duplicação e restauração da pista simples original do trecho Recife – Caruaru e recentemente, janeiro de 2008, foi inaugurada a duplicação e restauração da pista existente do trecho Caruaru – São Caetano com 19,8 km de extensão, segmento objeto desta pesquisa.

Os números relacionados a essa última intervenção constam da Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Dados da obra de duplicação e restauração da BR-232/PE, trecho: Caruaru – São Caetano.

Discriminação	*Ud*	*Quantidade*
Duplicação da pista principal	km	19,80
Reabilitação do pavimento da pista principal	km	19,80
Equivalente de vias marginais em pista simples	km	13,44
Área de OAE	m^2	2849,00
Custo total da obra	R$	129.178.607,64
Custo p/ km (extensão de 19,8 km)	R$/km	6.524.172,10
Custo p/km (extensão equivalente em pista simples de 53,04 km)	R$/km	2.435.194,11

Obs: obra inaugurada em janeiro de 2008; Fonte: DER-PE.

Analisando os dados da tabela 1.1 vê-se que o investimento rodoviário é significativo e a obra tem importância fundamental para Pernambuco.

Por ocasião da execução da nova pista duplicada, o DER-PE requereu o auxílio da UFCG na determinação de parâmetros ligados à mecânica de pavimentos que auxiliassem o controle tecnológico tradicional que vinha sendo muito bem conduzido.

As pesquisas realizadas pela UFCG na BR-232/PE, a consolidação dos dados e a análise dos resultados, formaram a base desta pesquisa. Dessa forma, os objetivos deste trabalho são: (i) apresentar os estudos executados, embasando-os teoricamente, (ii) descrever a metodologia de atuação, (iii) complementar as pesquisas com informações referentes ao trecho e seu contexto regional, com a descrição do respectivo Projeto de Engenharia e com dados de pesquisas de pesagens de eixos efetuadas na BR-232 e na BR-101/PE, (iv) analisar os resultados obtidos e (v) apresentar conclusões e recomendações oriundas das informações trabalhadas.

Os estudos realizados foram compostos de ensaios de caracterização mecânica tradicional dos solos componentes da estrutura do pavimento e da última camada de terraplenagem, execução de ensaios triaxiais dinâmicos desses materiais, ensaios de fadiga do material constituinte da camada da superfície de rolamento (CBUQ na faixa granulométrica C do DNIT) e da camada de ligação também denominada de binder (CBUQ na faixa granulométrica B do DNIT), ensaios de composição volumétrica, resistência à tração e de determinação dos módulos de

resiliência dessas misturas asfálticas e medidas de deflexão recuperável com a Viga Benkelman e posterior realização da correspondente retroanálise.

Os estudos foram desenvolvidos em três etapas. Na primeira, corpos-de-prova das misturas asfálticas foram moldados no laboratório da construtora da obra para execução dos ensaios na UFCG. Como os resultados de resistência à tração e módulo de resiliência apresentaram incoerência com o desempenho do pavimento observado na obra (os resultados dos ensaios não eram satisfatórios enquanto que os controles tecnológicos realizados e a aparência do pavimento não demonstravam desconformidades), repetiram-se os ensaios de composição volumétrica e de resistência à tração em uma segunda etapa de campanha de pesquisas, com a manutenção da metodologia de obtenção dos corpos-de-prova da fase anterior. Persistindo as incoerências, moldaram-se corpos-de-prova na própria Usina de Asfalto e foram retirados testemunhas da pista, sendo novamente (3ª etapa) realizados os ensaios das misturas asfálticas já descritos.

A 3ª etapa foi complementada com uma campanha deflectométrica efetivada com a Viga Benkelman, sendo efetuada uma retroanálise com base nos dados geotécnicos e de deflexão, utilizando o programa Retran5-L.

Todos os resultados obtidos foram analisados e comparados, proporcionando significativo acréscimo de qualidade nos controles tecnológicos de acompanhamento da obra.

Para apresentar seu conteúdo, a dissertação é estruturada da seguinte forma:

- O Capítulo 1 se constitui desta Introdução.

- No Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica são apresentados resultados de trabalhos desenvolvidos por autores nacionais e internacionais sobre os assuntos considerados básicos para compreensão dos estudos realizados, constituindo-se de referências de pavimentação rodoviária em relação à tráfego, clima, fadiga, deformação permanente, tensões e deformações verticais no subleito, avaliação estrutural, retroanálise e citação de algumas características de programas computacionais atualmente em uso.

- No Capítulo 3 – O Trecho em Estudo, são apresentados, a contextualização regional do segmento da BR-232, as características do projeto de engenharia que originou a obra e os dados de quatro pesquisa de pesagem de eixo rodoviário realizada na BR-232 e BR-101/PE.

- O Capítulo 4 – Metodologia de Obtenção dos Dados e Caracterização dos Materiais, apresenta a sistemática e os procedimentos utilizados na realização das pesquisas e os resultados de todos os ensaios e medidas.

- O Capítulo 5 – Consolidação e Análise dos Resultados, apresenta todas as comparações de resultados de forma consolidada e objetiva, formando a base para as conclusões.

- O Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações, apresenta todas as conclusões dos trabalhos executados e sugestões para realização de trabalhos futuros e adoção de procedimentos que foram julgados pertinentes.

- No Apêndice A é mostrada toda a memória de cálculo da tabulação das pesquisas de pesagem de veículos cujos principais aspectos são resumidos no capítulo 3.

- Finalmente, no Apêndice B constam dados mais detalhados dos ensaios de campo e laboratório realizados nesta pesquisa e referenciados e resumidos nos capítulos 4 e 5.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Medina e Motta (2005), as estruturas de pavimentos flexíveis (revestimento com mistura asfáltica), no Brasil, têm sido dimensionadas pelo Método do DNER, com base no CBR e nas curvas de dimensionamentos do Corpo de Engenheiros Militares dos EUA, o USCE. No caso de pavimentos rígidos (revestimento em placas de concreto de cimento Portland), o método utilizado é o PCA/84 (Portland Cement Association), baseado na contribuição de Westergaard. Contudo, a tendência mundial é o estabelecimento de métodos de dimensionamento mecanísticos para pavimentos flexíveis, rígidos, novos ou a serem restaurados que utilizam as ferramentas de análise estrutural no cálculo de tensões e deformações e determinam os mecanismos de fadiga e de deformabilidade. Atualmente ainda contêm fatores de natureza empírica, principalmente nas considerações sobre a carga atuante na estrutura que no caso de rodovias são representadas pelo tráfego

O fluxograma da figura 2.1 é sugerido por Medina e Motta (2005) para referenciar de forma abrangente o procedimento de dimensionamento mecanístico – empírico. Os dados de entrada são os fatores ambientais, o tráfego, materiais, técnicas construtivas, o processamento por via mecanística e os critérios de decisão que são a forma de evitar que a degradação por qualquer um dos mecanismos de ruptura atinja valores maiores que os estabelecidos para o trecho específico, antes que o N de projeto seja alcançado, ou seja, que o pavimento opere conforme planejado durante todo o período previsto para sua vida útil.

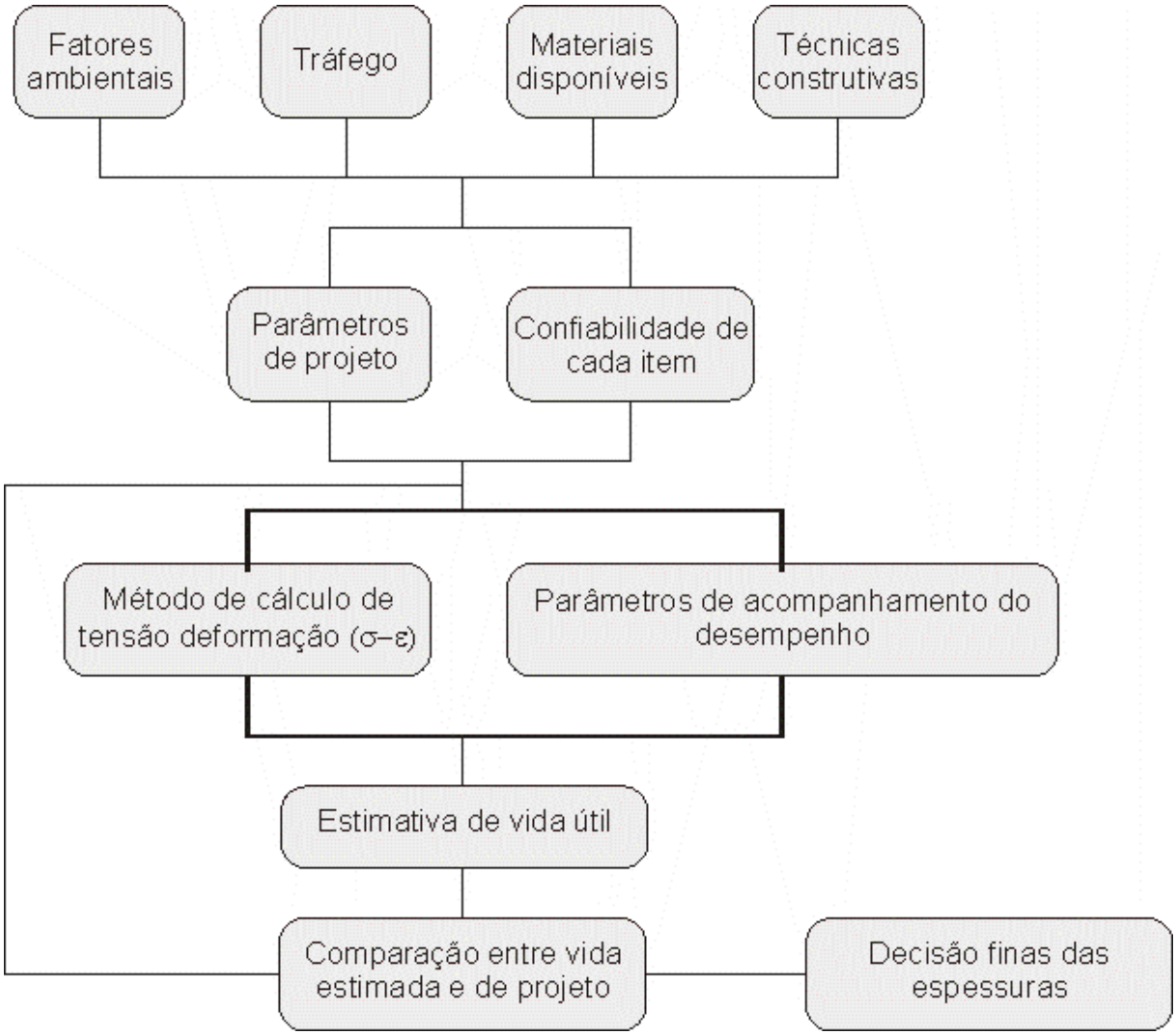


Figura 2.1 – Esquema de um dimensionamento mecanístico de um pavimento (Motta, 1991 a*pud* Medina e Motta, 2005)

O processo de dimensionamento representado na figura 2.1 é iterativo, ou seja, parte-se de uma estrutura previamente determinada e testa-se sua compatibilidade, em termos de tensões e deformações, com valores limites pré-estabelecidos, repetindo-se o processo até a obtenção de uma estrutura técnica e economicamente satisfatória, diferentemente do Método do DNER onde se utiliza um procedimento de cálculo direto das espessuras.

Os assuntos abordados nesse capítulo se relacionam com o procedimento de dimensionamento mostrado no fluxograma da figura 2.1, da seguinte forma:

- **Fatores ambientais** – basicamente são abordados os efeitos do clima sobre os pavimentos;
- **Tráfego** – são mostradas as metodologias tradicionais de caracterização das cargas solicitantes de pavimentos rodoviários, em especial de pavimentos flexíveis. Contudo, não são tratadas as abordagens mecanísticas sobre o assunto uma vez que, segundo opinião do autor, esse tema ainda está em discussões técnicas havendo muito a se avançar.
- **Materiais** – são discutidos os aspectos relativos ao comportamento dos materiais quando submetidos à ação de tensões com conseqüentes deformações, dessa forma são tratados aspectos de resistência à fadiga, deformação permanente e tensões e deformações limites no subleito.
- **Técnicas construtivas** – basicamente, a abordagem do assunto deve considerar a variabilidade prevista de cada componente da obra, tais como, tolerâncias de espessuras de camadas, grau de compactação, etc. Também é importante compatibilizar as soluções recomendadas com os métodos construtivos sob os aspectos de disponibilidade e oportunidade econômica de mobilização de meios e conhecimento de técnicas de construção, aliando determinação de especificações de materiais e serviços com planejamento de execução da obra. O assunto não é diretamente abordado no capítulo, mas, a técnica de verificação do desempenho do pavimento, através da avaliação de sua estrutura, onde o resultado da aplicação de todos esses conceitos de planejamento e controle da construção é mensurado, é abordada especificamente.

2.2 TRÁFEGO

O tráfego é fundamental em qualquer consideração sobre rodovias porque representa o motivo pelo qual a obra deve ser realizada, ou em outras palavras, a rodovia é construída para atender ao tráfego. Portanto, o conhecimento de suas características é imprescindível para o planejamento e averiguação do comportamento de um pavimento.

A ação do tráfego é responsável pelo carregamento de um pavimento e, como em qualquer obra da engenharia, o conhecimento das cargas que solicitam a estrutura é primordial na definição dos materiais que a comporão.

Contudo, o conhecimento das cargas de solicitação é uma tarefa árdua, pois envolve modelagem para antecipações do futuro socioeconômico da região, conhecimento do hábito de cargas transportadas, definição dos pontos de atuação das cargas e modelos de equivalência do efeito da ação dos vários tipos de eixos rodoviários em atuação com relação a um determinado eixo padrão. Em especial, no Brasil, a tarefa ainda é mais difícil, por haver pouquíssimas pesquisas e dados históricos sobre o assunto.

2.2.1 Número N

Na engenharia rodoviária brasileira, a solicitação de cargas de um pavimento flexível (revestimento constituído por massa asfáltica) é quantificada e qualificada pelo Número N que representa a quantidade de repetições de um eixo padrão de roda dupla com 8,2 tf que o demandará (ou demandou em certos casos de projeto de reabilitação de pavimentos) durante um determinado período de tempo, sendo esse prazo, rotineiramente, associado à vida útil esperada para o equipamento.

Segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), o número N de operações do eixo padrão é calculado pela expressão:

$$\boxed{N = \sum_{a=1}^{a=p} N_a} \qquad (2.1)$$

onde:

N = Número equivalente de aplicações do Eixo Padrão durante o período de projeto

a = ano do período de projeto

p = número de anos do período de projeto

N_a = Número equivalente de aplicação do Eixo Padrão durante o ano "a" em que

$$N_a = \sum_{i=1}^{i=k} V_{ia} \cdot FV_i \cdot 365 \cdot c \qquad (2.2)$$

onde:

i = Categoria de veículo, variando de 1 a k

V_{ia} = Volume de veículos da categoria "i" durante o ano "a" do período de projeto

c =Percentual de veículos comerciais na faixa de tráfego de projeto

FV_i = Fator de Veículo da categoria "i".

em que:

$$FV_i = \sum_{j=1}^{j=m} FC_j \qquad (2.3)$$

onde:

j = tipo de eixo, variando de 1 a m

m = número do conjunto de eixos do veículo "i"

FCj = Fator de equivalência de carga correspondente ao eixo" j" do veículo "i".

O conceito de que o Fator de Veículo FV é o resultado do produto de Fator de Eixo (FE) pelo Fator de Equivalência de Carga (FC) continua presente, sendo que a fórmula 2.3 constante do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006, considera individualmente cada conjunto de eixos do veículo "i", ou seja, nesse caso, FE = 1.

É oportuno ressaltar o contido no artigo de Soares e Motta publicado na 15ª ANPET (Soares e Motta, 2001) que versa sobre esclarecimentos ao se considerar o número de eixos no cálculo do valor do número N, mais especificamente, eixos em tandem triplo (ETT), eixos em tandem duplo (ETD), eixos simples com rodas duplas (ESRD) e eixos simples com roda simples (ESRS), são considerados, para cada um, apenas 1(um) conjunto de eixos.

A forma como exposto o cálculo do FV no manual do DNIT concorre para evitar erros de interpretação do tipo levantado por Soares e Motta em seu artigo, pois, de acordo com o conceito estabelecido em 2.3, se soma todos os FC de um veículo para se obter seu FV.

Portanto, supondo um veículo com 1 ESRS, 1 ERSD e 2 ETD, seu FV seria formado pela soma dos FC correspondente a cada eixo, não se correndo o risco de se ter o FV multiplicado por 4.

O tráfego considerado para efeito de projeto é o da faixa mais solicitada e normalmente não se considera, para efeito de dimensionamento de pavimento, a quantidade de veículos de 2 e 3 rodas (motocicletas, triciclos etc.), automóveis e utilitários por terem um fator de equivalência de cargas quase desprezível.

A tabela 2.1 constante do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, sugere a alocação de um percentual do total de veículos comerciais (nos dois sentidos de tráfego) para considerar a solicitação máxima na faixa de tráfego de projeto.

Tabela 2.1 – Percentual de veículos comerciais na faixa de tráfego de projeto (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006).

Número de faixas de tráfego da rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)
2(pista simples)	50%
4 (pista dupla)	35 a 48%
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48%

Normalmente o número N é calculado ano a ano, sendo obtidos os valores acumulados também ano a ano, sendo o valor de projeto o acumulado até o ano determinado como limite dos critérios de vida útil estabelecidos.

2.2.2 Fatores de Equivalência de Carga x Fator de Carga (FEC x FC).

Em relação aos fatores de equivalência de carga (FEC), segundo Soares e Motta (2003), existem dois grupos usados tradicionalmente no Brasil, a saber;

i. os fatores que compõem o método de dimensionamento dos pavimentos novos do DNER (Souza, 1981; DNIT – Manual de Pavimentação, 2006), que têm origem no trabalho de Turnbull et al. (1962), realizado apenas para os eixos simples e duplos, também conhecidos como fatores do USACE (traduzido como Corpo de Engenheiros

do Exército dos Estados Unidos da América). Esses fatores têm como comparativo o efeito de um eixo simples de roda dupla sobre o afundamento plástico de um subleito localizado a 70 cm da superfície e limite de 1 polegada de afundamento (Pereira, 1985). Com o surgimento dos eixos em tandem triplo, Souza (1981) propôs fatores pata esse tipo de eixo, tendo como base aparente um fator de redução de 0,85 para cada acoplagem de eixos, tal como mostrado em seguida:

- Eixo simples: 10 tf
- Eixo duplo: (10 tf x 2) x 0,85 = 17 tf
- Eixo triplo: (10 tf x 3) x 0,85 = 25,5 tf.

A tabela 2.2 apresenta as equações dos FEC_{USACE} apresentados no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006).

Tabela 2.2 – Fatores de equivalência de cargas do USACE (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006)

Tipo de Eixo	Faixas de Cargas (tf)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 - 8	$FC = 2{,}0782 \times 10^{-4} \times P^{4{,}0175}$
	≥ 8	$FC = 1{,}8320 \times 10^{-6} \times P^{6{,}2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1{,}5920 \times 10^{-4} \times P^{3{,}472}$
	≥ 11	$FC = 1{,}5280 \times 10^{-6} \times P^{5.484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8{,}0359 \times 10^{-5} \times P^{3{,}3549}$
	≥ 18	$FC = 1{,}3229 \times 10^{-7} \times P^{5{,}5789}$

P = Peso bruto total sobre o eixo ou conjunto de eixos.

ii. Os fatores que compõem o método de projeto DNER-PRO 159/85, que usualmente são denominados de fatores da AASHTO, mas, que têm origens distintas (Queiroz, 1984), mostrados na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Fatores de equivalência de cargas da AASHTO (Soares e Motta, 2001)

Tipo de Eixo	Expressão	Origem
Eixo Simples de Roda Simples – ESRS	$FC = \left(P / 7{,}77 \right)^{4{,}32}$	GEIPOT, 1977
Eixo Simples de Roda Dupla – ESRD	$FC = \left(P / 8{,}17 \right)^{4{,}32}$	AASHTO, 1972
Tandem Duplo – ETD (rodagem dupla)	$FC = \left(P / 15{,}08 \right)^{4{,}14}$	AASHTO, 1972
Tandem Triplo – ETT (rodagem dupla)	$FC = \left(P / 22{,}95 \right)^{4{,}22}$	Treybig e Von Quintus, 1976

P = Peso bruto total sobre o eixo ou conjunto de eixos.

No Brasil, também vêm sendo muito utilizados os modelos da família HDM (HDM III, HDM-Manager, HDM IV, etc.) desenvolvidos pelo Banco Mundial (BIRD) principalmente para análises econômicas de rodovias. Nesses modelos, para determinar o efeito de veículo na rodovia, é obtido o número ESALF (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006).

ESALF (Equivalent Standard Axie Load Factor), no conceito dos modelos significa o número de repetições de um eixo simples com rodagem dupla de 8,2 tf (18.000 lb ou 80.000 kN), que causaria os mesmos danos que o veículo considerado.

Da mesma forma como os demais FVi, o ESALF considera para sua obtenção, o produto do Fator de Eixo pelo Fator de Equivalência de Carga definido para cada tipo de eixo segundo as expressões mostrada na tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Valores de ESALF para os diferentes eixos (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006)

Valores de ESALF para diferentes eixos	
Simples Rodagem Simples	$ESALF = \left(P/6,6 \right)^4$
Simples Rodagem Dupla	$ESALF = \left(P/8,16 \right)^4$
Tandem Duplo Rodagem Dupla	$ESALF = 2 \cdot \left(P/7,55 \right)^4$
Tandem Triplo Rodagem Dupla	$ESALF = 3 \cdot \left(P/7,63 \right)^4$
P = Peso por eixo em toneladas. Peso total do conjunto Tandem, dividido por 2 para Tandem Duplo e por 3 para Tandem Triplo.	

É interessante observar que no modelo do BIRD, o efeito dos eixos acoplados em tandem duplo é 8% mais destrutivo do que o eixo simples de roda dupla e essa comparação quando feita com os eixos acoplados em tandem triplo resulta em um efeito destrutivo superior em 7% em relação ao eixo simples de roda dupla. Entre os eixos em tandem, o efeito destrutivo de um eixo em tandem duplo é superior em cerca de 1% ao do tandem triplo.

Essa última tendência de superioridade destrutiva relativa entre eixos em tandem duplo em relação ao tandem triplo também se repete para os FEC USACE e AASHTO, porém, ocorre o inverso do observado no modelo do BIRD quando se compara os efeitos destrutivos entre eixos em tandem com eixos simples, sendo os efeitos dos eixos simples relativamente superiores aos eixos em tandem nos modelos da AASHTO e USACE.

Segundo Soares e Motta (2001), o Fator de Carga (FC) é definido em DNER (1996) como " um número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, dá o número de eixos equivalentes ao eixo padrão. O termo "eixos" em o "... número de eixos que operam ..." se

refere ao "conjunto de eixo" (simples, tandem duplo e tandem triplo) e não a cada "eixo individual". Dessa forma, esclarece-se possíveis dúvidas quanto ao entendimento do número de eixos a considerar na determinação do FV realizada de forma tradicional.

Como já comentado, o procedimento citado no Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), dificulta a alocação errônea do número de eixos.

Soares e Motta (2001) observam que enquanto o FEC trata da correspondência entre um único conjunto de eixo (simples, duplo ou triplo) e o eixo padrão simples de roda dupla, FC é relativo a todos os conjuntos de eixo que operam na via. Portanto, FC é um FEC ponderado pelos diversos conjuntos de eixo da frota de veículos.

Sendo o FC uma ponderação dos diversos FEC dos veículos componentes da frota, sua metodologia de obtenção pode ser utilizada como mostrado na tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Cálculo do Fator de Carga (Souza, 1981; DNER, 1996)

Eixos Simples (tf)	**Frequência na amostra**	**Percentagem (P_j)**	**FEC_j***	**Equivalência de operações (P_j x FEC_j)**
t_1	n_1	P_1	FEC_1	P_{j1} x FEC_1
t_2	n_2	P_2	FEC_2	P_{j2} x FEC_2
...	...	...	...	...
Eixo Tandem (tf)				
t'_1	n'_1	P'_1	FEC'_1	P'_{j1} x FEC'_1
t'_2	n'_2	P'_2	FEC'_2	P'_{j2} x FEC'_2
...	...	...	...	...
		100		FC

* FEC_j obtido a partir das expressões na Tabela 2.2

O então DNER (1996, 1998) apresenta ainda a seguinte expressão para a determinação do FC.

$$FC = \frac{\sum \left(P_j \times FEC_j \right)}{100} \qquad (2.4)$$

em que: $P_j \times \mathrm{FEC_j}$ = equivalência de operações relativa a cada eixo específico.

2.2.3 Fator de Eixo

Segundo Benevides (2000), o fator de eixo é um valor que transforma o tráfego em número de eixos médios por veículo, em função da composição do tráfego na faixa mais solicitada, em números de passagens de eixos equivalentes. Para a determinação do FE, calcula-se o número de eixos dos tipos de veículos atuantes na rodovia, através da expressão (Souza, 1981; Benevides, 2000):

$$FE = \left(\frac{P_2}{100}\right) \times 2 + \left(\frac{P_3}{100}\right) \times 3 + ... + \left(\frac{P_n}{100}\right) \times n \qquad (2.5)$$

onde:

P2 = porcentagem de veículos de 2 eixos;

P3 = porcentagem de veículos de 3 eixos;

Pn = porcentagem de veículos de n eixos;

P2 + P3 + ...+ Pn = 100%.

O DNER (Manual de Pavimentação, 1996) define o FE como "o número que, multiplicado pelo número de veículos, dá o número de eixos correspondentes". Segundo Soares e Motta (2003), também neste caso, até para guardar a devida coerência com o FEC, o termo "eixos" se refere ao conjunto de eixos (simples, tandem duplo e tandem triplo) e não a eixos individuais.

2.2.4 Fator de Veículo

Viu-se em 2.2.1 a forma como o Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006, atualmente está definindo o FV, porém, de forma mais tradicional o FV é definido como "um número que multiplicado pelo número de veículos que operam dá, diretamente, o número equivalente ao eixo padrão" (DNER, 1996). Ainda de acordo com o DNER, esse fator podia (antes da edição do Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006) ser calculado de duas maneiras:

a) $FV = FE \times FC$ (2.6)

b) $FV = \frac{\sum (P_i \times FV_i)}{100}$ (2.7)

Sendo $FV_i =$ fator de veículo individual para as diferentes categorias de veículos (automóveis, ônibus, caminhões leves, caminhões médios, caminhões pesados, reboques e semi-reboques). Os FV_i para automóveis e caminhões leves são considerados desprezíveis.

O FV determinado pela expressão 2.6 é associado a dois parâmetros, FC e FE, que são determinados sem se considerar a categoria dos veículos, portanto, conceitos de frota. Na expressão 2.7 é introduzida a variável "categoria de veículo". O FV_i relativo a cada categoria de veículo é obtido somando-se os FEC_i de cada conjunto de eixo desta categoria, à semelhança do conceito do Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006).

Esses métodos de determinação do FV são iguais desde que FE seja calculado com base nos "conjuntos de eixos".

2.2.5 Fator Climático Regional

Segundo Benevides (2000) este fator considera as variações de umidade dos materiais dos pavimentos em todas as estações do ano, acarretando em alterações na capacidade de suporte dos mesmos. A pista experimental da AASHTO estabeleceu valores entre 0,2 (baixos teores de umidade) e 5,0 (materiais saturados). Levando-se em conta o espaço de tempo em que ocorre, o coeficiente a ser adotado no projeto, é uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais.

SOUZA (1981) sugere os seguintes valores para o FR, em função da altura média anual de chuva, apresentado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Altura média de chuva x Fator climático regional, SOUZA (1981).

Altura anual média de chuva (mm)	Fator climático regional (FR)
< 800	0,7
De 800 a 1500	1,4
> 1500	1,8

SOUZA (1981) recomenda ser mais apropriado a adoção de FR = 1,0, por já se adotar CBR saturado. Naquela época não se dispunha de elementos experimentais para a fixação de um valor correspondente à umidade de equilíbrio. Bernucci (1995), considera a utilização de FR = 1,00, por evitar super-dimensionamento das camadas dos pavimentos, comparando as umidades de equilíbrio dos materiais que trabalham em melhores condições de suporte no campo do que se supõe em projeto.

2.2.6 Convergência de metodologias

Assim, expressões tradicionais para determinação do número N, como descritas a seguir, representam o mesmo conceito das expressões 2.1, 2.2 e 2.3 e suas aplicações resultam em iguais dados de saída, desde que haja homogeneidade de dados de entrada.

$$\boxed{N = V_t \times FV \times FR} \tag{2.8}$$

onde:

V_t – volume total de veículos no período de projeto;

FV – fator de veículos;

FR – fator climático regional

em que:

$$\boxed{V_t = 365 \times VMD_c \times P} \tag{2.9}$$

O VMDc é calculado em função do volume médio diário de veículos que passa na faixa da via mais solicitada. O seu valor é determinado para o ano de abertura (V_1) e projetada uma taxa de crescimento (t%) para todo o período de projeto, admitindo-se, conforme SOUZA (1966, 1981), taxas de crescimento anual em progressão geométrica (não linear) ou aritmética

(linear), para o cálculo do V_t. As componentes importantes na obtenção destes parâmetros são:

- Volume inicial obtido com as últimas estatísticas de tráfego existente;
- Tráfego desviado, correspondente ao montante de veículos que passarão a utilizar o trecho projetado após sua abertura e que atualmente utilizam rotas alternativas;
- Tráfego gerado, ou seja, as novas viagens que resultarão das variações no tipo e intensidade de serviços nas áreas de influência do trecho de projeto;
- Dados socioeconômicos da região.
- Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006, o volume médio diário de tráfego na faixa mais solicitada – V_m ou VMD_c, pressupondo um crescimento em progressão aritmética (linear) e em função de V_1, t(%) e P (período de projeto), é obtido pela seguinte expressão:

$$V_m = \frac{V_1 \cdot [2 + (P-1) \cdot t/100]}{100} \qquad (2.10)$$

O volume total de tráfego na faixa de projeto V_t, durante o período de projeto, será portanto, determinado conforme a expressão 2.9.

Admitindo-se uma taxa t(%) de crescimento anual de tráfego em progressão geométrica (não linear), o volume total de tráfego, V_t, durante o período de projeto, é dado, segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), pela expressão seguinte:

$$V_t = \frac{365 \cdot V_1 \cdot \left[\left(1 + {}^{t}\!/_{100}\right)^{p} - 1 \right]}{t/100} \qquad (2.11)$$

Considerando FV definido pela expressão 2.6 e FR = 1, o valor de N seria então:

$$N = V_t \times FV \qquad (2.12)$$

Pode-se observar, portanto, que vários são os caminhos, porém, o destino é o mesmo, ou seja, são muitos os procedimentos para se determinar o número N para dimensionamento tradicional de pavimentos flexíveis, mas, todos são variações de um mesmo conceito e produzem o mesmo resultado, desde que haja homogeneidade na entrada dos dados.

2.2.7 Outros Procedimentos de Consideração do Tráfego

Outras metodologias de apropriação da carga que solicita o pavimento existem na literatura. Por exemplo, nos métodos de dimensionamento de pavimentos revestidos com placas de concreto de cimento Portland (pavimento rígido), não há a determinação específica de um número N. Para esse caso, obtém-se tão somente o número de repetições de cada tipo de eixo durante o período de projeto, grupados em intervalos de carga (Manual de Estudos de Tráfego, DNIT, 2006).

Os tipos de eixo são basicamente os mesmos considerados no dimensionamento do pavimento flexível, ou seja, Eixo Simples de Roda Simples – ESRS, Eixo Simples de Roda Dupla – ESRD, Eixo em Tandem Duplo – ETD e Eixo em Tandem Triplo (ETT). Para o método de dimensionamento da Portland Cement Association – PCA/84, adotado no Brasil pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP e DNIT (2005), os eixos simples não precisam ser desmembrados em dois tipos e os intervalos de carga geralmente considerados, são mos trados na tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Intervalos de carga por tipo de eixo para uso no método PCA/84.

Intervalo de carga (tf) por tipo de eixo		
Eixo Simples	Tandem Duplo	Tandem Triplo
0 – 5	0 – 13	0 – 24
5 – 6	13 – 14	24 – 26
6 – 7	14 – 15	26 – 28
7 – 8	15 – 16	28 - 30
8 – 9	16 – 17	
9 – 10	17 – 18	
10 – 11	18 – 19	
11 – 12	19 – 20	
12 – 13	’20 – 21	
13 – 14	21 – 22	
14 – 15	22 – 23	
15 – 16	23 – 24	

Evidentemente, os dados da tabela 2.7 são apenas sugestões e caso haja necessidade, novos intervalos podem ser acrescidos.

Nos métodos mecanísticos de dimensionamento de pavimento pode ser usada a transformação do tráfego real em número N (Motta, 1991) ou se trabalha com cada grupo de eixos separados, calculando o efeito de cada um sobre a estrutura (Motta, 1991), tal como nos métodos LED para aeroportos (FAA, 1995) e como visto, o método da PCA para dimensionamento de pavimentos rígidos (Motta e Soares, 2001).

Por outro lado, segundo Franco (2000), a determinação do FEC – Fator de Equivalência de Carga – está relacionada ao critério pré-estabelecido para comparação do efeito de diferentes configurações e peso de eixos de veículos, como exemplificado por Franco (2000), deflexão (Foster e Ahlvin, 1958); tensão vertical no topo do subleito (Boyd e Foster, 1950; Turnbull et al. 1962); deformação de tração na fibra inferior do revestimento (Deacon, 1969, Pereira, 1992; Fernandes Jr. 1994) ou PSI (AASHTO, 1993). Dessa forma, dependendo do parâmetro a ser analisado, existirá diferentes FEC para cada conjunto de eixo e consequentemente, diferentes números N, para um mesmo tráfego real, segundo nossa análise e conclusão.

2.3 CLIMA

Os pavimentos não estão sujeitos somente às ações das cargas do tráfego. O meio físico à sua volta também exerce influência sobre sua vida útil, e, portanto, não deve ser desprezado. Estas ações (clima e tráfego), em conjunto, constituem os principais fatores que impõem uma vida útil limitada aos pavimentos (Medina, 1997 apud Franco, 2000).

Segundo Motta (1991), o clima é um dos fatores que mais afetam o desempenho de um pavimento. Representado por seus elementos básicos, temperatura do ar e precipitação, o clima influencia os pavimentos através de diversos mecanismos, tais como a intemperização dos materiais, a alteração dos módulos resilientes ou ainda a alteração das umidades de equilíbrio.

Segundo Franco (2000), é fato a influência da temperatura nos revestimentos asfálticos. Os ligantes asfálticos, pela sua natureza viscosa, possuem propriedades que dependem da temperatura. Estas características são transmitidas às misturas asfálticas que acabam por ter

um comportamento mecânico visco-elásto-plástico, o que significa que as curvas tensão – deformação destes materiais variam com a temperatura.

Segundo Franco (2000), pesquisas no sentido de avaliar a influência do clima sobre os pavimentos asfálticos no Brasil foram desenvolvidas por Medina (1997), Previtera (1974) e Motta (1979), entre outros. Previtera (1974) mostra que, no Brasil, o amolecimento do revestimento asfáltico ocorre devido às altas temperaturas do ar e à grande absorção de radiação solar. Este amolecimento ocasiona maiores deformações elásticas e plásticas dos pavimentos asfálticos sob a ação das cargas. Através de simulações com o programa FEPAVE, Previtera mostrou esta influência. A deformação resiliente estimada para certas condições de clima de algumas cidades brasileiras, no centro da carga, chegou a ser três vezes maior no verão que no inverno.

Os revestimentos asfálticos absorvem muito calor por serem corpos negros (Franco, 2000). É de se esperar que, em dias quentes, as temperaturas da superfície e no interior de um pavimento asfáltico sejam elevadas. Motta (1979) fez medições de temperatura superiores a 70^{o}C na superfície de um pavimento asfáltico em dias quentes no Rio de Janeiro.

A quantidade de calor que os pavimentos absorvem depende da quantidade de radiação solar incidente, que, por sua vez, é função de três fatores principais: período do ano, período do dia e a latitude do local além de outros fatores tais como nebulosidade e a altitude do local. Em regra geral, à medida que a latitude aumenta, a quantidade de radiação solar diminui (Motta, 1991).

A temperatura ao longo do perfil do pavimento se altera, podendo ser maior ou menor que a temperatura da superfície, dependendo dos fatores climáticos externos. O gradiente de temperaturas gerado ao longo da profundidade do revestimento asfáltico induz um comportamento diferencial à deformação permanente (Franco, 2000).

As temperaturas médias no interior do pavimento são determinadas a partir de modelos matemáticos baseados nas temperaturas médias mensais do ar.

Em Franco (2000) á mostrada a tabela 2.8 que apresenta dados de temperaturas médias mensais do ar obtidos a partir das Normais Climatológicas (DNM, 1992).

Em virtude da posição geográfica do Brasil, região tropical, as variações das temperaturas médias mensais do ar ao longo do ano são muito pequenas em relação a média anual. Fato que pode ser observado na tabela 2.8, onde, com exceção das capitais Curitiba, São Paulo, Porto Alegre e Florianópolis que estão situadas nas maiores latitudes, os desvios padrões das médias das temperaturas são inferiores a 2^{o}C.

O Brasil em geral importa as metodologias de estudo e projeto de pavimentos dos EUA. Comparando o clima nos Estados Unidos com o clima no Brasil, sabe-se que, em grande parte do território americano, pelas altas latitudes, a variação das temperaturas médias mensais são superiores às variações brasileiras, além das temperaturas mínimas absolutas serem inferiores às mínimas brasileiras e ainda com ocorrência de gelo (Franco, 2000).

Tabela 2.8: Temperaturas médias mensais de 30 anos de observação (1961-1990) das capitais brasileiras em ^{o}C.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média	Desvio[1] Padrão
Curitiba	19.6	19.9	19.0	16.7	14.6	12.2	12.8	14.0	15.0	16.5	18.2	19.3	16.5	2.7
São Paulo	22.1	22.4	21.7	19.7	17.6	16.5	15.8	17.1	17.8	19.0	20.3	21.1	19.3	2.3
Porto Alegre	24.6	24.7	23.1	20.1	16.8	14.3	14.5	15.3	16.8	19.2	21.3	23.2	19.5	3.9
Florianópolis	24.3	24.7	23.7	21.4	18.5	16.7	16.3	16.9	17.5	19.6	21.5	22.5	20.3	3.1
Belo Horizonte	22.8	23.2	23.0	21.1	19.8	18.5	18.1	19.0	21.0	21.9	22.2	22.2	21.1	1.8
Brasília	21.6	21.8	22.0	21.4	20.2	19.1	19.1	21.2	22.5	22.1	21.7	21.5	21.2	1.1
Campo Grande	24.4	24.4	24.0	23.1	20.4	19.1	19.3	21.8	22.6	24.1	24.3	24.3	22.7	2.0
Goiânia	23.8	23.8	23.9	23.6	22.1	20.8	20.8	22.9	24.6	24.6	24.0	23.5	23.2	1.3
Rio de Janeiro	26.2	26.5	26.0	24.5	23.0	21.5	21.3	21.8	21.8	22.8	24.2	25.2	23.7	1.9
Vitória	26.3	26.9	26.5	25.2	23.7	22.5	21.7	22.2	22.6	23.5	24.4	25.4	24.2	1.8
Maceió	26.2	26.3	25.3	25.9	25.1	24.3	23.7	23.5	23.9	24.1	24.4	24.8	24.8	1.0
Mossoró	26.8	25.0	27.3	27.3	27.0	26.7	26.5	27.1	27.7	28.1	28.3	28.7	27.2	1.0
Rio Branco	25.5	25.4	25.5	25.3	24.5	23.2	23.4	24.3	25.2	25.7	25.7	25.6	24.9	0.9
Porto Velho	25.0	25.5	25.7	25.5	24.9	23.5	24.0	25.0	25.6	25.8	25.7	25.5	25.1	0.7
Salvador	26.5	26.6	26.7	25.2	25.2	24.3	23.6	23.7	24.2	25.0	25.5	26.0	25.2	1.1
Recife	26.6	26.6	26.5	25.9	25.2	24.5	24.0	23.9	24.6	25.5	25.9	26.3	25.5	1.0
Cuiabá	26.7	25.3	26.5	26.1	24.6	23.5	22.0	24.7	26.6	27.4	27.2	26.6	25.6	1.6
Aracaju	27.0	27.1	27.2	26.8	26.0	25.1	24.6	24.5	25.1	25.9	26.1	26.4	26.0	1.0
Belém	26.6	24.5	25.5	26.7	25.9	25.9	25.8	26.0	26.1	26.4	26.4	26.1	26.0	0.6
João Pessoa	25.8	25.2	28.2	25.5	27.0	26.2	23.7	25.4	27.5	27.7	27.0	24.1	26.1	1.4
Porto Nacional	25.5	25.5	25.6	26.0	26.2	25.5	25.5	27.0	28.0	26.8	26.2	25.8	26.1	0.8
São Luiz	26.1	25.7	25.8	25.8	25.9	25.9	25.7	26.0	26.4	26.6	27.0	26.8	26.1	0.4
Macapá	26.0	25.7	25.7	25.9	26.1	26.2	26.1	26.8	27.5	27.9	27.7	27.0	26.6	0.8
Fortaleza	27.3	26.7	26.3	26.5	26.3	25.9	25.7	26.1	26.6	27.0	27.2	27.3	26.6	0.5
Manaus	26.1	26.0	26.1	26.3	26.3	26.4	26.5	27.0	27.5	27.6	27.3	26.7	26.7	0.6

Fonte: DNMET

2.3.1 Temperatura no Pavimento

Segundo Franco (2000), é muito importante a consideração da variação climática no desempenho de um pavimento, uma vez que o clima afeta diretamente o seu comportamento e alguns materiais que o compõem, especialmente a camada de revestimento.

Portanto, torna-se necessário o conhecimento do comportamento das temperaturas, principalmente ao longo da espessura dos revestimentos em relação às condições climáticas do ambiente.

Um dos primeiros estudos realizados e citado por Motta (1991) foi o trabalho de Barber (1957) que calcula, baseado em uma equação de transferência de calor, as temperaturas máximas em pavimentos através de dados meteorológicos. O modelo de Barber, apresentado na expressão (2.13) considera o pavimento como um meio homogêneo e semi-infinito.

$$T = T_m + T_v \cdot \left\{ \left\{ \frac{H \cdot e^{-xC}}{\sqrt{(H+C)^2 + C^2}} \cdot sen\left[0{,}262 \cdot t - xC - a\tan\left(\frac{C}{H+C} \right) \right] \right\} \right\} \qquad (2.13)$$

onde:

T: temperatura do pavimento na profundidade x, em ^{o}C;

Tm: temperatura média efetiva do ar junto à superfície, em ^{o}C;

Tv: variação máxima da temperatura do ar em relação à média, em ^{o}C;

t: tempo a partir do início de um ciclo, em horas;

x: profundidade, em m;

H = h/k;

h: coeficiente de transmissão térmica, em J/(m^2.h.^{o}C);

k: condutividade térmica, em J/(m.h.^{o}C);

$$C = \sqrt{\frac{0{,}13I}{a}}$$

a: difusividade térmica, a = k/(c.w);

c: capacidade calorífica específica, em J/(kg .^{o}C) e

w: massa específica ou densidade, em kg/m^{3}.

Conforme Franco (2000), os modelos que Ayres (1997) utiliza em seu programa para estimar a temperatura no revestimento asfáltico foram desenvolvidos por Witczak (equações 2.14 e 2.15). Estes modelos estimam a temperatura média mensal e o desvio padrão dessa temperatura a uma determinada profundidade do revestimento a partir da temperatura média mensal do ar, assumindo uma distribuição normal de temperaturas mensais no pavimento para uma determinada profundidade

$$MMPT = MMAT \times \left(1 + \frac{1}{z+4}\right) - \frac{34}{z+4} + 6. \qquad (2.14)$$

$$SD_{MMPT} = \frac{3896 - 0{,}03908 \times z}{1 - 0{,}03982 \times z 0{,}0412422 \times \log MMPT + 0{,}0417 \times \log MMPT} \qquad (2.15)$$

onde:

MMPT : Temperatura média mensal do pavimento na profundidade z em ^{o}F.

MMAT : Temperaturas média mensal do ar em ^{o}F.

SDMMPT : Desvio padrão da temperatura do pavimento em ^{o}F.

z : Profundidade na camada asfáltica do pavimento onde se quer conhecer a temperatura, em polegadas.

Motta (1979) apud Franco (2000), realizou medições em um painel experimental situado na Ilha do Fundão no Rio de Janeiro, onde foram coletadas temperaturas do ar e do pavimento durante um ano. Baseada nestes dados experimentais, foram desenvolvidos vários modelos de estimativa da temperatura do pavimento em função das temperaturas do ar e da superfície do revestimento. Rodrigues (1997) apud Franco (2000), analisou esses diversos modelos e desenvolveu um único modelo de previsão (equação 2.16).

Ainda conforme Franco (2000), o modelo de Rodrigues estima a temperatura em uma profundidade do pavimento no instante da medição das temperaturas do ar e da superfície do

revestimento, diferentemente do modelo de Witczak que estima a média mensal desta temperatura e seu desvio padrão para uma temperatura média mensal do ar.

$$T_{(x)} = Tup + (T_{Sup} - Tar) \cdot [1 - \exp(0{,}06855 - 0{,}002633 \cdot x) \cdot x] \quad (2.16)$$

onde:

T(x) : Temperatura na profundidade x do pavimento, em ^{o}C;

Tsup : Temperatura da superfície do pavimento, em ^{o}C;

Tar : Temperatura do ar; em ^{o}C;

x : Profundidade no revestimento asfáltico onde se quer conhecer a temperatura, em cm.

T(x) : Temperatura na profundidade x do pavimento, em ^{o}C;

Tsup : Temperatura da superfície do pavimento, em ^{o}C;

2.3.2 Umidade no Pavimento

A umidade das camadas do pavimento pode variar em função de diversos fatores, entre os quais a infiltração de água de chuva pelas trincas do pavimento ou pelos acostamentos sem revestimento; variação do nível do lençol freático ou por transferência de umidade entre as camadas devido às variações de temperatura (Franco, 2000).

Existe uma tendência das umidades das camadas e do subleito do pavimento, durante grande parte de sua vida útil, se estabilizarem em uma umidade de equilíbrio, desde que as condições de fluxo de água através da estrutura sejam mantidas (Franco, 2000). No Brasil diversas pesquisas comprovam que a umidade de equilíbrio das camadas de pavimentos de rodovias federais é próxima da umidade ótima, não havendo grandes variações sazonais (Motta, 1991; Nogami e Villibor, 1995; Medina, 1997).

A umidade de equilíbrio pode ser entendida como a umidade média da gama de variação do teor de umidade do solo ao longo de um ano, após a fase de acomodação dos primeiros meses de serviço (Medina, 1997).

Medina (1997), comenta um estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias entre 1979 e 1984 onde foi avaliado o efeito da sazonalidade das deflexões do pavimento, medidas em provas de carga pneumáticas de caminhão (Viga Benkelman) em 53 trechos experimentais distribuídos pelo Brasil. Essa pesquisa denominada P.A.E.P. - Pesquisa de Avaliação Estrutural de Pavimentos, buscou correlacionar a umidade do subleito com as deflexões medidas duas vezes na estação chuvosa e duas vezes na estação seca.

O efeito da sazonalidade foi verificado insignificante pelo P.A.E.P. quanto a variações das deflexões induzidas pelas variações da umidade.

Segundo Franco (2000) os resultados da pesquisa de Svenson (1980) mostraram que, em solos argilosos lateríticos, a deformação permanente, medida em ensaios triaxiais de carga repetida, aumenta com o aumento da umidade de compactação ou com a redução da massa específica aparente seca. Motta (1991) cita os estudos de Shackel em 1973, o qual constata que a sucção, que está diretamente ligada ao potencial de água total no solo, diminui com o aumento do número de repetição de cargas em ensaios dinâmicos, para uma determinada combinação de densidade e saturação. As deformações axiais resiliente e permanente decrescem rapidamente com o aumento da sucção, para um determinado grau de saturação na moldagem dos corpos-de-prova e, com isto, o módulo resiliente aumenta com o crescimento da sucção. Estudos brasileiros recentes também mostram esta influência positiva da sucção no valor do módulo resiliente, com repercussão favorável na vida útil dos pavimentos já que a maior parte do tempo as camadas estarão trabalhando sob condição parcialmente saturada e, portanto, com presença de sucção (Ceratti e outros, 1996; Gonçalves, 1999 apud Franco, 2000)

Alguns modelos desenvolvidos para estimar a deformação permanente levam em conta o efeito da variação de umidade, como os modelos desenvolvidos por Tseng & Lytton e utilizados por Ayres (1997) no sistema AYMA.

A metodologia utilizada no Brasil para dimensionamento de estruturas de pavimentos e escolha de materiais para base e sub-base são baseados no ensaio de CBR onde os corpos-de-prova ficam embebidos por quatro dias. Esta condição representa as condições rigorosas do clima frio presente nos EUA, onde o descongelamento induz saturação das camadas e do subleito do pavimento (Franco, 2000).

A utilização dessa metodologia em projetos de pavimentos pode induzir a um "super-dimensionamento" da estrutura, quanto ao afundamento ou à deformação permanente, uma vez que as camadas do pavimento, quando bem construídas, não atingem a condição saturada, pois a umidade se estabiliza próxima da umidade de compactação. Porém muitas vezes este "superdimensionamento" em relação à proteção do subleito não corresponde a aumento de vida de fadiga e muitas vezes acontece a ruptura precoce por este aspecto (Motta, 1991).

2.4 FADIGA

Define-se fadiga como um processo de alterações progressivas estruturais, localizadas e permanentes, que ocorre em um material sujeito a condições que produzam tensões e deformações repetidas em determinado ponto ou pontos em que possa culminar em trincas ou completa ruptura após um determinado número de repetições (MONISMITH e DEACON, 1969).

A fadiga de uma estrutura também é definida como sendo um processo a qual está sujeito um determinado material quando submetido a um estado de tensões e deformações repetidas ou oscilantes. Essas tensões, que têm amplitude inferior à tensão de ruptura do material, resultam no trincamento da camada do pavimento, após determinado número de aplicações de carga. Ou seja, o material perde resistência com a repetição da aplicação da carga. (Pinto e Motta, 1995; Rodrigues, SD apud Franco, 2000).

O trincamento inicia em pontos críticos, onde as tensões são maiores. Com a continuação da aplicação do carregamento, as trincas se propagam por toda a espessura da camada, permitindo a passagem de água da superfície para a estrutura do pavimento. Este fenômeno enfraquece e reduz o desempenho global do pavimento, consistindo em um dos principais processos de ruptura dos pavimentos (Ayres, 1997).

Segundo Pinto e Motta (1995), a estimativa da vida de fadiga pode ser realizada de duas formas:

- em ensaios de placa ou pistas de simulação de tráfego que buscam a melhor representação das condições reais do pavimento ou

- em ensaios de laboratório, com corpos-de-prova que representam uma modelização das condições de trabalho.

Segundo Franco (2000) o trincamento por fadiga tanto pode iniciar nas fibras inferiores da camada do revestimento asfáltico, propagando-se por toda a espessura até o surgimento das trincas na superfície, quanto pode iniciar pelo topo da camada do revestimento asfáltico, devido ao surgimento de tensões críticas na fibra superior da camada, agravadas pelo enrijecimento ocasionado pelo envelhecimento, dependendo também da espessura da camada.

Medina (1995) apud Franco (2000), cita que, em revestimentos espessos, com mais de 20cm, o trincamento pode iniciar pela superfície da camada do revestimento devido à curvatura convexa próximo às rodas.

A estrutura de um pavimento está sujeita a diversos tipos de deformações geradas pela variedade de tipos carregamentos e de condições de clima. Miner (1945) citado em diversas fontes (Ayres, 1997; Medina, 1997; Monismith e Brown, 1999) estabeleceu uma hipótese para determinar o acúmulo do dano de fadiga de uma estrutura sujeita a estas condições. A hipótese é baseada no somatório linear dos danos de fadiga para cada condição. A equação (2.17) representa a relação estabelecida por Miner, também conhecida como Lei de Miner:

$$\boxed{D = \sum_{i=1}^{j} \frac{n_i}{N_i}} \qquad (2.17)$$

onde:

D: é o dano acumulado de fadiga;

ni: é o número de aplicações de carga para uma determinada condição de clima e carregamento i;

Ni: é o número de repetições de carga necessários para atingir a ruptura, para a condição de clima e carregamento "i".

2.4.1 Fadiga na Mistura Asfáltica

A vida de fadiga das misturas asfálticas é afetada pelos seguintes fatores (Pinto e Motta, 1995):

- fatores de carga: amplitude, tipo e frequência do carregamento;
- fatores da mistura: granulometria e qualidade dos agregados, tipo e qualidade do cimento asfáltico, teor de ligante, teor de vazios e
- fatores ambientais: temperatura e umidade.

A temperatura atua de forma significativa na vida de fadiga de misturas asfálticas. Medina (1997) cita a tese de doutorado de Pinto (1991) onde foi demonstrado que a vida de fadiga para uma dada mistura asfáltica a 10°C pode ser 870 vezes superior à vida de fadiga a 35°C, avaliada a partir de ensaios sob tensão controlada, desde que as tensões geradas sejam iguais. As curvas apresentadas na figura 2.2, obtidas a partir dos resultados de Pinto (1991), mostram a influência da temperatura na vida de fadiga para uma mistura asfáltica com CAP-30/45.

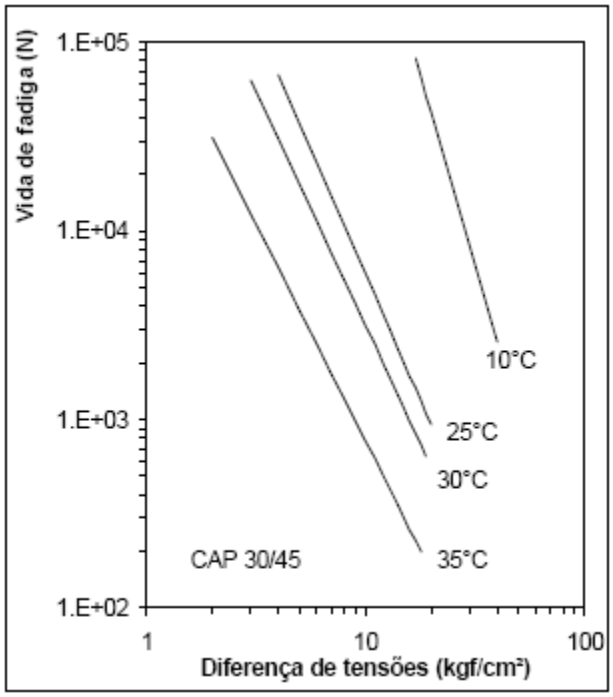


Figura 2.2: Influência da temperatura na vida de fadiga (Pinto, 1991) citado por Medina (1997)

Ainda segundo Medina (1997), um aumento na temperatura pode atuar de dois modos na vida de fadiga de misturas asfálticas: diminuindo o módulo resiliente e diminuindo a resistência à

tração do material. As misturas asfálticas se tornam mais sensíveis às aplicações da carga, o que contribui para a redução da vida de fadiga da camada.

Segundo Franco (2000), os modelos básicos de previsão do número de repetições de carga para atingir o trincamento por fadiga estão relacionados às tensões de tração ou às deformações de tração aplicadas nos pontos críticos. Os modelos apresentados nas expressões a seguir são citados em diversas fontes (Monismith e Brown, 1999 e Pinto e Motta, 1995):

$$N_f = k_1 \cdot \left(\frac{1}{\sigma_t}\right)^{k_2} \quad \text{ou} \quad N_f = k_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{k_2} \tag{2.18}$$

onde:

Nf: número de repetições de carga para atingir o trincamento por fadiga;

k1 e k2: são parâmetros determinados em ensaios de laboratório;

ϵt: é a deformação de tração medida em dado ponto crítico;

σ_t: tensão de tração medida em um dado ponto crítico;

Atualmente, os modelos que vêm sendo desenvolvidos, baseiam-se na deformação de tração e no módulo dinâmico como apresentado na expressão (2.19):

$$N_f = k_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_1}\right)^{k_2} \cdot \left(\frac{1}{E^*}\right)^{k_3} \tag{2.19}$$

onde:

Nf: número de repetições de carga para atingir o trincamento por fadiga;

K1, K2 e K3: parâmetros determinados em ensaios de laboratório e

E^* : módulo da camada de asfalto;

ϵt : deformação de tração no fundo da camada asfáltica.

Em seguida, são mostrados alguns modelos de fadiga descritos por Franco (2000).

O modelo da Shell Oil, apresentado na expressão (2.20), foi desenvolvido em 1978 e faz parte do manual de dimensionamento de pavimentos de rodovias da Shell.

$$N_f = 0{,}068 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{5.671} \cdot \left(\frac{1}{E^*}\right)^{2{,}363} \qquad (2.20)$$

onde:

Nf: número de repetições de carga para atingir a ruptura por fadiga;

E^* : módulo da camada de asfalto, em psi;

ϵ_t : deformação de tração no fundo da camada asfáltica

O modelo MS-1, apresentado na equação (2.21), faz parte do manual de dimensionamento de pavimentos de rodovias e ruas do Asphalt Institute, publicado em 1981.

$$N_f = 18{,}4 \cdot 10^{4{,}84\frac{V_{efb}}{V_v + V_{efb}} - 0{,}69} \cdot 0{,}00432 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3{,}291} \cdot \left(\frac{1}{E^*}\right)^{0{,}854} \qquad (2.21)$$

onde:

V_{efb}: teor efetivo de betume em volume da mistura asfáltica = teor de asfalto (em vol.) - teor de asfalto absorvido (em vol.), em %;

Vv.: teor de vazios em volume da mistura asfáltica, em %.

Nf: número de repetições de carga para atingir a ruptura por fadiga;

E^* : módulo da camada de asfalto, em psi;

ϵ_t : deformação de tração no fundo da camada asfáltica.

Monismith e outros (1975) desenvolveram o modelo apresentado na expressão (2.22) para o programa SHRP A-003A. O modelo é citado por Ayres como modelo de Berkeley.

$$N_f = 273.800 \cdot e^{0,077 \cdot V_{pa}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,624} \cdot \left(\frac{1}{E^{**}}\right)^{2,720} \qquad (2.22)$$

onde:

Nf: número de repetições de carga para atingir a ruptura por fadiga;

ϵ_t:: deformação de tração no fundo da camada asfáltica.

Vpa.: teor de asfalto, em %;

$E^{**} = E \cdot sen(\phi)$ módulo de perda (*loss modulus*), em psi;

E : módulo dinâmico da camada de asfalto, em psi;

ϕ = ângulo de fase, em graus, que pode ser estimado a partir da relação desenvolvida por Witczak e Hafez (1996), utilizada por Ayres (1997) e apresentada a seguir:

$$\phi = 22,3414 - 1,97878 \cdot \log E + 28,70621 \cdot (\log E)^2 + 17,22564 \cdot (\log E)^3$$

Pinto (1991), desenvolveu um modelo de previsão de vida de fadiga em laboratório a partir da deformação de tração e do módulo resiliente da camada asfáltica, obtendo uma correlação entre os 82 valores medidos e os previstos, R2, superior a 0,95. O modelo de Pinto (1991) é apresentado na equação (2.23).

$$N_{lab} = 9,07 \times 10^{-9} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{2,65} \cdot \left(\frac{1}{M_R}\right)^{-0,033} \qquad (2.23)$$

onde:

M_R : módulo resiliente dada camada de asfalto, em kgf/cm²;

ϵ_t : deformação de tração no fundo da camada asfáltica.

Os modelos de fadiga necessitam ser calibrados de forma a corrigir os valores determinados em laboratório e, portanto, com condições específicas, tais como: carregamento e frequência de carregamento constantes, temperatura fixa, forma e tipo de compactação, etc, para os

valores esperados no campo. A forma mais usual é a aplicação do fator campo/laboratório ou shift-factor como mostra a equação (2.24).

$$\boxed{N_C = f \cdot N_{lab}} \qquad (2.24)$$

onde:

N_C: número de repetições de carga para atingir o trincamento por fadiga no campo;

N_{lab}: número de repetições de carga para atingir o trincamento por fadiga no laboratório;

f: fator campo-laboratório;

Segundo Pinto e Motta (1995), o fator campo-laboratório é bastante variável na literatura nacional e internacional. Como exemplo, para um número de aplicações de carga N de campo calculado segundo os fatores de equivalência de carga do método de dimensionamento do DNER e para uma área trincada de 40%, o fator campo laboratório pode variar de 10^3 a 5.10^4.

2.4.1 Ensaios de Fadiga

Segundo Souza (2007), para estimativa da vida de fadiga de misturas asfálticas, dispõem-se de uma variedade de equipamentos de laboratório. Esses equipamentos podem atender as várias configurações de ensaio, que podem ser:

A1. Forma do corpo-de-prova
A2. Tipo de carregamento
A3. Estado de tensões
A4. Forma e freqüência de carregamento

Além destes, os fatores listados a seguir, também afetam a vida de fadiga das misturas asfálticas:

B1. Temperatura
B2. Tipo de agregado, forma e textura
B3. Granulometria do agregado

B4. Penetração do asfalto

B5. Teor de asfalto

Segundo Monismith e Deacon (1969) nenhum dos equipamentos é suficientemente universal de forma a garantir um ensaio padrão e todos devem ser considerados uma ferramenta de pesquisa que possui um uso específico e limitado. Em função disto, cada uma das configurações do ensaio de fadiga deve ser avaliada com muito cuidado.

Conforme Souza (2007), em um trabalho mais recente, Monismith (1992) faz uma análise de diversos procedimentos de ensaio (viga retangular, trapezoidal, tensão direta, tensão indireta) e concluiu que, apesar do ensaio diametral (tração indireta) ser razoavelmente confiável, o ensaio a deformação controlada a partir da flexão de vigas é mais compatível com o conceito de propagação de trincas e com os modelos de trincamento por fadiga desenvolvidos no projeto de Strategic Highway Research Program (SHRP).

Nas páginas seguintes são tecidos comentários sobre cada sub-item, listados acima, que afetam a vida de fadiga das misturas asfálticas.

A1. Forma do corpo-de-prova

Na busca para refletir em laboratórios as condições de carregamento encontradas em campo, existem na Literatura Técnica, diversas formas geométricas de corpos-de-provas de mistura asfáltica utilizada para o ensaio de fadiga, conforme mostrado na Figura 2.3.

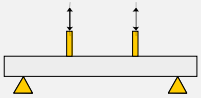
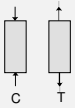
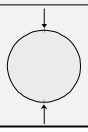
TIPO DE ENSAIO	GEOMETRIA DO CORPO-DE-PROVA	FORMA
Flexão		Viga retangular de quatro apoios
Rotação		Cilíndrico com redução de seção
Flexão em balanço		Viga trapezoidal
Tração direta		Cilíndrico
Tração Indireta		Cilíndro “Marshall”

Figura 2.3. Relação de formas geométricas dos corpos-de-prova (Souza, 2007)

- **Ensaio a flexão**

O ensaio de flexão consiste em submeter uma vigota retangular simplesmente apoiada a duas cargas simétricas em relação ao centro da vigota, que produzem um estado de tração uniforme na parte central da borda inferior da vigota, abaixo da linha neutra, entre dois pontos de carga.

- **Ensaio de rotação**

No ensaio rotacional, amostras cilíndricas com seção reduzida no centro são submetidas a uma carga constante através de um fio conectado em uma das extremidades. A rotação da amostra e a carga constante na extremidade produzem tensões de compressão e de tração senoidais nos ponto da fibra externa, rompendo a amostra no ponto de solicitação máxima.

- **Ensaio flexão em balanço**

O ensaio de fadiga através da flexão em amostras trapezoidais é caracterizado pela aplicação de uma força na menor extremidade do corpo-de-prova através de um sistema capaz de produzir uma deformação elástica constante. O corpo-de-prova trapezoidal possui dimensões

de 56mm de lado na base maior, 25mm na base menor, 250mm de altura e 25mm de espessura (MOMM et al, 2001 apud LOUREIRO, 2003).

- **Ensaio tração direta**

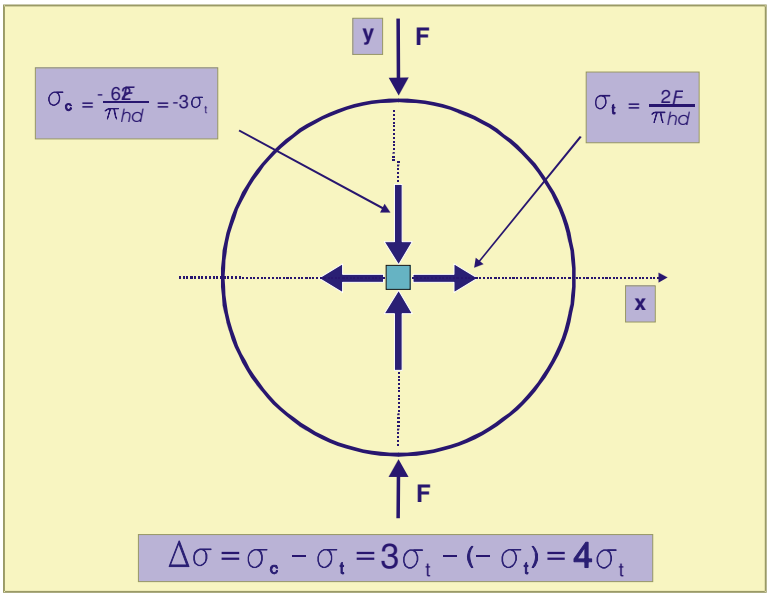
No ensaio de tração direta, amostras retangulares são comprimidas e tracionadas axialmente.

- **Ensaio tração indireta**

O ensaio de compressão diametral foi desenvolvido pelo professor Fernando Luiz Lobo B. Carneiro da Coppe/UFRJ, para a determinação da resistência à tração de corpos-de-prova cilíndricos de concreto de cimento Portland, sendo conhecido no exterior como "ensaio brasileiro".

Segundo Medina (1997), o investigador Schmidt da Chevron, Califórnia, introduziu este ensaio para as misturas asfálticas sob carregamento repetido.

A carga é aplicada por compressão diametral em amostras cilíndricas tipo Marshall (10,16cm x 6,35cm), induzindo um estado de compressão na direção vertical e de tração na horizontal, conforme é mostrado na figura 2.4, que é um estado biaxial de tensões.



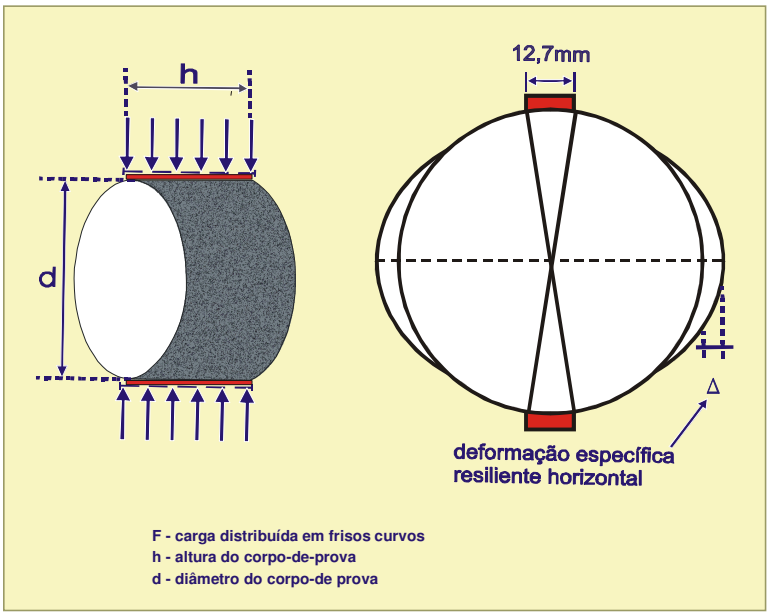


Figura 2.4: Estado de tensões gerados no ensaio de tração indireta (Souza, 2007)

O carregamento vertical é aplicado e distribuído através de um friso de carga curvo e o deslocamento horizontal é medido por transdutores do tipo LVDT.

Pela teoria elástica, segundo Focht, a deformação específica num ponto distante de x do centro do corpo-de-prova cilíndrico é dada por:

$$\varepsilon_x = \frac{2F}{3{,}14E\,hd}\left[\frac{4d^4 - 16d^2x^2}{(d^2 - 4x^2)^2} + (1 - \mu)\right] \qquad (2.25)$$

onde:

F: força vertical aplicada através do friso à geratriz do cilindro;

E: módulo de elasticidade do material;

h: altura do corpo-de-prova cilíndrico;

d: diâmetro do corpo-de-prova cilíndrico;

x: abcissa – distância horizontal ao centro do corpo-de-prova;

μ: coeficiente de Poisson.

Integrando a Equação εx no intervalo de (-d/2, +d/2), calcula-se o deslocamento total, Δ, na horizontal (para d=10,16cm):

$$\Delta = \frac{F}{E.h}(\mu + 0{,}2734) \tag{2.26}$$

onde:

$$E = \frac{F}{\Delta.h}(\mu + 0{,}2734) \tag{2.27}$$

Para a carga aplicada por um meio de um friso curvo de 1,27 cm, tem-se, com base nos estudos de Preussler (1983), a equação:

$$E = \frac{F}{\Delta.h}(0{,}9976\mu + 0{,}2692) \tag{2.28}$$

A aplicação da teoria da elasticidade a misturas asfálticas no ensaio de compressão diametral, é admissível a níveis de tensão de tração de 50% ou menos em relação à de ruptura e a temperaturas inferiores a 35°C.

Atribui-se o coeficiente de Poisson de 0,25 a 0,30 para as misturas asfálticas a quente, na faixa de 25 a 35^0C.

A tensão de tração (σ_t) normal horizontal e de compressão vertical (σ_c) no centro do corpo-de-prova é dada por:

$$\sigma_t = \frac{2F}{3{,}14hd} \tag{2.29}$$

$$\sigma_c = \frac{-6F}{3{,}14hd} \tag{2.30}$$

O equipamento de compressão diametral utilizado para a determinação dos módulos de elasticidade e estudos de fadiga de misturas betuminosas e cimentadas é mostrada esquematicamente na figura 2.5. A temperatura do ensaio deve ser especificada e controlada mediante o condicionamento do equipamento em uma câmara termo-regulável.

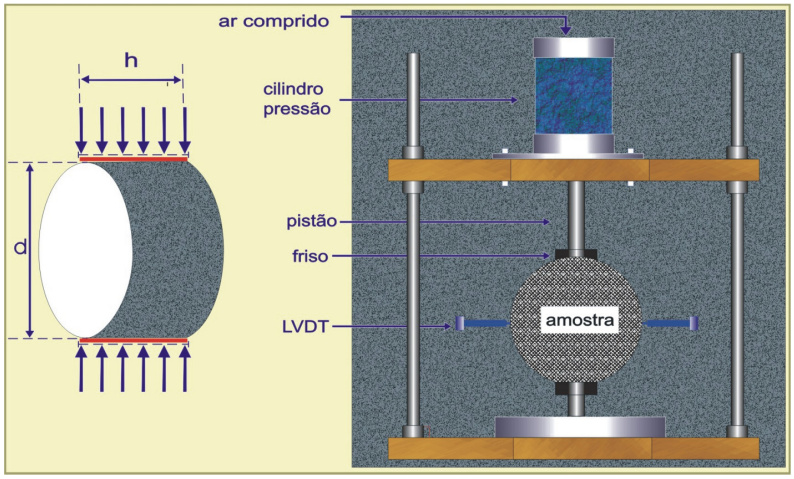


Figura 2.5: Equipamento de Ensaio a Compressão diametral de cargas repetidas (Souza, 2007)

A2. Tipo de Carregamento

O ensaio de fadiga pode ser realizado de duas formas: tensão controlada e deformação constante.

- **Ensaio à tensão controlada**

Neste ensaio aplica-se uma carga contínua e constante sobre um corpo-de-prova cilíndrico ou prismático. A aplicação contínua da tensão procura simular as condições de campo no laboratório, onde a carga das rodas dos veículos atua sobre os pavimentos de forma repetitiva. Durante o ensaio, as deformações resultantes vão aumentando e atingem um valor máximo até a fase de colapso da amostra. Portanto, o critério de parada neste ensaio de fadiga está associado à fratura do corpo-de-prova (PINTO, 1991).

Na figura 2.6 é apresentado um modelo do comportamento esquemático de fadiga à tensão constante de misturas asfálticas (MONISMITH e DEACON, 1969).

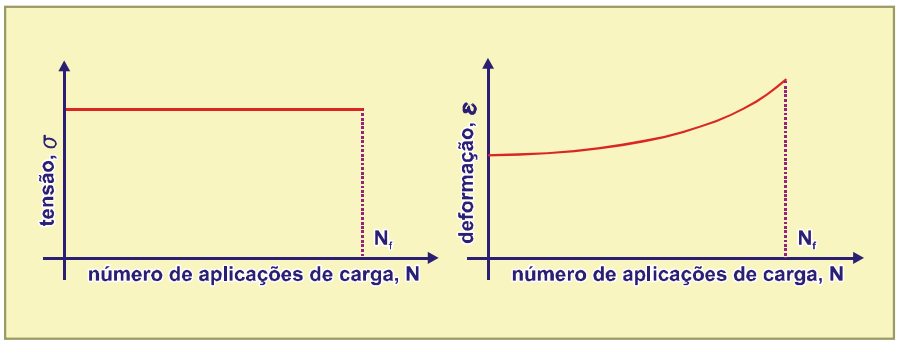


Figura 2.6: Comportamento da tensão e deformação, no ensaio de fadiga a tensão controlada (Monismith e Deacon, 1969)

- **Ensaio à deformação constante**

É realizado controlando-se a tensão aplicada (reduz-se a tensão com o andamento do ensaio), de forma a manter a deformação recuperável constante durante o ensaio.

Neste tipo de ensaio, as trincas evoluem de forma mais lenta que no ensaio a tensão controlada, com isto o ensaio se torna mais demorado.

Como em alguns casos o corpo-de-prova não chega ao colapso, alguns critérios são utilizados para o término do ensaio.

- Redução em 40% e 50% da carga inicial aplicada (Pinto 1991).
- 50% do módulo de rigidez inicial por flexão ou da tensão inicial (Pronk e Hopman, 1990; Tayebali et al, 1994 apud Loureiro, 2003).

A figura 2.7 é apresentado o modelo de comportamento esquemático de fadiga à deformação controlada de misturas asfálticas (Monismith e Deacon, 1969).

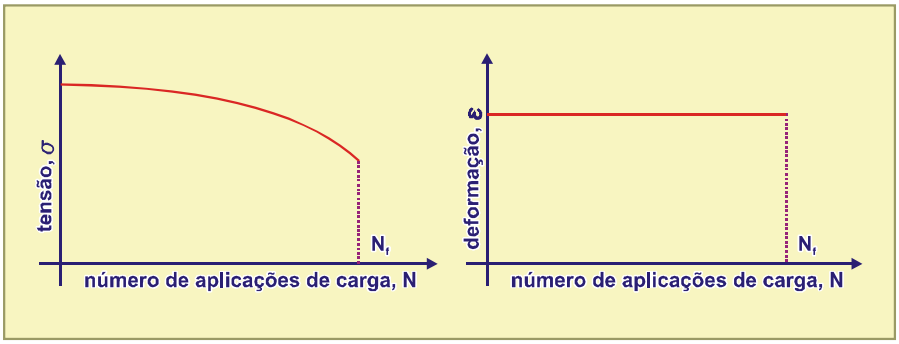


Figura 2.7: Comportamento da tensão e deformação, no ensaio de fadiga a deformação constante (Monismith e Deacon, 1969)

A fadiga vai alterando as propriedades de resistência e a rigidez das misturas, fazendo com que o comportamento das tensões e deformações no interior da camada betuminosa varie durante o carregamento. Monismith e Deacon (1969) definiram uma forma de avaliar esta variação com o Fator Modo:

$$MF = \frac{|A| - |B|}{|A| + |B|} \tag{2.31}$$

onde,

MF: fator de modo;

$|A|$: variação percentual da tensão de tração horizontal devido a uma redução arbitrada e fixa da rigidez da mistura;

$|B|$: variação percentual da deformação de tração horizontal devido a uma redução arbitrada e fixa da rigidez da mistura.

O fator de modo varia de +1 (deformação controlada), a –1 (tensão controlada), e dentro deste intervalo o fator modo é tido como intermediário.

A figura 2.8 é apresentado o modelo do comportamento esquemático de fadiga de misturas asfálticas em um modo de carregamento intermediário (Monismith e Deacon, 1969).

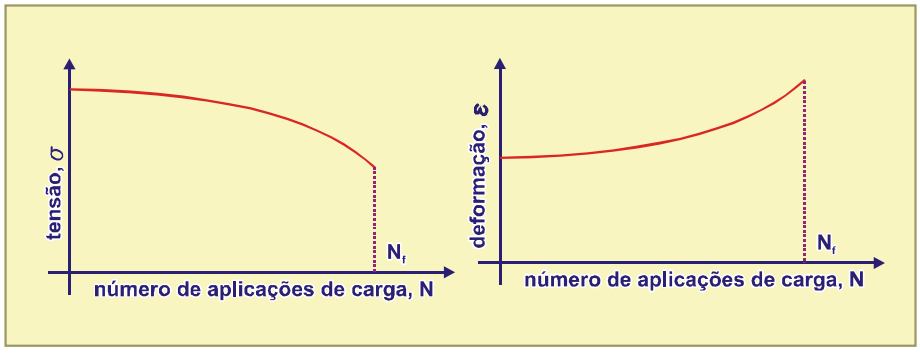


Figura 2.8: Comportamento da tensão e deformação, no ensaio de fadiga com um modo de corregamento intermediário (Monismith e Deacon, 1969)

A figura 2.9 apresenta o diagrama da vida de fadiga para diversos modos de carregamento (Monismith e Deacon, 1969).

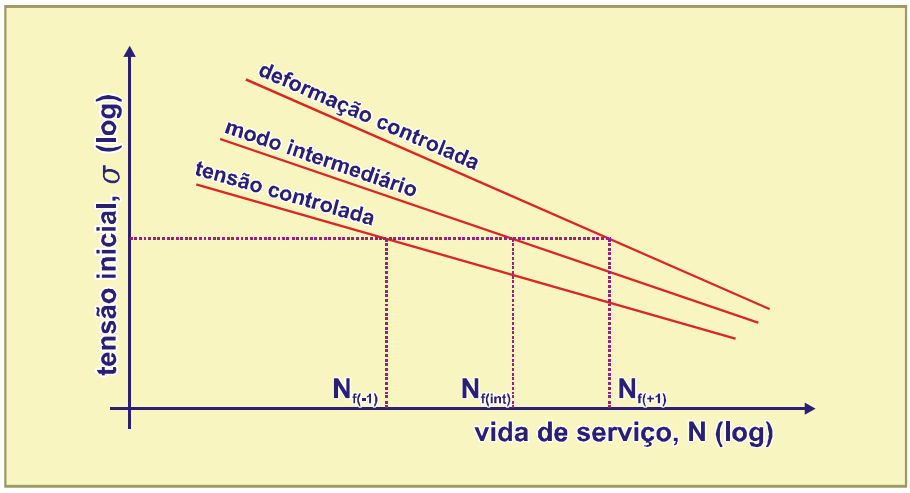


Figura 2.9: Diagrama da vida de fadiga para diversos modos de carregamento (Monismith e Deacon, 1969)

Observa-se que, para um mesmo nível de tensão inicial, a vida de fadiga da mistura asfáltica é maior quando se realiza o ensaio à deformação constante.

A tabela 2.9 apresenta os critérios de fadiga correspondentes a cada destes tipos de ensaio.

Tabela 2.9: Critério de fadiga segundo o tipo de carregamento (Souza, 2007)

ENSAIO	*CRITÉRIO DE FADIGA*	*VIDA DE FADIGA (N)*
TC	Ruptura Completa	Fim do Ensaio
DC	Redução de Desempenho	Arbitrário. Estágio de ruptura
TC ou DC	Início de Fissuras	Retas N x ϵ agrupadas

A3. Estado de tensões

Em função da geometria do corpo-de-prova e da configuração do ensaio, o estado de tensões induzido na amostra pode ser uniaxial ou biaxial.

Na maioria dos ensaios, como o de flexão de viga retangular ou trapezoidal, o estado de tensões é uniaxial. Nestes ensaios, a flexão produzirá tensões de tração e compressão alternadamente ao longo da seção transversal da amostra.

No ensaio de tração indireta, o estado de tensões gerado é biaxial. O estado de tensões, neste caso, produz tanto tensões de tração quanto de compressão num mesmo instante em direções opostas.

A4. Forma e Freqüência de Carregamento

As cargas aplicadas sobre os corpos-de-prova podem ser de diversas maneiras. Os pulsos de carga podem ser aplicados por sinais dos tipos triangular, retangular e em forma de sino (haversine ou senoidal). Pode-se também configurar os tempos ou freqüência de carregamento, descarregamento e relaxamento. Todos estes fatores influem no ensaio e geram resultados diferentes.

No ensaio de tração indireta, os pulsos de carga não possuem uma forma bem definida, mas tendem ao formato de sino, pois o processo pneumático permite pouco controle no formato da onda do carregamento. No Brasil, para este ensaio, a carga é aplicada em 0,1s e, após a sua aplicação, existe um período de relaxamento de 0,9 s, a freqüência do ciclo de aplicação de carga é de 1Hz.

2.5 DEFORMAÇÃO PERMANENTE

Toda vez que o pavimento é solicitado, pela passagem de um veículo, ocorre uma deformação elástica ou recuperável e uma deformação permanente. A deformação permanente é representada pelo acúmulo de pequenas parcelas de deformação que não podem ser recuperadas.

O afundamento de trilha de roda é a forma mais comum de deformação permanente, e tem duas causa principais:

- Afundamento causado pela repetição de tensões aplicadas no subleito, sub-base e base, com contribuição relativa de cada uma destas camadas para a deformação permanente total. Uma maneira de minimizar este efeito é aumentar a compactação das camadas do pavimento.

A figura (2.10) apresenta o afundamento por subleito fraco.

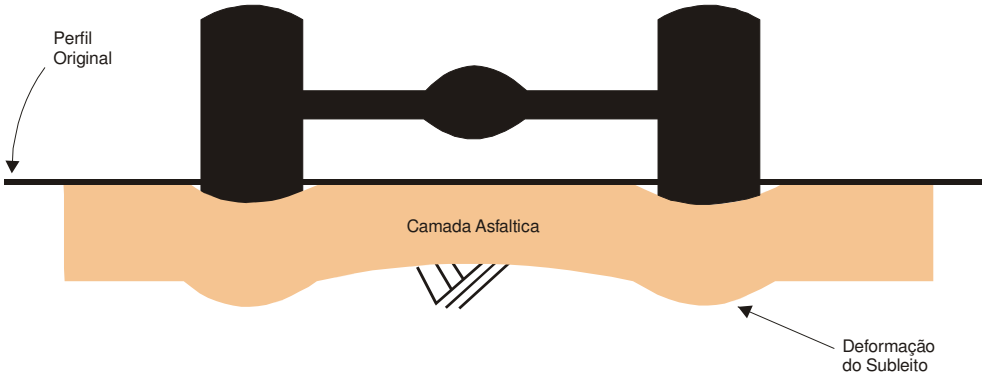


Figura 2.10: Deformação causada por subleito (ou camadas de pavimentos pouco compactadas ou inadequadas)

- Afundamento resultante do acúmulo de deformação na camada betuminosa. É causado pela pequena resistência ao cisalhamento, insuficiente para resistir a passagem de carros repetidas. Figura 2.11.

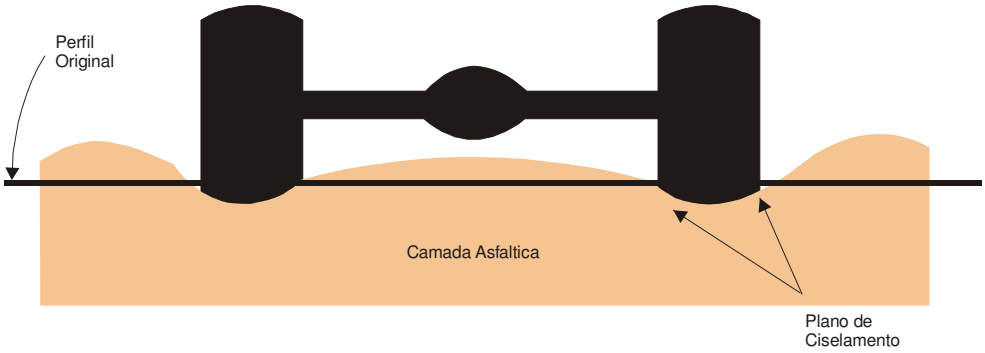


Figura 2.11: Deformação causada por mistura asfáltica fraca

O afundamento de trilha de roda é um fenômeno característico de altas temperaturas. Isto é, ocorre, preferencialmente, no verão, com as altas temperaturas. Embora isto possa sugerir que o afundamento seja um problema apenas do ligante asfáltico, é mais certo correlacioná-lo com o binômio agregado mineral-asfalto.

Segundo Franco (2000) a deformação permanente é um importante fator no projeto de pavimentos flexíveis. Seu efeito é caracterizado pelos afundamentos ao longo da trilha de roda em rodovias e pelas irregularidades na superfície do pavimento que, por sua vez, dificultam a drenagem e aumentam o risco de aquaplanagem. Esses efeitos têm como

consequência direta a redução dos níveis de segurança e conforto das estradas, aeroportos, ruas e avenidas.

A deformação total que ocorre nos pavimentos flexíveis devido à ação das cargas do tráfego pode ser dividida em duas parcelas: uma parcela resiliente ou reversível e outra permanente, ou plástica.

As camadas do pavimento contribuem com alguma parcela para a deformação permanente total da estrutura e, portanto, para estimar-se a profundidade dos afundamentos de trilha de roda, é necessário se conhecer o mecanismo de deformação de cada uma das camadas (Motta, 1991; Huang,1993).

Segundo Franco (2000) os modelos de previsão da deformação específica permanente dos materiais de pavimentação têm sido desenvolvidos a partir de dados obtidos em laboratório, através de ensaios triaxiais de cargas repetidas. Os corpos-de-prova não são previamente condicionados, como nos ensaios para determinação do módulo resiliente, pois as deformações permanentes iniciais não devem ser desconsideradas. As amostras dos materiais devem ser preparadas para as condições (temperatura, estado de tensões, umidade, densidade etc.) esperadas no campo.

Ainda conforme Franco (2000), os parâmetros obtidos para compor os modelos dependem significativamente dos procedimentos utilizados para moldar os corpos-de-prova e dos métodos de ensaio. Estas variações, unidas com a incerteza na previsão do tráfego e das condições climáticas, tornam muito difícil a estimativa da profundidade dos afundamentos. Portanto, justifica-se a utilização de modelos simplificados (Huang, 1993).

O conceito utilizado por alguns modelos de previsão da deformação permanente é o da proporcionalidade com o estado de tensões ou deformações elásticas, além da influência do número de repetições de carga (Yoder & Witczak, 1975).

A partir dos modelos de previsão de deformação específica permanente de cada camada do pavimento, pode-se estimar a deformação permanente total a partir da expressão (2.36), proposta por Barksdale (1971) e citada por Motta (1991):

$$\delta_{total}^{P} = \sum_{i=1}^{n} \left(\varepsilon_{P}^{i} \times h_i \right) \qquad (2.31)$$

onde:

δ_{total}^{P} : Deformação permanente total do pavimento;

ε_{P}^{i} : deformação permanente específica média da camada ou subcamada de ordem i;

*h*i : espessura da camada ou subcamada de ordem i;

n : número de camadas ou subcamadas.

Pode-se melhorar a estimativa do cálculo da deformação permanente das camadas do pavimento, subdividindo-as em subcamadas (Franco, 2000).

Ensaios triaxiais de carga repetida são utilizados para avaliar a relação existente entre o número de repetições de carga e a deformação específica permanente acumulada. Porém, esta relação não depende somente do número de repetições de carga. Diversos fatores também influenciam no comportamento dos materiais e, portanto, devem ser avaliados.

Svenson (1980), citado por Franco (2000), realizou ensaios de cargas repetidas que mostram a influência de diversos fatores nas deformações permanentes de solos argilosos provenientes de camadas de reforço e subleito de rodovias brasileiras. Svenson agrupou estes fatores em três classes, como se segue:

1. Fatores de carga: relacionados à forma e ao tipo de carregamento, tais como, tensão de confinamento, tensão desvio e frequência de carregamento;
2. Fatores estruturais: relacionados ao arranjo estrutural das partículas, tais como, tipo de material e forma de compactação e
3. Fatores ambientais: referindo-se às influências externas, que não sejam as de carregamento, mas que produzam efeitos nas características de deformabilidade dos solos, tais como, umidade e temperatura.

Conforme Franco (2000), pode-se observar nos resultados da pesquisa de Svenson (1980) as seguintes tendências para os solos argilosos:

- a deformação específica permanente cresce com o aumento da tensão desvio;
- a deformação permanente aumenta com o aumento da umidade de compactação;
- a frequência de carregamento pouco influencia no comportamento à deformação permanente e
- o tempo de cura dos corpos-de-prova influencia o comportamento do solo à deformação permanente.

Segundo Coelho (1996), são diversos os fatores que influenciam nas deformações permanentes do concreto asfáltico. Dentre esses fatores, destacam-se a granulometria, o formato, a textura e o tamanho dos agregados; a rigidez do ligante; o volume de vazios; a quantidade do ligante; o método de compactação da mistura; a temperatura; o estado de tensões, e o número de repetições de carga nas condições de campo ou ensaio.

Para se estimar efetivamente a deformação específica permanente das camadas de um pavimento, deve-se pesquisar e relacionar as diversas variáveis que influenciam significativamente o comportamento dos materiais componentes da mistura (Franco, 2000).

Os modelos apresentados na tabela 2.10 foram selecionados por Souza (2007).

Tabela 2.11: Modelos para Determinação da Deformação Permanente (Souza, 2007)

Modelo	*Subleito*	*Sub-base*	*Base*	*Revestimento Asfáltico*
Cardoso e outros (1987)	$\frac{\varepsilon_p(N)}{\varepsilon r} = \alpha N^{\mu}$ $0{,}70 \leq \alpha \leq 0{,}90$ $0{,}01 \leq \mu \leq 1{,}20$	$\frac{\varepsilon_p(N)}{\varepsilon r} = \alpha N^{\mu}$ $0{,}90 \leq \alpha \leq 1{,}00$ $0{,}10 \leq \mu \leq 0{,}30$	$\frac{\varepsilon_p(N)}{\varepsilon r} = \alpha N^{\mu}$ $0{,}90 \leq \alpha \leq 1{,}00$ $0{,}10 \leq \mu \leq 0{,}30$	$\frac{\varepsilon_p(N)}{\varepsilon r} = \alpha N^{\mu}$ $0{,}45 \leq \alpha \leq 0{,}90$ $0{,}10 \leq \mu \leq 0{,}50$
Santos (1988), segundo Franco. Para $\sigma 3 = 1{,}05$ kg/cm^2 e $\sigma d = 3{,}15$ kg/cm^2, para solos lateríticos.	$\varepsilon_p = 3\times10^{-3} N^{0{,}10}$	$\varepsilon_p = 2\times10^{-3} N^{0{,}06}$	$\varepsilon_p = 5\times10^{-3} N^{0{,}11}$	-
Modelo de Motta (1991)	Ep=2,2 x 10^{-3} $N^{0{,}081}$			
Modelo de Ayres (1997)	-	-	-	$Log\left[\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r}\right] = -4{,}80661 + 2{,}58155\log(T) + 0{,}42956\log(N)$

Onde:

ε_p (N): deformação permanente na n-ésima repetição de carga;

ε_p : acúmulo de deformações permanentes;

ε_r : deformação específica;

N : número de aplicações de carga;

T : temperatura, em °F.

A limitação da tensão vertical que atua no topo do subleito é um dos critérios utilizados atualmente para o projeto de pavimentos, uma vez que o subleito é a camada de menor

resistência ao cisalhamento e, portanto, sensível às deformações plásticas (Motta, 1991 apud Franco, 2000).

Motta (1991) cita o modelo que estima a tensão vertical admissível, apresentado na equação (2.32), que consta no trabalho de Köstenberger (1989), mas que, segundo Santos (1998), é originalmente devida a Heukelom e Klomp (1962) apud Franco (2000).

$$\sigma_{adm} = \frac{0{,}006 \cdot M_R}{1 + 0{,}7 \cdot \log(N)} \qquad (2.32)$$

onde:

σ_{adm}: tensão vertical admissível no topo do subleito, em kgf/cm^2;

M_R: módulo resiliente do subleito, em kgf/cm$^{2;}$ e,

N: número de aplicações de carga.

Em diversas fontes pesquisadas por Franco (2000), a lei de deformação vertical limite possui a forma das equações (2.33 "a" e "b").

$$\varepsilon_v = A \cdot N^B \qquad (2.33a) \qquad \text{ou} \qquad N = k_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_v}\right)^{k_2} \qquad (2.33b)$$

onde:

ϵ_v: deformação vertical limite no topo do subleito;

A, B ou k_1, k_2: parâmetros experimentais e

N: número admissível de aplicações de carga.

O método de dimensionamento de pavimentos da Shell Oil utiliza o modelo apresentado na equação (2.33b) para estimar a deformação de compressão vertical admissível no topo do subleito. A tabela 2.12 apresenta os parâmetros do modelo da Shell Oil para os níveis de confiança de 50%, 85% e 95% (Monismith, 1999).

Tabela 2.12: Parâmetros "A" e "B" do modelo da Shell Oil de previsão da deformação vertical limite no topo do subleito.

Nível de confiança	A	B
50%	0,028	-0,25
85%	0,021	-0,25
95%	0,019	-0,21

Monismith (1992) apresenta também os modelos utilizados pelos métodos de dimensionamento do Asphalt Institute, equação (2.34), e do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées da França, equação (2.35), para estimar a deformação vertical limite no topo do subleito. Os modelos utilizam a mesma lei de evolução utilizada pelo método da Shell Oil, porém com outros valores para os parâmetros "A" e "B". Elas estão apresentadas de forma desenvolvida, ou seja, "N" em função de "εv" (Franco, 2000).

$$N = 1{,}365 \cdot 10^{-9} \cdot \varepsilon_v^{-4-477} \tag{2.34}$$

$$N = 2{,}227 \cdot 10^{-9} \cdot \varepsilon_v^{-4{,}505} \tag{2.35}$$

Santos (1998) apud Franco (2000), apresenta outros modelos de previsão da deformação limite do subleito extraídos do trabalho de Pidwerbesky e Steven (1997), também com a mesma lei de deformação dos modelos da Shell Oil e do Asphalt Institute. Os parâmetros "A" e "B" do modelo são apresentados na tabela 2.13.

Tabela 2.13: Parâmetros A e B de modelos de previsão da deformação vertical limite no topo do subleito citadas por Santos (1998).

Fonte (Citado em Santos, 1998)	Parâmetro	
	A	B
Claessen et al (1997)	0,028	-0,25
Dunlop et al (1993) - rodovia 1a Classe	0,021	-0,23
Dunlop et al (1993) - rodovia 2a Classe	0,025	-0,23
Manual Austrália Austroads (1992)	0,0085	-0,14
Pidwerbesky e Steven (1997)	0,012	-0,145

2.6 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A avaliação estrutural de pavimentos é o processo no qual se deseja obter uma série de informações quanto às características mecânicas do pavimento e subleito, com a finalidade de prever o seu comportamento durante a sua vida útil, estando os mesmos sujeitos às solicitações do tráfego e dos efeitos do clima (Cavalcante, 2005).

Segundo Rodrigues (1995) citado por Cavalcante (2005), a condição estrutural de um pavimento denota sua capacidade de resistir à deterioração provocada pela passagem das cargas do tráfego.

Ainda segundo Cavalcante (2005), um retrato completo da condição estrutural de um pavimento deve ser composto pelos seguintes elementos:

- Parâmetros que descrevam a deformabilidade elástica ou viscoelástica dos materiais das camadas, sob as condições de solicitações impostas pelas cargas transientes dos veículos. São utilizados para se calcular as tensões e deformações induzidas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento.
- Parâmetros que descrevam a resistência dos materiais ao acúmulo de deformações plásticas e à geração de trincas por fadiga sob cargas repetidas, os quais são função da natureza do material, de sua condição (densidade, umidade) e do histórico de solicitações;
- Integridade das camadas asfálticas e cimentadas, expressa pelo grau de fissuramento.

A avaliação da condição estrutural do pavimento e do subleito, de forma adequada, é de fundamental importância em projetos de restauração, pois possibilita o diagnóstico dos defeitos que tenham a sua gênese ligada a um problema estrutural. Desta forma, a análise dos parâmetros elásticos obtidos no levantamento estrutural permite inferir sobre a real condição em que se encontra a estrutura, e assim, avaliar a necessidade de reabilitação objetivando compatibilizar as diversas características resistentes dos materiais que compõem o pavimento reabilitado ou não, frente às solicitações futuras do tráfego e efeitos climáticos.

As deflexões recuperáveis são um indicativo do comportamento estrutural dos pavimentos sujeitos a ação de cargas repetidas. O arqueamento das camadas do pavimento provocado pelo

carregamento repetitivo é o responsável pelo fenômeno de fadiga das camadas betuminosas e cimentadas (Pinto e Preussler, 2002).

Pode-se entender a deflexão elástica como sendo os deslocamentos verticais reversíveis na superfície ou no interior do pavimento, provenientes da ação de carregamentos transientes, que ao cessar o esforço, a estrutura retorna à posição inicial (Silva, 1995)

A medida da deflexão recuperável máxima é um parâmetro importante para a caracterização do comportamento estrutural do pavimento, pois o seu valor está intimamente relacionado com a deformabilidade elástica de todas as camadas que compõem a estrutura ensaiada.

Quanto maior o seu valor, mais resiliente (deformável) é a estrutura e, conseqüentemente, maior será o seu comprometimento estrutural (Cavalcante, 2005). Porém, estruturas distintas podem apresentar a mesma deflexão recuperável máxima (figura 2.12), por este motivo, é necessário avaliar outros parâmetros relacionados com a forma das deformadas que podem auxiliar na avaliação estrutural. O raio de curvatura, parâmetro indicativo do arqueamento da deformada na sua porção mais crítica (Salini, 1999; figura 2.13), que geralmente é considerado a 25 cm do centro da carga é um deles (Pinto e Preussler, 2002; Cavalcante, 2005).

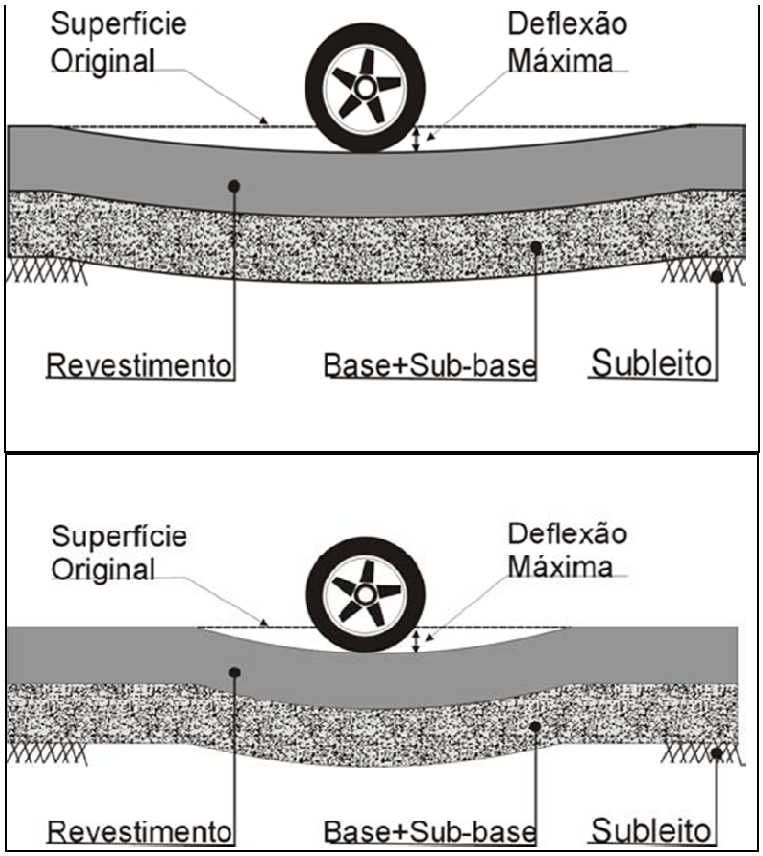


Figura 2.12: Esquema de diferentes bacias deflectométricas para uma mesma deflexão Máxima (Cavalcante, 2005).

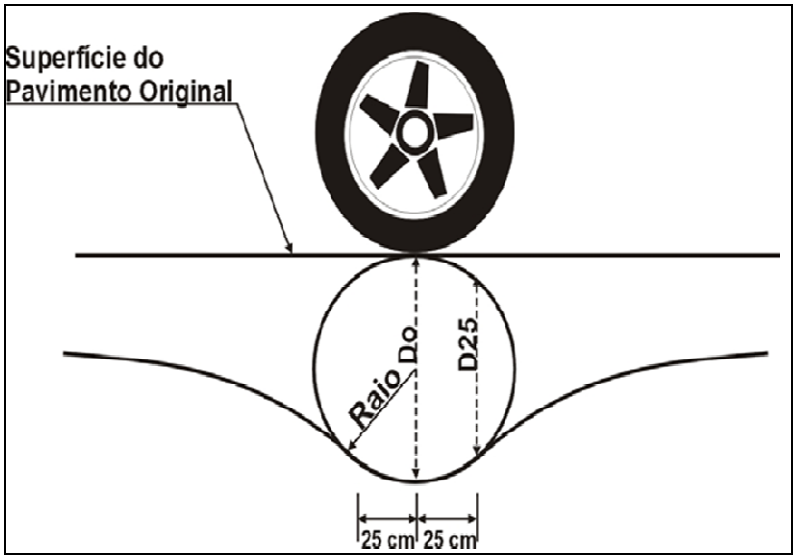


Figura 2.13: Ilustração da hipótese adotada pelo DNIT (Salini, 1999).

As fórmulas preconizadas pelo método de ensaio DNER – ME 024/94 (DNER,1994d) para a determinação da deflexão máxima e o raio de curvatura são:

$$D_0 = (L_0 - L_f).a/b \tag{2.36}$$

onde:

D_o = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetros;

L_o = leitura inicial, em centésimos de milímetros;

L_f = leitura final, em centésimos de milímetros;

a/b = dimensões da viga Benkelman ver figura 2.17.

$$D_0 = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \tag{2.37}$$

onde:

R = raio de curvatura, em metros;

D_o = deflexão no ponto de aplicação da carga, em centésimos de milímetros;

D_{25} = deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimos de milímetros.

Os métodos de avaliação estrutural de pavimentos são classificados em ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos.

Os métodos destrutivos implicam na remoção de partes das camadas do pavimento para avaliação das suas características e condições “in loco” e extração de amostras para ensaios de laboratório.

Já os métodos não-destrutivos permitem inferir as condições estruturais sem danificar o pavimento, mediante ensaios executados na superfície do revestimento, em que se avalia a resposta do pavimento a uma carga.

2.6.1 Ensaios Destrutivos

São chamados de destrutivos porque invalidam, para futuros testes, as áreas do pavimento onde foram feitas as remoções (Macêdo, 1996, Albernaz, 1997, Oliveira et. al., 2000, apud Cavalcante, 2005).

As propriedades medidas em ensaios destrutivos não refletem, na sua totalidade, o estado de tensão e condições ambientais ao longo do tempo, pelo fato de não estarem bem representadas as condições dos materiais em campo (estado de tensões, índice de vazios, etc.) sob a ação combinada de cargas e do clima. Apesar destas ressalvas, os ensaios de laboratórios são bastante utilizados para determinação de parâmetros elásticos e de resistência e também, como ponto positivo, destaca-se nos ensaios de laboratórios, o fato que uma amostra pode ser condicionada milhões de vezes sob condições de contorno controladas.

- *Ensaios Triaxiais Dinâmicos*

Francis Hveem, em 1951, realizou o primeiro estudo sistemático para determinar a deformabilidade de pavimentos, estabelecendo valores máximos admissíveis para a vida de fadiga satisfatória de diferentes tipos de pavimentos. Hveem relacionou o trincamento progressivo dos revestimentos asfálticos à deformação resiliente (elástica) das camadas subjacentes dos pavimentos. O termo resiliente foi usado por Hveem em lugar de deformações elástica sob o argumento de que as deformações nos pavimentos são muito maiores do que as que ocorrem nos sólidos elásticos (concreto, aço, etc.) (Medina, 1997).

Segundo Cavalcante (2005), no Brasil, os estudos com este tipo de ensaio começaram a ser desenvolvidos no final da década de 70, através do convênio firmado entre a COPPE e o IPR, sob orientação do ilustre professor Jacques de Medina, o que possibilitou desenvolver um amplo programa de pesquisa, a partir do qual acumulou-se uma gama de informações sobre as propriedades resilientes dos solos, das camadas asfálticas e cimentadas.

O módulo de resiliência pode ser definido como sendo a relação entre a tensão-desvio aplicada axial e ciclicamente em um corpo-de-prova e a correspondente deformação resiliente axial (vertical) conforme a equação seguinte (Cavalcante, 2005):

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \qquad (2.38)$$

onde:

MR = módulo de resiliência;

σ_d = tensão desvio aplicada repetidamente ($\sigma d = \sigma d - \sigma 3$);

εr = deformação específica axial resiliente.

Dispondo-se de equipamento triaxial dinâmico, conforme desenho esquemático apresentado na figura 2.14, o módulo de resiliência pode ser determinado de acordo com "Procedimentos para Execução de Ensaios com Carregamento Repetido", elaborado pelo Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ e através do Método de Ensaio DNER ME-131/1994 (DNER,1994e), conforme pode ser visto na ilustração da figura 2.16.

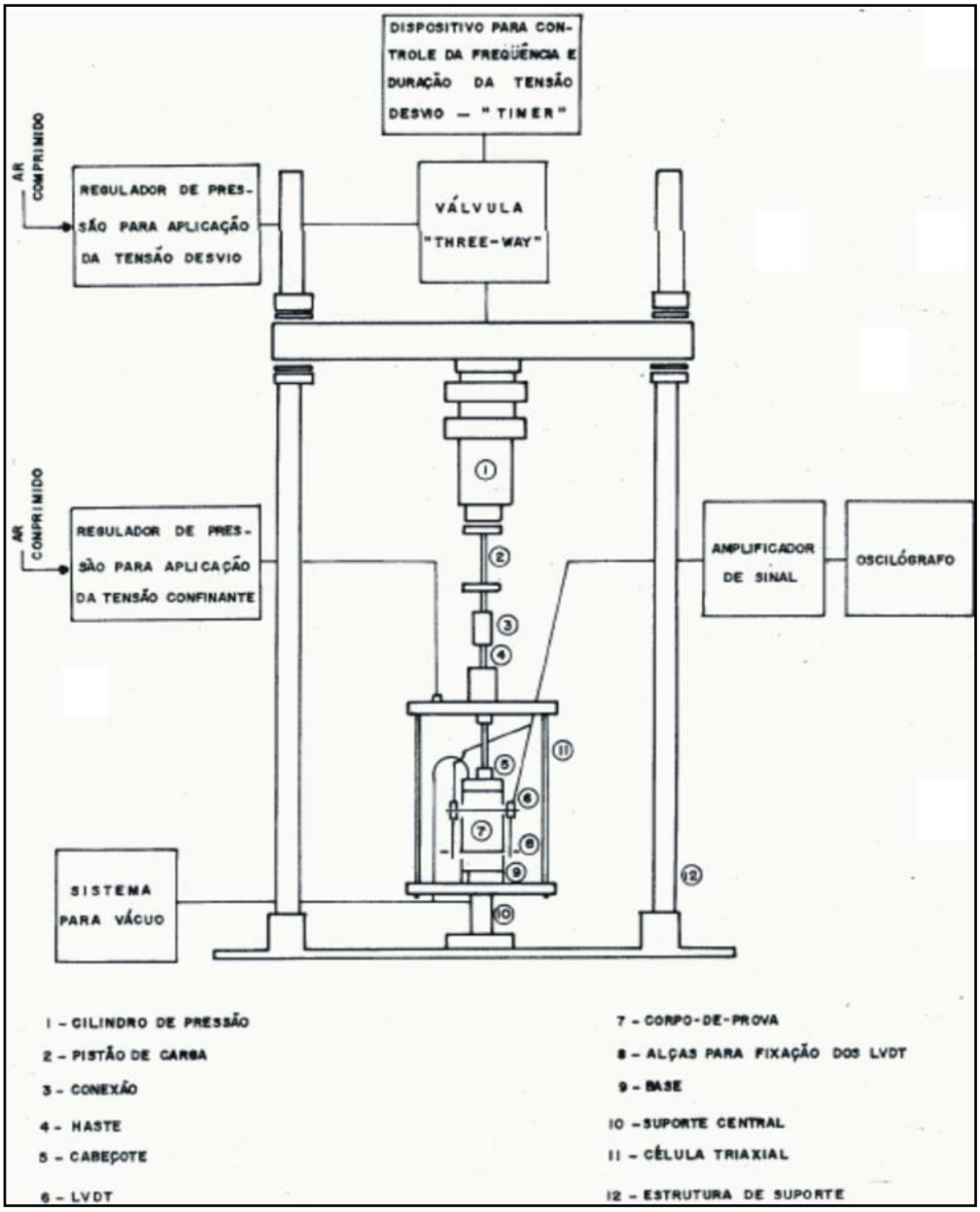


Figura 2.14 – Ilustração do equipamento triaxial dinâmico de compressão axial (DNER, 1994e)

Segundo o WSDOT Pavement Guide (1995a), a determinação do módulo resiliência em laboratório pode ser compreendido visualizando as etapas conforme ilustradas na figura 2.15.

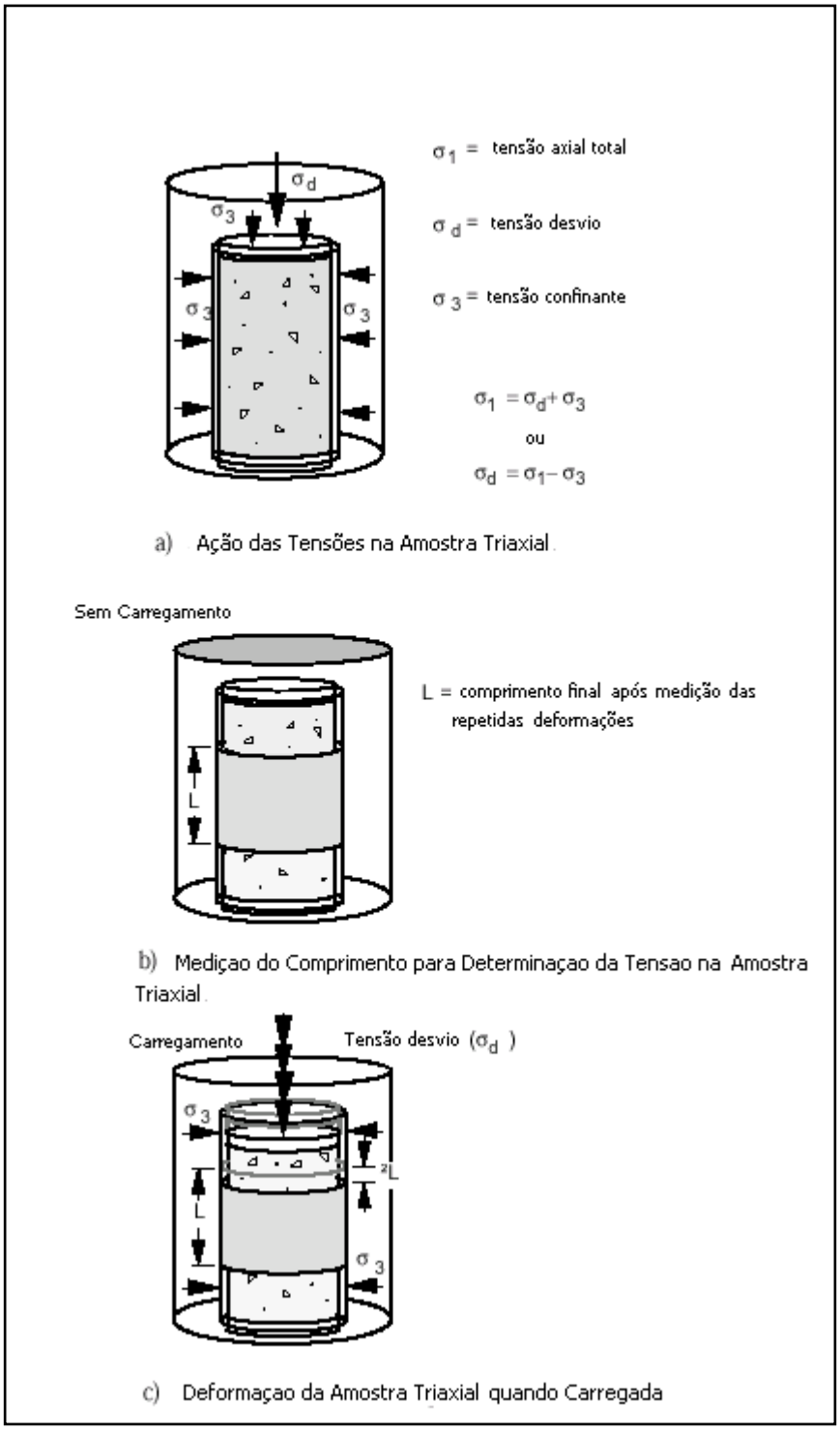


Figura 2.15 – Esquema ilustrativo da determinação do módulo de resiliência em laboratório (WSDOT, 1995a).

Figura 2.16 – Foto do equipamento triaxial dinâmico da COPPE/UFRJ (Neto, 2004)

Na realização do ensaio triaxial dinâmico a deformação total do corpo-de-prova ensaiado tem uma componente resiliente (recuperável) e outra permanente (irrecuperável) ou plástica. É a deformabilidade “elástica" ou resiliente que condiciona a vida de fadiga das camadas superficiais mais rijas dos pavimentos sujeitas a flexões sucessivas. Não sendo os solos e britas materiais elásticos lineares, os módulos resilientes dos solos dependem do estado de tensões atuantes. O que se procura determinar nos ensaios triaixiais é a relação experimental que descreve o comportamento dos módulos de resiliência em função da tensão de confinamento e da tensão desvio (Medina, 1997).

Os principais modelos de comportamento resiliente dos solos são:

a. para os solos arenosos ou pedregulhosos

$$M_R = k_1 \sigma_3^{k_2} \tag{2.39}$$

$$M_R = k_1 \theta^{k_2} \tag{2.40}$$

b. para os solos argilosos ou siltosos

$$M_R = k_1 \sigma_d^{k_2} \tag{2.41}$$

$$\begin{array}{ll} M_R = k_2 + k_3(k_1 - \sigma_d) & k_1 > \sigma_d \\ M_R = k_2 + k_3(\sigma_d - k_1) & k_1 < \sigma_d \end{array} \qquad (2.42)$$

c. modelo composto proposto por Macêdo (1996)

Atualmente, tem-se utilizado um modelo mais genérico para representar a variação do módulo de resiliência com o estado de tensões dos materiais de pavimentação. Este modelo considera, em conjunto, o efeito da variação da tensão confinante e da tensão desvio no módulo resiliente, o qual é denominado de modelo composto e pode ser descrito pela equação 2.43.

$$M_R = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3} \qquad (2.43)$$

onde:

M_R – módulo de resiliência;

σ_3 – pressão confinante;

σ_d – tensão desvio;

ki – parâmetros obtidos experimentalmente.

O modelo deriva da relação entre a tensão-desvio aplicada axial e ciclicamente em um corpo-de-prova e a correspondente deformação específica vertical recuperável, conforme a expressão 2.38.

No modelo composto, a deformação especifica resiliente é obtida através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_r = a \sigma_3^{b} \sigma_d^{c} \qquad (2.44)$$

onde:

ε_r – deformação específica resiliente;

σ_3 – pressão confinante;

σ_d – tensão desvio;

a, *b* e *c* – parâmetros obtidos experimentalmente.

Substituindo (2.44) em (2,38), obtêm-se:

$$\boxed{\frac{1}{a} = k_1 \; ; \;\; \mathrm{k}_2 = -b \;\; \text{e} \;\; (1-c) = k_3} \qquad (2.45)$$

Logo, tem-se o modelo composto em função do módulo de resiliência conforme expressão 2.43 apresentada.

Segundo DNER (1998) apud Cavalcante (2005), os fatores que afetam o módulo resiliente obtido através do ensaio triaxial dinâmico dos solos, são:

i. solos granulares

- número de repetições da tensão-desvio: depende do índice de vazios, da densidade do material, do grau de saturação e do valor da tensão repetida aplicada;
- história de tensões: deformações permanentes iniciais. Os solos não coesivos adquirem rigidez através da repetição do carregamento. Em um dado momento o solo apresenta comportamento quase elástico com MR constante;
- duração e freqüência do carregamento: a duração é função da velocidade dos veículos. A freqüência é função das condições de tráfego até 60 aplicações por minuto tem pouca influência;
- nível de tensão aplicada: varia muito com a pressão confinante em solos não coesivos e pouco com a pressão desvio.

ii. solos finos coesivos

- número de repetição da tensão-desvio e história das tensões: com o carregamento repetido ocorre o rearranjo estrutural levando a um acréscimo do peso específico;
- umidade e massa específica de moldagem: quanto maior o teor de umidade, menor é o módulo resiliente;
- tixotropia dos solos argilosos: após algumas repetições de carga o ganho de rigidez pelo intervalo de tempo entre moldagem e ensaio não é significativo;

- nível de tensão: no caso de solos coesivos varia muito pouco com a pressão confinante e muito com a de desvio.

Também merece destaque como exemplo de ensaios destrutivos o Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral ou Ensaio Brasileiro e o Ensaio de Fadiga de Misturas Betuminosas, mas, não serão mais descritos porque já o foram em itens anteriores.

2.6.2 Ensaios Não-destrutivos

Os métodos não destrutivos, quase que totalmente, se baseiam na determinação da deformação elástica que significa a resposta do pavimento sob efeito do carregamento dinâmico do tráfego. Este parâmetro sofre a influência do comportamento resiliente dos materiais, pelo teor de umidade e pela temperatura, que nas misturas asfálticas reduz o módulo de resiliência (Oliveira et. al., 2000 apud Cavalcante, 2005).

Segundo Smith E Lytton (1995 apud Medina et. al. 1994), Macêdo (1996) e Cavalcante (2005), três classes de equipamentos não destrutivos são utilizados rotineiramente para a aquisição de dados deflectométricos:

- equipamentos de carregamento quase-estático que medem a deflexão do pavimento sob carregamento das rodas de veículos que se deslocam à velocidade muito baixa para que não ocorra a influência de forças inerciais (força associada a massa de um elemento multiplicada por sua aceleração). Nesta classe estão incluídos: ensaio de placa, viga Benkelman, curvímetro, deflectógrafo Lacroix e o "Califórnia travelling deflectometer" (deflectógrafo móvel da Califórnia). Neste grupo a velocidade dos veículos é muito baixa, variando de 1,6 a 5 km/h, o curvíâmetro a 18 km/h.
- equipamentos de carregamento dinâmico em regime permanente que aplicam uma carga estática na superfície do pavimento e o caráter dinâmico do ensaio é obtido a partir da indução de uma vibração harmônica estável. Inclui-se aqui os equipamentos Dynaflect, o Road Rater e o vibrador WES-16 do Corpo de Engenheiros dos E.U.A.
- equipamentos que medem a deflexão a partir de carregamentos por impulso "Falling Weigth Deflectometer – FWD". Estes equipamentos aplicam uma força transiente ao pavimento pelo impacto causado por um peso alçado a uma certa altura num sistema

guia e, a seguir, liberado. O peso ao cair choca-se com uma placa que transmite a força ao pavimento, força esta que pode ser variada pela alteração do conjunto de massas e/ou altura de queda através de um processo de tentativa e erro para a resposta conveniente da estrutura. Nesta classe de equipamentos são incluídos: Dynatest FWD, Dynatest HWD, Phoenix FWD, Kuab FWD (versão sueca) e o Nagaoka Kuab FWD (versão japonesa). Todos os equipamentos FWD comercialmente disponíveis possuem o mesmo princípio de funcionamento, mas com três diferenças importantes: forma de geração de carga impulsiva (um peso ou dois pesos em queda); forma de distribuir a carga à superfície do pavimento e tipo de transdutor utilizado para medir as deflexões (geofones, LVDTs, acelerômetros).

Existem também outros equipamentos que são utilizados para ensaios não-destrutivos que se baseiam em transmissão de ondas eletromagnéticas como o Ground Penetration Radar (GPR) e na propagação de ondas sísmicas.

- *Viga Benkelman*

Segundo Carneiro (1966) apud Cavalcante (2005), a viga Benkelman foi idealizada por A. C. Benkelman com a finalidade de reduzir os custos das avaliações de pavimentos, que vinham sendo feitas através do ensaio de placa.

A sua primeira utilização foi nas pistas experimentais da WASHO, em 1953, e teve no Brasil, como pioneiros, os engenheiros Nestor Aratangy, do DER de São Paulo, e Francisco Bolívar Lobo Carneiro (Medina, 1997).

Na busca de se determinar as condições estruturais do pavimento, desde a década de 1960 o Brasil emprega a viga Benkelman por se tratar de um equipamento de fácil manuseio e ser largamente difundido no mundo. A princípio, os levantamentos deflectométricos se baseavam, exclusivamente na deflexão máxima medida. Porém, constatou-se que apenas a deflexão máxima não era suficiente para uma adequada caracterização das condições estruturais do pavimento, sendo necessária a determinação de leituras adicionais que permitissem determinar o raio da bacia de deformação elástica (Rocha Filho e Rodrigues 1998; Cavalcante, 2005).

A viga Benkelman, conforme ilustrada nas figuras 2.17 e 2.18 é composta de uma haste metálica articulada e apóia-se em um suporte também metálico, constituído de três pés, sendo a viga móvel acoplada a esta por meio de uma articulação, ficando uma das extremidades (ponta de prova) inserida entre as rodas de um caminhão com 8,2t no eixo simples de roda dupla traseiro, conforme ilustrado nas figuras 2.19 e 2.20. A outra aciona um extensômetro com precisão de milímetros. Possui também um pequeno vibrador com a finalidade de vencer o atrito entre as peças móveis e impedir eventuais inibições do ponteiro do extensômetro. A viga apresenta uma relação conhecida entre os comprimentos da ponta de prova à articulação (a) e desta a ponto de posicionamento do extensômetro (b), que geralmente obedecem a relação 2/1, 3/1 ou 4/1 (DNER, 1994d; Rocha Filho, 1996; Albernaz, 1997; Cavalcante, 2005).

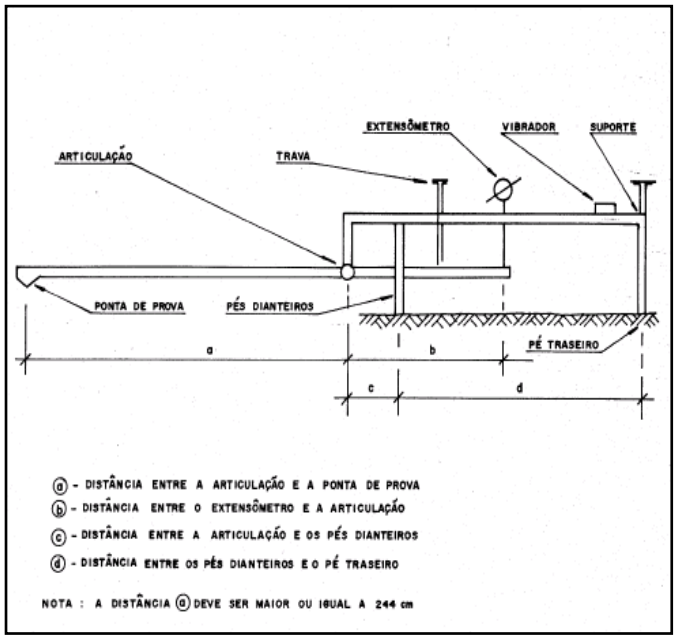


Figura 2.17 - Esquema da viga Benkelman (DNER, 1994d).

Figura 2.18 - Ilustração da viga Benkelman (www.contenco.com.br)

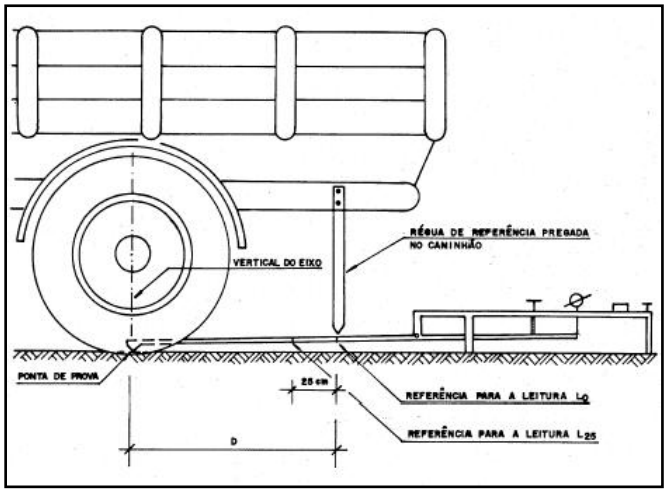


Figura 2.19 - Esquema do posicionamento da viga Benkelman (DNER, 1994d).

Figura 2.20 - Ilustração do ensaio realizado com a viga Benkelman (Motta et al, 2002).

O ensaio realizado com a viga Benkelman é normatizado pela AASHTO T256-77 e pela ASTMD4695-87. E no Brasil é normatizado através do método de ensaio DNER-ME 024/94 (DNER, 1994d) e pelo DNER-ME 061/94 (DNER, 1994g).

2.6.3 Retroanálise de Deflexões Recuparáveis em Pavimentos

Para a utilização da teoria da elasticidade nos procedimentos mecanísticos é necessário conhecer o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson dos materiais que comporão a estrutura do pavimento. O módulo de resiliência dos solos, britas, misturas asfálticas e cimentadas podem ser determinados de duas formas:

- Em laboratório, através do ensaio triaxial dinâmico (solos) e de compressão diametral (misturas asfálticas, materiais cimentados);
- Analiticamente, através da retroanálise dos módulos de resiliência a partir das bacias deflectométricas obtidas sob a superfície do pavimento.

Segundo Cavalcante (2005), a retroanálise pode ser entendida como uma técnica utilizada para a obtenção dos módulos de resiliência do sistema pavimento/subleito, a partir das bacias de deflexões medidas em campo, espessuras das camadas e os seus respectivos coeficientes de Poisson.

Quanto ao coeficiente de Poisson, Trichês (1985 apud Medina, 1997), estudou a influência do coeficiente de Poisson em ensaios triaxiais com medição das deformações transversal e axial, tendo verificado que o mesmo é influenciado pelo grau de saturação, energia de compactação e o tipo de material. Allen e Thompshon (1974 apud Neto, 2004) investigaram a variação do coeficiente de Poisson de materiais granulares, utilizando ensaios triaxiais de carregamento repetido, sob condições de tensão confinante constante e cíclica. O modelo que melhor se ajustou aos resultados está apresentado pela equação 2.46.

$$\upsilon = b_0 + b_1\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right) + b_2\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)^2 + b_3\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)^3 \qquad (2.46)$$

onde:

υ – coeficiente de Poisson;

σ1 – tensão principal maior;

σ3 – tensão principal menor;

b0, b1, b2, b3 - coeficientes obtidos através de regressão.

Segundo o TRB (1975 apud Neto, 2004), quando não for possível obter com confiabilidade o coeficiente de Poisson, pode-se adotar os valores descritos na tabela 2.14.

Tabela 2.14 – Valores de Coeficiente de Poisson para alguns materiais de pavimentação (TRB, 1975) .

MATERIAIS	COEFICIENTE DE POISSON
CBUQ	0,25 - 0,35
Subleito, Sub-base e Bases Granulares	0,25 - 0,35
Solo Cimento	0,10 - 0,25
Subleito Siltoso ou Argiloso	0,40 - 0,50

O coeficiente de Poisson define a relação entre as deformações específicas radiais (horizontais) e axiais (verticais) dos materiais. Sua influência nos valores das tensões e deformações calculadas é pequena, salvo no caso das deformações radiais, as quais lhe são proporcionais. Na maioria das vezes este valor é adotado para cada material quando são usados programas de cálculo de tensões e deformações em pavimentos (Nóbrega, 2003).

No que concerne aos módulos retroanalisados, os mesmos representam a resposta elástica do pavimento e subleito ao carregamento aplicado, o qual mobiliza deslocamentos "reversíveis" na superfície do pavimento. A deflexão total da estrutura é o somatório da contribuição individual de cada camada constituinte do sistema pavimento/subleito (Cavalcante, 2005).

Segundo Cavalcante (2005), com o advento dos computadores foi possível otimizar a aplicação de modelagens matemáticas baseadas na Teoria Elástica de sistema de Camadas desenvolvida por Donald Burmister em 1945.

Na verdade, a retroanálise de módulos de resiliência não representa uma solução fechada, pois os módulos são obtidos por processos iterativos, onde se busca o melhor ajuste entre as bacias medidas e calculadas dentro de um erro pré-estabelecido. Com isso, pode-se chegar a várias bacias com ajustes dentro do estabelecido, onde o conjunto de módulos obtidos represente uma resposta do problema, porém cabe ao projetista com base em sua experiência estabelecer qual o conjunto de módulos são compatíveis com as características elásticas dos materiais ensaiados (Cavalcante, 2005).

Segundo Albernaz (1997), a retroanálise é de extrema importância para a avaliação estrutural de pavimentos pelos seguintes aspectos:

- Permite a avaliação estrutural comparativa entre trechos de uma mesma rodovia ou de rodovias diferentes;
- Fornece dados para projetos de drenagem, indicando a presença de possíveis camadas rígidas no subleito;
- Proporciona a elaboração de projetos mais racionais, que se convertem em pavimento mais duráveis e de custo mais baixo;
- Projetos mais confiáveis evitam restaurações prematuras e altos custos de manutenção e/ou restauração, se for o caso.
- A obtenção dos módulos de resiliência dos materiais na condição em que se encontram no campo.

Cita-se ainda, conforme relatam Albernaz et. al. (1996) e Preussler et. al. (2000) que a retroanálise dos módulos de resiliência de um pavimento apresenta algumas vantagens em relação a outros processos de avaliação, descrita a seguir:

- Eliminação ou minoração da necessidade de ensaios destrutivos para a coleta de amostras do pavimento e subleito;
- Representação do estado real da estrutura;
- Determinação de estimativas dos módulos resilientes dos materiais nas condições reais de campo;
- Rapidez e acurácia na obtenção das propriedades elásticas das camadas do pavimento;
- Redução de gastos.

Ressalta-se que essas análises constituem apenas uma aproximação do comportamento real, pois sabe-se que a maioria dos materiais aplicados em pavimentação pode apresentar deformações viscosas, visco-elásticas e/ou plásticas sob tensões em adição as deformações elásticas. Além disso, esses materiais na maioria dos casos são heterogêneos e particulados (Preussler et al., 2000).

Segundo Medina et. al. (1994) apud Cavalcante (2005), os ensaios de cargas repetidas realizados em laboratório são de fundamental importância para balizar os programas de retroanálise, utilizados com dados resultantes de ensaios não destrutivos de pavimentos.

Segundo Chen et al. (1995 apud Resende, 2003), a maioria dos pesquisadores concorda que o ensaio triaxial cíclico é ideal para o projeto de novos pavimentos, enquanto que os ensaios de campo e as retroanálises devem ser utilizados para a avaliação de estruturas já existentes.

A retroanálise dos módulos de resiliência dá subsídios para a avaliação estrutural, fornecendo propriedades das camadas da estrutura "in situ", onde estes parâmetros são utilizados como dados de análise na manutenção e/ou restauração das características aceitáveis do pavimento para o seu melhor desempenho ao longo de sua vida útil (Marcon e Basílio, 2003 apud Cavalcante, 2005).

Watson e Rajapakse (2000 apud Resende, 2003) e Cavalcante (2005), concordam que a resposta do pavimento a um carregamento torna-se complexa devido à heterogeneidade e aos efeitos sazonais. Entretanto, nas retroanálises realizadas para o cálculo do módulo a partir de dados do FWD, várias hipóteses devem ser adotadas para simplificar as condições de campo. O comportamento elástico linear e a homogeneidade de cada camada do pavimento são geralmente assumidos, permitindo o uso da Teoria da Elasticidade. Estas simplificações são amplamente aceitas desde que as deformações induzidas sejam infinitesimais e as deflexões muito pequenas.

A tabela 2.15 apresenta uma lista com alguns programas computacionais em uso atualmente. Apesar de extensa, certamente a lista não abrange todo o universo de programas desenvolvidos para realizar retroanálises, havendo rotineiramente, mais programas sendo desenvolvidos. Portanto, além das várias opções de bacias deflectométricas, o projetista também deve considerar qual o modelo será mais adequado para seu caso específico, exigindo conhecimento, experiência e sensibilidade do engenheiro responsável pelo trabalho.

Tabela 2.15 – Lista dos programas mais utilizados em retroanálise (Cavalcante, 2005)

Programa	Desenvolvido por	Método teórico de cálculo	Sub-rotina de cálculo tensional	Método de retroanálise	Análise	Análise da camada rígida	Condição da Interface das camadas	Quantidade máxima de camadas	Módulos iniciais (seed moduli)	Faixa de módulos aceitáveis	Função de convergência de erro	Rotina de convergência de erro
BISDEF	USACE-WES Bush III	Teoria das multicamadas elásticas	BISAR	Iterativo	Linear	Sim	Variável	Não pode exceder o n. de deflexões da bacia	Sim	Sim	Sim	Soma dos quadrados dos erros absolutos
BOUSDEF	Zhou, et. al	Odemark - Boussinesq	Odemark - Boussinesq	Iterativo	Não linear	Sim	Aderente	5	Sim	Sim	Sim	Soma dos erros percentuais
CHEVDEF	USACE-WES	Teoria das multicamadas elásticas	CHEVRON	Iterativo	Linear	Sim	Aderente	Não pode exceder o n.de deflexões da bacia	Sim	Sim	Sim	Soma dos quadrados dos erros absolutos
COMDEF	USACE-WES	Teoria das multicamadas elásticas	BISAR	Banco de dados	Linear	Não	Aderente	3 (camadas de overlay sobre PCCP)	Não	Não	Desconhecido	Diversas formas
DBCONPAS	TIA, et. al	Elementos finitos	FEACONS III	Banco de dados	Não linear	Sim	-	Desconhecido	Não	Não	Desconhecido	Desconhecido
ELMOD/ ELCON	Ullidtz DYNATEST	Odemark - Boussinesq	Odemark - Boussinesq	Iterativo	Linear (SL não linear)	Sim (variável)	Aderente	Até 4 (exclusive a camada rígida)	Não	Não	Não	Erro relativo em 5 sensores
ELSDEF	USACE-WES	Teoria das multicamadas elásticas	ELSYM5	Iterativo	Linear	Sim	Aderente	Não pode exceder o n. de deflexões da bacia	Sim	Sim	Sim	Soma dos quadrados dos erros absolutos
EMOD	PCS/LAW	Teoria das multicamadas elásticas	CHEVRON	Iterativo	Linear (SL não linear)	Não	Aderente	3	Sim	Sim	Não	Soma dos quadrados dos erros relativos
EVERCALC	Sivanesaram, et. al	Teoria das multicamadas elásticas	CHEVRON	Iterativo	Não linear	Sim	Aderente	3 (exclusive a camada rígida)	Sim	Sim	Não	Soma dos erros absolutos
FPEDD1	Uddin	Teoria das multicamadas elásticas	BASINPT	Iterativo	Não linear	Sim (variável)	Desconhecido	Gerado pelo programa	Desconhecido	Desconhecido	Não	Desconhecido
ILLI-BACK	A. IONNIDES	Rotina Interna	Rotina Interna	Rotina Interna	Linear	Não	-	2	Não	Não	Não	Rotina Interna
ISSEM4	Stubstad	Teoria das multicamadas elásticas	ELSYM5	Iterativo	Não Linear (cilindro finito)	Não	Aderente	4	Sim	Sim	Não	Soma dos erros relativos
MODCOMP 3	Irwin, et. Al	Teoria das multicamadas elásticas	CHEVRON	Iterativo	Não linear	Sim	Aderente	2 a 15	Sim	Sim	Não	Erro relativo nos sensores
MODULUS	Uzan, et. Al	Teoria das multicamadas elásticas	WESLEA	Banco de dados	Linear	Sim (variável)	Pré-definido	Até 4 (mais a camada rígida)	Sim	Sim	Sim	Soma dos quadrados dos erros relativos
PADAL	Brown, et. Al	Teoria das multicamadas elásticas	Desconhecido	Iterativo	Linear (SL não linear)	Desconhecido	Pré-definido	Desconhecido	Sim	Desconhecido	Desconhecido	Soma dos quadrados dos erros relativos
RPEDD1	W. UDDIN	Teoria das multicamadas elásticas	BASINPT	Iterativo	Não linear	Sim (variável)	Aderente	Desconhecido	Desconhecido	Desconhecido	Desconhecido	Desconhecido
WESDEF	USACE-WES	Teoria das multicamadas elásticas	WESLEA	Iterativo	Linear	Sim	Variável	Até 5	Sim	Sim	Sim	Soma dos quadrados dos erros absolutos
MICHBACK	Harichandran, et. Al	Teoria das multicamadas elásticas	CHEVRON	Iterativo	Linear	Sim	Pré-definido	Até 4 (mais a camada rígida)	Sim	Opcional	Sim	Soma dos quadrados dos erros relativos

2.6.4 Programas Computacionais

2.6.4.1 FEPAVE2

Segundo Silva (2001), o FEPAVE2 é um programa em Fortran desenvolvido na Universidade de Berkeley em 1965 por E. L. Wilson. Sofreu modificações em 1969 por J. M. Duncan, C. L. Monismith e E. L. Wilson para gerar automaticamente configurações de elementos finitos adequadas para a análise de estruturas axissimétricas de pavimentos flexíveis e para adaptar tipos de módulos dependentes das tensões através de uma análise não-linear.

O programa FEPAVE2 permite obter deslocamentos, deformações e tensões através da técnica de elementos finitos em estruturas de pavimentos idealizadas como axissimétricas. Tais estruturas são discretizadas em elementos quadriláteros sendo que o programa subdivide os quadriláteros em quatro triângulos, e a matriz de rigidez do elemento quadrilateral é a média das matrizes dos triângulos (Silva, 1995).

O FEPAVE2 admite até doze camadas de materiais diferentes. O comportamento desses materiais é elástico, isotrópico podendo ser linear ou não-linear, utiliza-se a técnica incremental de rigidez tangente. Neste procedimento, a carga total de tráfego é dividida e aplicada em incrementos iguais de carga. A cada incremento soma-se o acréscimo de tensão, fração da tensão total, às frações já existentes e às tensões iniciais, que podem ser gravitacionais ou pré-definidas e embutidas no programa. Ao final, tem-se a aplicação do valor total da carga de tráfego. As deformações e os deslocamentos serão a soma dos valores de cada incremento, desta maneira, o problema não-linear é analisado como linear por partes. O sucesso da técnica incremental é confirmada em função da convergência, a partir de um certo número de repetições do procedimento incremental, entre os deslocamentos calculados com o FEPAVE2 e os medidos nos pavimentos reais (Silva, 2001).

Ainda segundo Silva (2001), além da vantagem de analisar um material de características variáveis (módulos resilientes) tanto axialmente quanto radialmente, o FEPAVE2 também permite variar o módulo dos materiais asfálticos em função do perfil de temperaturas ao longo da espessura da camada.

Motta e Mahler (1982), entre outros, destacam a importante contribuição do programa na desmistificação dos primeiros conceitos do estado da arte, que definiam uma estrutura bem dimensionada como aquela em que os módulos eram decrescentes com a profundidade, além de taxarem o subleito como a camada mais deformável da estrutura, o que não é regra geral uma vez que existem subleitos que apresentam módulos resilientes superiores aos da base.

Quanto às desvantagens da utilização do FEPAVE2 citam-se aqui as mais marcantes, segundo Silva (2001). A primeira é o fato do carregamento ser único (roda simples), sendo que para o caso de pavimentos com materiais de comportamento elástico linear pode-se simular a roda dupla através da superposição dos efeitos. Isto é, para um ponto situado a uma equidistância radial de 3R/2 os valores calculados para os deslocamentos são multiplicados por dois para simular o efeito conjunto das duas rodas. A segunda desvantagem, ainda segundo Silva (2001), é mais genérica, pois deve-se aos erros cometidos nas análises por elementos finitos. Tais erros estão relacionados principalmente à má discretização da estrutura, dados de entrada incorretos e erros de interpretação do grande número de informações obtidas pelo programa (Silva, 2001). Pode-se enumerar, de forma geral, os dados de entrada como:

- A pressão média proveniente da roda do veículo e o raio de carregamento;
- Propriedades dos materiais (módulo resiliente e coeficiente de Poisson - E,ν);
- Para análise não-linear pode-se utilizar como tensões incrementais iniciais as tensões gravitacionais, neste caso, é necessário fornecer as massas específicas dos materiais e o coeficiente de empuxo no repouso é assumido como igual a um;
- A malha de elementos finitos e restrições de fronteira e carregamento.

Os dados de saída consistem de:

- Deslocamentos radiais e axiais de cada nó;
- As tensões radial: (σr); vertical (σz); tangencial (σθ); cisalhante (τrz = τzr) principal maior (σ1); principal menor (σ3); ângulos de inclinação dos planos principais; octaédrica normal (σoct); octaédrica cisalhante (τoct).

Motta (1991) adaptou o FEPAVE à consideração da confiabilidade pelo tratamento probabilístico de Rosenblueth. Trata-se de calcular a média aritmética, o desvio padrão e o

coeficiente de assimetria de uma variável dependente a partir dos valores destes mesmos parâmetros das variáveis independentes aleatórias, sem ser necessário conhecer as distribuições de probabilidade. Para estudo da Confiabilidade foi desenvolvido o programa CONF2, ficando o FEPAVE como uma sub-rotina, de modo a mexer o menos possível na sua estrutura.

Segundo Motta, (1991), a confiabilidade é definida como "a probabilidade que um componente, um equipamento ou um sistema tem de desempenhar satisfatoriamente a função para a qual foi desenvolvido sob dadas circunstâncias, tais como: condições ambientais, limitações de operação, freqüência de operação e manutenção, para um período de tempo especificado".

Silva (1995) introduziu aprimoramentos no programa, traduzidos pelo utilitário UTILFEP, que facilitou significativamente a utilização do FEPAVE. O UTILFEP permite a entrada rápida dos dados de projeto relativos a cargas, materiais e configurações estruturais, agilizando sua utilização.

Na figura 2.41, constam os modelos de comportamento tensão deformação dos materiais existentes no FEPAVE2.

CLASSE	MODELO	COMPORTAMENTO
0	$M_R = f(T\ ^oC)$	Elástico em função da temperatura
1	$M_R = k_1\ \sigma_3^{\ k2}$	Granular
2	$M_R = k_2 + k_3\ (k_1-\sigma_d)$, para $\sigma_d < k_1$ $M_R = k_2 + k_4\ (\sigma_d-k_1)$, para $\sigma_d > k_1$	Coesivo Bi-Linear
3	M_R = Constante	Elástico-linear
4	$M_R = k_2 + k_3\ (k_1-\sigma_d)\ \sigma_3^{\ k5}$, para $\sigma_d < k_1$ $M_R = k_2 + k_4\ (\sigma_d-k_1)\ \sigma_3^{\ k5}$, para $\sigma_d > k_1$	Combinado
5	$M_R = k_1\ \theta^{\ k2}$	Granular f (θ)
6	$M_R = k_1\ \sigma_d^{\ k2}$	Coesivo f (σ_d)
7	$M_R = k_1\ \sigma_3^{k2}\ \sigma_d^{\ k3}$	Composto f (σ_3, σ_d)

Figura 2.21 – Modelos de comportamento tensão deformação existentes no FEPAVE2 (Silva, 2001).

2.6.4.2 ELSYM5

O ELSYM5 (FHWA, 1978 apud Silva, 2001) é um programa em fortran, desenvolvido na Universidade de Berkeley, que calcula tensões, deformações e deslocamentos para uma sistema tridimensional de camadas elásticas. O carregamento pode ser de uma ou mais cargas aplicadas uniformemente sobre uma área circular na superfície do sistema. Cada camada é de espessura uniforme e estende-se horizontalmente. As interfaces entre as camadas são consideradas aderidas, com exceção da interface entre o fundo da camada e a base rígida que pode ser considerada sem ou com aderência. O programa pode analisar o sistema de camadas assente sobre uma base rígida de espessura finita ou assente sobre um semi-espaço elástico.

São utilizadas as coordenadas retangulares cartesianas XYZ, sendo a parte superior do sistema o plano XY com Z=0, local onde são aplicadas as cargas (Cavalcante, 2005).

O eixo Z se estende verticalmente da superfície do sistema (plano XY) para baixo. As camadas são numeradas a partir do revestimento. O programa possibilita, ao se conhecer dois itens entre os seguintes: (i) cargas em kgf; (ii) tensão em kgf/ cm2 e (iii) raio da área carregada em cm; o cálculo do terceiro.

Os dados de entrada do programa são: valor da carga, pressão dos pneus, número de cargas (até 10 cargas), abscissa (x) e ordenada (y) de cada carga, número de camadas (até 5 camadas), espessura, coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade de cada camada, posição na superfície (coordenadas x e y) dos pontos que se deseja analisar e a posição desses pontos em profundidade (coordenada z).

Os dados de saída, calculados para cada ponto especificado pelo usuário são: tensões normais, tensões cisalhantes, tensões principais, deslocamentos e as deformações normais, deformações cisalhantes e deformações principais. A Figura 2.42, mostra o sistema de coordenadas utilizado pelo programa ELSYM5, segundo Silva (2001).

Ainda segundo Silva (2001) o programa ELSYM5 baseia-se na solução de Burmister (1943) que formulou o problema de n camadas elásticas e desenvolveu soluções para sistemas de duas e três camadas. As hipóteses admitidas pelo autor são:

1) Os materiais das camadas são homogêneos, isotrópicos, elásticos sendo válida a Lei de Hooke;
2) As camadas são supostas infinitas transversalmente, mas de profundidade finita (espessura constante), enquanto a camada inferior é infinita horizontal e verticalmente (semi-espaço elástico);
3) A solução do problema precisa satisfazer as condições de fronteira, isto é, a superfície da camada superior está livre de tensões normal e cisalhante fora dos limites da área carregada; as tensões e deformações da camada inferior são nulas para profundidade tendendo a infinito ($Z \rightarrow \infty$);
4) Admite-se a condição de continuidade de tensão e deformação na interface entre as camadas, isto é, assume-se que as camadas estão continuamente em contato e agem juntas como um meio elástico composto. A continuidade requer que as tensões normal e cisalhante e os deslocamentos vertical e horizontal sejam iguais na interface. Somente na tensão radial horizontal σr haverá uma descontinuidade na interface. Isto é devido ao fato de que, como os deslocamentos horizontais u_1 e u_2 precisam ser iguais, as tensões radiais σ_{r1} e σ_{r2} são diferentes e determinadas com os módulos de elasticidade E_1 e E_2 respectivamente.

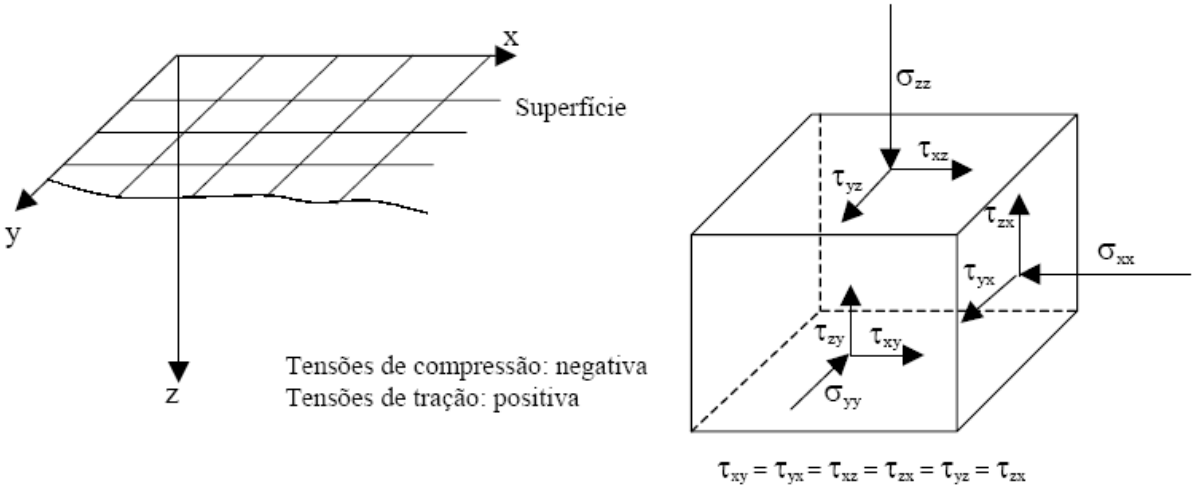


Figura 2.22 – Modelos Sistema de coordenadas utilizado pelo programa ELSYM5 (Silva, 2001)

2.6.4.3 RETRAN5-L

O programa RETRAN5-L, desenvolvido pelo Engº Cláudio Ângelo Valadão Albernaz (autor do RETRAN2-CL – Albernaiz, 1997), possibilita a análise de um sistema elástico-linear de até cinco camadas, diferentemente dos anteriores. Este é um programa particular, não tendo sido ainda disponibilizado comercialmente pelo seu autor.

O processo de retroanálise dos módulos de resiliência é feito a partir da comparação iterativa das bacias de campo com bacias teóricas, constantes em um banco de dados, geradas pelo programa ELSYM5, considerando a seção-tipo do pavimento e a configuração do carregamento do equipamento utilizado no levantamento deflectométrico. Podem ser analisadas bacias deflectométricas levantadas através do FWD ou da viga Benkelman.

Os dados de entrada necessários para a realização da retroanálise a partir do RETRAN5- L são os seguintes:

1) Bacias deflectométricas;
2) Seção-tipo do pavimento;
3) Coeficiente de Poisson para cada material;
4) Faixa de valores modulares para cada camada;
5) Dados sobre o carregamento de ensaio.

Diferentemente dos outros programas, o autor deste estudo não teve acesso ao programa RETRAN5-L, tendo sido as análises efetuadas pelo Engº Cláudio Albernaz de acordo com instruções passadas e banco de dados.

2.6.4.4 KENLAYER

Segundo Souza, (2007), o programa computacional KENLAYER foi desenvolvido pelo professor Yang Hsien Huang da Universidade de Kentucky entre as décadas de 70 e 80, estando sempre em atualização, em virtude de sua constante utilização por seus alunos. Em seus livros, sendo a última versão editada em 2004 (Huang, 2004), o autor detalha o sistema computacional e apresenta a teoria de projeto e dimensionamento de pavimentos e

metodologias desenvolvidas por várias organizações, tais como a AASHTO, PCA e IA (para o caso de dimensionamento de pavimentos rígidos o programa desenvolvido e apresentado por Huang (2004) é o KENSLABS).

É empregado para análise de pavimentos flexíveis, e pode ser aplicado para sistemas de múltiplas camadas submetidos a carregamentos estáticos e/ou dinâmicos provenientes de rodas simples ou rodas duplas de eixos simples ou eixos tandem. O comportamento tensão versus deformação de cada camada pode ser elástico-linear, elástico não-linear ou viscoelástico. Pode realizar análise de dano nas camadas do pavimento, a partir da divisão do ano de serviço do mesmo em períodos (no máximo 24). Cada período considera um grupo de propriedades diferenciadas dos materiais envolvidos, a partir das repetições de diferentes carregamentos axiais (máximo de 24).

O programa também é fundamentado nos modelos teóricos generalizados em 1943 por Burmister, possibilitando o cálculo de estruturas flexíveis e semi-rígidas de até 19 camadas superpostas e permite o cálculo das tensões, deslocamentos e deformações para um sistema tridimensional de camadas elásticas. As camadas são consideradas horizontalmente infinitas, possuindo espessuras uniformes e finitas com exceção da última que possui espessura infinita.

Os módulos de resiliência e coeficientes de Poisson podem ou não ser constantes, dependendo do modelo adotado no projeto. As possibilidades relativas às configurações de carregamento estabelecem como limite até 24 cargas, cuja aplicação é distribuída uniformemente sobre uma área circular na superfície do sistema.

Huang (2004) incorporou três métodos para análise não linear aproximada. O primeiro método subdivide a camada de comportamento elástico não linear em subcamadas e as tensões no centro delas são utilizadas para a determinação do módulo de resiliência. No segundo método a camada não é subdividida e um ponto específico é selecionado para calcular o módulo de resiliência. O terceiro método, incorporado na nova edição do KENLAYER, a camada não é subdividida e as tensões obtidas no centro da camada, para o cálculo do módulo de resiliência, são modificadas pela teoria do círculo de Mohr-Coulomb, de modo a não exceder a resistência do material.

O primeiro método utilizado por Huang (2004) permite variar o módulo de elasticidade na direção vertical com a divisão das camadas dos materiais de comportamento elástico não linear em subcamadas. A principal diferença em relação ao MEF é que a variação dos módulos de resiliência das camadas não lineares ocorre apenas na direção vertical, não podendo variar no plano horizontal, dentro de cada subcamada. Quando o material possui comportamento visco-elástico os modelos de comportamento são ajustados para diferentes durações de carga e temperatura.

2.6.4.5 RIOPAVE

Aedo (1997) apud Souza (2007) implementou um programa tridimensional não linear para análise de pavimentos asfálticos pelo Método dos Elementos Finitos, denominado RIOPAVE. O programa resultou de adaptações de uma ferramenta genérica de cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, já existente na PUC/RJ, para caracterizar o problema relacionado à pavimentação, com o aproveitamento das rotinas do FEPAVE quanto à caracterização dos materiais. Considera um carregamento com diversas rodas. Nele, é possível utilizar malhas mais discretizadas e com um número superior de Elementos Finitos do tipo hexagonal com oito nós.

O RIOPAVE é apenas uma ferramenta de cálculo. Ele não possui nenhuma interface para a geração da malha de Elementos Finitos de forma automática, o que dificulta muito sua utilização. Gerar a malha de Elementos Finitos significa, além de numerar os nós e os elementos, determinar para cada nó da malha as suas coordenadas, as suas condições de contorno, as forças equivalentes às tensões que atuam nas faces dos elementos carregados e, ainda, para cada elemento, as conectividades entre os nós. No caso tridimensional esta tarefa é extremamente trabalhosa, dado o número elevado de nós e elementos.

2.6.4.6 CAP3D

Este programa compõe um sistema computacional integrado para modelagem, análise e visualização de pavimentos asfálticos com interface gráfica amigável, conforme citado por Souza (2007). Integra projeto em desenvolvimento PC03 – Análise Numérica de Pavimentos, apoiado pela Rede N/NE de Pesquisa em Asfalto (Rede Asfalto, 2007).

O programa vem sendo desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará utilizando a técnica de Programação Orientada a Objetos (POO) de modo a gerar um sistema computacional facilmente expansível através da definição de uma série de classes base, que podem ser facilmente derivadas e especializadas através de mecanismos de herança e polimorfismo.

Segundo Souza (2007), o sistema CAP3D está em constante aprimoramento com objetivos de:

i. desenvolvimento de sistema computacional integrado (modelagem, análise e visualização) para análise e projeto de pavimentos asfálticos;
ii. desenvolvimento de previsão de dano (propagação de trincas e vida de fadiga);
iii. implementação de análise tridimensional;
iv. implementação de rotinas de pré e pós processamento para modelagem de pavimentos;
v. implementação de modelos constitutivos adequados a modelagem de comportamento de pavimentos asfálticos;
vi. validação do sistema com simulações promovidas entre situações conformes.

Atualmente o CAP3D possui a capacidade de pré e pós-processamento de dados para tratar modelos planos, axissimétricos e tridimensionais utilizando elementos de diferentes formas (triângulos, quadriláteros e hexaedros) e ordens de interpolação (linear e quadrática). O sistema é capaz de realizar análises estáticas e dinâmicas, lineares e não lineares, através de diferentes algoritmos. Todas essas feições estão integradas em interface com o usuário em plataforma Windows. Além disso, uma característica importante do CAP3D é a maneira simples e genérica de implementação dos modelos constitutivos. Continua sendo difícil o problema da implantação de modelos constitutivos resilientes.

2.6.4.7 SisPav (Franco, 2007)

O sistema computacional SisPav, desenvolvido na COPPE/UFRJ, incorpora confiabilidade à análise de tensões e deformações e introduz interfaces gráficas para visualização dos resultados. Adota formulação elástico-linear e não linear, sendo os danos estimados por modelos de previsão de fadiga, deformação permanente e deformação máxima admissível no

topo do subleito, adequadas às condições do país, tanto quanto possível atualmente, e considerados diversos tipos de configuração de eixos, apud Franco (2007).

Desenvolvido em Visual C++, versão 6.0, o programa busca alinhar a praticidade e simplificação na entrada de dados, a agilidade e velocidade nos cálculos e processamento com a apresentação em gráficos e tabelas de fácil manipulação dos resultados. O intuito, além da disponibilidade pública do programa, é facilitar o contato de estudantes e projetistas com o processo de análise e dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos.

O projetista pode considerar ações climáticas para o local onde existe ou será construída a estrutura do pavimento. Ao selecionar o local, as informações sobre as temperaturas médias mensais do ar são apresentadas na tabela e no gráfico da tela. Caso o local do projeto não se encontre disponível no banco de dados interno do programa SisPav, as informações poderão ser inseridas manualmente. O banco de dados interno foi obtido das Normais Climatológicas (BRASIL, 1992). O detalhamento de tráfego é feito por eixo e por volume de tráfego no mês.

O propósito do sistema é contribuir para o dimensionamento mecanístico-empírico de estruturas de pavimentos asfálticos, com base nas informações detalhadas de tráfego, das condições ambientais e das características dos materiais disponíveis. Para tanto, um conjunto de programas de computador para análise e verificação de vida de projeto de pavimentos foram desenvolvidos, o de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), o de Análise por Elementos Finitos Tridimensional (EFin3D) e o de dimensionamento e verificação de estruturas de pavimentos, o SisPav (Franco, 2007).

CAPÍTULO 3: O TRECHO EM ESTUDO

3.1 INFORMAÇÕES GERAIS

Principal rodovia de Pernambuco no sentido leste – oeste do Estado, a BR-232/PE, tem 553,5 quilômetros, cortando 24 municípios desde o Recife (Ponte Luís Castro) até o entroncamento com a BR-316, em Parnamirim.

Depois de mais de 50 anos do início da sua pavimentação, a estrada é objeto de uma obra que impulsiona o desenvolvimento do Estado em todos os segmentos econômicos, dos serviços à indústria, com reflexos sociais na geração de empregos e melhoria da qualidade vida.

Estudos técnicos demonstravam a saturação do tráfego, chegando alguns trechos a um volume diário de 13.684 veículos (nos dois sentidos de tráfego), e baixos níveis de serviço, considerando-se os freqüentes congestionamentos, ultrapassagem difícil, desconforto, elevado número de acidentes, baixa velocidade de percurso e custo operacional elevado.

A duplicação no trecho Recife-Caruaru, e atualmente até São Caetano, além da restauração da pista atual, solucionou os problemas atuais e ampliaram o potencial da BR-232/PE, abrindo novas perspectivas de crescimento de Pernambuco.

As intervenções rodoviárias são parte de toda uma estratégia de crescimento socioeconômico da região do agreste setentrional de Pernambuco conforme mostrado esquematicamente na figura 3.1 elaborada pela organização de planejamento do desenvolvimento sócio econômico de Pernambuco - Agência CONDEPE/FIDEM. A figura destaca a localização do pólo têxtil que se desenvolveu na região e a BR-232/PE é uma infra-estrutura fundamental para o escoamento da produção de confecções da região formada pelas cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe.

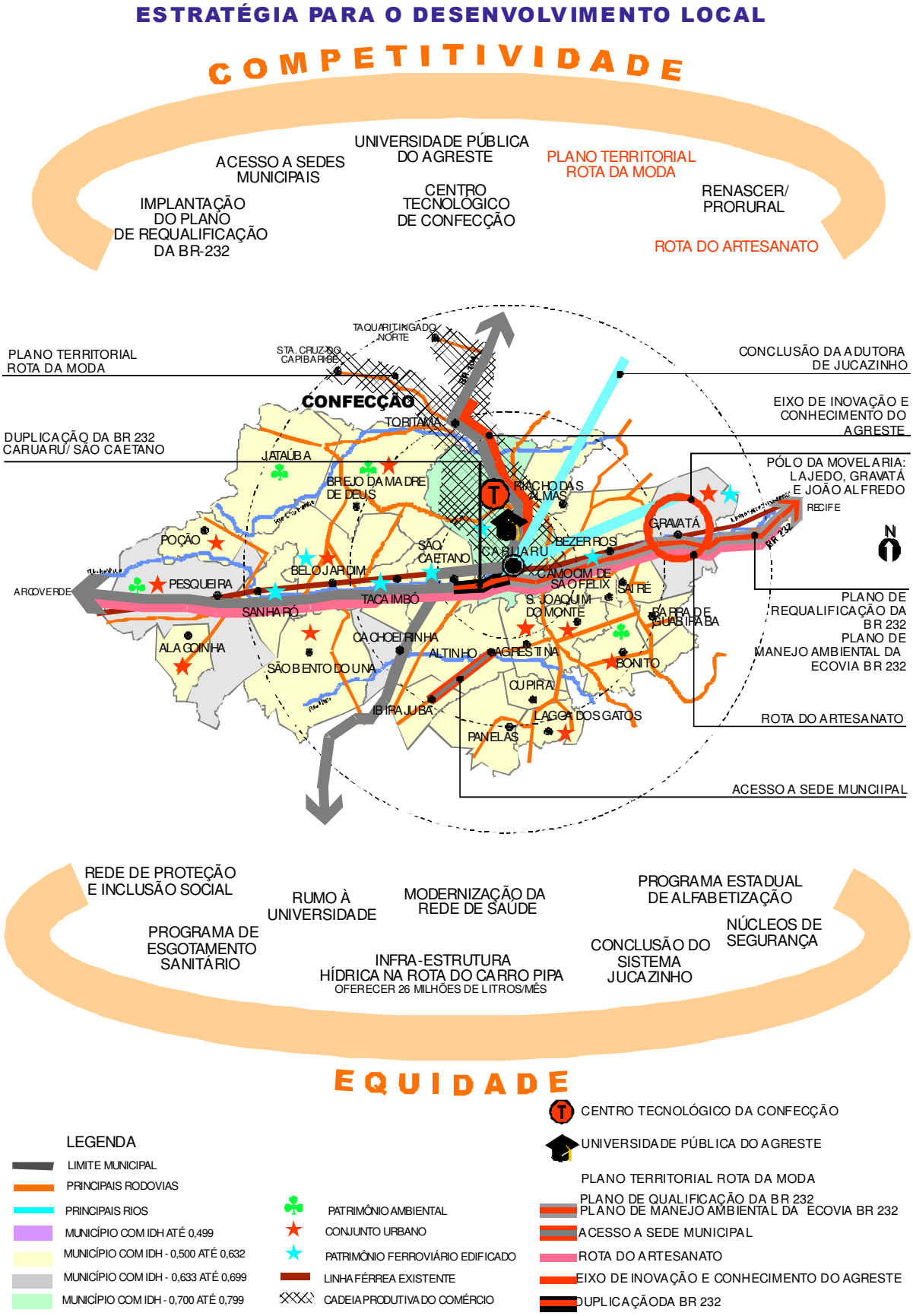


Figura 3.1 – Estratégia de desenvolvimento para a região diretamente atendida pela BR-232/PE, trecho Recife – São Caetano (CONDEPE/FIDEM, 2007).

A duplicação da rodovia BR-232/PE em seu trecho Recife – São Caetano, agora complementado (a duplicação do trecho Caruaru – São Caetano ocorreu em janeiro de 2008) trará inúmeros benefícios, entre eles:

- Redução nos custos de transporte de cargas e de passageiros, através da melhoria das condições operacionais de tráfego
- Redução do número de acidentes
- Eliminação dos pontos de estrangulamentos no sistema de transporte de cargas e de passageiros
- Aumento da eficiência do sistema logístico do Estado
- Aumento do potencial turístico do Estado, face às melhorias de acesso aos municípios como Gravatá, Garanhuns, Bonito e Triunfo

Os impactos da duplicação da BR-232, entre Recife e São Caetano, sobre a economia do Estado, foram calculados a partir dos valores de distância entre municípios, fretes de viagem, valor da passagem de ônibus, renda disponível, entre outras.

De acordo com os estudos da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento de Pernambuco, (SEPLANDES, 2007), são vários os benefícios a serem obtidos com a duplicação, que em resumo podem ser apresentados da seguinte forma:

a) Aumento da arrecadação do ICMS

Estima-se um incremento de 2,3% no ICMS do Estado, devido à dinâmica gerada pela implantação da duplicação, cujo valor representa mais de R$ 58 milhões.

b) Crescimento do número de emprego e renda

Constatou-se que o nível de emprego deverá sofrer um acréscimo da ordem de 3,2% até a conclusão das obras. Esse crescimento é superior ao crescimento da população, estimado em 2,7%, e inferior à taxa de crescimento da renda, que é de 3,5%.

c) Aumento da integração espacial e comercial dos mercados

Principalmente no Agreste, essa integração deverá elevar a competitividade econômica, através da redução de preços de muitos produtos e serviços. Tal efeito deverá ser responsável pela melhoria da distribuição de renda.

d) Redução da concentração de renda

Conforme estimativas, a duplicação da BR-232 deverá provocar uma queda na concentração de renda no Estado, sobretudo no Agreste e em partes da zona da Mata.

Além dos impactos relacionados anteriormente, é importante destacar os benefícios da duplicação da BR-232 sobre os indicadores sociais, que são cobertos pelas áreas de saúde, distribuição de renda, habitação, entre outros.

Pode-se concluir que os investimentos realizados pelo Estado nessa rodovia trarão um grande e significativo impacto sobre a sócio-economia do Estado, não apenas em termos de renda e emprego, contribuindo para dinamizar a economia dos municípios envolvidos, como também em termos de indicadores sociais, significando melhoria na qualidade de vida da população pernambucana.

3.1.1 Dados Socioeconômicos dos Municípios Diretamente Atendidos.

- *Caruaru*

O município de Caruaru possui uma área de 932 km^2 e densidade demográfica de 271,8 hab/km^2. Localizada na microrregião do Vale do Ipojuca e mesorregião do Agreste Pernambucano, Caruaru dista da Capital Recife em 123,1 km.

Os limites do município são os seguintes: ao norte com Toritama, Vertentes, Frei Miguelinho e Taquaritinga do Norte, a leste com Bezerros e Riacho das Almas e a oeste com Brejo da Madre de Deus e São Caetano.

Os solos do município são de vários tipos: argiloso, arenoso e pedregulhoso. As ocorrências de materiais são a argila, feldspato, quartzo, caulim, lentes de calcário cristalino. A vegetação existente na região é a caatinga hipoxerófila e a precipitação pluviométrica anual da área é de 506,4 mm.

As principais atividades econômicas são agropecuária, comércio e indústria, com maior potencialidade de desenvolvimento para artesanato, calçados, produtos alimentícios e confecção

Os principais produtos são: batata inglesa, mandioca, tomate, abacaxi, fava, milho, manga, café, feijão, banana, abacate, laranja e algodão além de produtos em cerâmica e couro (gibões, bolsas e trançados).

Dados de demografia, educação, renda, habitação e desenvolvimento humano estão apresentados a seguir.

a) Demografia

Na Tabela 3.1 e figura 3.2 são apresentados os dados demográficos de Caruaru, segundo o IBGE (2001).

Tabela 3.1 - População por Situação de Domicílio, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	**2000**
População Total	213.697	253.634
Urbana	182.012	217.407
Rural	31.685	36.227
Taxa de Urbanização	85,17 %	85,72 %

No período 1991-2000, a população de Caruaru teve uma taxa média de crescimento anual de 2,00%, passando de 213.697 em 1991 para 253.634 em 2000.

A taxa de urbanização cresceu 0,64, passando de 85,17% em 1991 para 85,72% em 2000.

Em 2000, a população do município representava 3,20% da população do Estado e 0,15% da população do País. A evolução da população entre 1991 e 2000 é mostrada na figura 3.2.

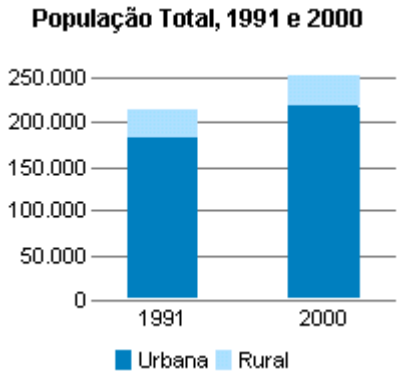


Figura 3.2 – Evolução populacional de Caruaru (IBGE, 2001).

No período 1991-2000, a taxa de mortalidade infantil do município diminuiu 1,28%, passando de 48,28 (por mil nascidos vivos) em 1991 para 47,66 (por mil nascidos vivos) em 2000, e a esperança de vida ao nascer cresceu 2,02 anos, passando de 65,34 anos em 1991 para 67,36 anos em 2000.

b) Educação

O nível educacional da população jovem e adulta do município, nos anos de 1991 e 2000 pode ser observado nas tabelas 3.2 e 3.3 a seguir (dados do IBGE, 2001).

Tabela 3.2 – Nível educacional da população jovem e adulta, Caruaru (IBGE, 2001)

Faixa Etária	*Taxa de* Analfabetismo		*% com menos de* 4 anos de estudo		*% com menos de* 8 anos de estudo		*% frequentando* a escola	
(anos)	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**
7 a 14	33,7	20,0	-	-	-	-	77,2	90,7
10 a 14	23,4	12,3	64,0	53,3	-	-	76,9	91,1
15 a 17	17,7	8,6	33,1	23,9	82,8	71,7	51,1	70,0
18 a 24	18,5	11,3	29,3	23,2	66,2	58,5	-	-

Obs. - = Não se aplica

Tabela 3.3 - Nível Educacional da população adulta (25 anos ou mais), 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Taxa de analfabetismo	35,5	25,4
% com menos de 4 anos de estudo	51,1	40,4
% com menos de 8 anos de estudo	76,0	69,6
Média de anos de estudo	4,2	5,2

c) Renda

A renda per capita média do município cresceu 29,79%, passando de R$ 161,62 em 1991 para R$ 209,76 em 2000. A pobreza (medida pela proporção de pessoas com renda domiciliar per capita inferior a R$ 75,50, equivalente à metade do salário mínimo vigente em agosto de 2000) diminuiu 16,48%, passando de 42,3% em 1991 para 35,3% em 2000. A desigualdade cresceu, o Índice de Gini passou de 0,55 em 1991 para 0,58 em 2000 (ìndice de Gini = 0, completa igualdade de riqueza e = 1, completa desigualdade).

Nas tabelas 3.4 e 3.5 estão apresentados os dados acima comentados (IBGE, 2001).

Tabela 3.4 - Indicadores de Renda, Pobreza e Desigualdade, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Renda per capita Média (R$ de 2000)	161,6	209,8
Proporção de Pobres (%)	42,3	35,3
Índice de Gini	0,55	0,58

Tabela 3.5 - Porcentagem da Renda Apropriada por Extratos da População, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
20% mais pobres	3,4	2,6
40% mais pobres	10,4	9,1
60% mais pobres	21,5	20,0
80% mais pobres	40,0	37,7
20% mais ricos	60,0	62,3

d) Habitação

As condições habitacionais em termos de infra-estrutura, do município de Caruaru, estão resumidas nas Tabelas 3.6 e 3.7 compostas por dados oriundos do IBGE (2001).

Tabela 3.6 - Acesso a Serviços Básicos, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Água Encanada	75,3	81,2
Energia Elétrica	91,5	99,2
Coleta de Lixo	83,4	89,8

Tabela 3.7 - Acesso a Bens de Consumo, 1991 e 2000, Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Geladeira	58,5	80,3
Televisão	72,6	92,8
Telefone	12,8	25,2
Computador	ND	5,4

ND = não disponível

e) Desenvolvimento Humano

Na Tabela 3.8 estão apresentados os índices de qualidade de vida da população medida pelo IDH, taxa de educação, longevidade e renda, segundo IBGE (2001).

Tabela 3.8 – IDH de Caruaru (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	0,651	0,713
Educação	0,658	0,767
Longevidade	0,672	0,706
Renda	0,622	0,665

No período 1991-2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de Caruaru cresceu 9,52%, passando de 0,651 em 1991 para 0,713 em 2000.

A dimensão que mais contribuiu para este crescimento foi a Educação, com 58,6%, seguida pela Longevidade, com 23,1% e pela Renda, com 18,3%, mostrados na Figura 3.3.

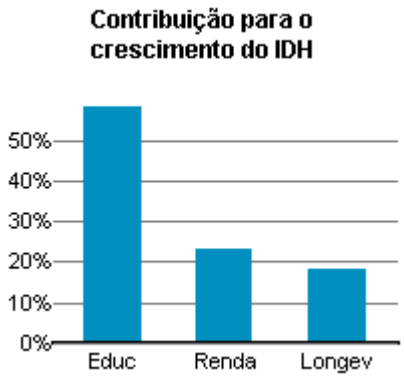


Figura 3.3 – Distribuição do IDH, Caruaru (IBGE, 2001)

- *São Caetano*

O município de São Caetano possui uma área de 373,9 km^2 e densidade demográfica de 89,3 hab/km^2. Localizada na microrregião do Vale do Ipojuca e mesorregião do Agreste Pernambucano, São Caetano dista da Capital Recife em 153,0 km.

Os limites do município são os seguintes: ao norte com Brejo da Madre de Deus, ao Sul com Altinho, a leste com Caruaru e a oeste com Tacaimbó e Cachoeirinha.

Os solos do município são de vários tipos: argiloso, arenoso, pedregoso e rochoso. A vegetação existente na região é a caatinga hipoxerófila e a área apresenta uma precipitação pluviométrica anual de 603,5 mm.

A principal atividade econômica é agropecuária. Os principais produtos são: batata inglesa, mandioca, milho, café, feijão, algodão e banana.

Dados de demografia, educação, renda, habitação e desenvolvimento humano estão apresentados a seguir.

a) Demografia

Na Tabela 3.9 e figura 3.4 são apresentados os dados demográficos de São Caetano, segundo o IBGE (2001).

Tabela 3.9 - População por Situação de Domicílio, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	**2000**
População Total	29.598	33.426
Urbana	16.710	22.499
Rural	12.888	10.927
Taxa de Urbanização	56,46%	67,31%

No período 1991-2000, a população de São Caetano teve uma taxa média de crescimento anual de 1,41%, passando de 29.598 em 1991 para 33.426 em 2000.

A taxa de urbanização cresceu 19,22, passando de 56,46% em 1991 para 67,31% em 2000.

Em 2000, a população do município representava 0,42% da população do Estado, e 0,02% da população do País.

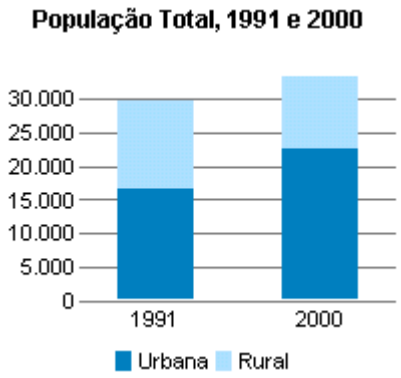


Figura 3.4 – Evolução populacional de São Caetano (IBGE).

No período 1991-2000, a taxa de mortalidade infantil do município diminuiu 9,86%, passando de 93,80 (por mil nascidos vivos) em 1991 para 84,55 (por mil nascidos vivos) em 2000, e a esperança de vida ao nascer cresceu 4,38 anos, passando de 55,44 anos em 1991 para 59,82 anos em 2000.

b) Educação

O nível educacional da população jovem e adulta do município, nos anos de 1991 e 2000 pode ser observado nas tabelas 3.10 e 3.11 a seguir (dados do IBGE, 2001).

Tabela 3.10 – Nível educacional da população jovem e adulta, São Caetano (IBGE, 2001)

Faixa Etária	Taxa de Analfabetismo		% com menos de 4 anos de estudo		% com menos de 8 anos de estudo		% frequentando a escola	
(anos)	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**	**1991**	**2000**
7 a 14	62,6	36,1	-	-	-	-	57,8	89,5
10 a 14	49,1	23,7	82,1	70,1	-	-	61,5	88,9
15 a 17	39,7	17,5	57,8	36,6	94,9	83,0	38,7	67,1
18 a 24	39,6	23,2	52,1	37,4	87,6	78,8	-	-

Obs. - = Não se aplica

Tabela 3.11 - Nível Educacional da população Adulta (25 anos ou mais), 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	**2000**
Taxa de analfabetismo	65,2	47,9
% com menos de 4 anos de estudo	76,6	64,5
% com menos de 8 anos de estudo	93,1	88,8
Média de anos de estudo	1,8	2,9

c) Renda

A renda per capita média do município cresceu 27,20%, passando de R$ 73,79 em 1991 para R$ 93,86 em 2000. A pobreza (medida pela proporção de pessoas com renda domiciliar per capita inferior a R$ 75,50, equivalente à metade do salário mínimo vigente em agosto de 2000) diminuiu 8,92%, passando de 73,0% em 1991 para 66,5% em 2000. A desigualdade cresceu: o Índice de Gini passou de 0,49 em 1991 para 0,60 em 2000.

Nas tabelas 3.12 e 3.13 são apresentados os dados acima comentados.

Tabela 3.12 - Indicadores de Renda, Pobreza e Desigualdade, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	***2000***
Renda per capita Média (R$ de 2000)	73,8	93,9
Proporção de Pobres (%)	73,0	66,5
Índice de Gini	0,49	0,60

Tabela 3.13 - Porcentagem da Renda Apropriada por Extratos da População, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
20% mais pobres	4,3	0,4
40% mais pobres	13,0	6,7
60% mais pobres	26,1	18,5
80% mais pobres	46,2	38,4
20% mais ricos	53,8	61,6

d) Habitação

As condições habitacionais em termos de infra-estrutura, do município de São Caetano, estão resumidos nas Tabelas 3.14 e 3.15, segundo dados do IBGE (2001).

Tabela 3.14 - Acesso a Serviços Básicos, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Água Encanada	42,5	53,1
Energia Elétrica	64,7	97,4
Coleta de Lixo [1]	52,6	86,3

[1] Somente domicílios urbanos

Tabela 3.15 - Acesso a Bens de Consumo, 1991 e 2000, São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Geladeira	23,2	53,8
Televisão	38,8	85,5
Telefone	1,3	3,2
Computador	ND	0,7

ND = não disponível

e) Desenvolvimento Humano

Na Tabela 3.16 estão apresentados os índices de qualidade de vida da população medida pelo IDH, taxa de educação, longevidade e renda, segundo IBGE (2001).

Tabela 3.16 – IDH de São Caetano (IBGE, 2001)

	1991	*2000*
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	0,474	0,580
Educação	0,423	0,630
Longevidade	0,507	0,580
Renda	0,491	0,531

No período 1991-2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de São Caetano cresceu 22,36%, passando de 0,474 em 1991 para 0,580 em 2000.

A dimensão que mais contribuiu para este crescimento foi a Educação, com 64,7%, seguida pela Longevidade, com 22,8% e pela Renda, com 12,5% (Figura 3.5)

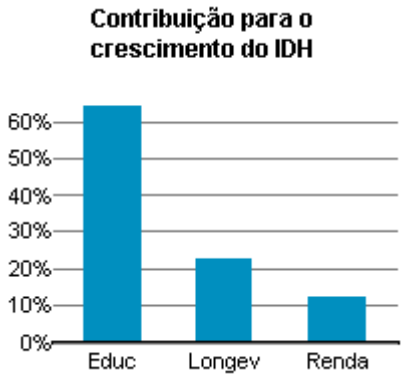


Figura 3.5 – Distribuição do IDH, São Caetano (IBGE)

3.1.2 Meio Físico da Região de Influência do Trecho

Segundo o Projeto Executivo de Engenharia para Duplicação e Restauração da Rodovia BR-232/PE, segmento: Caruaru – São Caetano elaborado pela Contécnica Ltda, Consultoria e Planejamento para o DER-PE, os dados do meio físico são os discriminados em seguida.

- *Geologia/Geomorfologia/Relevo*

Todo o traçado da rodovia no trecho em estudo insere-se no metamorfismo regional do Complexo Presidente Juscelino, datado do Pré-Cambriano Inferior, cujas litologias compreendem biotita quartzofeldspato - gnaisses, acompanhando o Linearmento Pernambuco.

A dinâmica do relevo se apresenta instável e de intensidade forte, situando-se na região do Pediplano Central do Planaldo da Borborema, constituindo-se de uma Superfície de Aplainamento Retocada Desnudada, tendo como processo predominante deste aplainamento, o escoamento superficial produzindo ablação generalizada, com fragmentação e desagregação granular. São planos irregulares com elevações residuais e graus de declividade moderados (5 a 10^{o}), constituidos por depósitos detríticos descontínuos, pedregosos, com afloramentos rochosos.

- *Solos*

O traçado, na sua totalidade, percorre uma mancha de solos Litólicos eutróficos.

Tais solos são preponderantemente rasos, pedregulhosos, típico da região da Caatinga, encontrando-se ausente o horizonte B. São férteis em razão do caráter eutrófico (saturação de bases superior a 50 %). As condições climáticas adversas restringem, entretanto, a sua utilização agrícola. Têm, localmente, as seguintes características:

- material de origem: saprólitos do Pré-Cambriano, com influência de recobrimento de material arenoso ou areno-argiloso no horizonte superficial;
- seqüência de horizontes: A – C, com A fraco
- textura: arenosa e média, fase pedregulho
- susceptibilidade à erosão: média

Encontram-se associados aos Regossolos eutróficos e Planossolos Solódicos eutróficos, ambos também rasos, de textura média e fértil.

Os riscos de erosão são moderados. Recorrendo-se aos mapas-síntese de relevo e declividades, erodibilidade dos solos e erosividade das chuvas da SUDENE/DRN, os quais fornecem, através de parâmetros integrados, um risco de erosão hídrica para a área em estudo, obtém-se os seguintes os resultados:

- Erodibilidade do solo: moderada (classe 2); fator K maior que 0,10 e menor que 0,30
- Erosividade das chuvas: moderada (classe 2); (R menor que 730 e maior que 340);
- Relevo e declividades: plano a suavemente ondulado
- Risco de erosão hídrica: fraca a média (classe 5)

Hidrografia

O trecho em estudo insere-se totalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, correspondendo ao seu médio curso, desenvolvendo-se muito próximo ao rio em toda a sua extensão.

A drenagem se apresenta assim, superconcentrada no rio Ipojuca, com muito bom potencial hídrico de superfície considerando toda sua extensão, porém, na região do trecho, o Rio Ipojuca tem um "muito fraco" potencial hídrico de superfície, com volume de água disponível inferior aos 10.000 m^3/km^2/ano.

Deve-se tomar precauções no caso de eventuais intervenções nas margens do rio, especialmente a exploração de areais, de sorte a evitar o desmatamento das matas ciliares, às quais têm proteção legal (Código Florestal e Resolução CONAMA nº).

O potencial hidrogeológico na área está classificado (RADAM) como "fraco", ou seja, com distância taxonômica na classe de 5,0 a 8,99.

- *Cobertura Vegetal*

A cobertura vegetal nativa, já bastante descaracterizada pelas culturas cíclicas, pertence ao domínio da Caatinga Arbórea Aberta, sem palmeiras.

A vegetação da Caatinga é do tipo lenhosa raquítica decidual, em geral espinhosa, com plantas suculentas e com sinúsia graminosa anual. Tem como formas biológicas dominantes as caméfitas espinhosas e poucas fanerófitas raquíticas, deciduais no período seco. Muitas plantas herbáceas geófitas e terófitas completam ainda as mais importantes formas de vida que integram este "tipo xerófito de vegetação".

Quanto à estrutura e às reações fisiológicas, destacam-se, bem características, a forma de árvores e arvoretas, geralmente com fustes delgados e retilíneos, casca lisa ou armada de espinhos ou de acúleos; outra com ritidoma desfolhante, ramificação baixa e profusa.

A Caatinga Arbórea Aberta, sem palmeiras é uma formação exclusiva das áreas pediplanadas com solos rasos e litólicos. Mostra uma cobertura lenhosa de estrutura aberta e porte baixo, que propicia o aparecimento do estrato campestre. O corte sucessivo da vegetação mostra as plantas lenhosas em céspedes agrupados, o que reduz a sua fitomassa parcial e, portanto, a sua capacidade de reter o escoamento superficial.

- *Clima*

O clima da região de acordo com a classificação climática de Wladimir Koeppen é do tipo Bsh, correspondente à tipologia Semi-Árido, com os seguintes parâmetros climáticos:

- precipitação média mensal (posto S.Caetano): 40,7 mm;
- precipitação média total anual: 488,1 mm
- precipitação máxima mensal: 346,1 mm;
- precipitação máxima anual: 1.762,3 mm
- índice de umidade do solo: 0 a -40 (valores muito baixos que indicam significativa permeabilidade do solo da região, dificultando a agricultura, porém, favorecendo a drenagem do trecho e indicativo de substrato arenoso);

- excedente hídrico anual: 0 a 100 mm; 0 a 1 mês
- deficiência hídrica anual: 350 a 750 mm;
- número de meses com deficiência hídrica: 8 a 12 meses
- temperatura média anual: 21^{o}C a 24,5^{o}C

Este clima, grosso modo, corresponde á área conhecida como Agreste, que se trata de uma zona de transição entre o litoral úmido e o sertão semi-árido.

O regime pluviométrico da área é governado pela massa equatorial atlântica, tendo chuvas de outono e inverno. Novembro e dezembro são os meses mais secos. A área é sujeita a um grande desequilíbrio não somente quanto à distribuição das precipitações ao longo do ano como às grandes variações de um ano para o outro.

3.1.2 Meio Antrópico da Área

No Projeto Executivo de Engenharia para Duplicação e Restauração da Rodovia BR-232/PE, segmento: Caruaru – São Caetano existe mais informações sobre o meio antrópico do segmento da rodovia, conforme mostrado a seguir.

Considerando-se os três parâmetros da metodologia adotada, relativamente a este item, tem-se:

- *Interesse estratégico*

Consideram-se, na avaliação deste item os seguintes parâmetros:

- rota de evacuação de regiões de risco de catástrofes (naturais ou não);
- traçado alternativo para eventual interrupção de vias principais;
- via de ligação a pontos estratégicos de segurança pública/nacional.

O trecho em estudo não apresenta singularidade com relação a estes parâmetros.

- *Interesse Sócio-Econômico*

Na escala macrorregional, o interesse sócio-econômico é de enorme relevância, haja vista que a BR-232 constitui-se o principal eixo de penetração do interior do Estado de Pernambuco, interligando os pólos sócio-econômicos denominados regiões de desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (RMR), da Mata Sul e do Agreste.

Neste contexto, a BR-232, no trecho em questão emerge conceitualmente como um "eixo de desenvolvimento" assim definido (BNDES, 2003):

"*Eixo de desenvolvimento: complexos econômicos e articulados através de logística de transporte e comunicação, devendo se identificar as potencialidades municipais e regionais, ressaltando-se vantagens locais e regionais ainda não exploradas"*

Vale ressaltar que a importância da rodovia tem levado o Governo do Estado, através da Fundação de Desenvolvimento Municipal – FIDEM, a elaborar um zoneamento das suas margens, no trecho Recife-Caruaru (devendo ser estendido para o trecho em estudo) de sorte a lograr uma utilização mais racional e evitar futuros "passivos ambientais" ao longo da rodovia. O projeto denomina-se Eco-Via BR-232 – Projeto de Requalificação Territorial e foi complementado por estudos sócio-econômicos realizados através de convênio CONDEPE/IPEA.

O subtrecho em estudo insere-se na Região de Desenvolvimento (RD) denominada Agreste Central, onde sinteticamente, tem-se as características na Tabela 3.17 composta com dados da Agência de Desenvolvimento de Pernambuco CONDEPE/FIDEM (2007).

Tabela 3.17 – Características da RD – Agreste Central (Agência CONDEPE/FIDEM, 2007)

Municípios da RD Agreste Central	*Atividades Econômicas*	*Aspectos Demográficos*
Dos 26 municípios que compõem a RD Agreste Central, nove são diretamente atingidos pela rodovia na seguinte sequência: Gravatá, Sairé, Bezerros, Caruaru, São Caetano, Tacaimbó, Belo Jardim, Sanharó e Pesqueira. Os quatro primeiros estão inseridos no trecho da rodovia ora em duplicação.	A economia do Agreste Central é caracterizada pela exploração agrícola, pela pecuária e pelas diversas atividades de comércio e serviços associados aos centros urbanos dinâmicos, especialmente a cidade de Caruaru que polariza as relações sócio-econômicas. Caruaru destaca-se pela função comercial e criação de animais. Possui indústrias leves de bens de consumo e seu artesanato de barro atrai grande fluxo turístico.	A região tem uma população que corresponde a cerca de 12 % da população estadual, com índice de urbanização relativamente alto – 67,7%.

Nesta Região de Desenvolvimento, a BR-232 tem uma grande influência nos fluxos de origem e destino entre o interior e a capital do Estado, haja vista que a rodovia praticamente secciona ao meio, a partir de Gravatá até Pesqueira, passando pelo seu núcleo polarizador, Caruaru.

Três importantes artérias fazem conexão com a BR-232 no âmbito da RD Agreste Central, a BR-104 e PE-095, em Caruaru e a BR-423, em São Caetano.

Como centros sub-regionais tem-se:

- Gravatá, que, ao lado da diversificação agrícola baseada em culturas comerciais é centro de atividades de repouso e lazer;
- São Caetano, com um pólo de apoio ao usuário da estrada.
- Belo Jardim, onde estão instaladas indústrias de porte como a Palmeiron, Mafisa e Baterias Moura;
- Alagoinha e Poção, onde há uma significativa produção de renda renascença; e
- Pesqueira, com tradição na produção de doces artesanais, renda renascença e indústrias do setor de condimento.

3.2 INFORMAÇÕES DE PROJETO

3.2.1 Identificação do Segmento

As características básicas do segmento da rodovia objeto deste estudo são:

- **Rodovia** : BR-232/PE
- **Trecho** : Recife - Entr. BR-316 (Parnamirim)
- **Subtrecho** : Entr. BR-104/423(A) (Caruaru) - Entr. PE-144 (São Caetano)
- **Segmento** : km 129,90 - km 149,70
- **Extensão** : 19,80 km
- **PNV** : 232 BPE 0150 e BPE 0170

3.2.2 Localização

A figura 3.6 mostrada em seguida apresenta o Mapa de Situação do segmento.

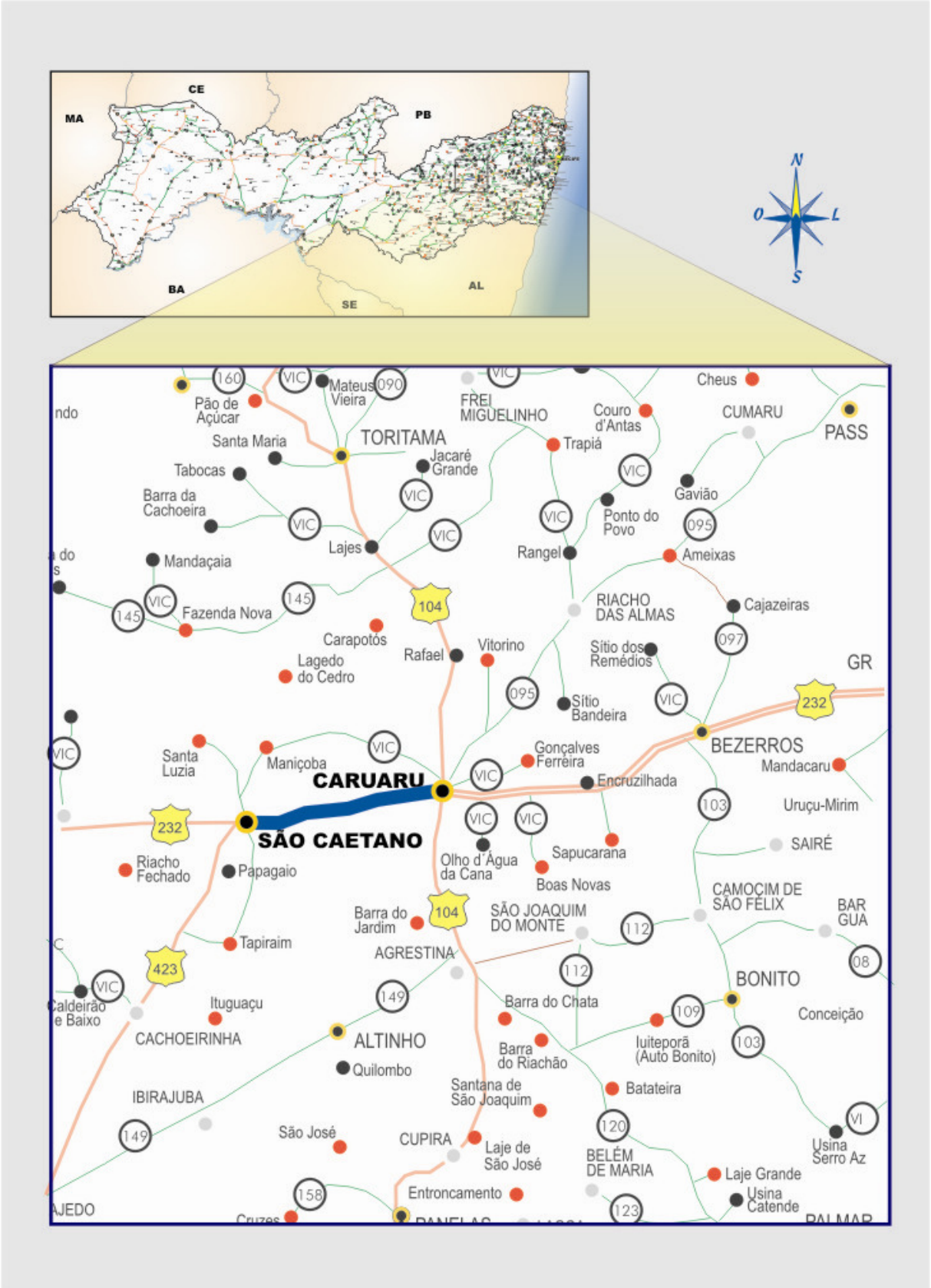


Figura 3.6 – Mapa de Situação do segmento da rodovia objeto deste estudo, Caruaru – São Caetano

3.2.3 Tráfego

O Estudo de Tráfego constante no Projeto Executivo de Engenharia para Duplicação e Restauração da Rodovia BR-232/PE, segmento: Caruaru – São Caetano elaborado pela Contécnica Ltda, Consultoria e Planejamento para o DER-PE (edição de abril de 2004 constante do arquivo técnico do setor de projetos de engenharia do DER-PE), foi baseado nas seguintes premissas:

a) Coleta e compilação dos dados existentes e disponíveis

Foi efetuada coleta e compilação dos dados existentes ao longo do segmento em projeto. Tais dados constam basicamente:

- Dos elementos de tráfego existentes no DNER e DER-PE, referentes ao posto de pesquisa 232BPE0150 situado no segmento em estudo, e que consta da série histórica de 1972 até 1997. Também do posto 232BPE0140, foram coletados os dados de VMD do mês de agosto, e a média do ano de 2000, para se proceder aos ajustes sazonais, conforme solicitado pelo DNIT;

- Coletaram-se, também, os dados de Fatores de Veículos que constam para a BR-232 no Plano Diretor de Pesagem de Eixos do DER-PE. Tais dados informam os Fatores de Veículos para cada categoria de veículos pesquisados por aquele órgão, utilizando a balança do DNER situada na BR-232, próxima ao entroncamento com a PE-007. Resumidamente os dados indicaram os fatores listados na tabela 3.18.

Tabela 3.18 – Fatores de Veículos utilizados no projeto de duplicação do segmento em estudo.

TIPO	*ÔNIBUS*	*CAM. 2C*	*CAM. 3C*	*REB. E SEMI R.*
AASHTO	1,16	0,98	1,32	8,12
USACE	1,48	1,84	12,2	17,16

b) Efetivação de pesquisas complementares no segmento

Para complementar os dados necessários às análises do tráfego foram efetuadas, pela Contécnica, pesquisas complementares no segmento em estudo.

A pesquisa Fluxogramétrica classificatória no posto 232BPE0150, nos dias 28, 29 e 30 do mês de agosto do ano de 2000 indicou os seguintes valores:

Tabela 3.19 – Resumo da pesquisa de tráfego do projeto de duplicação (VMD – nos dois sentidos).

ANO	*AUTOS*	*ÔNIBUS*	*2C*	*3C*	*nSi*	*TOTAL*
2000	6708	602	1135	1287	659	10392

Após as tabulações e ajustes sazonais efetuados no projeto de engenharia, a distribuição do tráfego resultou da seguinte forma (VMD, nos dois sentidos, de 10.036 veículos)

- 65% de automóveis;
- 6% de ônibus;
- 11% de caminhões tipo 2C;
- 12% de 3C; e,
- 6% de reboques e semi-reboques.

c) Análise e definição das projeções do tráfego.

A análise de projeção do tráfego foi efetivada pela regressão da série histórica do posto de pesquisa existente. As correlações indicaram as tendências de crescimento de cada categoria, e suas respectivas equações de regressão. Após a aplicação destas equações, os volumes anuais indicaram as taxas médias de crescimento anuais que foram da ordem de:

- 4,2% para automóveis;
- 3,4% para ônibus;
- 1,9% para caminhões 2C;
- 2,6% para caminhões 3C; e,
- 2,2% para reboques e semi-reboques

O projeto de engenharia informa que tais valores estão compatíveis com o crescimento do tráfego no trecho Recife – São Caetano e com o próprio segmento durante os últimos 20 anos.

Os dados resultantes das tendências de crescimento indicaram tráfego médio ajustado, no segmento, da seguinte ordem:

Tabela 3.20 – Tráfego projetado constante do projeto de duplicação do segmento em análise (VMD nos dois sentidos).

ANO	*AUTOS*	*ÔNIBUS*	*2C*	*3C*	*nSi*	*TOTAL*
2.003*	5.517	459	892	1.291	454	8.613
2.012**	7.996	619	1.047	1.603	547	11.812

*- ano de abertura previsto no estudo de tráfego do projeto

** - período de projeto de 10 anos (vida útil prevista)

Notar que o tráfego considerado em 2003 foi menor do que o encontrado na pesquisa devidamente ajustada para o ano de 2000, mesmo não sendo constatado decréscimos nas projeções de nenhuma categoria de veículos. Tal fato decorreu do projeto aplicar as equações de regressão de cada categoria de veículo e considerar o valor mostrado nessas regressões para cada ano.

d) Número de repetições do eixo simples padrão

Foi procedida a indicação dos valores de repetição de eixos simples padrão "N", para as metodologias de dimensionamento de pavimentos flexíveis (USACE e AASHTO).Os números "N" acumulados, foram os que se apresentam na tabela 3.21.

Tabela 3.21 – Número N do projeto de duplicação do segmento em análise.

METODOLOGIA	*SÉRIE 1984/2002*	*SÉRIE 2003/2012*
AASHTO	$1{,}6 \times 10^7$	$1{,}4 \times 10^7$
USACE	$6{,}3 \times 10^7$	$\mathbf{5{,}3 \times 10^7}$

Apesar do estudo de tráfego do projeto de duplicação apresentar esses valores de N, verificou-se no correspondente projeto de pavimentação que o N utilizado para dimensionamento do pavimento foi reduzido em 20% e a metodologia de equivalencia de cargas adotado foi a denominada de USACE, portanto, o valor de N utilizado para o dimensionamento foi:

N = $0{,}80 \times (5{,}3 \times 10^7)$ = $\mathbf{4{,}2 \times 10^7}$**.**

Foi verificado que os valores apresentados na tabela 3.21 consideraram uma pista simples com dois sentidos de tráfego (percentual de veículos na faixa de projeto, c = 50%). Portanto, como a rodovia iria operar em pista dupla com 4 faixas de tráfego, foi utilizada uma redução de 80% para o N de projeto, resultando em um "c" final de 0,40 sobre o VMD, enquadrando-se no previsto na tabela 2.1 (Capítulo 2, item 2.1.1, pág.33)

3.2.4 Características Geométricas.

O segmento, objeto do projeto, atravessa uma região ondulada, sendo seu ponto inicial no km 129,90 da BR-232/PE, no viaduto sobre a BR-104/PE, e seu ponto final no km 149,70, logo após a interseção com a BR-423/PE, perfazendo uma extensão total de 19.360,00m.

O projeto desenvolvido manteve o layout da interseção com a BR-104, adequando apenas as alças direcionais de entrada e saída no sentido oeste para se adaptar à presença da pista duplicada.

Nas travessias do Distrito Industrial de Caruaru e do Perímetro Urbano de São Caetano, foram criadas 2 (duas) pistas laterais, proporcionando melhor acessibilidade às indústrias, residências e outras atividades que lá estão instaladas.

Foram concebidos diversos retornos ao longo de todo o trecho, objetivando proporcionar melhor articulação entre as pistas principais e locais, de modo a reduzir ao mínimo as restrições de movimentos do tráfego de veículos gerados pelas ocupações lindeiras.

Foram também priorizados os acessos ao Posto Fiscal da Secretaria da Fazenda - no município de São Caetano, ao Agreste Water Park, à localidade denominada Pelada, e ao Gorden Park; e, finalmente, através de uma grande interseção, como modelo, um "trevo de quatro folhas", os acessos à BR-423, via principal de ligação do município de Garanhuns com a BR-232 e ao centro da cidade de São Caetano.

Ao longo de todo o percurso foram projetados 12 (doze) retornos duplos, para viabilizar, juntamente com as agulhas de ligação entre pistas principais e locais, a operacionalização desse trecho da BR-232 do modo mais seguro e confortável.

3.2.4.1 Seção Transversal.

A seção transversal final na zona rural, compreendendo as pistas de rolamento e os acostamentos, foi projetada com 27,70m de largura, sendo a pista de rolamento com 7,00m (existente) e 7,20m (duplicada), acostamentos externos com 2,50m (existente) / 3,00m (duplicado), acostamentos internos com 1,00 (faixa de segurança) e canteiro central com 6,00m, o qual varia nos casos específicos de interseções, acessos, retornos etc.

A seção transversal final na zona urbana, compreendendo as pistas de rolamento e os acostamentos, foi projetada com 57,70m de largura, sendo as pistas de rolamento com 7,00m (existente) e 7,20m (duplicada), acostamentos externos com 2,50m (existente)/ 3,00 (duplicado), acostamentos internos com 1,00m (faixa de segurança), canteiro central com 6,00m, pistas laterais com 8,00m cada, calçada com 2,00m cada (num total de quatro) e canteiros laterais com 3,00m cada.

3.2.4.1 Projeto em Planta.

A pista existente foi mantida em quase todo o segmento, salvo nos trechos dos retornos quando, para dar maior eqüidade aos movimentos longitudinais em ambos os sentidos, ela teve seu traçado abandonado, resultando em layouts simétricos em relação à nova pista a ser construída. No entanto, foram guardadas as referências relativas às cotas da pista existente.

Ressalte-se que, apesar da pista a ser duplicada copiar o traçado em planta e perfil da pista existente, as distâncias de visibilidade para ultrapassagem de veículos, por se tratarem de pistas de único sentido, se encaixaram nas normas atuais.

É importante frisar que nas travessias urbanas, compreendendo os segmentos que cortam o Distrito Industrial de Caruaru e parte de São Caetano, bem como nos locais dos diversos retornos e acessos, foi dado destaque às restrições de velocidade, para que o fluxo de veículos opere de modo seguro e compatível, realizando os seus movimentos sem atritos, atritos esses que contribuem para a redução da capacidade das vias.

Na interseção com a BR-423, que faz a ligação do Acesso a Garanhuns com o principal acesso à área central de São Caetano, foi projetado um trevo de 4 (quatro) folhas, que vai proporcionar uma instalação compatível com os requisitos que o local requeria.

O trevo foi constituído de ramos direcionais, que executarão todos os movimentos necessários para essa interseção, com raios de giro da ordem de 50,00 m, largura de faixas de rolamento de 3,60 m, completando com um viaduto com cerca de 70,00 m de comprimento sobre a BR-232/PE.

Verificou-se que, sempre que possível, buscou-se seguir as mesmas diretrizes que nortearam o projeto geométrico dos segmentos anteriores a Caruaru, que já tinham sido construídos, desde a região do Curado, no município de Jaboatão dos Guararapes (Região Metroplolitana de Recife - RMR), de modo a possibilitar que as instalações futuras da BR-232, duplicada, guardassem as mesmas características homogêneas em qualquer trecho.

Oportunamente, introduz-se a seguir observações de caráter geral, julgadas pertinente, pelo autor da presente dissertação.

As rodovias que atualmente estão sendo duplicadas, pelo menos no nordeste do Brasil, foram construídas em pista simples há décadas atrás. Por exemplo, no caso específico da BR-232/PE, seu segmento Recife – Caruaru, a pista simples original foi construída (pavimentada) na década de 50 pelo DER-PE. Assim, verifica-se o seguinte:

- Na década de 50 as características dos veículos; geométricas, automotivas e de capacidade de transporte eram bastante diferentes das atuais e, consequentemente, as diretrizes e regras de projeto geométrico eram também diferentes;
- As atuais diretrizes e regras de projeto geométrico do DER-PE são difeentes das vigentes no DNIT e com maior razão, as da década de 50 também o são;
- As características operacionais em pista dupla são bastante diferentes das em pista simples e, em consequência, as diretrizes e regras de projeto geométrico também são;
- As velocodades diretrizes de projeto, certamente são diferentes em relação às épocas de análise e elaboração de projeto e também quando se comparam as operações em pista simples e pistas duplas;

- As premisssas do estudo hidrológico foram aperfeiçoadas ao longo do tempo e são atualmente diferentes das que existiam na década de 50.

Contudo, apesar de todas estas mudanças ocorridas, de forma geral em projetos de duplicação, o traçado em planta e perfil da pista existente é mantido incluindo seus dispositivos de drenagem superficial e profunda que na maioria das vezes, são apenas repostos ou reabilitados. À execção ocorre apenas em pontos localizados e específicos de retornos, interseções e acessos, onde a pista existente tem seu traçado modificado para atender as melhorias. As próprias larguras de pista e acostamentos são mantidos, diferentemente da nova pista duplicada projetada. Porém, essa nova pista, em geral, é projetada acompanhando a pista original existente, em planta e perfil, portanto, guardando as mesmas premissas geométricas à execção das larguras das seções transversais.

Esse fato potencializa então um aumento de um tipo de acidente de trânsito do tipo saída de pista, muitas vezes correlacionado apenas à aquaplanagem se ocorreu com pista molhada e/ou ao excesso de velocidade, ou seja, o acidente é relacionado à falta de atrito/aderência pneu x superfície de rolamento e atribuído às deficiências de textura desses elementos e/ou velocidade não condizente com a sinalização. Entende-se que as inadequações das características geométricas e da drenagem superficial também devem ser investigadas.

3.2.5 Novo Pavimento

Foi utilizado o Método do DNER (método do Engº Murillo Lopez de Souza) para dimensionamento do pavimento da nova pista duplicada, tendo sido considerado o CBR do subleito com valor de 10% e $N = 4{,}2 \times 10^7$.

O pavimento resultante para os 19 km foi:

Revestimento : 10,0 cm;
Base : 15,0 cm;
Sub-base : 15,0 cm.

Para o acostamento foi considerado uma espessura de 5,0 cm de revestimento.

Para o revestimento foi executado 5,0 cm de CBUQ na faixa granulométrica "B" do DNIT, como primeira camada ao longo de toda a plataforma (pista + acostamento) e 5,0 cm de CBUQ na faixa granulométrica "C" do DNIT como capa de rolamento, acarretando na formação de um degrau pista/acostamento de 5,0 cm.

A base constante do projeto foi constituída de Brita Graduada Simples – BGS, enquanto que a sub-base foi executada com solo local estabilizado granulometricamente sem mistura. Por ocasião da construção, alguuns intervalos da nova pista duplicada tiveram a constituição de sua base em macadame hidráulico, a ser detalhado nos capítulos seguintes.

Nas alças das interseções, retornos, acessos e vias marginais urbanas, a estrutura do pavimento foi a mesma à exceção do revestimento que foi executado com 7,5 cm de CBUQ na faixa granulométrica "C" do DNIT.

Todas as camadas do pavimento foram executadas ao longo dos anos de 2005 a 2007 (houve várias interrupções por problemas de fluxo de recursos) obedecendo as especificações de serviços vigentes no DNIT porque se trata de uma rodovia de jurisdição federal. As especificações de serviço do DER-PE diferem um pouco das atuais do DNIT.

Na figura3.7 são mostradas fotografias do trecho retratando o período de finalização das obras (dezembro de 2007). A abertura oficial ao tráfego se deu em janeiro de 2008, contudo, como ocorre nas demais obras rodoviárias do país, o tráfego é liberado tão logo cada pavimentação setorizada vai sendo concluída, mesmo antes da realização de serviços complementares (sinalização, drenagem superficial etc.). Assim, existem setores do techo que estavam em operação por vários anos quando da inauguração oficial.

Nas figuras 3.8 e 3.9 são apresentadas as seções transversais típicas do segmento em estudo.

Visando um maior enriquecimento do conhecimento do proijeto de engenharia e da região onde está inserido o segmento em estudo, após a apresentação das seções transversais típicas, á mostrada a Tabela 3.22 contendo um resumo das tradicionais características físico-mecânicas dos solos constituintes do subleito da pista existente e da nova pista duplicada.

(a) Segmento na chegada a São Caetano que aparece à direita

(b) Mesma situação da foto anterior, mas com a visão do lado esquerdo p/ Garanhuns

(c) Subita di viaduto do acesso com a BR-423 (acesso a Garanhuns)

(f) Pista nova duplicada – desnível pista/acostamento

(e) Pista antiga restaurada – acostamento mais estreito (2,5m) do que o novo (3,0m)

(g) Junção do encontro com a estrutura do viaduto que dá acesso à BR-423 (p/ Garanhuns)

Figura 3.7 – Fotografias da BR-232/PE, segmento: Caruaru – São Caetano (Autor, dez/2007).

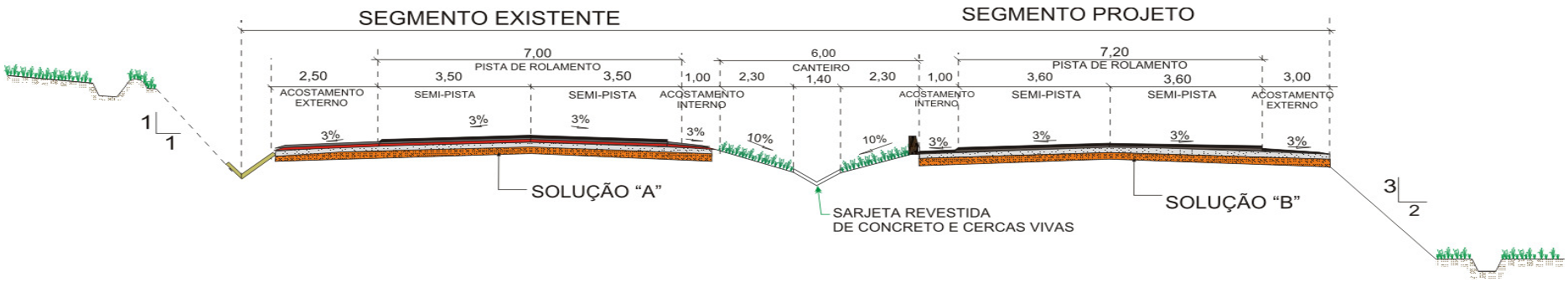


Figura 3.8 - Seção transversal tipo trechos rurais, do projeto de duplicação.

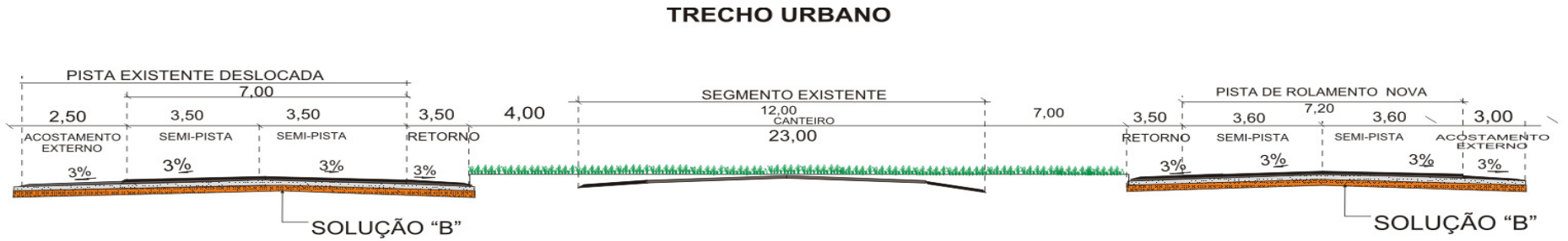


Figura 3.9 e 3.10 - Seção transversal tipo de retornos do projeto de duplicação.

Tabela 3.22 – Resumo estatístico do solo do subleito da nova pista do projeto de duplicação.

RODOVIA : BR-232/PE TRECHO : CARUARU - SÃO CAETANO SEGMENTO : km 129,90 - km 149,70	CAMADAS		PISTA EXISTENTE					PISTA NOVA										
			SUBLEITO					TERRENO NATURAL										
	ENSAIOS \ ELEMENTOS		$\bar{X}$	σ	n	X min.	X máx.	$\bar{X}$	σ	n	X min.	X máx.						
	GRANULOMETRIA % PASSANDO NAS PENEIRAS	2"	100	0	10	100	100	100	0	19	100	100						
		1"	98	5	10	96	100	99	2	19	98	100						
		3/8"	94	5	10	92	96	91	7	19	89	93						
		Nº 4	87	10	10	83	91	86	9	19	83	89						
		Nº 10	80	13	10	75	85	76	12	19	72	80						
		Nº 40	57	15	10	51	63	51	14	19	47	55						
		Nº 200	32	9	10	28	36	28	8	19	26	30						
	FAIXA DNER		F.F					F.F										
CONTÉCNICA LTDA	L.L		NL					NL										
	I.P		NP					NP										
	E.A.																	
	I.G		0	0	10	-	-	0	0	10	-	-						
	CLASSIF. H.R.B.		A.2.4					A.2.4										
	AASHO INTERM. 12 GOLPES	DENS.MÁXIMA	2025	65	10	1998	2052	1956	72	19	1935	1977						
		UMID. ÓTIMA	6,5	0,8	10	6,2	6,8	7,3	2,0	19	6,7	7,9						
		I.S.C.	22	8	10	19	25	18	9	19	15	21						
		EXPANSÃO	0,10	0,10	10	0,1	0,1	0,12	0,15	19	0,1	0,2						
Qd - 4.44	AASHO INTERM. 56 GOLPES	DENS.MÁXIMA																
		UMID. ÓTIMA																
		I.S.C.																
		EXPANSÃO																

RESUMO ESTATÍSTICO DO SUBLEITO

3.3 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Conforme conhecimento do autor da presente dissertação, a BR-232/PE foi objeto de três pesquisas de pesagens de eixos rodoviários, a saber:

- 1985 – Pesquisa de pesagem realizada pelo DER-PE.

- 2004 – Pesquisa de pesagem realizada pelo DER-PE com apoio da Secretaria da Fazenda e da Infra-estrutura de Pernambuco..

- 2007 – Pesquisa realizada pelo Consórcio Queiroz Galvão / Norberto Odebrecht, com a supervisão da Superintendência Regional do DNIT em Pernambuco.

A monografia "Excesso de Carga nas Rodovias de Pernambuco e Seu Efeito na Vida Útil dos Pavimentos" da Engenheira Marília Gabriela Valois Pina Moreira de maio de 2005, registra a pesquisa realizada em 2004. Ressalta-se que a pesquisa também foi realizada na BR – 101/PE e o autor da presente pesquisa teve acesso a seus dados básicos consolidados, sendo possível então, separar as informações das duas rodovias.

O Relatório de Levantamento intitulado "Estudo Comparativo de Fluxo de Veículos e de Cargas por Eixo na Rodovia BR – 232/PE" elaborado pelo Engenheiro Antônio Flávio Vieira Andrada em dezembro de 2007 para o Consórcio Queiroz Galvão / Norberto Odebrecht, registra a pesquisa de 2007 e se refere à executada em 1985.

Também de autoria do Engenheiro Antônio Flávio Vieira Andrada, o autor teve conhecimento do Relatório de Levantamento intitulado "Estudo Comparativo de Fluxo de Veículos e de Cargas por Eixo na Rodovia BR – 101/PE" de fevereiro de 2008 elaborado para as empresas Queiroz Galvão, Norberto Odebrecht, Andrade Gutierrez e Barbosa de Melo.

O autor realizou tabulações dos dados de forma a obter outras informações não constantes dos relatórios citados e os detalhamentos dos cálculos efetuados são mostrados no Apêndice A.

Resumidamente, são descritas em seguida as principais características destes trabalhos citados.

3.3.1 – Pesquisa de pesagem de eixos nas BR-232 e BR-101/PE realizada em 2004

A pesquisa de pesagem de eixos rodoviários foi realizada em veículos típicos da frota comercial demandante das rodovias BR-101 e BR-232/PE, utilizando uma balança eletrônica e dinâmica da Secretaria da Fazenda, operada por servidores do DER-PE e contando com o apoio da Polícia Rodoviária Federal, sob a coordenação da Secretaria de Infra-estrutura do Estado de Pernambuco.

A Tabela 3.23 mostra locais, data e horários da realização da pesquisa.

Tabela 3.23 – Dados sobre a realização da pesquisa de pesagem de eixos (Moreira, 2005)

Posto	Local	Dia	Período
1	BR-232, km 13,9 (junto ao trecho experimental em pavimento armado).	22 de julho de 2004	09:15 – 11:00 15:15 – 17:00
		29 de julho de 2004	08:00 – 11:00 14:00 – 15:45
2	BR-232, na Variante de Vitória de Santo Antão (junto ao viaduto da PE-045)	27 de julho de 2004	08:45 – 11:00 13:30 – 16:00
3	BR-232, entre Gravatá e Bezerros	28 de julho de 2004	09:00 – 11:30 14:00 – 14:45
4	BR-101 Sul, entre Prazeres e Cabo	30 de julho de 2004	08:30 – 11:00 14:45 – 17:00
5	BR-101 Norte, entre Igarassu e a interseção com a PE-041 (acesso a Araçoiaba)	02 de agosto de 2004	08:00 – 11:00 14:00 – 16:45
		03 de agosto de 2004	08:00 – 11:45 14:00 – 16:30

Foram pesados 2.388 eixos de 1.036 veículos dos tipos 2C, 3C, 2S1, 2S2, 2S3, 3S2, 3S3, 2C2, 2C3 e 2CB. Essa frota comercial representou 37% dos 2.810 veículos comerciais que trafegaram nas rodovias nos dias e horários das pesquisas.

Os excessos de pesos observados estão resumidos na tabela 3.24.

Tabela 3.24 – Excessos de carga (em %) para cada tipo de eixo (Moreira, 2005)

Eixo	**Rodas**	**Excesso de Carga (%)**
Simples	Simples	3,8
Simples	Dupla	21,5
Tandem Duplo	Dupla	39,8
Tandem Triplo	Dupla	60,9
Geral		**21,0**

A balança pesa cada eixo, simples ou múltiplo, em cada operação, portanto, o percentual de excesso de carga se refere ao número de eixos que trafegam com excesso de peso em relação ao total de eixos da amostra, para cada tipo de eixo.

3.3.2 – Pesquisa de pesagem de eixos na BR-232/PE realizada em 2007

Resumidamente as características julgadas principais para efeito da temática desta dissertação são as relatadas a seguir.

A pesquisa de pesagem foi realizada nos dias 25 a 29 de setembro e 8 de outubro de 2007, no km 27 da BR-232/PE nas imediações do Posto de Polícia Rodoviária Federal, onde, em outubro de 2006 foi executada uma pesquisa volumétrica e classificatória de tráfego durante 7 dias consecutivos e 24 horas por dia.

A pesquisa foi realizada nos dois sentidos de tráfego da seguinte forma:

- Dias 25, 26 e 27 / 09 / 07 : sentido: Recife – Caruaru.
- Dias 28 e 29/09 e 08/10 : sentido: Caruaru – Recife.

A empresa DIAFRA Ltda., contratada pelo Consórcio Queiroz Galvão / Norberto Odebrecht, conduziu as operações de pesagem com uma balança eletrônica dinâmica, sob a supervisão da Engenheira Mônica Celli, orientada pelo Professor Antônio Flávio Vieira Andrada para gerenciar as pesquisas (volumétrica e classificatória de tráfego realizada em 2006 e a pesquisa de pesagem de 2007), sendo inclusive a responsável pela tabulação dos dados.

As quantidades de veículos e eixos pesquisados são mostrados nas tabelas 3.25 e 3.26.

Tabela 3.25 – Veículos pesquisados na BR-232/PE em 2007 (Andrada, 2007).

Tipo de Veículo	Quantidade (ud)
2CB	337
3CB	179
2C	2.256
3C	1.879
2S2	207
2S3	691
3S2	12
3S3	177
3D4	160
3T6	5
Total	**5.903**

Tabela 3.26 - Eixos pesquisados na BR-232/PE em 2007 (Andrada, 2007).

Tipo de Eixo	Quantidade (ud)
Eixo Simples de Roda Simples (ESRS)	5.903
Eixo Simples de Rodas Duplas (ESRD)	3.491
Eixos Simples/Duplos (do ônibus Tribus)	179
Eixos Duplos de Rodas Duplas (EDRD)	2.787
Eixos Triplos de Rodas Duplas (ETRD)	868
Total	**13.228**

Os excessos de peso observados são mostrados na tabela 3.27.

Tabela 3.27 – Excessos de peso verificados na pesquisa de eixos da BR-232/PE realizada em 2007 (Andrada, 2007).

Resumo de Eixos com Excesso de Peso					
Tipo	ESRS	ESRD	ESRS/D	EDRD	ETRD
Peso máximo	6,0 tf	10,0 tf	13,5 tf	17,0 tf	25,5 tf
2CB	14,5%	11,6%			
3CB	22,9%		14,5%		
2C	2,6%	10,9%			
3C	5,1%			30,2%	
2S2	3,9%	4,8%		4,8%	
2S3	11,3%	37,5%			37,6%
3S2	8,3%			25,0%	
3S3	9,6%			27,1%	34,5%
3D4	23,8%			56,3%	
3T3				35,0%	
% c/ excesso	6,6%	15,9%	14,5%	32,5%	37,0%

3.3.3 – Pesquisa de pesagem de eixos na BR-101/PE realizada em 2007

Resumidamente as características julgadas principais para efeito da temática desta dissertação são as relatadas a seguir.

A pesquisa de pesagem foi realizada nos dias 01 a 06 de outubro de 2007, no km 130 da BR-101/PE nas imediações do acampamento da Queiroz Galvão, onde, em abril de 2007 foi executada uma pesquisa volumétrica e classificatória de tráfego durante 7 dias consecutivos e 24 horas por dia.

A pesquisa foi realizada nos dois sentidos de tráfego da seguinte forma:

- Dias 01 a 03 / 10 / 07 : sentido: Recife – Ribeirão.

- Dias 04 a 06 / 10 / 07 : sentido: Ribeirão – Recife.

A empresa DIAFRA Ltda., contratada pelo Consórcio CQG/CNO/AG/CBM, conduziu as operações de pesagem com uma balança eletrônica dinâmica, sob a supervisão da Engenheira Mônica Celli, orientada pelo Professor Antônio Flávio Vieira Andrada para gerenciar as pesquisas (volumétrica e classificatória de tráfego realizada em 2006 e a pesquisa de pesagem de 2007), sendo inclusive a responsável pela tabulação dos dados. Também supervisionou os trabalhos, a Superintendência Regonal do DNIT em Pernambuco.

As quantidades de veículos e eixos pesquisados são mostrados nas tabelas 3.28 e 3.29.

Tabela 3.28 – Veículos pesquisados na BR-101/PE em 2007 (Andrada, 2008).

Tipo de Veículo	Quantidade (ud)	(%)
2CB	165	3,60%
3CB	179	3,90%
2C	1076	23,50%
3C	1414	30,90%
2S1	8	0,2%
2S2	363	7,90%
2S3	910	19,90%
3S2	32	0,70%
3S3	186	4,10%
3C2	8	0,20%
3C3	10	0,20%
3D4	205	4,50%
3T6	20	0,40%
Total	**4576**	**100,00%**

Tabela 3.29 - Eixos pesquisados na BR-101/PE em 2007 (Andrada, 2007).

Tipo de Eixo	Quantidade (ud)
Eixo Simples de Roda Simples (ESRS)	4.449
Eixo Simples de Rodas Duplas (ESRD)	2.569
Eixos Simples/Duplos (do ônibus Tribus)	55
Eixos Duplos de Rodas Duplas (EDRD)	4.462
Eixos Triplos de Rodas Duplas (ETRD)	1.096
Total	**12.631**

Os excessos de peso observados são mostrados na tabela 3.30.

Tabela 3.30– Excessos de peso verificados na pesquisa de eixos da BR-101/PE realizada em 2007 (Andrada, 2007).

Resumo de Eixos com Excesso de Peso					
Tipo	ESRS	ESRD	ESRS/D	EDRD	ETRD
Peso máximo	6,0 tf	10,0 tf	13,5 tf	17,0 tf	25,5 tf
3CB	9,1%		10,9%		
2C	1,3%	6,7%			
3C	8,3%			32,2%	
2S1		12,5%			
2S2		4,4%		2,5%	
2S3	12,5%	43,4%			36,3%
3S2	6,3%			78,1%	
3S3	21,5%			28,0%	43,5%
3C2	62,5%	6,3%		50,0%	
3C3	40,0%	40,0%		25,0%	
3D4	32,2%			67,2%	
3T3	35,0%			33,3%	
% c/ excesso	8,7%	19,4%	10,9%	28,0%	37,5%

A pesquisa realizada em 1985 pelo DER-PE na BR-232/PE foi citada por Andrada, 2007, onde são informados os pesos transportados por eixo divididos em faixas de 2 toneladas-força (0 – 2; 2 – 4; 4 – 6 tf, etc.) e por tipo de eixos simples, tandem duplo e tandem triplo.

Portanto, em relação às demais pesquisas, as diferenças são a não divisão dos eixos simples em eixo simples de roda simples – ESRS e eixo simples de roda dupla – ESRD, ambos considerados apenas como eixos simples e a não indicação dos valores absolutos dos pesos de cada eixo e sim seu enquadramento nas faixas selecionadas que foram escalonadas por grupos de 2 tf, como exemplificado no parágrafo anterior.

3.3.4 – Peso nominal e equivalente transportado por tipo de eixo

Os dados apresentados nos trabalhos citados de Marília e Andrada, são bastante importantes e necessários ao entendimento do hábito de cargas transportadas nas rodovias federais de Pernambuco. Contudo, além das freqüências de carga por eixo, com conseqüente verificação de número de eixos que trafegam com excesso, também é importante tentar se quantificar o peso médio transportado por cada tipo de eixo.

Atualmente, já se utiliza em estudos de projeção de tráfego a técnica de cenários, sendo o uso de regressões para tentar se prever o futuro com base na repetição do passado, apenas uma das tendências a serem consideradas. Também, muitas vezes, é mais fácil e prático projetar toneladas transportadas do que número de veículos, inclusive em algumas ocasiões esse é o único modo de se estimar o tráfego demandante de uma rodovia durante um período de projeto.

Por outro lado, há uma tendência atual de se determinar o efeito do tráfego, e, por conseguinte, das cargas atuantes sobre uma estrutura representada nesse caso pelo pavimento, em função do esforço que se quer investigar (AASHTO, 2003; Franco, 2007). Assim, quando se estuda os efeitos da fadiga e da tensão vertical de compressão sobre o subleito, por exemplo, os valores de "N" a considerar serão diferentes para cada caso. O novo procedimento da AASHTO (2003) está substituindo os fatores de equivalência por análises dos danos individuais produzidos por cada eixo no pavimento. Segundo Franco (2007), os dados típicos requeridos pelo novo método sobre o tráfego são: o volume do tráfego no ano base; a velocidade operacional dos veículos; os fatores de distribuição da faixa e direção do tráfego; os fatores de distribuição de tipos de veículos e carga de eixos; as características dos pneus e as pressões de inflação; o fator de distribuição lateral; e os fatores de crescimento do tráfego.

Dessa forma, é interessante tentar se obter um valor médio transportado por tipo de eixo de forma a se ter alternativa, além da obtenção da freqüência de carga transportada (espectro da distribuição de cargas), para se estabelecer o hábito de cargas de determinada frota de veículos. Nesse sentido, os dados apresentados nos trabalhos citados foram considerados de forma se obter um valor médio de peso transportado por eixo.

Evidentemente, os valores obtidos se referem apenas às pesquisas realizadas nas BR-101 e 232 em Pernambuco e só para elas são relevantes, não devendo se extrapolar os resultados para quaisquer outras situações, porém, se propõe outra visão de utilização dos dados de pesquisas de pesagem de eixos rodoviários.

Para se estabelecer um valor médio transportado foi calculado um peso nominal, ou seja, um peso médio do total transportado pelo número de eixos e dois pesos equivalentes. O primeiro

considerando as freqüências de cargas ponderadas pelo fator de equivalência de operações (FEO) da metodologia USACE e o segundo com a mesma freqüência de distribuição de cargas, porém, ponderadas pelo FEO da metodologia AASHTO.

Os cálculos são apresentados detalhadamente nas planilhas que compõem o Apêndice D (o autor da presente pesquisa teve acesso aos dados "brutos" da pesquisa realizada em 2004 e por esse motivo, para essa pesquisa, os cálculos puderam ser mais detalhados) e são resumidos em seguida.

3.3.4.1 – Peso nominal

As tabelas 3.31 a 3.33 mostram os pesos médios transportados por tipo de eixo, considerando a distribuição de cargas em intervalos de 2 toneladas por tipo de eixo, para as três pesquisas da BR-232 e para as duas da BR – 101, separadas e em conjunto.

Como na pesquisa de 1985 se dispunha apenas dos dados consolidados de eixo simples e não separados por eixos simples de rodas simples e eixos simples de rodas duplas, para se incluir essa pesquisa, as demais também tiveram seus valores de eixos simples unificados. Esse procedimento também é útil para o dimensionamento de placas de concreto de cimento Portland (PCCP) pelo método da PCA/84, pois, é assim que os eixos simples são considerados (sem haver separação de eixos simples de rodas simples e eixos simples de rodas duplas).

Tabela 3.31 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985	3,9	13,2	20,8
2004	4,8	13,2	25,6
2007	5,1	12,8	19,9
Média	4,6	13,1	22,1
Desvio Padrão	0,6	0,2	3,1
Coeficiente de Variação	13,9%	1,7%	14,0%

Tabela 3.32 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
2004	5,5	14,8	23,9
2007	5,3	14,1	21,1
Média	5,4	14,4	22,5
Desvio Padrão	0,1	0,5	2,0
Coeficiente de Variação	1,6%	3,6%	8,8%

Tabela 3.33 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985 / BR-232	3,9	13,2	20,8
2004 / BR-232	4,8	13,2	25,6
2007 / BR-232	5,1	12,8	19,9
2004 / BR-101	5,5	14,8	23,9
2007 / BR-101	5,3	14,1	21,1
Média	4,9	13,6	22,3
Desvio Padrão	0,6	0,8	2,4
Coeficiente de Variação	13,0%	5,9%	10,8%

As tabelas 3.34 a 3.3.36 mostram os pesos médios transportados por eixo desta feita considerando as divisões do eixo simples, porém, não incluindo a pesquisa de 1985.

Tabela 3.34 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	3,8	6,4	13,2	25,6
2007	4,0	6,8	12,8	19,9
Média	3,9	6,6	13,0	22,7
Desvio Padrão	0,1	0,3	0,3	4,1
Coeficiente de Variação	3,3%	4,2%	2,0%	17,9%

Tabela 3.35 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,3	7,4	14,8	23,9
2007	4,4	7,0	14,1	21,1
Média	4,4	7,2	14,4	22,5
Desvio Padrão	0,1	0,3	0,5	2,0
Coeficiente de Variação	2,5%	4,0%	3,6%	8,8%

Tabela 3.36 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004 / BR-232	3,8	6,4	13,2	25,6
2007 / BR-232	4,0	6,8	12,8	19,9
2004 / BR-101	4,3	7,4	14,8	23,9
2007 / BR-101	4,4	7,0	14,1	21,1
Média	4,1	6,9	13,7	22,6
Desvio Padrão	0,3	0,4	0,9	2,6
Coeficiente de Variação	6,3%	6,4%	6,5%	11,6%

Considerados os diversos dados consolidados apresentados, foi estipulado como valores típicos e possíveis para representação nessas pesquisas, para efeito de comparação com os pesos equivalentes e limites legais, os mostrados na tabela 3.37 que também os compara com os limites legais.

Tabela 3.37 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso nominal)

Tipo de Eixo	Peso transportado (a) (tf)	Limite legal (b) (tf)	Limite legal c/ tolerância (c) (tf)	%	
				a/b	a/c
ESRS	4,00	6,00	6,45	67%	62%
ESRD	7,00	10,00	10,75	70%	65%
EDRD	14,00	17,00	18,28	82%	77%
ETRD	23,00	25,50	27,41	90%	84%

Portanto, se fosse o caso de dimensionamento de pavimentos pelos métodos mais atuais onde não são consideradas as equivalências com eixo padrão e sim o dano individual provocado por cada eixo na estrutura do pavimento, os valores das cargas a considerar seriam os constantes da coluna (a) da Tabela 3.37, evidentemente, se essas pesquisas fossem consideradas representativas para essa finalidade. Ressalta-se que todos os valores estão abaixo do permitido pela legislação significando que provavelmente haveria redução de custo comparado a um dimensionamento que adotasse os valores limites da legislação, com ou sem tolerância.

3.3.4.2 – Peso equivalente (ponderado c/ FEO USACE)

Na freqüência de distribuição das cargas oriundas das pesquisas, foi considerado o efeito de cada um dos intervalos de peso (intervalos de 2 tf) sobre o pavimento, de acordo com a

metodologia de equivalência de cargas do USACE. Para cada valor médio do intervalo de 2 tf de carga foi determinado o FEOi, ou seja, foi calculado o

Nas tabelas 3.38 a 3.44 seguintes são apresentadas as mesmas informações gerais obtidas para o peso nominal, no entanto, sendo considerado nesse caso específico, o peso que produz um dano equivalente, ponderado pelos fatores de equivalência de carga da metodologia USACE, à distribuição de cargas observada. No item anterior, o dano causado ao pavimento por um veículo transportando uma carga com um peso enquadrado em uma determinada faixa é o mesmo do que este veículo transportando outra carga com peso diferente. A diferenciação entre efeitos de danos causados por diferentes cargas, neste caso, foi considerada com base em uma ponderação utilizando os fatores de equivalência de carga do USACE.

Tabela 3.38 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985	7,3	15,1	24,6
2004	9,0	12,7	25,7
2007	9,6	16,8	24,5
Média	8,6	14,9	24,9
Desvio Padrão	1,2	2,1	0,7
Coeficiente de Variação	13,9%	13,8%	2,7%

Tabela 3.39 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
2004	10,0	14,5	22,4
2007	8,3	17,7	24,8
Média	9,2	16,1	23,6
Desvio Padrão	1,1	2,3	1,7
Coeficiente de Variação	12,4%	14,1%	7,2%

Tabela 3.40 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985 / BR-232	7,3	15,1	24,6
2004 / BR-232	9,0	12,7	25,7
2007 / BR-232	9,6	16,8	24,5
2004 / BR-101	10,0	14,5	22,4
2007 / BR-101	8,3	17,7	24,8
Média	8,8	15,4	24,4
Desvio Padrão	1,1	2,0	1,2
Coeficiente de Variação	12,0%	12,8%	4,9%

Tabela 3.41 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,5	9,7	12,7	25,7
2007	4,8	11,2	16,8	24,5
Média	4,6	10,4	14,8	25,1
Desvio Padrão	0,2	1,0	2,9	0,9
Coeficiente de Variação	4,3%	9,9%	19,6%	3,5%

Tabela 3.42 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,8	11,7	14,5	22,4
2007	5,0	9,8	17,7	24,8
Média	4,9	10,8	16,1	23,6
Desvio Padrão	0,2	1,4	2,3	1,7
Coeficiente de Variação	3,2%	12,7%	14,1%	7,2%

Tabela 3.43 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004 / BR-232	4,5	9,7	12,7	25,7
2007 / BR-232	4,8	11,2	16,8	24,5
2004 / BR-101	4,8	11,7	14,5	22,4
2007 / BR-101	5,0	9,8	17,7	24,8
Média	4,7	10,6	15,4	24,4
Desvio Padrão	0,2	1,0	2,3	1,4
Coeficiente de Variação	4,3%	9,5%	14,7%	5,6%

Tabela 3.44 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo	Peso transportado (a) (tf)	Limite legal (b) (tf)	Limite legal c/ tolerância (c) (tf)	%	
				a/b	a/c
ESRS	5,00	6,00	6,45	83%	78%
ESRD	11,00	10,00	10,75	110%	102%
EDRD	15,50	17,00	18,28	91%	85%
ETRD	24,50	25,50	27,41	96%	89%

3.3.4.3 – Peso equivalente (ponderado c/ FEO AASHTO)

Adotou-se o mesmo procedimento para a obtenção do peso médio equivalente transportado pelos diversos eixos sendo que desta feita utilizando os FEO da metodologia denominada AASHTO.

Nas tabelas 3.45 a 3.51 seguintes estão resumidos os resultados obtidos com esta consideração.

Tabela 3.45 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985	6,3	14,7	23,9
2004	7,3	10,3	23,4
2007	8,0	15,9	23,6
Média	7,2	13,7	23,6
Desvio Padrão	0,9	2,9	0,2
Coeficiente de Variação	12,0%	21,6%	0,9%

Tabela 3.46 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
2004	7,9	12,0	20,2
2007	7,2	17,9	24,1
Média	7,5	14,9	22,1
Desvio Padrão	0,5	4,2	2,8
Coeficiente de Variação	6,5%	27,9%	12,6%

Tabela 3.47 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985 / BR-232	6,3	14,7	23,9
2004 / BR-232	7,3	10,3	23,4
2007 / BR-232	8,0	15,9	23,6
2004 / BR-101	7,9	12,0	20,2
2007 / BR-101	7,2	17,9	24,1
Média	7,3	14,2	23,0
Desvio Padrão	0,7	3,0	1,6
Coeficiente de Variação	9,4%	21,4%	7,1%

Tabela 3.48 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,5	8,0	10,3	23,4
2007	4,8	9,8	15,9	23,6
Média	4,6	8,9	13,1	23,5
Desvio Padrão	0,2	1,3	4,0	0,2
Coeficiente de Variação	3,7%	14,5%	30,2%	0,7%

Tabela 3.49 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,8	11,7	12,0	20,2
2007	5,0	8,9	17,9	24,1
Média	4,9	10,3	14,9	22,1
Desvio Padrão	0,2	2,0	4,2	2,8
Coeficiente de Variação	3,2%	19,1%	27,9%	12,6%

Tabela 3.50 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de peso médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004 / BR-232	4,5	8,0	10,3	23,4
2007 / BR-232	4,8	9,8	15,9	23,6
2004 / BR-101	4,8	11,7	12,0	20,2
2007 / BR-101	5,0	8,9	17,9	24,1
Média	4,8	9,6	14,0	22,8
Desvio Padrão	0,2	1,6	3,5	1,8
Coeficiente de Variação	4,3%	16,7%	24,8%	7,9%

Tabela 3.51 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo	Peso transportado (a) (tf)	Limite legal (b) (tf)	Limite legal c/ tolerância (c) (tf)	%	
				a/b	a/c
ESRS	5,00	6,00	6,45	83%	78%
ESRD	10,00	10,00	10,75	100%	93%
EDRD	14,00	17,00	18,28	82%	77%
ETRD	23,00	25,50	27,41	90%	84%

3.3.4.4 – Exemplos comparativos

A tabela 3.52 mostra a comparação entre os pesos médios admitidos como representativos das pesquisas realizadas nas situações de pesos nominais em relação aos pesos equivalentes das denominadas metodologias USACE e AASHTO.

Tabela 3.52 - BR-232/PE e 101/PE: Comparativo entre os pesos nominais e equivalentes admitidos como representativos das pesquisas de tráfego analisadas

Tipo de Eixo	Peso equivalente (USACE) (a) (tf)	Peso equivalente (AASHTO) (b) (tf)	Peso transportado nominal (c) (tf)	%	
				a/c	b/c
ESRS	5,00	5,00	4,00	125%	125%
ESRD	11,00	10,00	7,00	157%	143%
EDRD	15,50	14,00	14,00	111%	100%
ETRD	24,50	23,00	23,00	107%	100%

Outra maneira de comparar os efeitos entre a adoção de pesos nominais e os respectivos pesos equivalentes é a repercussão no valor do Fator de Veículo (FV) de cada tipo de veículo. Por

conseguinte, estão sendo apresentadas em seguida tabelas com o cálculo do FV de cada tipo de veículo constante do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006.

Nas tabelas 3.53 e 3.54 são apresentados os valores de FV considerando os pesos nominais admitidos como representativos das pesquisas, utilizando os Fatores Equivalentes de Operação (FEO) ou Fatores de Equivalência de Carga (FEC) calculados segundo as denominadas metodologias do USACE e AASHTO, respectivamente.

A tabela 3.55 utiliza os pesos médios equivalentes obtidos segundo a metodologia USACE e evidentemente, com os FEC calculados para a mesma metodologia.

A tabela 3.56 apresenta os FV calculados segundo os pesos médios e FEC da metodologia AASHTO.

Tabela 3.53 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Nominal e Metodologia de FEC do USACE)

Peso considerado por tipo de eixo

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	4
ESRD	7
EDRD	14
ETRD	23

Tipo de Veículo*	Fatores do Método do DNER												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	Ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	4	0,05	1	7	0,52							0,57
3C	1	4	0,05				1	14	2,95				3,00
2S1	1	4	0,05	2	7	0,52							1,09
4C	1	4	0,05							1	23	5,23	5,28
4CD	2	4	0,05				1	14	2,95				3,06
2S2	1	4	0,05	1	7	0,52	1	14	2,95				3,52
2I2	1	4	0,05	3	7	0,52							1,60
3S1	1	4	0,05	1	7	0,52	1	14	2,95				3,52
2C2	1	4	0,05	3	7	0,52							1,60
2S3	1	4	0,05	1	7	0,52				1	23	5,23	5,80
3S2	1	4	0,05				2	14	2,95				5,95
2I3	1	4	0,05	4	7	0,52							2,12
2J3	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
3I2	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
2C3	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
3C2	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
3S3	1	4	0,05				1	14	2,95	1	23	5,23	8,23
3I3	1	4	0,05	3	7	0,52	1	14	2,95				4,55
3J3	1	4	0,05	1	7	0,52	2	14	2,95				6,47
3C3	1	4	0,05	1	7	0,52	2	14	2,95				6,47
3D3	1	4	0,05	1	7	0,52	2	14	2,95				6,47
3D4	1	4	0,05				3	14	2,95				8,90
3Q4	1	4	0,05	4	7	0,52	1	14	2,95				5,07
3T6	1	4	0,05				4	14	2,95				11,85
2CB	1	4	0,05	1	7	0,52							0,57
3CB	1	4	0,05				1	14	2,95				3,00
4CB	2	4	0,05				1	14	2,95				3,06
2SB1	1	4	0,05	2	7	0,52							1,09
2IB2	1	4	0,05	3	7	0,52							1,60

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

Tabela 3.54 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Nominal e Metodologia de FEC da AASHTO)

Peso considerado por tipo de eixo

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	4
ESRD	7
EDRD	14
ETRD	23

Tipo de Veículo*	Fatores do Método DNER-PRO 159/85												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	Tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	4	0,06	1	7	0,51							0,57
3C	1	4	0,06				1	14	0,74				0,79
2S1	1	4	0,06	2	7	0,51							1,08
4C	1	4	0,06							1	23	1,01	1,07
4CD	2	4	0,06				1	14	0,74				0,85
2S2	1	4	0,06	1	7	0,51	1	14	0,74				1,30
2I2	1	4	0,06	3	7	0,51							1,60
3S1	1	4	0,06	1	7	0,51	1	14	0,74				1,30
2C2	1	4	0,06	3	7	0,51							1,60
2S3	1	4	0,06	1	7	0,51				1	23	1,01	1,58
3S2	1	4	0,06				2	14	0,74				1,53
2I3	1	4	0,06	4	7	0,51							2,11
2J3	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
3I2	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
2C3	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
3C2	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
3S3	1	4	0,06				1	14	0,74	1	23	1,01	1,80
3I3	1	4	0,06	3	7	0,51	1	14	0,74				2,33
3J3	1	4	0,06	1	7	0,51	2	14	0,74				2,04
3C3	1	4	0,06	1	7	0,51	2	14	0,74				2,04
3D3	1	4	0,06	1	7	0,51	2	14	0,74				2,04
3D4	1	4	0,06				3	14	0,74				2,26
3Q4	1	4	0,06	4	7	0,51	1	14	0,74				2,84
3T6	1	4	0,06				4	14	0,74				3,00
2CB	1	4	0,06	1	7	0,51							0,57
3CB	1	4	0,06				1	14	0,74				0,79
4CB	2	4	0,06				1	14	0,74				0,85
2SB1	1	4	0,06	2	7	0,51							1,08
2IB2	1	4	0,06	3	7	0,51							1,60

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

Tabela 3.55 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Equivalente USACE)

Peso considerado por tipo de eixo

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	5,0
ESRD	11,0
EDRD	15,5
ETRD	24,5

Tipo de Veículo*	Fatores do Método do DNER												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	Ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	5	0,13	1	11	5,97							6,10
3C	1	5	0,13				1	15,5	5,15				5,28
2S1	1	5	0,13	2	11	5,97							12,07
4C	1	5	0,13							1	24,5	7,44	7,57
4CD	2	5	0,13				1	15,5	5,15				5,42
2S2	1	5	0,13	1	11	5,97	1	15,5	5,15				11,26
2I2	1	5	0,13	3	11	5,97							18,04
3S1	1	5	0,13	1	11	5,97	1	15,5	5,15				11,26
2C2	1	5	0,13	3	11	5,97							18,04
2S3	1	5	0,13	1	11	5,97				1	24,5	7,44	13,54
3S2	1	5	0,13				2	15,5	5,15				10,44
2I3	1	5	0,13	4	11	5,97							24,02
2J3	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
3I2	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
2C3	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
3C2	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
3S3	1	5	0,13				1	15,5	5,15	1	24,5	7,44	12,72
3I3	1	5	0,13	3	11	5,97	1	15,5	5,15				23,20
3J3	1	5	0,13	1	11	5,97	2	15,5	5,15				16,41
3C3	1	5	0,13	1	11	5,97	2	15,5	5,15				16,41
3D3	1	5	0,13	1	11	5,97	2	15,5	5,15				16,41
3D4	1	5	0,13				3	15,5	5,15				15,59
3Q4	1	5	0,13	4	11	5,97	1	15,5	5,15				29,17
3T6	1	5	0,13				4	15,5	5,15				20,74
2CB	1	5	0,13	1	11	5,97							6,10
3CB	1	5	0,13				1	15,5	5,15				5,28
4CB	2	5	0,13				1	15,5	5,15				5,42
2SB1	1	5	0,13	2	11	5,97							12,07
2IB2	1	5	0,13	3	11	5,97							18,04

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

Tabela 3.56 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo (Peso Equivalente AASHTO)

Peso considerado por tipo de eixo

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	5,0
ESRD	10,0
EDRD	14,0
ETRD	23,0

Tipo de Veículo*	Fatores do Método DNER-PRO 159/85												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	5	0,15	1	10	2,39							2,54
3C	1	5	0,15				1	14	0,74				0,88
2S1	1	5	0,15	2	10	2,39							4,94
4C	1	5	0,15							1	23	1,01	1,16
4CD	2	5	0,15				1	14	0,74				1,03
2S2	1	5	0,15	1	10	2,39	1	14	0,74				3,28
2I2	1	5	0,15	3	10	2,39							7,33
3S1	1	5	0,15	1	10	2,39	1	14	0,74				3,28
2C2	1	5	0,15	3	10	2,39							7,33
2S3	1	5	0,15	1	10	2,39				1	23	1,01	3,55
3S2	1	5	0,15				2	14	0,74				1,62
2I3	1	5	0,15	4	10	2,39							9,73
2J3	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
3I2	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
2C3	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
3C2	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
3S3	1	5	0,15				1	14	0,74	1	23	1,01	1,89
3I3	1	5	0,15	3	10	2,39	1	14	0,74				8,07
3J3	1	5	0,15	1	10	2,39	2	14	0,74				4,01
3C3	1	5	0,15	1	10	2,39	2	14	0,74				4,01
3D3	1	5	0,15	1	10	2,39	2	14	0,74				4,01
3D4	1	5	0,15				3	14	0,74				2,35
3Q4	1	5	0,15	4	10	2,39	1	14	0,74				10,46
3T6	1	5	0,15				4	14	0,74				3,09
2CB	1	5	0,15	1	10	2,39							2,54
3CB	1	5	0,15				1	14	0,74				0,88
4CB	2	5	0,15				1	14	0,74				1,03
2SB1	1	5	0,15	2	10	2,39							4,94
2IB2	1	5	0,15	3	10	2,39							7,33

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

3.3.5 – Distribuição de pesos transportados por tipo de eixo

As tabelas 3.57 a 3.59 mostram o resumo da distribuição média dos pesos transportados por tipo de eixo e por rodovia, segundo as pesquisas realizadas e publicadas por Moreira e Andrada e retrabalhadas nesta pesquisa.

Tabela 3.57 - BR-232/PE; Pesquisas de 2004 e 2007 – Peso Médio Transportado

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	25966	23,3%
ESRD	26939	24,2%
EDRD	39489	35,4%
ETRD	19088	17,1%
TOTAL	111482	100,0%

Tabela 3.58 - BR - 101/PE; Pesquisas de 2004 e 2007 – Peso Médio Transportado

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	21818	18,1%
ESRD	20394	16,9%
EDRD	52839	43,8%
ETRD	25576	21,2%
TOTAL	120627	100,0%

Tabela 3.59 - BR - 232 E 101/PE; Pesquisas de 2004 e 2007 – Peso Médio Transportado

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	47784	20,6%
ESRD	47333	20,4%
EDRD	92328	39,8%
ETRD	44664	19,2%
TOTAL	232109	100,0%

Considerando a média das pesquisas realizadas nas duas rodovias federais, cerca de 40% do peso transportado se dá pelo eixo tipo EDRD enquanto que os demais 60% do peso se divide praticamente igualitariamente entre os outros três tipos de eixo.

3.3.6 – Considerações finais

É comum, atualmente, na elaboração de projetos de engenharia rodoviária, não se dispor de pesagens de eixos de veículos para cálculo dos parâmetros de solicitação de cargas, qualquer que seja a metodologia utilizada para quantificar o peso que irá demandar o pavimento.

Por outro lado, grande parte da divulgação de pesquisas de pesagem de eixos, quando existentes, apresenta apenas os percentuais de sobrepeso transportado por tipo de eixo.

Assim, é bastante usual, para cálculo de fatores de veículos decorrentes das aplicações das metodologias de equivalência de cargas da AASHTO e do USACE, por exemplo, considerar a frota de veículos trafegando, parte (estipula-se um percentual) com o peso limite imposto pela "Lei da Balança" e o restante trafegando vazio (em geral 80% e 20%, respectivamente), algumas vezes considerando a tolerância prevista em lei e em outras, não. Essas considerações são feitas para o total da frota comercial, sem distinguir os vários tipos de eixo, Ou seja, são estimativas pouco embasadas.

Outro procedimento comum é utilizar diretamente fatores de veículos divulgados em trabalhos desatualizados ou presentes em outros projetos considerados de características semelhantes ao que se está elaborando, apresentando, também, pouca confiabilidade.

Por esses motivos, além de divulgar resultados de pesquisas recentes de pesagem de veículos, também foi apresentada uma metodologia que utiliza os dados dessas pesquisas para determinar os fatores de veículos por tipo de eixo, sendo os resultados válidos, evidentemente, apenas para os dados trabalhados. Contudo, esses dados são representativos para o segmento objeto deste trabalho e a aplicação dos valores dos FV demonstrados (ver também o Apêndice A) no estudo de tráfego apresentado no projeto de engenharia descrito no item 3.2, mantendo inalterados os demais parâmetros e conceitos, resultaria em uma redução do número N em aproximadamente 20%.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1 INTRODUÇÃO

Como já descrito no capítulo 3, a BR-232 é uma rodovia federal localizada no estado de Pernambuco com início na capital seguindo em direção ao interior do estado. É uma rodovia interceptada por várias outras rodovias ao longo de seu percurso, tais como as rodovias BR-104 e BR-423. Dentre as várias cidades servidas por esta rodovia, citam-se as cidades de Caruaru e São Caetano, cidades pelas quais se delimita a área de estudo desta dissertação, como mostra a figura 4.1.

Figura 4.1 – Registro de fotografia de satélite do trecho entre Caruaru e São Caetano da BR-232 (Google Earth).

O trecho estudado localiza-se no intervalo entre a estaca de número 240 até a estaca 745, sendo considerado na borda direita, no sentido Caruaru – São Caetano, o intervalo compreendido entre as estacas 240 e 740 e na borda esquerda da mesma pista duplicada o intervalo compreendido entre as estacas 245 a 745, totalizando 500 estacas por borda em um percurso aproximado de 10 km. No trecho entre as estacas supracitadas, tem-se a rodovia em pista dupla sendo uma denominada pista existente e outra denominada pista nova como mostrado na figura 4.2.

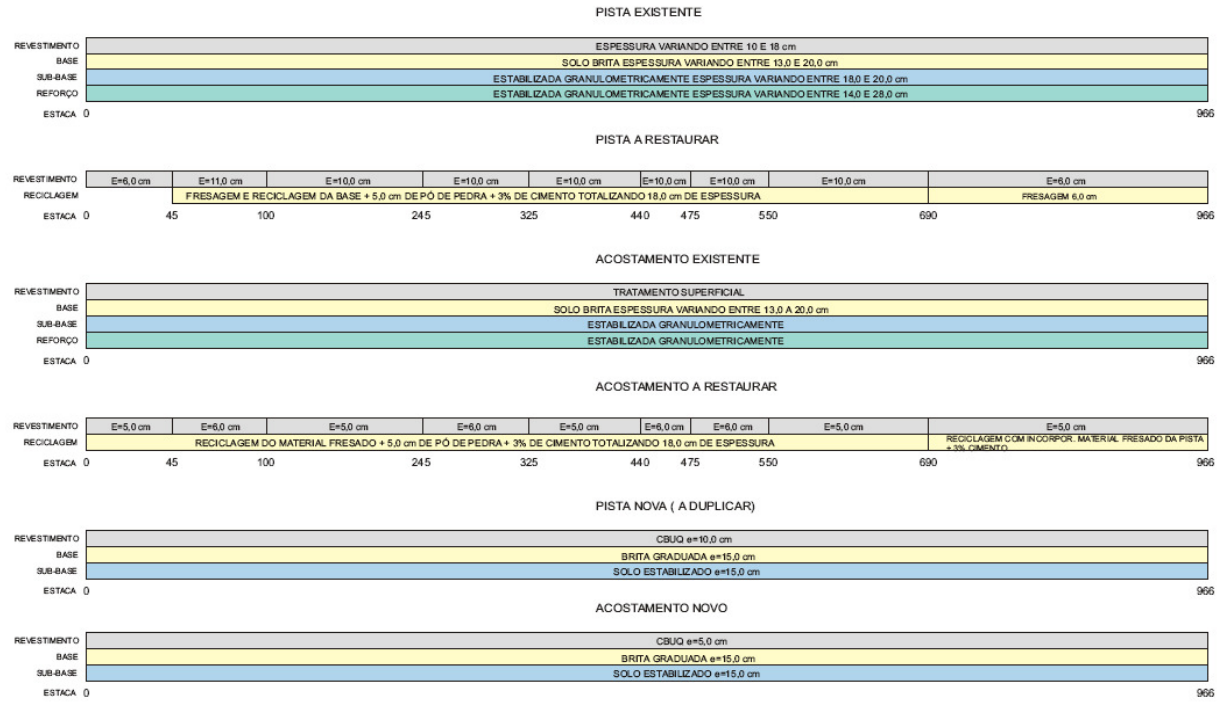


Figura 4.2 – Gráfico linear de pavimentação do segmento estudado nesta pesquisa.

O pavimento analisado neste trabalho refere-se ao da pista nova. Esta pista apresenta a estrutura do revestimento com uma camada de Capa de 5cm de espessura constituída de CBUQ, material enquadrado na faixa C do DNIT e uma camada de ligação de 5 cm de espessura constituída de CBUQ, material enquadrado na faixa B do DNIT, base de brita graduada com 15 cm de espessura e sub-base estabilizada granulometricamente sem mistura, também com 15 cm, conforme citado no capítulo 3 mostrado na figura 4.3. Foi inaugurado em janeiro de 2008.

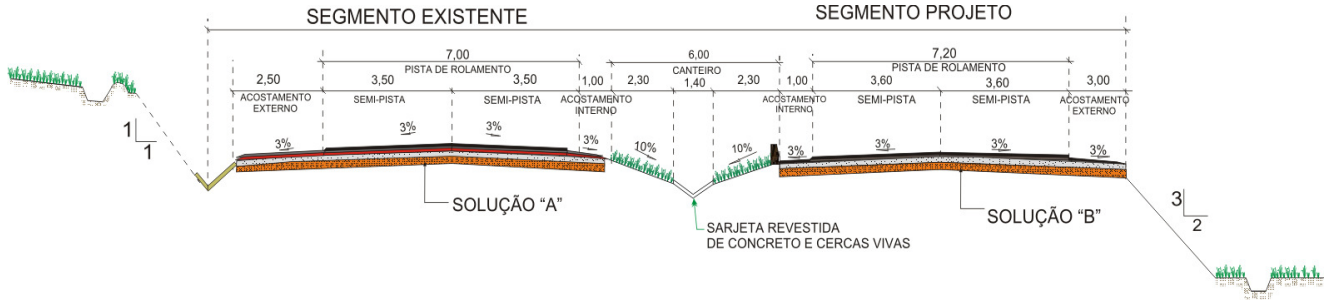


Figura 4.3 – Seção Transversal-Tipo de Pavimentação do segmento desta pesquisa.

4.2 METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a obtenção dos dados necessários à caracterização das camadas componentes da estrutura do segmento da BR-232/PE, compreendido entre as cidades de Caruaru e São Caetano (estaca 240 à estaca 745 da pista duplicada), realizaram-se três etapas distintas de estudos. A primeira etapa, referente aos estudos iniciais, a segunda, referente aos estudos intermediários e a terceira referente aos estudos finais, conforme detalhado em seguida.

4.2.1 Estudos iniciais.

Na fase de estudos iniciais (primeiro semestre de 2005), as atividades realizadas foram as referentes à visita de reconhecimento do trecho, coleta de amostras das jazidas e realização de ensaios de caracterização, além da realização dos ensaios iniciais nos materiais do revestimento da rodovia (o segmento da pesquisa foi o primeiro do trecho a ser pavimentado).

Na visita de reconhecimento, buscou-se verificar visualmente as condições em que se encontrava o segmento considerado. Foram visitados alguns pontos do trecho e os locais das jazidas, de onde seriam extraídos os materiais a serem utilizados na execução do restante do trecho.

Das jazidas e empréstimos, foram coletadas algumas amostras de solo para realizar, em laboratório, os ensaios de caracterização dos materiais, objetivando a obtenção das características e propriedades dos materiais coletados a serem utilizados no restante do pavimento que complementariam os 19km do trecho, conforme mostrado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Ensaios de caracterização de empréstimos e jazidas que seriam utilizados nas camadas de acabamento de terraplenagem e sub-base dos segmentos restantes a pavimentar.

RESUMO DE ENSAIOS

PROJETO: **BR232 – CARUARU – SÃO CAETANO**	**INTERESSADO:**	**MUNICÍPIO:**
PROCEDÊNCIA: EMPRÉSTIMOS/JAZIDAS	**LOCALIZAÇÃO:** BR 232/PE	**PROPRIETÁRIO:**
LABORATÓRIO: LEPDEC/CTRN/UFCG	**OPERADOR:**	**VISTO:**

OCORRÊNCIA			**EMP18**	**EMP25**	**JAZ.01**	**JAZ.06**				
LADO										
REGISTRO N^{O}										
FURO										
PROFUNDIDADE										
GRANULOMETRIA	**PENEIRA % PASSANDO**	2”	**100**	**100**	**100**	**100**				
		1”	**100**	**94**	**92**	**92**				
		3/8”	**94**	**72**	**75**	**76**				
		N^{0} 4	**89**	**63**	**63**	**64**				
		N^{0} 10	**79**	**53**	**50**	**54**				
		N^{0} 40	**48**	**38**	**30**	**36**				
		N^{0} 200	**25**	**25**	**17**	**22**				
L L			**NL**	**27**	**28**	**NL**				
IP			**NP**	**4**	**10**	**NP**				
IG										
CLASSIF. HRB			A.1.b	A.1.b	A.2.4	A.2.4				
COMPACTAÇÃO	DENSIDADE MÁXIMA		1.960	2.170	2.090	1.950				
	UMIDADE ÓTIMA		6,7	8,3	9,4	6,9				
CBR			10	9	15	34				
EXP. (%)			0,04	0,1	0,2	0,06				
DENSIDADE REAL										
MATERIAL DE **EMPRÉSTIMO** – COMPACTAÇÃO PROCTOR **NORMAL – CAMADA FINAL DE TERRAPLENAGEM** MATERIAL DE **JAZIDA** COMPACTAÇÃO - PROCTOR **INTERMEDIÁRIO – SUB-BASE**										

Após a realização desses ensaios, partiu-se para a execução dos ensaios iniciais nos materiais do revestimento que estava sendo executado em outras partes do trecho.

Em dezembro do ano de 2005, a empresa responsável pela execução da obra moldou e enviou para o Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande, a primeira remessa de corpos-de-prova com material da Capa e do Binder (camada de ligação). Para esses corpos-de-prova foram realizados os ensaios de determinação dos parâmetros volumétricos, tais como índice de vazios, volume de agregado mineral, entre outros. Em etapas posteriores também foram realizados ensaios de Resistência à tração, Fadiga e Módulo Resiliente.

Os ensaios de determinação dos parâmetros volumétricos e resistência à tração, foram realizados em corpos-de-prova da Capa e do Binder, cujos materiais enquadram-se na faixa C e faixa B (CAP 50-70 da LUBNOR - refinaria de Fortaleza), respectivamente, segundo as prescrições do DNER (DNER-ME 043-95). Os resultados obtidos nos ensaios de parâmetros volumétricos estão apresentados no Anexo E e os de resistência à tração na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Ensaio de resistência à tração da fase inicial das amostras de CBUQ, faixas B e C do segmento em estudo

C.P.	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga (leitura) (kgf)	Carga de ruptura (kgf)	Resistência à tração	
					Kgf/cm^2	KPa
Camada: Capa de Rolamento (CBUQ C)						
1	6,40	10,16	199	371,14	3,63	0,363
3	6,34	10,18	204	380,46	3,75	0,375
16	6,34	10,8	272	507,28	5,00	0,500
21	6,31	10,6	310	578,15	5,74	0,574
Média					4,56	0,456
Camada de Ligação (Binder – CBUQ B)						
13	6,24	10,15	270	503,55	5,06	0,506
20	6,26	10,19	263	490,50	4,90	0,490
24	6,26	10,17	251	468,12	4,68	0,468
29	6,15	10,17	276	514,74	5,25	0,525
Média					4,97	0,497

O ensaio de Fadiga por compressão diametral foi realizado para corpos-de-prova moldados pela empreiteira, com características idênticas aos materiais citados anteriormente. Neste

ensaio buscou-se analisar a relação Vida de fadiga/Diferença de tensões e a relação Vida de fadiga/Deformação especifica resiliente. Os resultados obtidos desses ensaios são apresentados nas tabelas.4.3 e 4.4.

Em seguida realizou-se o ensaio de Módulo Resiliente com o intuito de analisar a relação entre a Tensão de tração aplicada e Deformação específica recuperável. Foram utilizados corpos-de-prova da Capa e do Binder faixa C e B, respectivamente. Da mesma forma, os resultados desse ensaio são mostrados no Apêndice B e resumidos na tabela 4.5.

Tabela 4.3 – Ensaio de fadiga por compressão diametral de amostras de CBUQ, faixa B usados nesta pesquisa

ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: BR232: CARUARU SÃO CAETANO - BINDER | Protocolo:

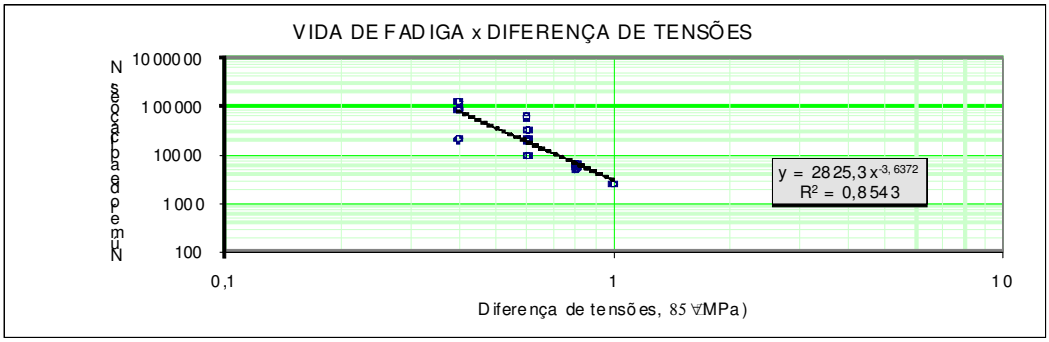
Temperatura de ensaio: 25 °C | Operador(es): *AILTON*

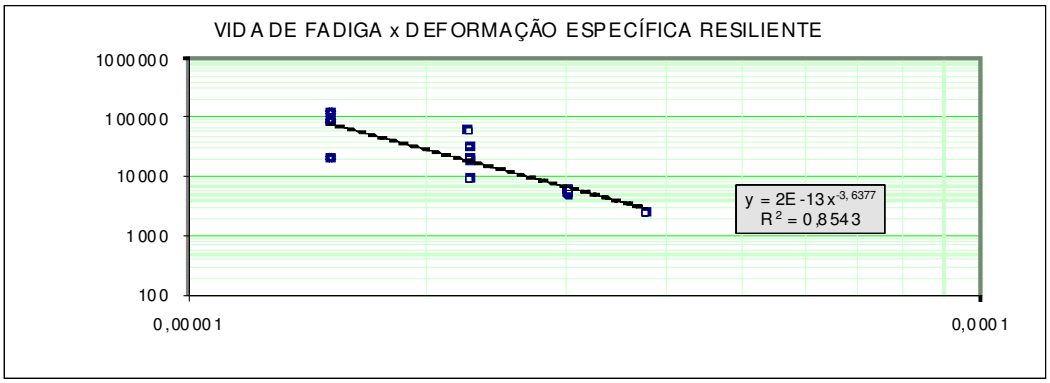
Módulo resiliente médio da amostra: 6624 MPa | Inressado: *Afonso Macedo*

Tensão de tração estática máxima, $\sigma_{Tmax.}$: 0,50 MPa | Data: 27-jan-06

Equação do cil. de carga (4pol): $Pm_{(0-10)} = 0,0128F + 0,0163$; $F_{(0-10)} = 78,295Pm - 1,2442$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
18	6,24	10,17	20	101,6		0,00000151	0,40	89879
16	6,29	10,17	20	102,5		0,00000151	0,40	21279
22	6,36	10,16	20	103,5		0,00000151	0,40	84129
28	6,15	10,17	20	100,2		0,00000151	0,40	125382
05	6,38	10,17	30	155,9		0,00000226	0,60	20993
14	6,35	10,19	30	154,6		0,00000225	0,60	61581
15	6,30	10,17	30	153,9		0,00000226	0,60	32293
25	6,29	10,16	30	153,5		0,00000226	0,60	9564
27	6,18	10,16	30	150,9		0,00000226	0,60	19251
04	6,32	10,17	40	205,9		0,00000302	0,80	5150
17	6,31	10,17	40	205,6		0,00000302	0,80	5855
21	6,34	10,15	40	206,1		0,00000302	0,80	6179
30	6,34	10,17	40	206,6		0,00000302	0,80	6130
02	6,34	10,17	50	258,2		0,00000377	1,00	2492
06	6,32	10,16	50	257,1		0,00000377	1,00	2803
07	6,31	10,17	50	257,0		0,00000377	1,00	2696
11	6,34	10,18	50	258,4		0,00000377	1,00	2487





F001-2001

Tabela 4.4 – Ensaio de fadiga por compressão diametral de amostras de CBUQ, faixa C usados nesta pesquisa

ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: BR232 CARUARU - SÃO CAETANO CAPA | Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C | Operador(es): *AILTON*

Módulo resiliente médio da amostra: 4972 MPa | Inressado: *Afonso Macedo*

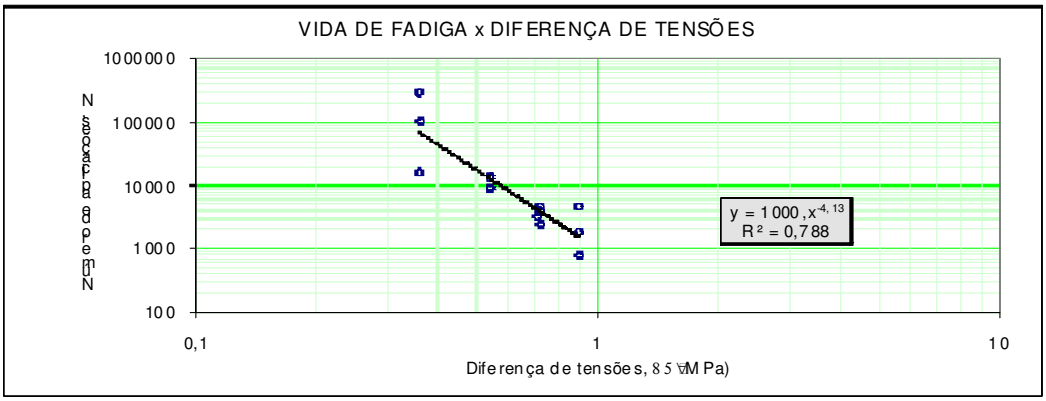
Tensão de tração estática máxima, $T_{max.}$: 0,45 MPa | Data: 7-dez-05

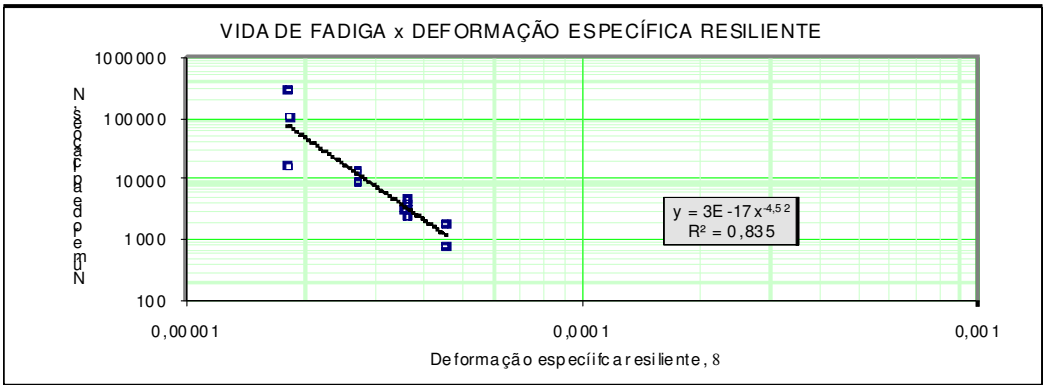
Equação do cil. de carga (4pol): Em, 26/09/2000

$Pm_{(0-10)} = 0{,}0128F + 0{,}0163$

$F_{(0-10)} = 78{,}295Pm - 1{,}2442$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
06	6,31	10,12	20	92,1		0,00000181	0,36	16324
17	6,29	10,16	20	92,7		0,00000182	0,36	104400
19	6,32	10,16	20	92,6		0,00000181	0,36	290131
10	6,35	10,16	30	139,5		0,00000271	0,54	8963
14	6,29	10,16	30	138,2		0,00000271	0,54	13214
15	6,28	10,17	30	138,1		0,00000271	0,54	9233
25	6,31	10,18	30	138,9		0,00000271	0,54	14156
07	6,34	10,14	40	185,4		0,00000362	0,72	2442
09	6,40	10,14	40	184,1		0,00000356	0,71	3223
12	6,35	10,12	40	185,3		0,00000362	0,72	4673
13	6,34	10,16	40	185,7		0,00000362	0,72	3908
04	6,45	10,13	50	235,5		0,00000452	0,90	807
11	6,43	10,2	50	236,4		0,00000452	0,90	1871
22	6,26	10,18	50	229,7		0,00000452	0,90	4720
26	6,12	10,17	50	224,3		0,00000452	0,90	1113





F001-2001

Tabela 4.5 – Resumo dos módulos resilientes ensaiados na fase inicial com CBUQ B e C

Módulo resiliente médio obtido por ensaio de Compressão Diametral (MPa)	
Camada: Capa de Rolamento (CBUQ C)	
Corpo-de-prova (número)	Módulo médio
2	5170
8	4869
23	4573
24	5276
Média	**4972**
Camada: Camada de Ligação (Binder - CBUQ B)	
Corpo-de-prova (número)	Módulo médio
1	6561
3	6568
12	7031
18	5276
Média	**6624**

4.2.2 Estudos intermediários.

Em virtude dos ensaios realizados na etapa inicial não apresentarem coerência (relação MR / RT excessivamente elevada, não compatível com a inspeção visual do revestimento), foi necessário à realização de novos ensaios para determinar os parâmetros citados anteriormente. Para isso, a empresa responsável pela execução da obra moldou e enviou a segunda remessa de corpos-de-prova para o Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande, ainda no primeiro semestre de 2005. Os materiais componentes dos corpos-de-prova foram semelhantes aos que compuseram os corpos-de-prova anteriores.

A realização desses ensaios deu-se de forma análoga à etapa de estudos iniciais, exceto para os ensaios de Fadiga e Módulo Resiliente, os quais não foram executados nessa fase.

Os resultados apresentados nessa etapa também não forneceram valores coerentes (baixos valore de Resistência à Tração), conforme pode ser observado nas tabelas 4.6 e 4.7 que

informam os resultados dos ensaios de tração e no Apêndice B onde são apresentados os valores dos ensaios de parâmetros volumétricos. Diante disso, buscou-se a solução realizando uma nova etapa de estudos, denominando-a de estudos finais.

Tabela 4.6 – Ensaio de resistência à tração; fase intermediária do CBUQ C desta pesquisa

C.P.	altura (cm)	Diâmetro cm	Carga de ruptura kgf	Resistência a Tração kgf/cm^2	Resistência a Tração (MPa)
1	6,33	10,16	462,00	4,57	0,457
2	6,42	10,18	324,00	3,16	0,316
3	6,36	10,18	371,00	3,65	0,365
4	6,39	10,16	481,00	4,72	0,472
5	6,26	10,18	286,00	2,86	0,286
6	6,37	10,18	309,00	3,03	0,303
7	6,40	10,17	590,00	5,77	0,577
8	6,36	10,14	762,00	7,53	0,753
9	6,41	10,18	681,00	6,64	0,664
10	6,34	10,17	809,00	7,99	0,799
11	6,46	10,15	619,00	6,01	0,601
12	6,41	10,17	371,00	3,62	0,362
13	6,42	10,18	338,00	3,29	0,329
14	6,36	10,17	657,00	6,47	0,647
15	6,31	10,17	342,00	3,39	0,339
16	6,40	10,16	547,00	5,35	0,535
17	6,29	10,17	857,00	8,53	0,853
18	6,30	10,17	595,00	5,91	0,591
19	6,32	10,18	538,00	5,32	0,532
20	6,33	10,15	524,00	5,19	0,519
21	6,37	10,16	324,00	3,19	0,319
22	6,39	10,17	505,00	4,95	0,495
23	6,39	10,19	590,00	5,77	0,577
24	6,37	10,18	600,00	5,89	0,589
25	6,32	10,18	643,00	6,36	0,636
26	6,18	10,17	500,00	5,06	0,506
27	6,22	10,16	488,00	4,92	0,492
28	6,30	10,18	475,00	4,72	0,472
29	6,29	10,17	496,00	4,93	0,493
30	6,37	10,16	502,00	4,94	0,494
Média					0,512
Desvio Padrão					0,147

Tabela 4.7 – Ensaio de resistência à tração; fase intermediária do CBUQ B desta pesquisa

C.P.	Altura (cm)	Diâmetro cm	Carga de ruptura cm	Resistência a Tração kgf/cm^2	Resistência a Tração (MPa)
31	6,33	10,16	466,00	4,61	0,461
32	6,42	10,17	509,00	4,96	0,496
33	6,48	10,18	386,00	3,73	0,373
34	6,29	10,17	333,00	3,31	0,331
35	6,25	10,17	367,00	3,67	0,367
36	6,27	10,17	290,00	2,89	0,289
37	6,46	10,17	419,00	4,06	0,406
38	6,23	10,16	328,00	3,30	0,330
39	6,22	10,15	323,00	3,26	0,326
40	6,32	10,13	376,00	3,74	0,374
41	6,34	10,17	338,00	3,34	0,334
42	6,03	10,16	343,00	3,56	0,356
43	6,38	10,15	319,00	3,13	0,313
44	6,28	10,16	390,00	3,89	0,389
45	6,41	10,15	386,00	3,78	0,378
46	6,39	10,14	390,00	3,83	0,383
47	6,30	10,20	324,00	3,21	0,321
48	6,24	10,16	333,00	3,34	0,334
49	6,34	10,17	371,00	3,66	0,366
50	6,72	10,17	357,00	3,33	0,333
51	6,22	10,17	452,00	4,55	0,455
52	6,43	10,15	442,00	4,31	0,431
53	6,28	10,16	343,00	3,43	0,343
54	6,21	10,17	338,00	3,40	0,340
55	6,47	10,17	419,00	4,05	0,405
56	6,38	10,17	495,00	4,86	0,486
57	6,45	10,17	443,00	4,30	0,430
58	6,37	10,16	438,00	4,31	0,431
59	6,27	10,17	386,00	3,85	0,385
60	6,22	10,17	333,00	3,35	0,335
Média					0,377
Desvio Padrão					0,053

O aspecto geral da obra era bom, mas, os resultados dos ensaios não condiziam com essa impressão. A desconfiança se dava em relação à moldagem dos corpos-de-prova e por esse motivo realizou-se toda uma campanha de pesquisas denominada de Estudos Finais visando dirimir as dúvidas.

4.2.3 Estudos Finais.

Na etapa final, no último trimestre de 2005 e início de 200, foi realizada uma série de novos ensaios e medidas objetivando encontrar resultados mais precisos e definitivos, face às dúvidas que surgiram com os resultados das fases anteriores.

Além dos ensaios realizados nas fases anteriores, optou-se por acrescentar, na etapa final, uma campanha deflectométrica realizada com Viga Benkelman. Dessa forma, os resultados são apresentados divididos em ensaios de laboratório e de campo com as medidas de deflexão, como mostrado em seguida.

4.2.3.1 Ensaios realizados em laboratório.

Com o intuito de se obter dados mais precisos e garantir maior amplitude de dados buscando melhores resultados, adicionalmente, foram realizados novos ensaios com corpos-de-prova extraídos na pista e também com corpos-de-prova moldados na Usina de Asfalto.

A metodologia para escolha dos locais para retirada dos corpos-de-prova foi a seguinte:

- Inicialmente o trecho foi dividido em 10 segmentos de 1,0 km cada;

- Foram realizadas medidas de deflexão com a viga Benkelman a cada 5 estacas alternadamente nas faixas interna e externa de tráfego;

- Para cada segmento de 1,0 km foram identificadas as bacias de deformação cujas leituras de deflexão no centro da carga (D0) representou os valores máximo, médio ou mínimo;

- Identificadas as estacas onde se localizavam as bacias notáveis (máxima, média e mínima), extraíram-se quatro corpos-de-prova no mesmo alinhamento horizontal da estaca, sendo dois corpos-de-prova da capa de rolamento nas faixas de tráfego interna e externa da nova pista duplicada e dois corpos-de-prova da camada de ligação (binder) nas mesmas faixas de tráfego, conforme mostrado na figura 4.4;

- Tanto quanto possível, os corpos-de-prova foram extraídos nas trilhas de roda, porém, em algumas estacas, na camada de ligação (binder), os corpos-de-prova tiveram que ser extraídos do acostamento em virtude de quebra das testemunhas do material da pista de rolamento;

- Na numeração dos corpos-de-prova da camada de ligação (binder) foi acrescido um "x" para distingui-los dos corpos-de-prova da capa de rolamento.

- Os corpos-de-prova com numeração par se referem à faixa de tráfego externa e a ímpar corresponde à interna (pista com duas faixas de tráfego – pista dupla).

Visando um possível monitoramento/acompanhamento da evolução do desempenho do pavimento, os cadastros dos corpos-de-prova são apresentados nas tabelas 4.8 e 4.9 para os corpos-de-prova da capa de rolamento e camada de ligação (binder), respectivamente.

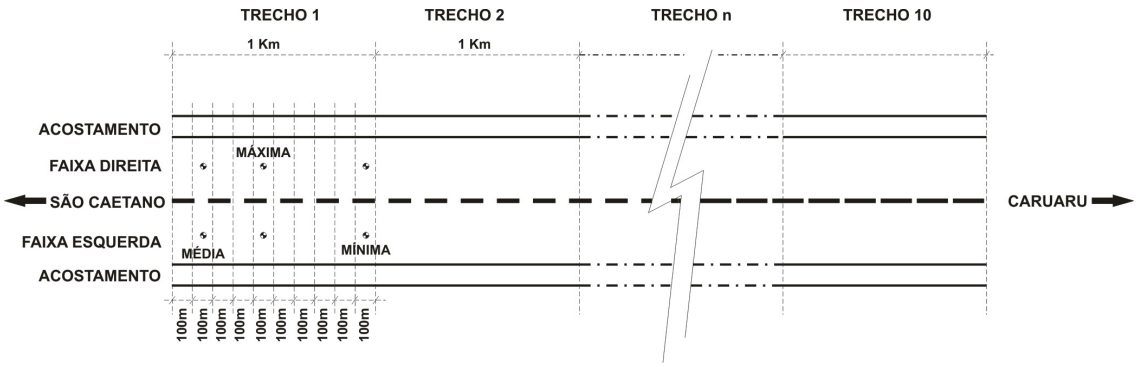


Figura 4.4 – Esquema usado para locar pontos de extração dos corpos-de-prova in loco.

Tabela 4.8 – Cadastro dos corpos-de-prova extraídos "in loco" da capa de rolamento.

Nº CP	H_1	H_2	H_3	$H_{médio}$	D_1	D_2	D_3	$D_{médio}$
1	3,30	3,45	3,40	**3,38**	9,87	9,86	9,87	**9,87**
2	5,87	5,66	5,72	**5,75**	9,90	9,87	9,88	**9,88**
3	5,10	5,30	5,20	**5,20**	9,80	9,90	9,90	**9,87**
4	4,80	4,90	4,70	**4,80**	9,90	9,90	9,90	**9,90**
5	4,80	4,73	5,00	**4,84**	9,87	9,89	9,85	**9,87**
6	4,17	4,22	4,32	**4,24**	9,85	9,89	9,88	**9,87**
7	4,66	4,80	5,00	**4,82**	9,85	9,86	9,86	**9,86**
8	4,25	4,20	4,35	**4,27**	9,90	9,90	9,90	**9,90**
9	4,85	4,70	4,80	**4,78**	9,93	9,90	9,90	**9,91**
10	5,20	4,90	4,90	**5,00**	9,94	9,92	9,95	**9,94**
11	5,00	4,75	4,60	**4,78**	9,90	9,93	9,92	**9,92**
12	4,90	4,70	4,70	**4,77**	9,90	9,90	9,90	**9,90**
13	4,90	5,10	5,30	**5,10**	9,90	9,88	9,94	**9,91**
14	4,70	4,88	4,95	**4,84**	9,90	9,96	9,95	**9,94**
15	5,90	5,95	6,10	**5,98**	9,90	9,90	9,90	**9,90**
16	6,16	6,17	6,31	**6,21**	9,90	9,94	9,87	**9,90**
17	5,30	5,20	5,40	**5,30**	9,93	9,93	9,90	**9,92**
18	4,97	5,10	5,00	**5,02**	9,96	9,96	9,91	**9,94**
19	4,75	4,58	4,64	**4,66**	9,94	9,97	9,93	**9,95**
20	4,20	4,10	4,12	**4,14**	9,96	9,95	9,87	**9,93**
21	5,00	4,86	4,76	**4,87**	9,93	9,97	9,92	**9,94**
22	5,25	5,00	4,83	**5,03**	9,92	9,98	9,93	**9,94**
23	4,95	5,10	5,20	**5,08**	9,93	9,94	9,89	**9,92**
24	5,55	5,50	5,32	**5,46**	9,93	9,94	9,92	**9,93**
25	4,84	5,10	4,85	**4,93**	9,93	9,94	9,92	**9,93**
26	4,81	5,00	4,94	**4,92**	9,93	9,93	9,95	**9,94**
27	4,70	4,55	4,51	**4,59**	9,92	9,95	9,90	**9,92**
28	6,30	6,57	6,65	**6,51**	9,94	9,93	9,95	**9,94**
29	5,14	5,00	5,00	**5,05**	9,95	9,93	9,86	**9,91**
30	4,35	4,55	4,66	**4,52**	9,92	9,93	9,89	**9,91**
31	5,50	5,00	4,80	**5,10**	9,93	9,88	9,95	**9,92**
32	5,10	5,10	5,10	**5,10**	9,95	9,93	9,96	**9,95**
33	5,35	5,26	5,00	**5,20**	9,90	9,89	9,93	**9,91**
34	5,23	5,40	5,40	**5,34**	9,90	9,91	9,94	**9,92**
35	5,40	5,16	5,12	**5,23**	9,90	9,93	9,92	**9,92**
36	5,52	5,77	5,72	**5,67**	9,89	9,90	9,88	**9,89**
37	3,90	3,90	3,98	**3,93**	9,91	9,89	9,93	**9,91**
38	4,89	4,77	5,00	**4,89**	9,94	9,93	9,86	**9,91**
39	5,67	5,66	5,92	**5,75**	9,91	9,96	9,94	**9,94**
40	4,58	4,65	4,72	**4,65**	9,96	9,93	9,95	**9,95**
41	4,32	4,45	4,33	**4,37**	10,02	9,93	9,96	**9,97**
42	4,72	4,69	4,72	**4,71**	9,97	9,95	9,96	**9,96**
43	5,06	4,89	5,12	**5,02**	9,96	9,95	9,94	**9,95**
44	4,52	4,71	4,31	**4,51**	9,98	9,92	9,98	**9,96**
45	6,06	5,77	5,81	**5,88**	9,94	9,93	9,91	**9,93**
46	5,09	5,29	5,16	**5,18**	9,95	9,93	9,96	**9,95**
47	4,38	4,18	4,07	**4,21**	9,95	9,91	9,94	**9,93**
48	6,30	6,20	6,50	**6,33**	9,85	9,91	9,90	**9,89**
49	3,94	3,68	3,75	**3,79**	9,93	9,87	9,91	**9,90**
50	4,35	4,33	4,22	**4,30**	9,87	9,90	9,86	**9,88**
51	4,94	4,90	4,93	**4,92**	9,94	9,94	9,95	**9,94**
52	4,78	4,77	4,78	**4,78**	9,93	9,94	9,94	**9,94**
53	5,95	5,75	5,85	**5,85**	9,98	9,94	9,89	**9,94**
54	6,19	6,04	6,24	**6,16**	9,96	9,96	9,94	**9,95**
55	5,28	5,18	5,23	**5,23**	9,94	9,91	9,93	**9,93**
56	5,66	5,70	5,45	**5,60**	9,91	9,92	9,93	**9,92**
57	5,26	5,17	5,39	**5,27**	9,96	9,95	9,96	**9,96**
58	5,59	5,71	5,69	**5,66**	9,93	9,98	9,93	**9,95**
59	5,23	5,41	5,35	**5,33**	9,91	9,96	9,94	**9,94**
60	4,72	4,44	4,47	**4,54**	9,92	9,94	9,95	**9,94**

Tabela 4.9 – Cadastro dos corpos-de-prova extraídos "in loco" da camada de ligação (binder).

Nº CP	H_1	H_2	H_3	$H_{médio}$	D_1	D_2	D_3	$D_{médio}$
1x	5,00	5,10	5,00	**5,03**	9,87	9,90	9,88	**9,88**
2.1x	4,87	4,94	5,00	**4,94**	9,87	9,84	9,86	**9,86**
3x	4,10	3,90	3,90	**3,97**	9,90	9,90	9,90	**9,90**
4x	3,65	3,39	3,37	**3,47**	9,90	9,90	9,99	**9,93**
5x	4,10	4,50	4,26	**4,29**	9,90	9,90	9,93	**9,91**
6x	4,36	4,48	4,58	**4,47**	9,88	9,89	9,88	**9,88**
7x	3,37	3,56	3,51	**3,48**	9,91	9,84	9,89	**9,88**
8x	4,40	4,40	4,50	**4,43**	9,90	9,89	9,90	**9,90**
9x	4,60	4,70	4,50	**4,60**	9,95	9,97	9,99	**9,97**
10x	4,32	4,41	4,44	**4,39**	9,97	9,99	9,96	**9,97**
11x	3,20	3,50	3,50	**3,40**	9,96	10,00	9,95	**9,97**
12x	4,00	3,90	3,92	**3,94**	9,90	9,95	9,97	**9,94**
13x	4,00	4,16	4,00	**4,05**	9,96	10,00	9,98	**9,98**
14x	4,23	4,50	4,60	**4,44**	9,94	9,96	9,97	**9,96**
15x	4,66	4,53	4,46	**4,55**	9,93	9,95	9,95	**9,94**
16x	5,50	5,31	5,40	**5,40**	9,88	9,90	9,91	**9,90**
17x	4,88	5,31	4,90	**5,03**	9,93	9,98	9,92	**9,94**
17.1x	5,60	5,77	5,80	**5,72**	9,91	9,91	9,89	**9,90**
18x	4,00	4,25	4,36	**4,20**	9,89	9,92	9,92	**9,91**
19x	4,36	4,47	4,41	**4,41**	9,92	10,00	9,96	**9,96**
20x	4,66	4,70	4,60	**4,65**	9,93	9,93	9,95	**9,94**
21x	4,00	4,10	4,20	**4,10**	9,93	9,96	9,94	**9,94**
22x	4,30	3,78	3,89	**3,99**	9,86	9,94	9,87	**9,89**
23x	5,52	5,36	5,54	**5,47**	9,92	9,97	9,92	**9,94**
24x	5,10	5,00	4,93	**5,01**	9,98	9,96	9,94	**9,96**
25x	4,55	4,53	4,71	**4,60**	9,95	9,94	9,95	**9,95**
26x	4,77	4,62	4,66	**4,68**	9,93	9,97	10,00	**9,97**
27x	4,20	3,50	3,10	**3,60**	9,96	10,10	10,10	**10,05**
28.1x	4,97	4,85	5,20	**5,01**	9,93	9,93	9,95	**9,94**
31x	3,55	3,66	3,75	**3,65**	9,90	9,97	10,00	**9,96**
32x	3,78	3,73	3,76	**3,76**	9,97	9,97	9,97	**9,97**
33x	4,25	4,31	4,26	**4,27**	9,97	9,95	9,97	**9,96**
34x	4,40	4,45	4,46	**4,44**	9,97	9,95	9,95	**9,96**
35x	4,80	4,95	4,77	**4,84**	9,95	10,00	9,96	**9,97**
36x	5,51	5,46	5,49	**5,49**	9,90	9,93	9,95	**9,93**
37x	4,50	4,65	4,76	**4,64**	10,00	10,00	9,98	**9,99**
38x	4,15	4,12	4,16	**4,14**	9,96	9,97	9,95	**9,96**
39x	4,42	4,73	4,48	**4,54**	9,98	9,95	9,96	**9,96**
40x	4,92	4,80	4,99	**4,90**	9,96	9,96	9,96	**9,96**
41x	3,56	3,67	3,71	**3,65**	9,94	9,93	10,10	**9,99**
42x	3,80	3,88	3,89	**3,86**	9,96	9,98	9,94	**9,96**
43x	3,80	4,10	3,69	**3,86**	9,98	9,97	9,96	**9,97**
44x	3,52	3,42	3,63	**3,52**	9,95	9,99	9,95	**9,96**
45x	3,83	3,81	4,00	**3,88**	9,92	9,94	9,95	**9,94**
46x	5,37	5,61	5,29	**5,42**	10,10	9,96	9,98	**10,01**
47x	4,25	4,26	4,20	**4,24**	9,93	9,93	9,91	**9,92**
48.1x	4,70	4,90	5,24	**4,95**	9,90	9,93	9,93	**9,92**
49x	3,74	3,59	3,52	**3,62**	9,97	9,95	10,40	**10,11**
50x	2,99	3,12	2,96	**3,02**	10,03	9,93	9,99	**9,98**
51x	3,47	3,19	3,41	**3,36**	9,94	9,96	9,95	**9,95**
52x	3,62	6,41	3,38	**4,47**	9,95	9,96	9,96	**9,96**
53x	4,72	4,82	4,67	**4,74**	9,92	9,91	9,89	**9,91**
54x	4,80	4,42	4,53	**4,58**	9,97	9,94	9,94	**9,95**
55x	3,34	3,52	3,41	**3,42**	9,97	9,96	9,95	**9,96**
56x	3,28	3,54	3,22	**3,35**	9,98	9,97	9,97	**9,97**
57x	4,97	4,92	5,03	**4,97**	9,97	9,96	9,95	**9,96**
58x	4,24	4,23	4,01	**4,16**	9,99	9,95	9,96	**9,97**
59x	3,89	3,90	3,76	**3,85**	9,94	9,93	9,94	**9,94**
60x	5,02	4,92	4,95	**4,96**	9,93	9,92	9,94	**9,93**

Os corpos-de-prova grafados como nn.1x foram extraídos do acostamento.

Para os corpos-de-prova extraídos da pista, os ensaios foram realizados de maneira análoga aos ensaios iniciais, tendo sido executados ensaios para corpos-de-prova com material da Capa e do Binder, com granulometria enquadrando-se nas faixas C e B, respectivamente.

Para os corpos-de-prova moldados na Usina, realizaram-se os mesmos ensaios executados para os corpos-de-prova extraídos da pista, objetivando fazer um comparativo entre os valores obtidos para os parâmetros volumétricos, Resistência à tração, Fadiga, e Módulo Resiliente, entre outros. Os resultados desses ensaios são apresentados em detalhe no Apêndice B. Os resumos de Módulo de Resiliência e ensaios de resistência à tração, são apresentados nas tabelas 4.10 a 4.12 a seguir.

Tabela 4.10 – Resumo dos módulos resilientes ensaiados na fase final com CBUQ B e C de corpos-de-prova moldados na Usina de Asfalto – fase final

Módulo resiliente médio obtido por ensaio de Compressão Diametral (MPa)	
Camada: Capa de Rolamento (CBUQ C)	
Corpo-de-prova (número)	Módulo médio
7	8962
11	7802
12	3949
13	8794
14	1645
15	4580
Média	**5955**
Camada: Camada de Ligação (Binder - CBUQ B)	
Corpo-de-prova (número)	Módulo médio
11	6586
12	7219
13	7971
14	6402
Média	**7045**

Tabela 4.11 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova moldados em usina para CBUQ C deste estudo – etapa final.

C.P. Nº	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência à Tração (kgf/cm^2)	Resistência à Tração (kPa)
1	6,41	10,17	445	829,93	8,10	0,810
2	6,43	10,16	515	960,48	9,36	0,936
3	6,46	10,16	475	885,88	8,59	0,859
4	6,40	10,15	465	867,23	8,50	0,850
5	6,38	10,16	495	923,18	9,07	0,907
6	6,35	10,17	530	988,45	9,74	0,974
8	6,31	10,15	468	872,82	8,68	0,868
9	6,42	10,15	520	969,80	9,47	0,947
10	6,33	10,16	465	867,23	8,58	0,858
Média						0,890

Tabela 4.12 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova moldados em usina para CBUQ B deste estudo – etapa final.

C.P. Nº	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência à Tração (kgf/cm^2)	Resistência à Tração (kPa)
1x	6,38	10,16	465	867,23	8,52	0,852
2x	6,41	10,16	470	876,55	8,57	0,857
3x	6,39	10,17	495	923,18	9,04	0,904
4x	6,35	10,15	505	941,83	9,30	0,930
5x	6,41	10,15	475	885,88	8,67	0,867
6x	6,40	10,17	445	829,93	8,12	0,812
7x	6,38	10,16	485	904,53	8,88	0,888
8x	6,31	10,18	490	913,85	9,06	0,906
9x	6,42	10,16	435	811,28	7,92	0,792
10x	6,43	10,15	450	839,25	8,19	0,819
Média						0,863

Em relação aos corpos-de-prova extraídos na pista, de maneira idêntica aos dados anteriores, os detalhes dos ensaios são mostrados no Apêndice B enquanto os resumos de módulo de resiliência e ensaios de resistência à tração são mostrados nas tabelas 4.13 a 4.16 a seguir.

Tabela 4.13 – Resumo dos módulos de resiliência dos corpos-de-prova extraídos na pista CBUQ C deste estudo – etapa final

CP Nº	ESTACA	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	MR (Mpa)
6	260	4,24	9,87	5884
10	305	4,39	9,97	6405
14	355	4,44	9,96	6590
23	440	5,08	9,92	5876
54	670	6,16	9,95	6252
59	720	4,54	9,94	6456
MÉDIA		**4,81**	**9,94**	**6244**

Tabela 4.14 – Resumo dos módulos de resiliência dos corpos-de-prova extraídos na pista CBUQ B deste estudo – etapa final

CP Nº	ESTACA	ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	MR (Mpa)
2.1x	240	4,94	9,86	2334
6X	260	4,47	9,88	5240
15X	365	4,55	9,94	5206
19X	420	5,03	9,94	4150
23X	440	5,47	9,94	5328
26X	450	4,68	9,97	4591
39X	565	4,54	9,96	3615
46X	605	5,42	10,01	6375
54X	670	4,58	9,95	5127
MÉDIA		**4,85**	**9,94**	**4663**

Os corpos-de-prova foram retirados em aproximadamente um ano após a pavimentação, porém, antes da abertura ao tráfego. Nesse período só houve tráfego de obra.

O teor de vazios e o grau de compactação, como detalhado no Apêndice B, apresentaram valores normais e obedecendo a norma vigente.

Tabela 4.15 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova extraídos na pista para CBUQ C do segmento em estudo – etapa final.

C.P. Nº	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (cm)	Resistência à Tração (kgf/cm^2)	Resistência à Tração (kPa)
1	3,38	9,87	260	484,90	9,25	0,925
4	4,80	9,90	550	1025,75	13,74	1,374
5	4,84	9,87	552	1029,48	13,72	1,372
8	4,27	9,90	472	880,28	13,26	1,326
9	4,78	9,91	494	921,31	12,38	1,238
12	4,77	9,90	553	1031,35	13,90	1,390
13	5,10	9,91	542	1010,83	12,73	1,273
16	6,21	9,90	590	1100,35	11,39	1,139
17	5,30	9,92	539	1005,24	12,17	1,217
20	4,14	9,93	442	824,33	12,77	1,277
21	4,87	9,94	473	882,15	11,60	1,160
24	5,46	9,93	427	796,36	9,35	0,935
25	4,93	9,93	447	833,66	10,84	1,084
28	6,51	9,94	475	885,88	8,72	0,872
29	5,05	9,91	601	1120,87	14,26	1,426
32	5,10	9,95	529	986,59	12,38	1,238
33	5,20	9,91	448	835,52	10,32	1,032
36	5,67	9,89	418	779,57	8,85	0,885
37	3,93	9,91	304	566,96	9,27	0,927
40	4,65	9,95	354	660,21	9,08	0,908
41	4,37	9,97	508	947,42	13,84	1,384
45	5,88	9,93	490	913,85	9,96	0,996
48	6,33	9,89	471	878,42	8,93	0,893
49	3,79	9,90	512	954,88	16,20	1,620
52	4,78	9,94	543	1012,70	13,57	1,357
53	5,85	9,94	508	947,42	10,37	1,037
56	5,60	9,92	501	934,37	10,71	1,071
57	5,27	9,96	452	842,98	10,22	1,022
60	4,54	9,94	543	1012,70	14,29	1,429
Média						1,166
Desvio Padrão						0,207

Tabela 4.16 – Ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova extraídos na pista para CBUQ B do segmento em estudo – etapa final.

C.P. Nº	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (cm)	Resistência à Tração (kgf/cm^2)	Resistência à Tração (kPa)
1x	5,03	9,88	530	988,45	12,66	1,266
4x	3,47	9,93	290	540,85	9,99	0,999
5x	4,29	9,91	452	842,98	12,62	1,262
8x	4,43	9,90	248	462,52	6,71	0,671
9x	4,60	9,97	395	736,68	10,23	1,023
12x	3,94	9,94	242	451,33	7,34	0,734
13x	4,05	9,98	394	734,81	11,57	1,157
16x	5,40	9,90	442	824,33	9,82	0,982
17.1x	5,03	9,94	519	967,94	12,32	1,232
20x	4,65	9,94	451	841,12	11,59	1,159
21x	4,10	9,94	458	854,17	13,34	1,334
24x	5,01	9,96	418	779,57	9,95	0,995
25x	4,60	9,95	401	747,87	10,40	1,040
28.1x	5,01	9,94	341	635,97	8,13	0,813
32x	3,76	9,97	352	656,48	11,15	1,115
33x	4,27	9,96	358	667,67	9,99	0,999
36x	5,49	9,93	434	809,41	9,45	0,945
37x	4,64	9,99	397	740,41	10,17	1,017
40x	4,90	9,96	431	803,82	10,49	1,049
41x	3,65	9,99	338	630,37	11,01	1,101
45x	3,88	9,94	332	619,18	10,22	1,022
48.1x	4,95	9,92	374	697,51	9,04	0,904
49x	3,62	10,11	294	548,31	9,54	0,954
52x	3,47	9,96	351	654,62	12,06	1,206
53x	4,74	9,91	387	721,76	9,78	0,978
56x	3,35	9,97	352	656,48	12,51	1,251
57x	4,97	9,96	327	609,86	7,84	0,784
60x	4,96	9,93	364	678,86	8,77	0,877
Média						1,031
Desvio Padrão						0,167

Também foram realizados ensaios triaxiais dinâmicos para as camadas granulares da estrutura do pavimento (base em BGS e sub-base estabilizada granulometricamente sem mistura) e para a última camada de terraplenagem (Material Selecionado – MS). Os materiais para os dois últimos ensaios provieram dos empréstimos e jazidas relacionadas inicialmente e para a base, foram moldados corpos-de-prova com brita na mesma granulometria e origem (pedreira) da executada em campo. Os resultados são apresentados nas tabelas 4.17 a 4,19.

Tabela 4.17 – Ensaio Triaxial Dinâmico para a camada de base do segmento em estudo.

LEP/DEC/UFCG

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

Amostra:	BGS	Origem:	BR232	N° do C.P.:	100
Rodovia:		Camada:	Base	Estaca/km:	
Operador(es):	AILTON	Interes.:	Norconsult	Data (ensaio):	14-jun-06

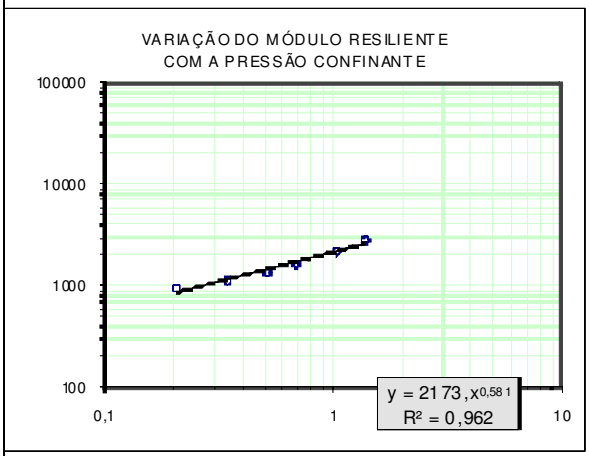
DADOS DO CORPO DE PROVA

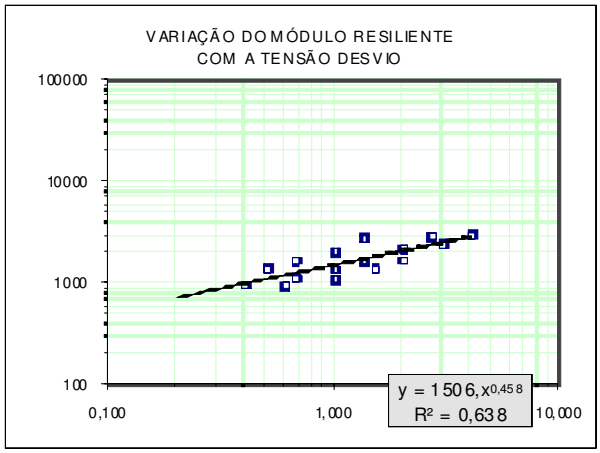
Diâmetro :	15	cm
Altura:	30	cm
Peso úmido:	12524	g
Umidade:	4,70	%
Mas. específica aparente seca:	2,256	g/cm^3

DADOS ADICIONAIS

Constante dos LVDTs:	0,00401769	(mm/mV)
Distância entre apoios:	200	(mm)
Energia de compactação:	Modificado	
Umidade ótima (%)		%
Massa específica aparente seca, máxima:	======	g/cm^3

ciclo	Pressão Confinante (kgf/cm2)	Tensão Desvio (kgf/cm2)	Registro (div)	Sens. (mV/div)	Fator de calibração (mm/div)	Deslocamento (mm)	Deformação Específica Resiliente	Módulo Resiliente (kgf/cm2)
1	0,206	0,206						
2		0,412	4,5	1	0,004018	0,018080	0,000430	958
3		0,618	7,0	1	0,004018	0,028124	0,000664	930
1	0,343	0,343						
2		0,686	7,0	1	0,004018	0,028124	0,000614	1118
3		1,029	13,5	1	0,004018	0,054239	0,000940	1095
1	0,515	0,515	3,5	1	0,004018	0,014062	0,000370	1391
2		1,029	12,5	1	0,004018	0,050221	0,000758	1358
3		1,544	17,5	1	0,004018	0,070310	0,001116	1384
1	0,686	0,686	5,0	1	0,004018	0,020088	0,000412	1666
2		1,373	14,5	1	0,004018	0,058257	0,000840	1634
3		2,059	22,5	1	0,004018	0,090398	0,001234	1668
1	1,029	1,029	7,5	1	0,004018	0,030133	0,000504	2042
2		2,059	17,0	1	0,004018	0,068301	0,000936	2200
3		3,088	26,0	1	0,004018	0,104460	0,001274	2424
1	1,373	1,373	8,5	1	0,004018	0,034150	0,000498	2756
2		2,745	19,5	1	0,004018	0,078345	0,000952	2884
3		4,118	30,0	1	0,004018	0,120531	0,001394	2954





COORDENADOR DO PROJETO:	RESPONSÁVEL PELO SETOR:	No. DO ARQUIVO
		T002-2000

Tabela 4.18 – Ensaio Triaxial Dinâmico para a camada de sub-base do segmento em estudo.

LEP/DEC/UFCG

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

Amostra:	Jazida 1	Origem:	BR232	Nº do C.P.:	100
Rodovia:		Camada:	Sub base	Estaca/km:	
Operador(es):	AILTON	Interes.:	Norconsult	Data (ensaio):	14-jun-06

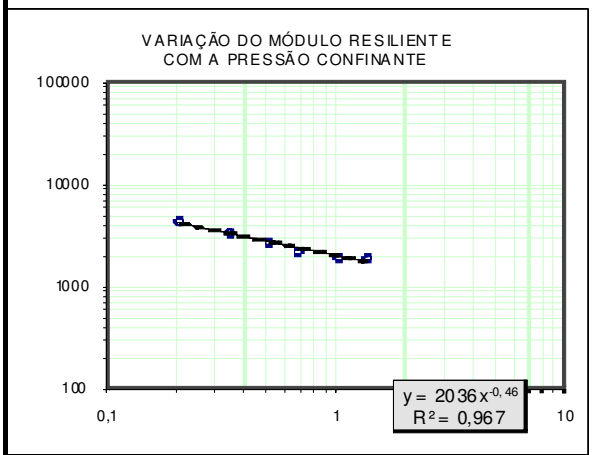
DADOS DO CORPO DE PROVA

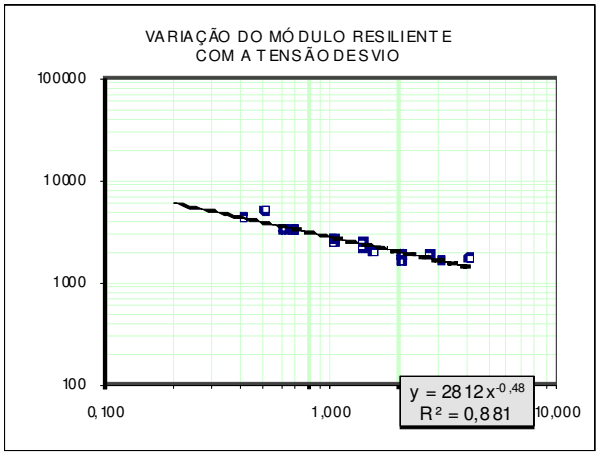
Diâmetro :	10	cm
Altura:	20	cm
Peso úmido:	3530,7	g
Umidade:	9,40	%
Mas. específica aparente seca:	2,055	g/cm^3

DADOS ADICIONAIS

Constante dos LVDTs:	0,00401769	(mm/mV)
Distância entre apoios:	200	(mm)
Energia de compactação:	Modificado	
Umidade ótima (%)		%
Massa específica aparente seca, máxima:	======	g/cm^3

ciclo	Pressão Confinante (kgf/cm2)	Tensão Desvio (kgf/cm2)	Registro (div)	Sens. (mV/div)	Fator de calibração (mm/div)	Deslocamento (mm)	Deformação Específica Resiliente	Módulo Resiliente (kgf/cm2)
1	0,206	0,206						
2		0,412	4,5	1	0,004018	0,018080	0,000094	4380
3		0,618	7,0	1	0,004018	0,028124	0,000182	3394
1	0,343	0,343						
2		0,686	7,0	1	0,004018	0,028124	0,000202	3397
3		1,029	13,5	1	0,004018	0,054239	0,000416	2475
1	0,515	0,515	3,5	1	0,004018	0,014062	0,000100	5147
2		1,029	12,5	1	0,004018	0,050221	0,000380	2709
3		1,544	17,5	1	0,004018	0,070310	0,000776	1990
1	0,686	0,686	5,0	1	0,004018	0,020088	0,000208	3299
2		1,373	14,5	1	0,004018	0,058257	0,000614	2235
3		2,059	22,5	1	0,004018	0,090398	0,001244	1655
1	1,029	1,029	7,5	1	0,004018	0,030133	0,000390	2640
2		2,059	17,0	1	0,004018	0,068301	0,001064	1935
3		3,088	26,0	1	0,004018	0,104460	0,001850	1669
1	1,373	1,373	8,5	1	0,004018	0,034150	0,000544	2523
2		2,745	19,5	1	0,004018	0,078345	0,001428	1922
3		4,118	30,0	1	0,004018	0,120531	0,002376	1733





COORDENADOR DO PROJETO:	RESPONSÁVEL PELO SETOR:	Nº DO ARQUIVO
		T002-2000

Tabela 4.19 – Ensaio Triaxial Dinâmico para a última camada de terraplenagem (MS) do segmento em estudo.

LEP/DEC/UFCG

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO TRIAXIAL DINÂMICO

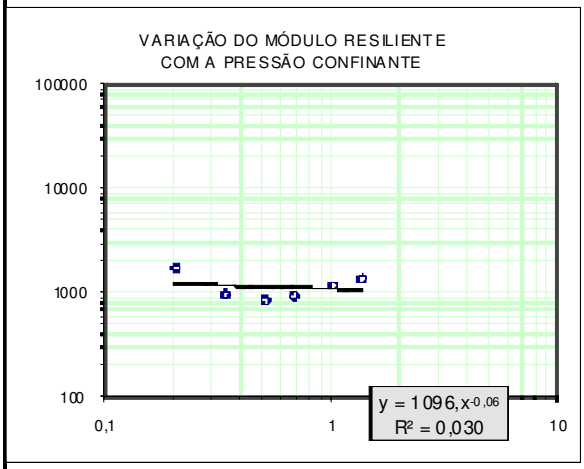
Amostra:	Jazida 18	Origem:	BR232	Nº do C.P.:	100
Rodovia:		Camada:	SUBLEITO	Estaca/km:	
Operador(es):	AILTON	Interes.:	Norconsult	Data (ensaio):	14-jun-06

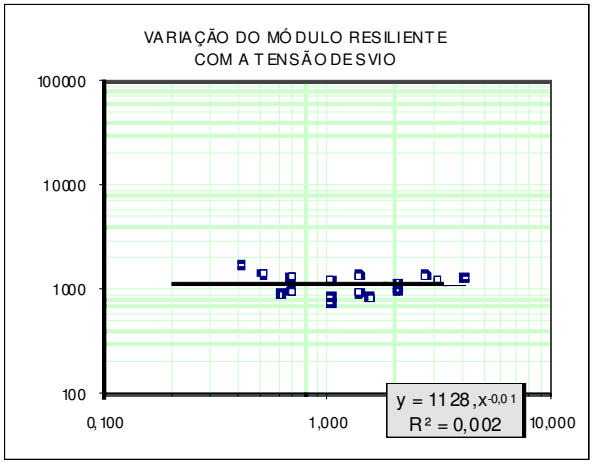
DADOS DO CORPO DE PROVA

Diâmetro :	10	cm	Constante dos LVDTs:	0,00401769	(mm/mV)
Altura:	20	cm	Distância entre apoios:	200	(mm)
Peso úmido:	3337,9	g	Energia de compactação:	Modificado	
Umidade:	6,70	%	Umidade ótima (%)		%
Mas. específica aparente seca:	1,992	g/cm^3	Massa específica aparente seca, máxima:	======	g/cm^3

DADOS ADICIONAIS

ciclo	Pressão Confinante (kgf/cm2)	Tensão Desvio (kgf/cm2)	Registro (div)	Sens. (mV/div)	Fator de calibração (mm/div)	Deslocamento (mm)	Deformação Específica Resiliente	Módulo Resiliente (kgf/cm2)
1	0,206	0,206						
2		0,412	4,5	1	0,004018	0,018080	0,000238	1730
3		0,618	7,0	1	0,004018	0,028124	0,000688	898
1	0,343	0,343						
2		0,686	7,0	1	0,004018	0,028124	0,000712	964
3		1,029	13,5	1	0,004018	0,054239	0,001378	747
1	0,515	0,515	3,5	1	0,004018	0,014062	0,000356	1446
2		1,029	12,5	1	0,004018	0,050221	0,001210	851
3		1,544	17,5	1	0,004018	0,070310	0,001834	842
1	0,686	0,686	5,0	1	0,004018	0,020088	0,000516	1330
2		1,373	14,5	1	0,004018	0,058257	0,001450	947
3		2,059	22,5	1	0,004018	0,090398	0,002064	997
1	1,029	1,029	7,5	1	0,004018	0,030133	0,000830	1240
2		2,059	17,0	1	0,004018	0,068301	0,001738	1185
3		3,088	26,0	1	0,004018	0,104460	0,002472	1249
1	1,373	1,373	8,5	1	0,004018	0,034150	0,000994	1381
2		2,745	19,5	1	0,004018	0,078345	0,002014	1363
3		4,118	30,0	1	0,004018	0,120531	0,003166	1301





COORDENADOR DO PROJETO:	RESPONSÁVEL PELO SETOR:	Nb. DO ARQUIVO
		T002-2000

Além ensaios realizados na UFCG, a executora do trecho forneceu informações relativas à sua dosagem Marshal, incluindo os dados referentes à granulometria dos agregados da mistura asfáltica da capa de rolamento. Os dados são fornecidos são apresentados no Apêndice B.

4.2.3.2 Medidas de deflexão

As deflexões recuperáveis foram medidas com a Viga Benkelman que foi originalmente idealizada pelo Engº A.C. Benkelman e as medições estão normalizadas pelo Método de Ensaio DNER-ME 024/94.

De acordo com o item 4.1-a da norma DNER-ME 024/94 a Viga Benkelman é constituída de um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa formando dois braços cujos comprimentos a e b obedecem as relações 2/1 ou 4/1. A figura 4.5 mostra esquematicamente a Viga Benkelman utilizada neste trabalho.

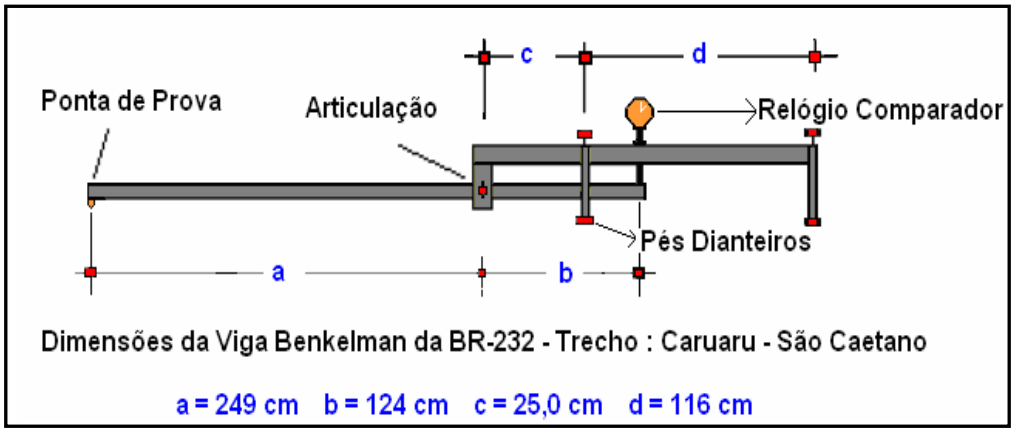


Figura 4.5 – Esquema da Viga Benkelman utilizada na BR-232, trecho: Caruaru – São Caetano

Com a Viga Benkelman já calibrada, foram realizadas as medidas de deflexão ao longo de toda a extensão do trecho em estudo, conforme metodologia descrita no item 4.3.2.1, mostrada esquematicamente na figura 4.4, com esquema detalhado na figura 4.6 a seguir.

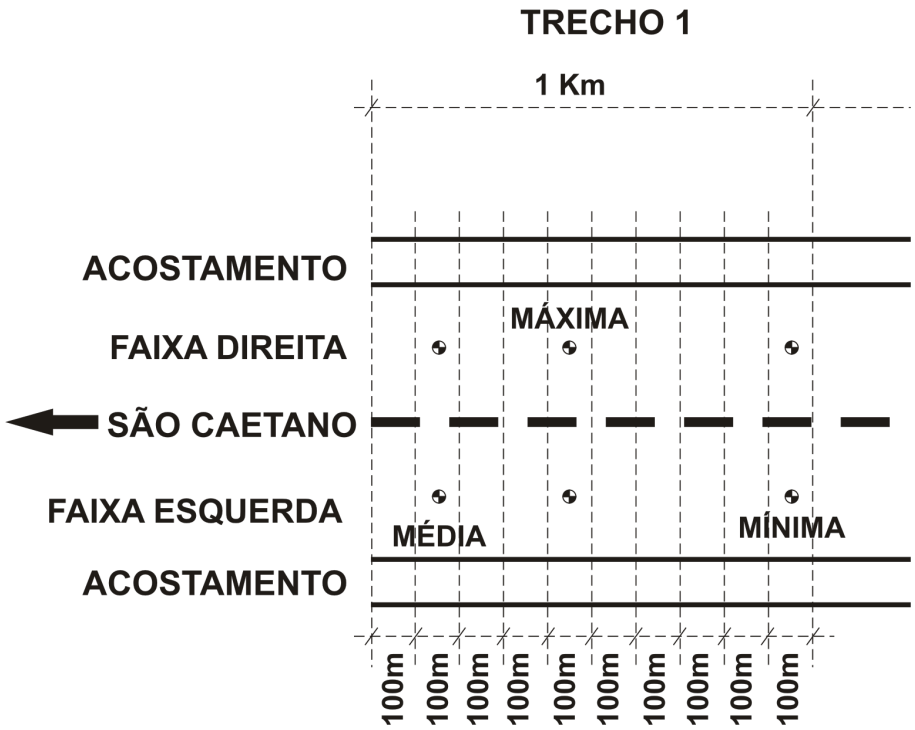


Figura 4.6 – Esquema de realização das medidas com a Viga Benkelman.

Para esses segmentos, verificou-se com o auxílio da Viga Benkelman as medidas de deflexão máxima a cada 100 m de distância (realização de apenas duas leituras, inicial e final), alternando entre os bordos direito (faixa de tráfego externa – estacas pares terminadas em 0) e esquerdo (faixa de tráfego interna – estacas ímpares terminadas em 5) da pista avaliada, sentido Caruaru – São Caetano.

Para cada segmento de 1 km, foram verificados os pontos correspondentes às deflexões máxima, média e mínima. Em cada segmento repetiu-se o levantamento para obtenção da Bacia de Deflexão sendo realizadas 7 leituras em cada estação, a leitura inicial (distância de 0 cm), depois leituras a 25, 50,75, 100 e 125 cm de distância do ponto de aplicação da carga (semi-eixo padrão de 8,2 tf tipo ESRD) e a leitura final. Este procedimento foi realizado para todos os 10 km do trecho compreendido entres as estacas 240 até 740, lado direito e estacas 245 a 745 no lado esquerdo.

Com base nos dados deflectométricos (oriundos da Viga Benkelmen) e geotécnicos, foi realizada, pelo Engenheiro Cláudio Albernaiz, uma retroanálise utilizando o programa RETRAN5-L por ele desenvolvido. Estas retroanálises estão apresentadas no apêndice B.

As tabelas 4.20 e 4.21 mostram as leituras realizadas inicialmente com a Viga Benkelman na faixa de tráfego interna (esquerda) e externa (direita). Nas figuras 4.7 a 4.16 é mostrada a representação gráfica das leituras para caracterização das bacias de deformação por segmento homogêneo enquanto que na tabela 4.22 e nas figuras 4.17 e 4.18 são apresentados os resumos da retroanálise. Informações mais detalhadas são mostradas no Apêndice B.

Tabela 4.20 - Deflexões Benkelman – faixa de tráfego externa (Lado Direito).

Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)	Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)
240	16	34	500	24	51
250	26	55	510	24	51
260	18	38	520	17	36
270	15	32	530	14	30
280	16	34	540	23	49
290	10	21	550	21	45
300	15	32	560	33	70
310	14	30	570	17	36
320	17	36	580	19	40
330	16	34	590	24	51
340	16	34	600	22	47
350	25	53	610	28	59
360	20	42	620	15	32
370	18	38	630	25	53
380	17	36	640	24	51
390	25	53	650	35	74
400	20	42	660	23	49
410	15	32	670	15	32
420	12	25	680	23	49
430	16	34	690	17	36
440	24	51	700	31	66
450	21	45	710	25	53
460	19	40	720	25	53
470	20	42	730	27	57
480	14	30	740	23	49
490	17	36			

Tabela 4.21 - Deflexões Benkelman – faixa de tráfego interna (Lado Esquerdo).

Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)	Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)
245	16	34	505	18	38
255	10	21	515	21	45
265	20	42	525	16	34
275	18	38	535	25	53
285	18	38	545	25	53
295	10	21	555	36	76
305	19	40	565	17	36
315	24	51	575	25	53
325	40	85	585	28	59
335	21	45	595	27	57
345	40	85	605	30	64
355	44	93	615	18	38
365	12	25	625	18	38
375	16	34	635	25	53
385	23	49	645	29	61
395	17	36	655	27	57
405	15	32	665	30	64
415	18	38	675	34	72
425	48	102	685	30	64
435	32	68	695	28	59
445	26	55	705	25	53
455	32	68	715	33	70
465	20	42	725	29	61
475	18	38	735	9	19
485	42	89	745	15	32
495	35	74			

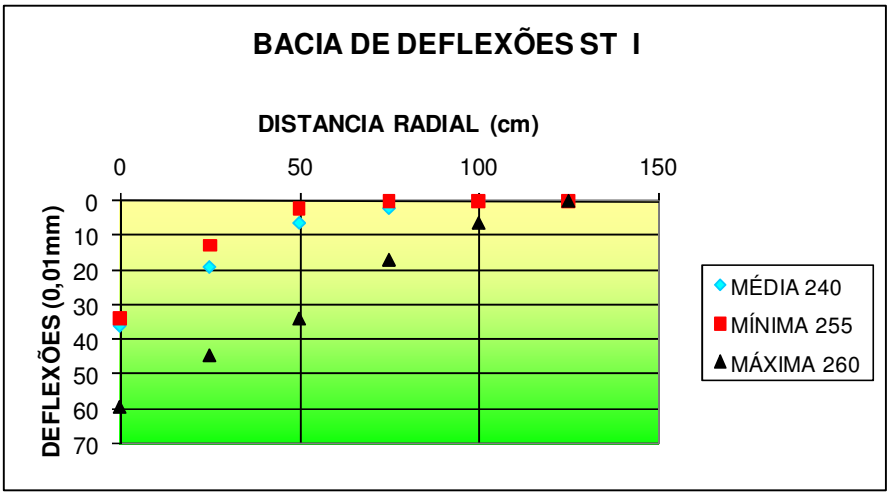


Figura 4.7 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 01.

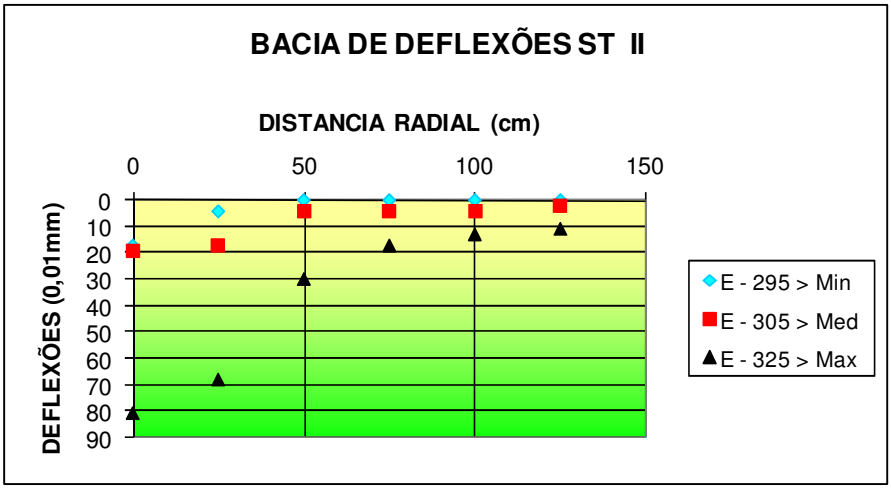


Figura 4.8 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 02.

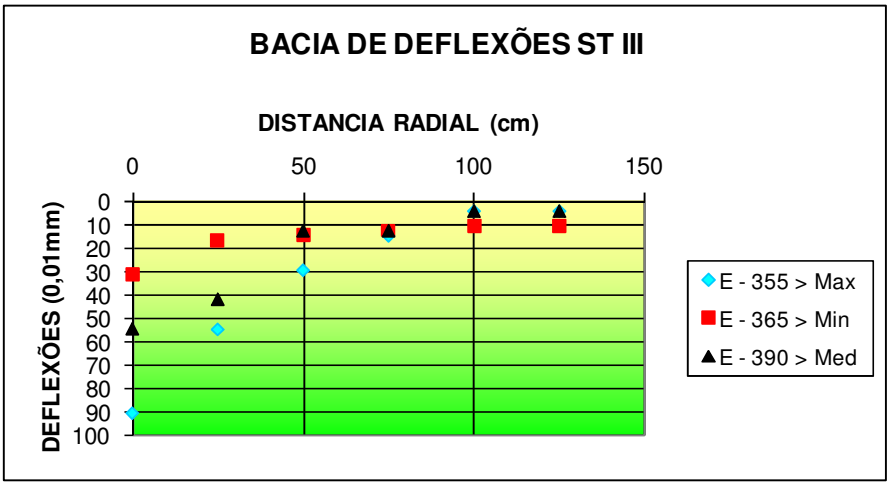


Figura 4.9 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 03.

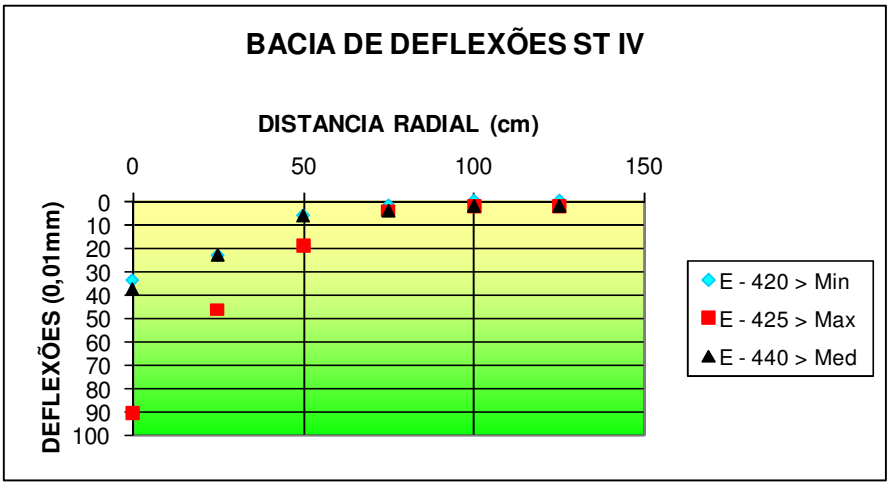


Figura 4.10 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 04.

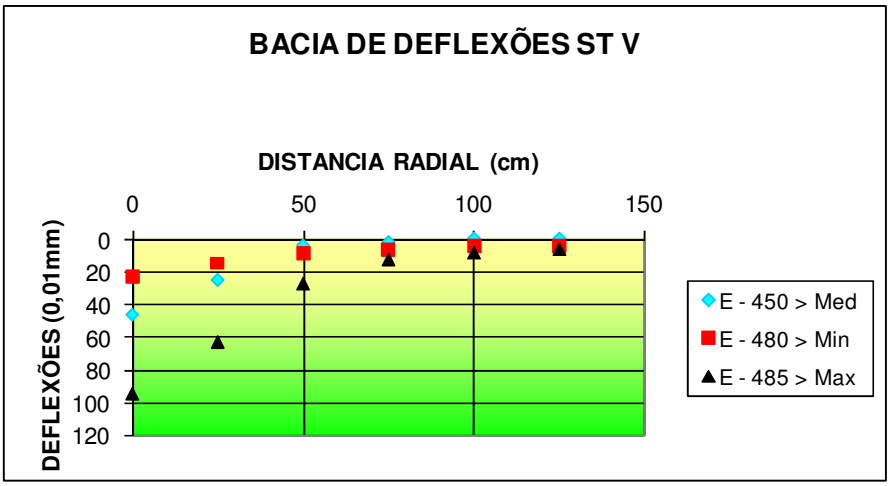


Figura 4.11 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 05.

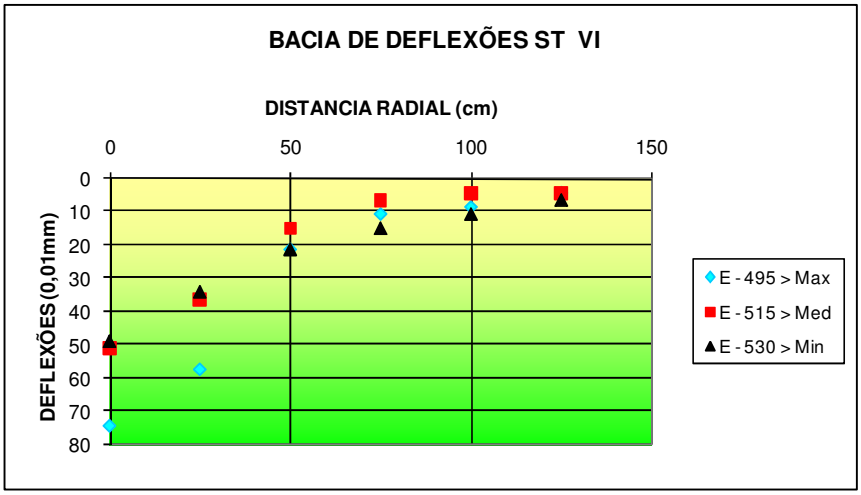


Figura 4.12 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 06.

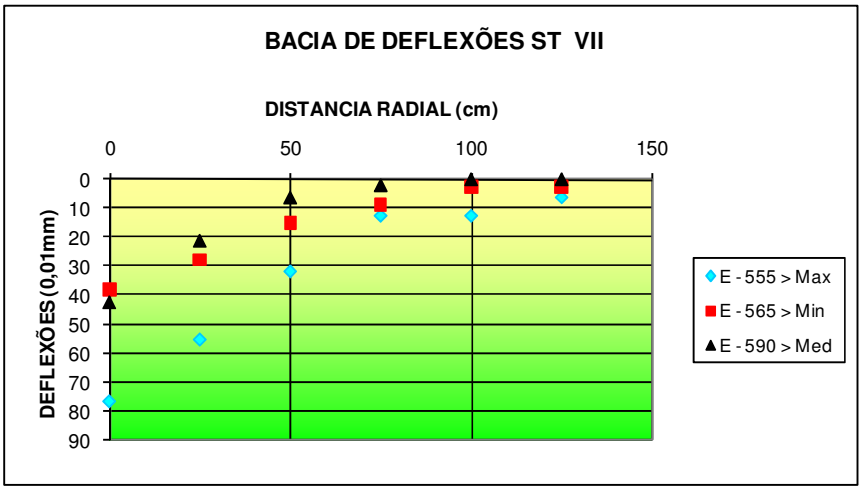


Figura 4.13 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 07.

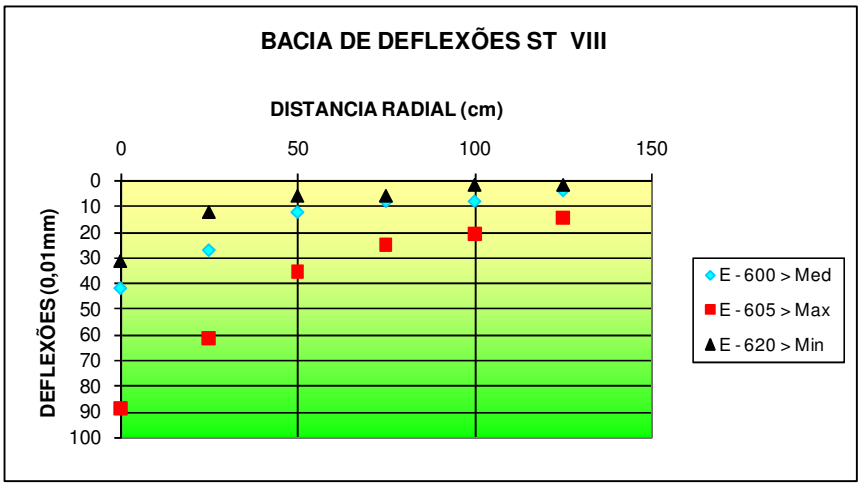


Figura 4.14 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 08.

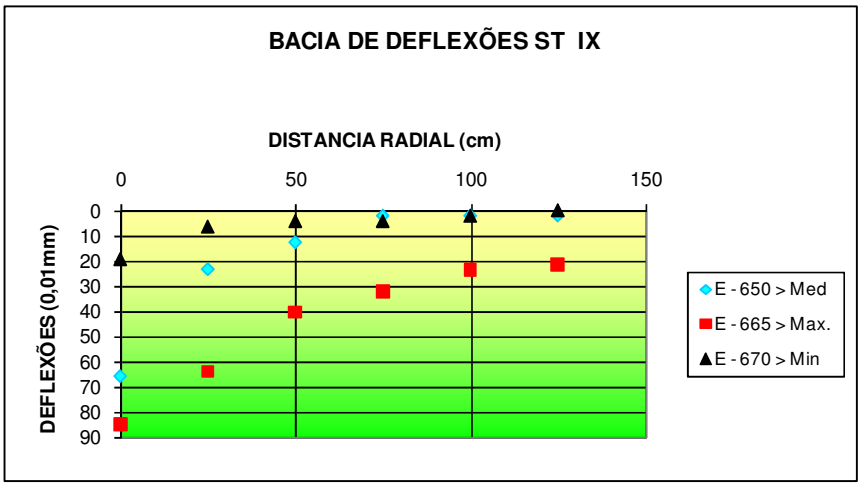


Figura 4.15 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 09.

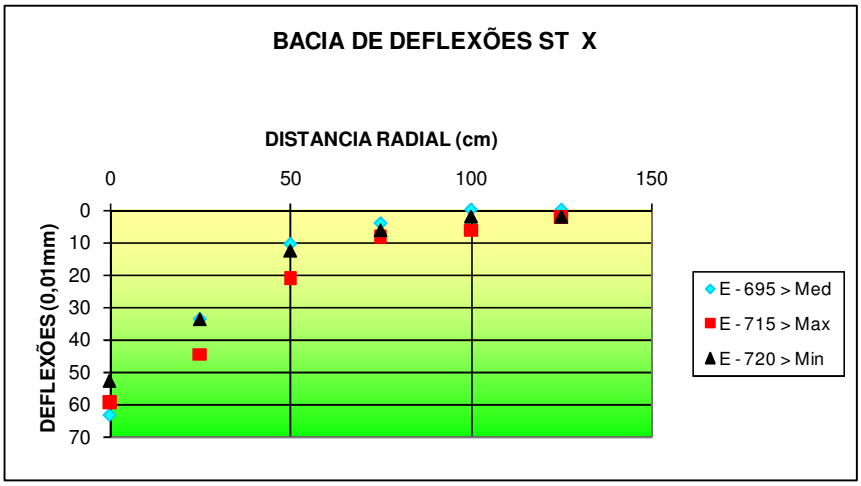


Figura 4.16 – Leituras de deflexões para formação da bacia de deformação Subtrecho 10.

Nos resumos das retroanálises mostrados a segui, as camadas críticas são aquelas que mais contribuem para a deflexão total observada, ou seja, quando se indica que a base á a camada crítica, significa dizer que, desmembrando-se a deflexão total pela individualização da contribuição de cada camada neste conjunto, a base foi a camada que apresentou a maior contribuição. A camada de segunda maior contribuição é a segunda camada crítica e assim por diante.

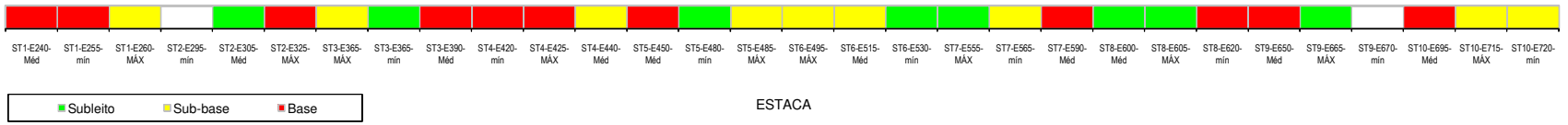
Tabela 4.22 – Resumo das retroanálises realizadas por segmento deste estudo

Retran5 - L	RESUMO DA RETROANÁLISE															RODOVIA: BR-232/PE Trecho: CARUARÚ - SÃO CAETANO													
SEÇÃO	CAMADA 1			CAMADA 2			CAMADA 3			CAMADA 4			CAMADA 5			DISTÂNCIAS RADIAIS (cm)							CONTRIB. DE CADA CAMADA NA DEFLEXÃO MÁXIMA (%)					1ª. CAMADA CRÍTICA	2ª. CAMADA CRÍTICA
	MR1	POIS1	ESP1	MR2	POIS2	ESP2	MR3	POIS3	ESP3	MR4	POIS4	ESP4	MR5	POIS5	ESP5	0	25	50	75	100	125	150							
Estaca	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	DEFLEXÕES (x 0,01 mm)							Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5		
ST1-E240-Méd	30.000	0,30	5,0	16.400	0,30	5,0	1.000	0,35	15,0	1.600	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	36	19	8	4	2	1	1	0,0%	2,7%	44,4%	19,4%	33,5%	Base	Subleito
ST1-E255-mín	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	1.200	0,35	15,0	3.200	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	34	16	7	4	2	2	1	0,0%	5,8%	47,0%	12,0%	35,2%	Base	Subleito
ST1-E260-MÁX	60.000	0,30	5,0	41.718	0,30	5,0	2.246	0,35	15,0	100	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	61	47	28	17	11	7	5	0,0%	1,6%	11,4%	56,6%	30,4%	Sub-base	Subleito
ST2-E295-mín		*** BACIA ELIMINADA ***														17	11	6	4	2	2	1						-----	-----
ST2-E305-Méd	30.000	0,30	5,0	56.400	0,30	5,0	4.178	0,35	15,0	1.522	0,40	15,0	4.408	0,45	Infin.	21	13	7	4	2	2	1	0,0%	0,0%	23,8%	28,5%	47,6%	Subleito	Sub-base
ST2-E325-MÁX	60.000	0,30	5,0	41.718	0,30	5,0	156	0,35	15,0	303	0,40	15,0	1.483	0,45	Infin.	81	60	34	20	12	8	6	0,0%	1,2%	48,3%	18,5%	32,0%	Base	Subleito
ST3-E365-MÁX	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	800	0,35	15,0	175	0,40	15,0	1.600	0,45	Infin.	92	56	26	14	8	5	4	0,0%	2,3%	23,9%	42,3%	31,5%	Sub-base	Subleito
ST3-E365-mín	60.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	3.508	0,35	15,0	3.508	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	32	21	14	10	8	6	5	0,0%	6,2%	15,6%	12,5%	65,6%	Subleito	Base
ST3-E390-Méd	30.000	0,30	5,0	56.400	0,30	5,0	300	0,35	15,0	350	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	57	39	16	7	4	2	1	0,0%	0,0%	51,0%	29,8%	19,2%	Base	Sub-base
ST4-E420-mín	30.000	0,30	5,0	26.400	0,30	5,0	700	0,35	15,0	2.800	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	36	20	8	3	2	1	1	0,0%	2,7%	54,2%	11,1%	32,0%	Base	Subleito
ST4-E425-MÁX	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	200	0,35	15,0	3.200	0,40	15,0	2.400	0,45	Infin.	89	47	17	8	4	3	2	0,0%	3,2%	71,0%	3,3%	22,4%	Base	Subleito
ST4-E440-Méd	30.000	0,30	5,0	16.400	0,30	5,0	1.400	0,35	15,0	700	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	38	21	9	4	3	2	1	0,0%	2,6%	33,3%	33,4%	30,7%	Sub-base	Base
ST5-E450-Méd	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	800	0,35	15,0	1.000	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	48	22	9	4	2	2	1	0,0%	4,1%	45,8%	25,1%	25,0%	Base	Sub-base
ST5-E480-mín	60.000	0,30	5,0	41.718	0,30	5,0	4.385	0,35	15,0	1.151	0,40	15,0	3.618	0,45	Infin.	23	15	9	5	3	2	2	0,0%	0,0%	21,9%	26,0%	52,1%	Subleito	Sub-base
ST5-E485-MÁX	60.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	590	0,35	15,0	125	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	96	63	27	13	7	5	3	0,0%	2,2%	25,0%	48,9%	23,9%	Sub-base	Base
ST6-E495-MÁX	30.000	0,30	5,0	36.400	0,30	5,0	400	0,35	15,0	200	0,40	15,0	2.000	0,45	Infin.	75	53	25	12	7	4	3	0,0%	1,3%	31,6%	38,2%	28,9%	Sub-base	Base
ST6-E515-Méd	60.000	0,30	5,0	21.360	0,30	5,0	921	0,35	15,0	243	0,40	15,0	3.618	0,45	Infin.	52	34	14	7	4	2	2	0,0%	1,9%	28,2%	47,4%	22,5%	Sub-base	Base
ST6-E530-mín	40.000	0,30	5,0	21.360	0,30	5,0	3.508	0,35	15,0	243	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	48	34	20	13	9	6	5	0,0%	2,2%	12,5%	41,6%	43,7%	Subleito	Sub-base
ST7-E555-MÁX	60.000	0,30	5,0	33.375	0,30	5,0	378	0,35	15,0	195	0,40	15,0	1.483	0,45	Infin.	76	56	31	18	11	8	5	0,0%	1,3%	28,9%	34,2%	35,5%	Subleito	Sub-base
ST7-E565-mín	60.000	0,30	5,0	33.375	0,30	5,0	2.807	0,35	15,0	303	0,40	15,0	2.895	0,45	Infin.	38	27	14	8	5	3	2	0,0%	0,0%	18,4%	44,7%	36,8%	Sub-base	Subleito
ST7-E590-Méd	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	1.000	0,35	15,0	1.200	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	42	20	8	4	2	1	1	0,0%	4,7%	44,5%	23,1%	27,7%	Base	Subleito
ST8-E600-Méd	60.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	3.508	0,35	15,0	378	0,40	15,0	2.316	0,45	Infin.	42	27	15	9	6	4	3	0,0%	2,3%	16,6%	38,0%	42,8%	Subleito	Sub-base
ST8-E605-MÁX	40.000	0,30	5,0	8.750	0,30	5,0	921	0,35	15,0	590	0,40	15,0	760	0,45	Infin.	87	61	39	27	19	15	12	0,0%	1,3%	20,6%	17,2%	60,9%	Subleito	Base
ST8-E620-mín	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	1.600	0,35	15,0	2.800	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	31	15	6	4	2	2	1	0,0%	6,4%	38,8%	16,1%	38,7%	Base	Subleito
ST9-E650-Méd	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	350	0,35	15,0	2.800	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	62	28	9	4	2	1	1	0,0%	3,4%	70,9%	6,4%	19,3%	Base	Subleito
ST9-E665-MÁX	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	2.800	0,35	15,0	250	0,40	15,0	700	0,45	Infin.	84	64	44	32	24	18	15	0,0%	2,3%	9,5%	25,0%	63,2%	Subleito	Sub-base
ST9-E670-mín		*** BACIA ELIMINADA ***														17	11	6	4	2	2	1						-----	-----
ST10-E695-Méd	40.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	378	0,35	15,0	1.438	0,40	15,0	2.895	0,45	Infin.	64	32	11	5	3	2	1	0,0%	3,1%	59,3%	12,5%	25,0%	Base	Subleito
ST10-E715-MÁX	40.000	0,30	5,0	52.147	0,30	5,0	472	0,35	15,0	243	0,40	15,0	2.316	0,45	Infin.	60	43	21	11	6	4	3	0,0%	1,6%	31,1%	37,8%	29,5%	Sub-base	Base
ST10-E720-mín	60.000	0,30	5,0	8.750	0,30	5,0	1.438	0,35	15,0	243	0,40	15,0	3.618	0,45	Infin.	53	32	13	6	3	2	1	0,0%	2,0%	24,5%	50,9%	22,6%	Sub-base	Base

Retran5 - L — RESUMO DA RETROANÁLISE — RODOVIA: BR-232/PE — Trecho: CARUARÚ - SÃO CAETANO

SEÇÃO	CAMADA 1			CAMADA 2			CAMADA 3			CAMADA 4			CAMADA 5			DISTÂNCIAS RADIAIS (cm)							CONTRIB. DE CADA CAMADA NA DEFLEXÃO MÁXIMA (%)					1ª. CAMADA CRÍTICA	2ª. CAMADA CRÍTICA
	MR1	POIS1	ESP1	MR2	POIS2	ESP2	MR3	POIS3	ESP3	MR4	POIS4	ESP4	MR5	POIS5	ESP5	0	25	50	75	100	125	150	Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5		
Estaca	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	DEFLEXÕES (x 0,01 mm)													
ESTATÍSTICA																													
n	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	30	30	30	30	30	30	30	28	28	28	28	28	Quant.	Quant.
Média	42.143	0,30	5,0	21.138	0,30	5,0	1.498	0,35	15,0	1.102	0,40	15,0	2.840	0,45	Infin.	53	34	17	10	6	4	3	0,0%	2,4%	34,0%	28,6%	34,9%	Base: 11	Base: 8
D. Padr	13.973	-	-	17.393	-	-	1.310	-	-	1.134	-	-	1.152	-	-	23,5	17,3	10,6	7,2	5,3	4,0	3,3	0,0%	1,7%	17,3%	14,6%	12,9%	SB: 9	SB: 8
C.V.	33,2%	-	-	82%	-	-	87%	-	-	103%	-	-	41%	-	-	44%	52%	63%	76%	89%	96%	####	0,0%	71,5%	50,8%	51,1%	36,9%	SL: 8	SL: 12
Vr. Máx	60.000	-	-	56.400	-	-	4.385	-	-	3.508	-	-	4.408	-	-	96	64	44	32	24	18	15	0,0%	6,4%	71,0%	56,6%	65,6%		
Vr. Mín	30.000	-	-	6.400	-	-	156	-	-	100	-	-	700	-	-	17	11	6	3	2	1	1	0,0%	0,0%	9,5%	3,3%	19,2%	Total: 28	Total: 28

DISTRIBUIÇÃO LINEAR DA 1ª. CAMADA CRÍTICA



ESTRUTURA-TIPO DO PAVIMENTO

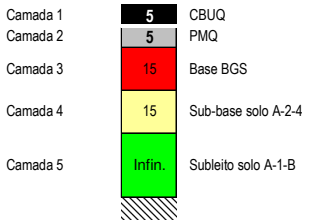


GRÁFICO 1ª. CAMADA CRÍTICA

% DAS ESTACAS ONDE CADA CAMADA TEM A MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA FORMAÇÃO DA DEFLEXÃO MÁXIMA D1

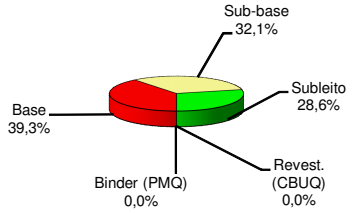


GRÁFICO 2ª. CAMADA CRÍTICA

% DAS ESTACAS ONDE CADA CAMADA TEM A SEGUNDA MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA FORMAÇÃO DA DEFLEXÃO MÁXIMA D1

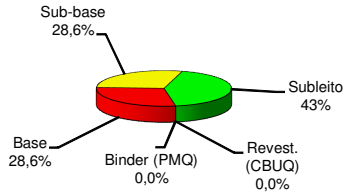


Figura 4.17 – Dados estatísticos do resumo das retroanálises realizadas nos segmentos deste estudo

TABELA DOS ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ESTRUTURAL DO PAVIMENTO EM FUNÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO E DO SUBLEITO NA FORMAÇÃO DA DEFLEXÃO MÁXIMA D_1

Índice	Normal	Bom	Regul	Ruim	Péss	Inaceit
	5	4	3	2	1	0
BASE	mín	Méd	mín	Méd	MÁX	MÁX
SUB-BASE	Méd	mín	MÁX	MÁX	mín	Méd
SUBLEITO	MÁX	MÁX	Méd	mín	Méd	mín

Legenda

mín	Camada com o MENOR percentual de contribuição
Méd	Camada com o percentual INTERMEDIÁRIO de contribuição
MÁX	Camada com o MAIOR percentual de contribuição

ESTATÍSTICA DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO QUANTO À DEFORMABILIDADE ELÁSTICA RELATIVA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO E DO SUBLEITO

DESEMPENHO	Normal
QUANTIDADE DE SEÇÕES	6
PERCENTUAL	21,4%
DESEMPENHO	Bom
QUANTIDADE DE SEÇÕES	2
PERCENTUAL	7,1%
DESEMPENHO	Regular
QUANTIDADE DE SEÇÕES	3
PERCENTUAL	10,7%
DESEMPENHO	Ruim
QUANTIDADE DE SEÇÕES	6
PERCENTUAL	21,4%
DESEMPENHO	Péssimo
QUANTIDADE DE SEÇÕES	9
PERCENTUAL	32,1%
DESEMPENHO	Inaceitável
QUANTIDADE DE SEÇÕES	2
PERCENTUAL	7,1%

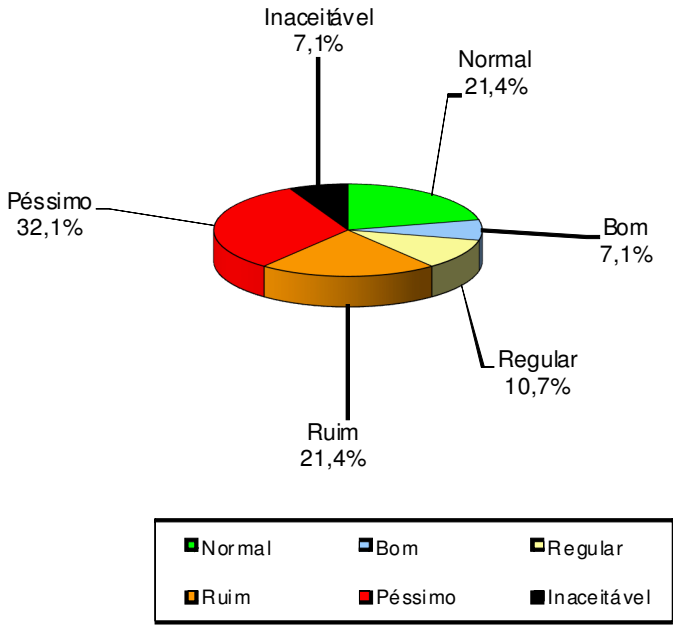


Figura 4.18 – Desempenho estrutural através dos dados das retroanálises dos segmentos em estudo

As análises de todos os dados mostrados neste capítulo, incluindo as retroanálises, são mostradas no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 5 - CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 – Introdução

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos para avaliação estrutural do trecho analisado (campo & laboratório). Alguns resultados mostrados no capítulo anterior são repetidos neste, mas, entendemos ser válido o procedimento para não interromper linhas de raciocínio. Portanto, como descrito no Capítulo 4 o trecho, de nova pista da BR232-PE foi dividido em dez segmentos de mesmo comprimento (1km).

ST	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10
EST. 240	290	340	390	440	490	540	590	640	690	740
BASE	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS	MH	BGS	BGS	MH	MH	MH
BGS - BRITA GRADUADA SIMPLES						MH – MACADAME HIDRÁULICO				

5.2 – Ensaios de Campo

A avaliação estrutural com a viga Benkelman foi feita, durante o mês de julho de 2006, época de pluviometria mais intensa na região (Figura 5.1), conforme metodologia apresentada no Capítulo 4.

Nas tabelas 5.1 a 5.4, estão apresentados resultados dos levantamentos deflectométricos, obtidos alternadamente nas faixas direita e esquerda (sentido Caruaru – São Caetano) a cada 100m ao longo dos 10 km avaliados.

Nas tabelas 5.1 e 5.2 são mostradas as deflexões máximas em cada estaca, assim como médias e desvios padrão correspondentes a cada faixa de tráfego da pista nova de rolamento. Na figura 5.2 está apresentada a distribuição das deflexões ao longo do trecho. Nas figuras 5.3 e 5.4 são mostrados histogramas de deflexões máxima, média e mínima obtidas nesta pesquisa e medidas durante o controle de qualidade sobre o revestimento acabado no trecho considerado, ou seja, logo após a conclusão da pavimentação.

Na tabela 5.3 estão apresentadas, para cada sub-trecho de análise, as deflexões máxima, média e mínima. Com base nestas medidas foram escolhidos três pontos para execução da bacia de

deflexões: estacas correspondentes ao ponto de máxima, média e mínima de cada sub-trecho. Neste quadro também estão apresentadas as deflexões correspondentes na ocasião de retorno a esses pontos para media da bacia. Nem sempre reproduziu-se a situação original esperada quando na ocasião da medida de deflexão máxima somente, porém observa-se mesma ordem de grandeza. As medidas oriundas da campanha de obtenção das medidas de bacias estão apresentadas na tabela 5.4.

As configurações geométricas das bacias de deflexão foram ajustadas aos deslocamentos verticais obtidos nas distâncias radiais especificadas através do programa estatístico STATGRAPHICS usando o modelo:

$$D(r) = \frac{D_{máx}}{1 + k.r^n} \tag{5.1}$$

Sendo:

D(r) – Deflexão em 0,01mm na distância radial r;

r – distância radial em cm;

$\mathbf{D_{máx}}$ – Deflexão máxima em 0,01mm (r=0cm);

K e n – parâmetros de ajuste.

Os resultados obtidos com o ajuste bem como as figuras correspondentes estão apresentados no Apêndice B.

A análise dos dados, apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2**,** permite observar deflexões individuais na maioria das estacas superiores a deflexão admissível de projeto para a superfície do revestimento acabado, adotada pela fiscalização da obra (DER-PE), sem contudo, estar prevista no projeto de engenharia (**Dadm= 40 x 10^{-2} mm**). A deflexão média ao longo do trecho (10km) medida na faixa de rolamento da direita ($\bar{x}$=43; σ=11; cv=26%) é menor e apresenta desvio padrão inferior à faixa esquerda ($\bar{x}$=52; σ=19; cv=37%). Em ambos os casos a média é superior a deflexão admissível. É importante salientar que, nos métodos de dimensionamento de reforço, a deflexão a ser comparada com a admissível é a deflexão característica (deflexão média + desvio padrão) o que resultaria em diferenças mais significativas em relação às deflexões admissíveis. Tais observações ficam mais evidentes na Figura 5.2, principalmente a dispersão observada para os dados defectométricos obtidos na faixa esquerda.

Tabela 5.1 – Deflexões Máximas – Lado Direito no segmento em estudo.

ESTACA	$D_{MÁX}$	BASE
240	34	BGS
250	55	BGS
260	38	BGS
270	32	BGS
280	34	BGS
290	21	BGS
300	32	BGS
310	30	BGS
320	36	BGS
330	34	BGS
340	34	BGS
350	53	BGS
360	42	BGS
370	38	BGS
380	36	BGS
390	53	BGS
400	42	BGS
410	32	BGS
420	25	BGS
430	34	BGS
440	51	BGS
450	45	BGS
460	40	BGS
470	42	BGS
480	30	BGS
490	36	MACADAME
500	51	BGS
510	51	BGS
520	36	BGS
530	30	BGS
540	49	BGS
550	45	BGS
560	70	BGS
570	36	BGS
580	40	BGS
590	51	BGS

ESTACA	$D_{MÁX}$	BASE
600	47	MACADAME
610	59	MACADAME
620	32	MACADAME
630	53	MACADAME
640	51	MACADAME
650	74	MACADAME
660	49	MACADAME
670	32	MACADAME
680	49	MACADAME
690	36	MACADAME
700	66	MACADAME
710	53	MACADAME
720	53	MACADAME
730	57	MACADAME
740	49	MACADAME
MÉDIA	**43**	
DESVIO	**11**	
CV(%)	**26**	

Trecho: Caruaru - São Caetano - Lado Direito

Temperatura Ambiente: 26º C

Temperatura do Revestimento: 30º C

Data: 04 de Julho 2006

Os trechos de BGS apresentaram melhor comportamento:

Média = 40

Desvio Padrão = 10

CV = 25%

Para os segmentos em Macadame:

Média = 50

Desvio Padrão = 12

CV = 23%

Tabela 5.2 – Deflexões Máximas – Lado Esquerdo no segmento em estudo.

ESTACA	$D_{MÁX}$	BASE
245	34	BGS
255	21	BGS
265	42	BGS
275	38	BGS
285	38	BGS
295	21	BGS
305	40	BGS
315	51	BGS
325	85	BGS
335	45	BGS
345	85	BGS
355	93	BGS
365	25	BGS
375	34	BGS
385	49	BGS
395	36	BGS
405	32	BGS
415	38	BGS
425	102	BGS
435	68	BGS
445	55	BGS
455	68	BGS
465	42	BGS
475	38	BGS
485	89	MACADAME
495	74	MACADAME
505	38	BGS
515	45	BGS
525	34	BGS
535	53	BGS
545	53	BGS
555	76	BGS

ESTACA	$D_{MÁX}$	BASE
565	36	BGS
575	53	BGS
585	59	BGS
595	57	BGS
605	64	MACADAME
615	38	MACADAME
625	38	MACADAME
635	53	MACADAME
645	61	MACADAME
655	57	MACADAME
665	64	MACADAME
675	72	MACADAME
685	64	MACADAME
695	59	MACADAME
705	53	MACADAME
715	70	MACADAME
725	61	MACADAME
735	19	MACADAME
745	32	MACADAME

MÉDIA	52
DESVIO	19
CV (%)	37

Trecho: Caruaru - São Caetano - Lado Esquerdo

Temperatura Ambiente: 28º C

Temperatura do Revestimento: 34º C

Data: 05 de Julho 2006

BGS ► Média = 50; desvio = 20 e CV= 41%

Macadame ►Média = 57; desvio = 17 e CV= 30%

As deflexões máxima, média e mínima obtidas para cada subtrecho e mostradas na Figura 5.3 apontam para aprovação pelo critério defletométrico apenas nos locais com valores de deflexão mínimos, sendo rejeitado para valores acima ou igual à média, comprometendo, assim significativamente o grau de confiabilidade do controle de qualidade pelo critério de

deformabilidade definido em projeto. Na mesma figura, assim como demonstra a Figura 5.2 não ficam definidas diferenças entre comportamentos estruturais quando modificadas as camadas de bases de Brita Graduada Simples (**BGS**) para Macadame Hidráulico (**MH**) e utilizando apenas deflexão máxima como critério para avaliação estrutural de pavimentos.

A análise quantitativa e qualitativa dos dados defletométricos provenientes do controle de qualidade estrutural sobre revestimento asfáltico acabado, apresentados de forma gráfica nas Figuras 5.4 a 5.6, demonstra comportamento diverso dos originados neste estudo. O perfil de deflexões obtido por esta pesquisa pelos técnicos do Laboratório de Engenharia de Pavimentos (**LEP/DEC/CTRN/UFCG**) é completamente diferenciado daquele medido durante a supervisão da obra. São evidentes:

1. o valor médio das deflexões máximas em cada sub-trecho de análise varia entre 29 e 35, portanto inferior a deflexão admissível de projeto;

2. os desvios padrão variam entre 3 e 8, sempre em ordem inversa ao valor médio de cada trecho;

3. os coeficientes de variação apresentam valores sistemáticos, na medida que a soma da media mais a variância, de cada sub-trecho, é sempre inferior ao valor admissível de deflexão;

4. neste caso, a análise dos dados não foi sensível à mudança de base;

5. é sintomática a diferença entre as médias de deflexões máximas entre as faixas direita e esquerda não superar 0,02mm. Assim fica difícil até para diferenciar erro sistemático de randômico diante do conceito de medida.

Com relação às divergências verificadas, pode-se inferir:

- o espaço amostral e época de medição são diversos;
- os operadores e instrumental empregados diferentes;
- as condições de clima decorrentes de períodos diferenciados pode levar a histerese de deflexão versus temperatura (Medina e Motta, 2005).

Mesmo desprezando conceitos de medida relacionados a repetibilidade e reprodutibilidade, causa estranheza que a natureza e os processos construtivos e de controle de qualidade disponibilizados durante o empreendimento da BR232-PE, no trecho considerado, tenham conseguido produzir algo tão uniforme quanto a pavimentação da pista nova para melhoramentos e duplicação do referido trecho. Ao contrário do verificado na mesma rodovia no trecho entre Recife e Caruaru, bem como na pista antiga do segmento analisado.

Não se têm observado tal variância, mesmo em unidades de análise considerados segmentos homogêneos, pré-definidos a partir de critérios analítico-empíricos, como por exemplo: Método das Diferenças Acumuladas, sugerido pela AASHTO (2002).

Em pesquisa realizada por Rocha Filho (1996), foi feito estudo experimental em pavimento asfáltico rodoviário, para investigar a confiabilidade de deflexões obtidas com a viga Benkelman. Na análise dos resultados obtidos pode-se verificar:

- **i.** há grande dispersão das deflexões medidas;
- **ii.** a dispersão aumenta na medida que se afasta do ponto de medida da deflexão máxima;
- **iii.** a dispersão diminui, quando a medida é realizada com caminhão parado em cada ponto (*creep speed rebound deflection*);
- **iv.** a repetibilidade para obtenção de deflexões é dependente de fatores como: habilidade do motorista, condições mecânicas do veículo (embreagem e freios), experiência, habilidade e coordenação da equipe responsável pelas leituras.

Ainda segundo Rocha Filho (1996), a análise comparativa da repetibilidade das leituras da deformada de superfície entre viga Benkelman e FWD (“Falling Weight Deflectometer”) demonstra coeficientes de variação (CV) superiores a 20% em medidas com a viga, enquanto que o CV das leituras com o FWD situou-se entre 0,4 e 1,5% naqueles ensaios.

Nas condições descritas por Rocha Filho (1996), mesmo com a instrumentação da viga Benkelman (com LVDT, por exemplo) grande parte da variabilidade ainda permanece em decorrência das condições de aplicação de carga, que dependem do motorista do caminhão.

Como os materiais de pavimentação, especialmente as misturas asfálticas, apresentam componente viscoso no comportamento tensão versus deformação, qualquer variação no tempo de carregamento é significativa para a deformação das camadas. Entretanto, no Brasil, as avaliações estruturais têm sido feitas predominantemente com a viga Benkelman para obtenção de deflexão máxima e raio de curvatura, obtido pela expressão:

$$R_c = \frac{6250}{[2(D_0 - D_{25})]} \tag{5.2}$$

Sendo:

R_c – Raio de Curvatura, em metros;

D_0 –Deflexão Máxima em 0,01mm;

D_{25} – Deflexão a 25cm da deflexão máxima, em 0,01mm.

Sobre avaliação estrutural de pavimentos, a partir de dados defletométricos, recomenda-se consulta as pesquisas apresentadas em Macêdo (1996), Marcon (1996), Albernaz (1997), Nóbrega (2003), Cavalcante (2005), entre outros.

A análise dos dados apresentados na tabela 5.4 demonstra que as deflexões obtidas para obtenção da deformada de superfície estão coerentes com os deslocamentos obtidos quando da campanha para obtenção de deflexão máxima; aponta também para desobediência aos critérios defletométricos adotados em projeto no que se refere a deflexão admissível e raio de curvatura. Tais dados serão utilizados para avaliação estrutural através de retroanálise, já referida.

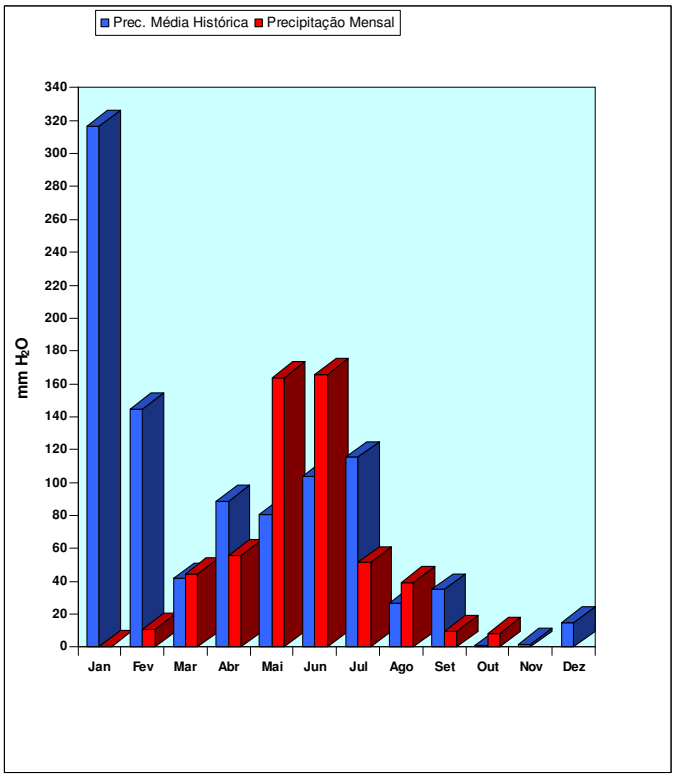


Figura 5.1 - Histograma Comparativo de Precipitações Mensais no local deste estudo

Fonte: SECRETÁRIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO-AMBIENTE – SECTM-PE

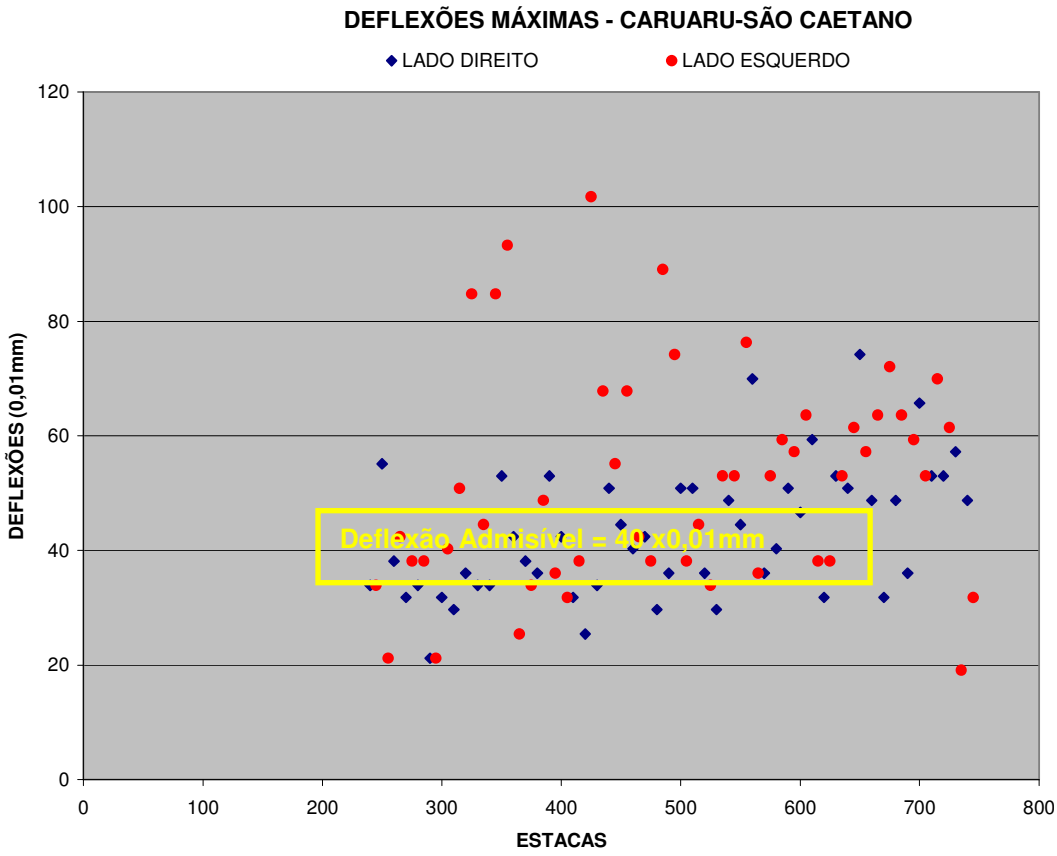
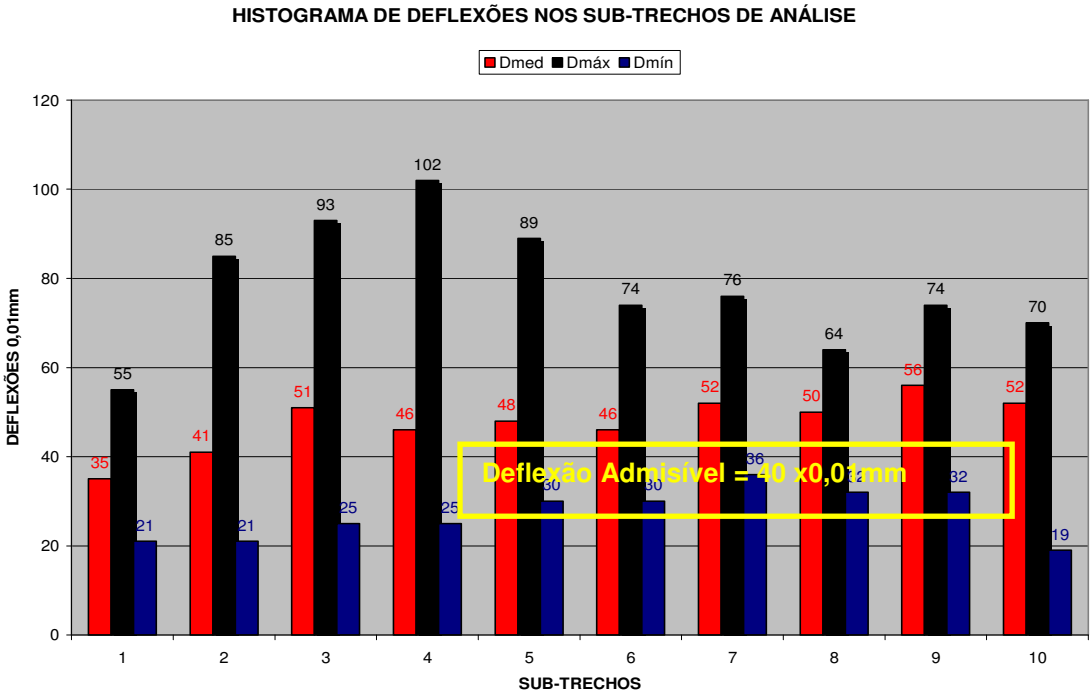


Figura 5.2 - Distribuição das Deflexões Máximas dos levantamentos deste estudo no segmento analisado



ST	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10
EST	240	290	340	390	440	490	540	590	640	690	740
BASE	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS	MH	BGS	MH	MH	MH

BGS - BRITA GRADUADA SIMPLES

MH – MACADAME HIDRÁULICO

Figura 5.3 - Histograma de deflexões levantadas na presente pesquisa

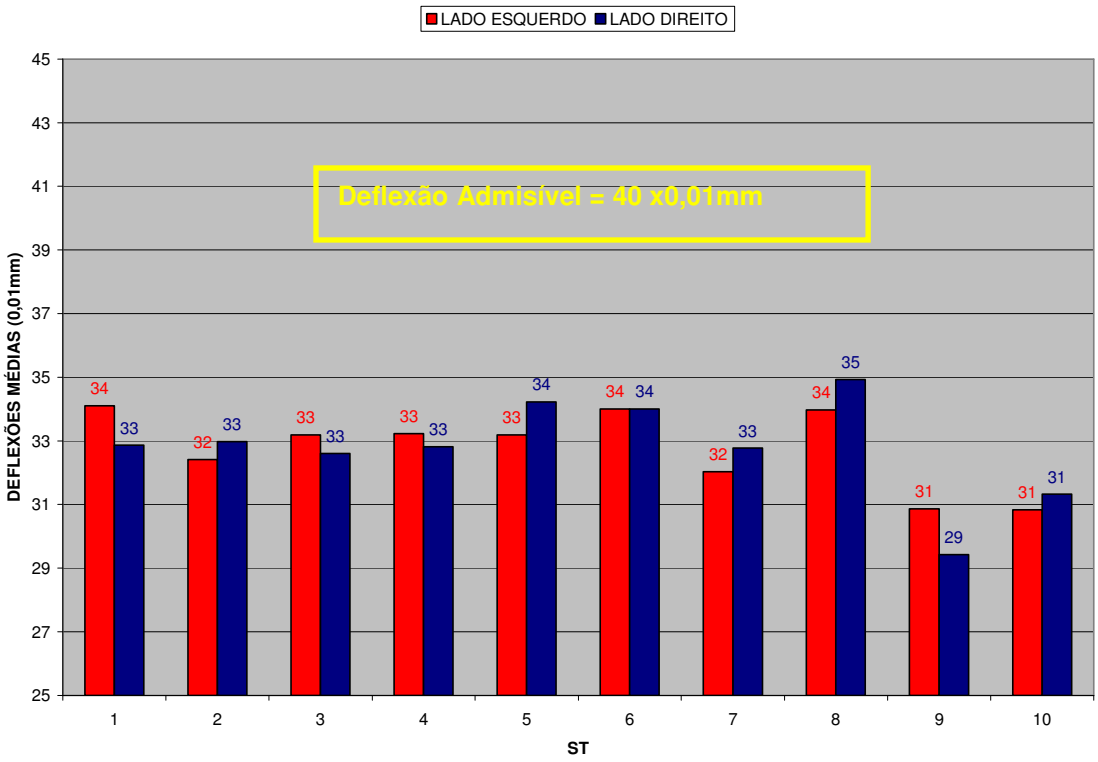


Figura 5.4 - Histograma de deflexões obtidas no controle tecnológico da construção da obra (fiscalização do DER-PE) - Médias.

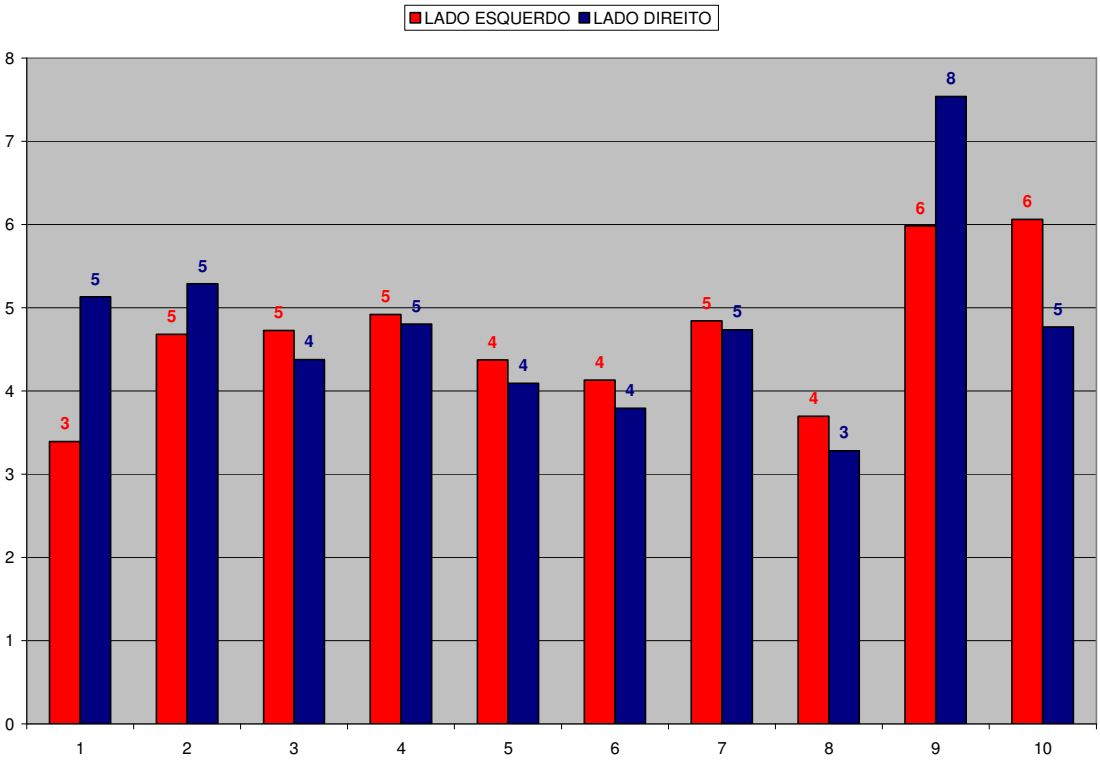


Figura 5.5 - Histograma do desvio padrão dos dados do controle tecnológico da construção da obra (fiscalização do DER-PE)

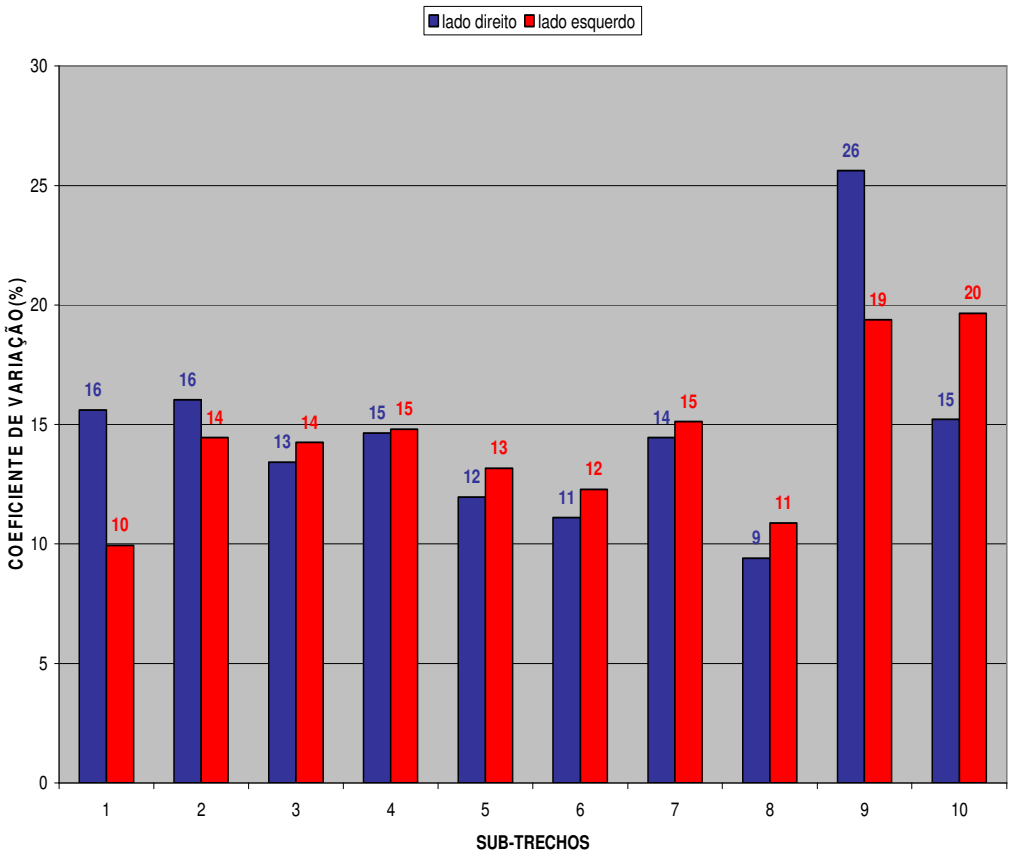


Figura 5.6 - Histograma do coeficiente de variação dos dados do controle tecnológico da construção da obra (fiscalização do DER-PE)

Os dados do controle tecnológico efetuado na construção da obra mostrados se referem aos mesmos segmentos desta pesquisa.

Tabela 5.3 – Correspondência entre defl. nos dois levantamentos (deflexão máxima e medida na bacia)

Subtrechos	Valores de deflexão da 2ª medição	Estacas de realização dos ensaios da 1ª e 2ªmedições	Valores de deflexão da 1ª medição
Trecho 1	Dmáx = 55	E – 260	59
Est.240 - 290	Dméd = 35,2	E – 240	36
	Dmín = 21	E – 255	34
Trecho 2	Dmáx = 85	E – 325	81
Est. 290 - 340	Dméd = 40,8	E – 305	19
	Dmín = 21	E – 295	17
Trecho 3	Dmáx = 93	E – 355	91
Est. 340 - 390	Dméd = 50,8	E – 390	55
	Dmín = 25	E – 365	32
Trecho 4	Dmáx = 102	E – 425	91
Est. 390 - 440	Dméd = 46	E – 440	38
	Dmín = 25	E – 420	34
Trecho 5	Dmáx = 89	E – 485	95
Est. 440 - 490	Dméd = 48,5	E – 450	47
	Dmín = 30	E – 480	23
Trecho 6	Dmáx = 74	E – 495	74
Est. 490 - 540	Dméd = 45,5	E – 515	51
	Dmín = 30	E – 530	49
Trecho 7	Dmáx = 76	E – 555	76
Est. 540 - 590	Dméd = 52	E – 590	42
	Dmín = 36	E – 565	36
Trecho 8	Dmáx = 64	E – 605	89
Est. 590 - 640	Dméd = 49,5	E – 600	42
	Dmín = 32	E – 620	32
Trecho 9	Dmáx = 74	E – 650	85
Est. 640 - 690	Dméd = 56	E – 665	66
	Dmín = 32	E – 670	19
Trecho 10	Dmáx = 70	E – 715	59
Est. 690 - 740	Dméd = 52	E – 695	64
	Dmín = 19	E – 720	53

Tabela 5.4 - Bacias medidas em campo nos locais com deflexões máxima, mínima e média de cada segmento para análise nesta pesquisa

	D_0	D_{25}	D_{50}	D_{75}	D_{100}	D_{125}		
	DISTANCIAS RADIAIS – cm							
	0	**25**	**50**	**75**	**100**	**125**	**Rc (m)**	**TRECHOS**
ESTACAS	**DEFLEXÕES (0,01mm)**							
E - 240 > Med	36	19	6	2	0	0	184	
E - 255 > Min	34	13	2	0	0	0	147	**ST1**
E - 260 > Max.	59	45	34	17	6	0	211	
E - 295 > Min	17	4	0	0	0	0	246	
E - 305 > Med	19	17	4	4	4	2	1474	**ST2**
E - 325 > Max	81	68	30	17	13	11	246	
E - 355 > Max	91	55	30	15	4	4	87	
E - 365 > Min	32	17	15	13	11	11	211	**ST3**
E - 390 > Med	55	42	13	13	4	4	246	
E - 420 > Min	34	23	6	2	0	0	295	
E - 425 > Max	91	47	19	4	2	2	70	**ST4**
E - 440 > Med	38	23	6	4	2	2	211	
E - 450 > Med	47	25	4	2	0	0	147	
E - 480 > Min	23	15	8	6	4	4	369	**ST5**
E - 485 > Max	95	64	28	13	8	6	98	
E - 495 > Max	74	57	21	11	8	4	184	
E - 515 > Med	51	36	15	6	4	4	211	**ST6**
E - 530 > Min	49	34	21	15	11	6	211	
E - 555 > Max	76	55	32	13	13	6	147	
E - 565 > Min	38	28	15	8	2	2	295	**ST7**
E - 590 > Med	42	21	6	2	0	0	147	
E - 600 > Med	42	28	13	8	8	4	211	
E - 605 > Max	89	61	36	25	21	15	113	**ST8**
E - 620 > Min	32	13	6	6	2	2	164	
E - 650 > Med	66	23	13	2	2	2	74	
E - 665 > Max.	85	64	40	32	23	21	147	**ST9**
E - 670 > Min	19	6	4	4	2	0	246	
E - 695 > Med	64	34	11	4	0	0	105	
E - 715 > Max	59	45	21	8	6	2	211	**ST10**
E - 720 > Min	53	34	13	6	2	2	164	

5.3– Avaliação Estrutural Não-Destrutiva através de Retroanálise

Foi realizada avaliação estrutural baseada em retroanálise para obtenção dos módulos de resiliência das camadas do sistema pavimento/subleito. Os módulos assim obtidos refletem o estado de tensão presente na estrutura quando da realização dos ensaios defletométricos permitindo assim avaliar estruturalmente as camadas do pavimento e por conseqüência apresentar diagnóstico de desempenho.

Nesta pesquisa, foi utilizado o programa RETRAN 5CL e os resultado obtidos refletem o tipo de metodologia adotada, não é objetivo desta pesquisa discutir os conceitos nele inseridos. Como em todo procedimento de retroanálise, cabe ao projetista, bom senso e discernimento, para escolha do conjunto de módulos que melhor represente a estrutura analisada.

A análise foi feita considerando estrutura com 5 camadas conforme mostrado na figura 5.7.
O resumo dos resultados obtidos está apresentado na tabela 5.5. Na tabela, são apresentados os valores dos módulos de cada camada, assim como a contribuição de cada camada na deflexão máxima de cada bacia analisada. Observa-se que os módulos retroanalisados não apresentam valores decrescentes com a profundidade, este fato já vem sendo observado em estruturas típicas de pavimento nacionais, ao contrário do que ocorre em estruturas de pavimentos americanos onde o subleito apresenta características fracas e muitas vezes expansivas e módulos menores do que os das camadas de base e sub-base.

No resumo da retronálise observa-se grande variabilidade dos valores de módulos, assim como diferentes contribuições das camadas para a deflexão total. Em 40% das bacias, a base é quem mais contribui para a deflexão total, a sub-base constitui camada crítica em 32% e o subleito em 28%. Foram levantadas 30 deformadas de superfície, sendo duas delas eliminadas por erros grosseiros que inviabilizaram suas análises.

Na figura 5.8, apresenta-se o histograma dos módulos das camadas do pavimento e do subleito.

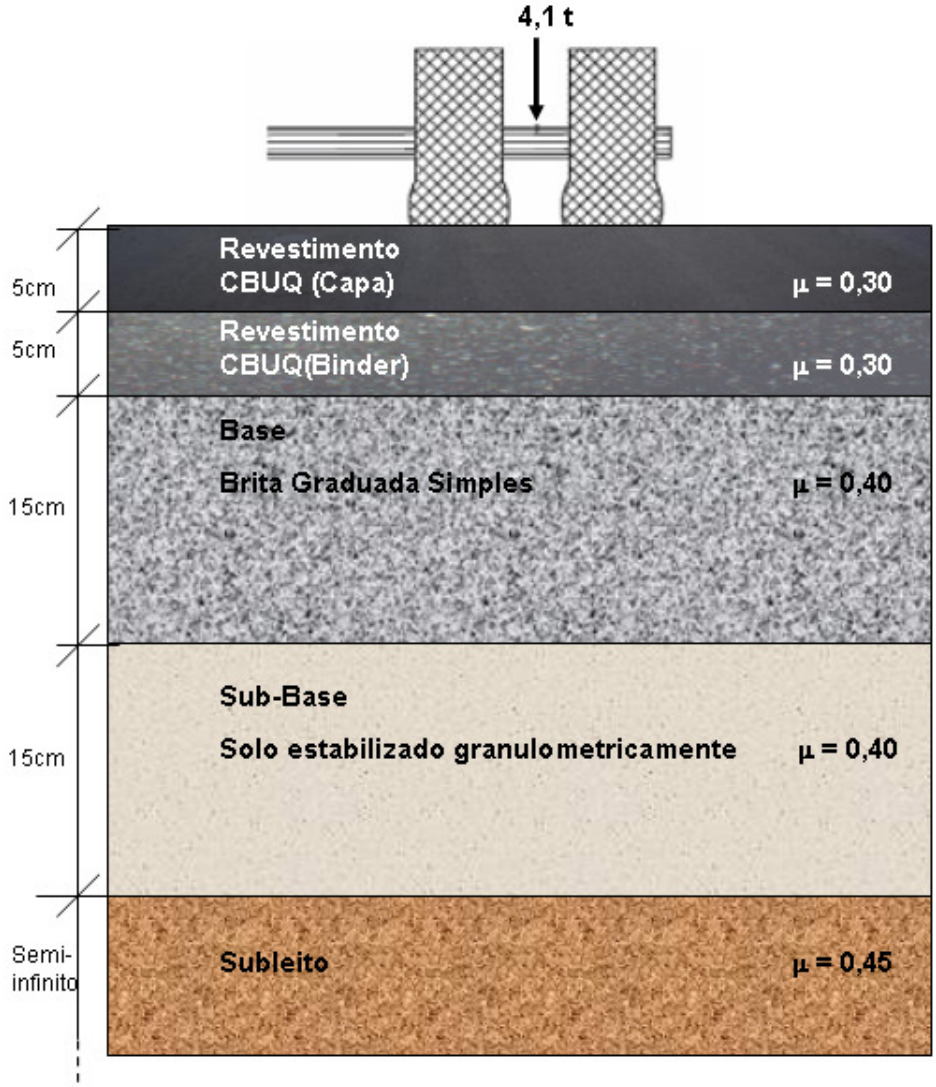


Figura 5.7 - Estrutura de Pavimento Considerada na Retroanálise

Na tabela 5.6 estão apresentados os índices de avaliação da capacidade estrutural do pavimento em função da contribuição relativa das camadas do pavimento e do subleito na formação da deflexão máxima ($D_{máx}$). Também é apresentado a estatística correspondente a esse critério de avaliação. A análise dos resultados aponta que 53% das bacias analisadas apresentam desempenho ruim e péssimo do ponto de vista de deformabilidade, entretanto, funcionalmente, na época de realização da pesquisa, ou seja, antes do início da operação, o pavimento estava em ótimo estado. Provavelmente, o resultado indica possível redução de vida útil destes segmentos.

Tabela 5.5 - Avaliação da Capacidade Estrutural

TABELA DOS ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ESTRUTURAL DO PAVIMENTO EM FUNÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO E DO SUBLEITO NA FORMAÇÃO DA DEFLEXÃO MÁXIMA D_1

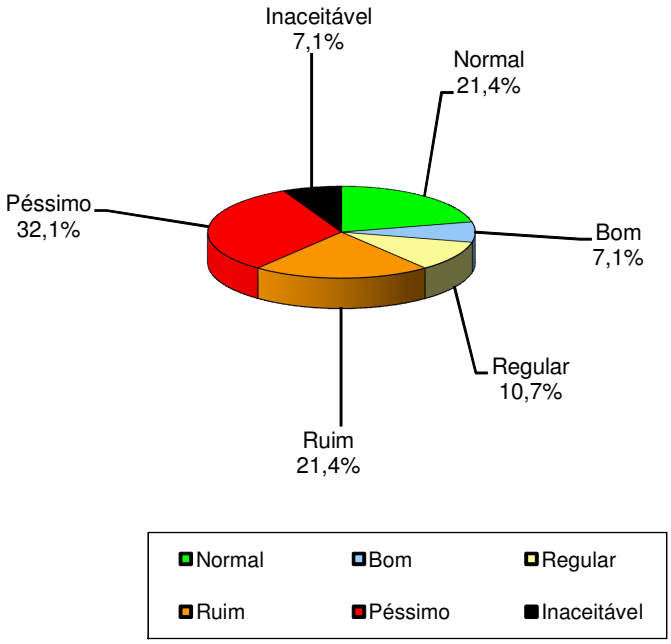
Índice	Normal	Bom	Regul	Ruim	Péss	Inaceit
	5	4	3	2	1	0
BASE	mín	Méd	mín	Méd	MÁX	MÁX
SUB-BASE	Méd	mín	MÁX	MÁX	mín	Méd
SUBLEITO	MÁX	MÁX	Méd	mín	Méd	mín

Legenda

mín	Camada com o MENOR percentual de contribuição
Méd	Camada com o percentual INTERMEDIÁRIO de contribuição
MÁX	Camada com o MAIOR percentual de contribuição

ESTATÍSTICA DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO QUANTO À DEFORMABILIDADE ELÁSTICA RELATIVA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO E DO SUBLEITO

DESEMPENHO	**Normal**
QUANTIDADE DE SEÇÕES	**6**
PERCENTUAL	**21,4%**
DESEMPENHO	**Bom**
QUANTIDADE DE SEÇÕES	**2**
PERCENTUAL	**7,1%**
DESEMPENHO	**Regular**
QUANTIDADE DE SEÇÕES	**3**
PERCENTUAL	**10,7%**
DESEMPENHO	**Ruim**
QUANTIDADE DE SEÇÕES	**6**
PERCENTUAL	**21,4%**
DESEMPENHO	**Péssimo**
QUANTIDADE DE SEÇÕES	**9**
PERCENTUAL	**32,1%**
DESEMPENHO	**Inaceitável**
QUANTIDADE DE SEÇÕES	**2**
PERCENTUAL	**7,1%**



Retran5 - L

RESUMO DA RETROANÁLISE

RODOVIA: BR-232/PE
Trecho: CARUARÚ - SÃO CAETANO

SEÇÃO	CAMADA 1			CAMADA 2			CAMADA 3			CAMADA 4			CAMADA 5			DISTÂNCIAS RADIAIS (cm)							CONTRIB. DE CADA CAMADA NA DEFLEXÃO MÁXIMA (%)					1ª. CAMADA CRÍTICA	2ª. CAMADA CRÍTICA
	MR1	POIS1	ESP1	MR2	POIS2	ESP2	MR3	POIS3	ESP3	MR4	POIS4	ESP4	MR5	POIS5	ESP5	0	25	50	75	100	125	150							
Estaca	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	DEFLEXÕES (x 0,01 mm)							Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5		
ST1-E240-Méd	30.000	0,30	5,0	16.400	0,30	5,0	1.000	0,35	15,0	1.600	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	36	19	8	4	2	1	1	0,0%	2,7%	44,4%	19,4%	33,5%	Base	Subleito
ST1-E255-mín	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	1.200	0,35	15,0	3.200	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	34	16	7	4	2	2	1	0,0%	5,8%	47,0%	12,0%	35,2%	Base	Subleito
ST1-E260-MÁX	60.000	0,30	5,0	41.718	0,30	5,0	2.246	0,35	15,0	100	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	61	47	28	17	11	7	5	0,0%	1,6%	11,4%	56,6%	30,4%	Sub-base	Subleito
ST2-E295-mín		*** BACIA ELIMINADA ***														17	11	6	4	2	2	1						-----	-----
ST2-E305-Méd	30.000	0,30	5,0	56.400	0,30	5,0	4.178	0,35	15,0	1.522	0,40	15,0	4.408	0,45	Infin.	21	13	7	4	2	2	1	0,0%	0,0%	23,8%	28,5%	47,6%	Subleito	Sub-base
ST2-E325-MÁX	60.000	0,30	5,0	41.718	0,30	5,0	156	0,35	15,0	303	0,40	15,0	1.483	0,45	Infin.	81	60	34	20	12	8	6	0,0%	1,2%	48,3%	18,5%	32,0%	Base	Subleito
ST3-E365-MÁX	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	800	0,35	15,0	175	0,40	15,0	1.600	0,45	Infin.	92	56	26	14	8	5	4	0,0%	2,3%	23,9%	42,3%	31,5%	Sub-base	Subleito
ST3-E365-mín	60.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	3.508	0,35	15,0	3.508	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	32	21	14	10	8	6	5	0,0%	6,2%	15,6%	12,5%	65,6%	Subleito	Base
ST3-E390-Méd	30.000	0,30	5,0	56.400	0,30	5,0	300	0,35	15,0	350	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	57	39	16	7	4	2	1	0,0%	0,0%	51,0%	29,8%	19,2%	Base	Sub-base
ST4-E420-mín	30.000	0,30	5,0	26.400	0,30	5,0	700	0,35	15,0	2.800	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	36	20	8	3	2	1	1	0,0%	2,7%	54,2%	11,1%	32,0%	Base	Subleito
ST4-E425-MÁX	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	200	0,35	15,0	3.200	0,40	15,0	2.400	0,45	Infin.	89	47	17	8	4	3	2	0,0%	3,2%	71,0%	3,3%	22,4%	Base	Subleito
ST4-E440-Méd	30.000	0,30	5,0	16.400	0,30	5,0	1.400	0,35	15,0	700	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	38	21	9	4	3	2	1	0,0%	2,6%	33,3%	33,4%	30,7%	Sub-base	Base
ST5-E450-Méd	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	800	0,35	15,0	1.000	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	48	22	9	4	2	2	1	0,0%	4,1%	45,8%	25,1%	25,0%	Base	Sub-base
ST5-E480-mín	60.000	0,30	5,0	41.718	0,30	5,0	4.385	0,35	15,0	1.151	0,40	15,0	3.618	0,45	Infin.	23	15	9	5	3	2	2	0,0%	0,0%	21,9%	26,0%	52,1%	Subleito	Sub-base
ST5-E485-MÁX	60.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	590	0,35	15,0	125	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	96	63	27	13	7	5	3	0,0%	2,2%	25,0%	48,9%	23,9%	Sub-base	Base
ST6-E495-MÁX	30.000	0,30	5,0	36.400	0,30	5,0	400	0,35	15,0	200	0,40	15,0	2.000	0,45	Infin.	75	53	25	12	7	4	3	0,0%	1,3%	31,6%	38,2%	28,9%	Sub-base	Base
ST6-E515-Méd	60.000	0,30	5,0	21.360	0,30	5,0	921	0,35	15,0	243	0,40	15,0	3.618	0,45	Infin.	52	34	14	7	4	2	2	0,0%	1,9%	28,2%	47,4%	22,5%	Sub-base	Base
ST6-E530-mín	40.000	0,30	5,0	21.360	0,30	5,0	3.508	0,35	15,0	243	0,40	15,0	1.853	0,45	Infin.	48	34	20	13	9	6	5	0,0%	2,2%	12,5%	41,6%	43,7%	Subleito	Sub-base
ST7-E555-MÁX	60.000	0,30	5,0	33.375	0,30	5,0	378	0,35	15,0	195	0,40	15,0	1.483	0,45	Infin.	76	56	31	18	11	8	5	0,0%	1,3%	28,9%	34,2%	35,5%	Subleito	Sub-base
ST7-E565-mín	60.000	0,30	5,0	33.375	0,30	5,0	2.807	0,35	15,0	303	0,40	15,0	2.895	0,45	Infin.	38	27	14	8	5	3	2	0,0%	0,0%	18,4%	44,7%	36,8%	Sub-base	Subleito
ST7-E590-Méd	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	1.000	0,35	15,0	1.200	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	42	20	8	4	2	1	1	0,0%	4,7%	44,5%	23,1%	27,7%	Base	Subleito
ST8-E600-Méd	60.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	3.508	0,35	15,0	378	0,40	15,0	2.316	0,45	Infin.	42	27	15	9	6	4	3	0,0%	2,3%	16,6%	38,0%	42,8%	Subleito	Sub-base
ST8-E605-MÁX	40.000	0,30	5,0	8.750	0,30	5,0	921	0,35	15,0	590	0,40	15,0	760	0,45	Infin.	87	61	39	27	19	15	12	0,0%	1,3%	20,6%	17,2%	60,9%	Subleito	Base
ST8-E620-mín	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	1.600	0,35	15,0	2.800	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	31	15	6	4	2	2	1	0,0%	6,4%	38,8%	16,1%	38,7%	Base	Subleito
ST9-E650-Méd	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	350	0,35	15,0	2.800	0,40	15,0	4.000	0,45	Infin.	62	28	9	4	2	1	1	0,0%	3,4%	70,9%	6,4%	19,3%	Base	Subleito
ST9-E665-MÁX	30.000	0,30	5,0	6.400	0,30	5,0	2.800	0,35	15,0	250	0,40	15,0	700	0,45	Infin.	84	64	44	32	24	18	15	0,0%	2,3%	9,5%	25,0%	63,2%	Subleito	Sub-base
ST9-E670-mín		*** BACIA ELIMINADA ***														17	11	6	4	2	2	1						-----	-----
ST10-E695-Méd	40.000	0,30	5,0	7.000	0,30	5,0	378	0,35	15,0	1.438	0,40	15,0	2.895	0,45	Infin.	64	32	11	5	3	2	1	0,0%	3,1%	59,3%	12,5%	25,0%	Base	Subleito
ST10-E715-MÁX	40.000	0,30	5,0	52.147	0,30	5,0	472	0,35	15,0	243	0,40	15,0	2.316	0,45	Infin.	60	43	21	11	6	4	3	0,0%	1,6%	31,1%	37,8%	29,5%	Sub-base	Base
ST10-E720-mín	60.000	0,30	5,0	8.750	0,30	5,0	1.438	0,35	15,0	243	0,40	15,0	3.618	0,45	Infin.	53	32	13	6	3	2	1	0,0%	2,0%	24,5%	50,9%	22,6%	Sub-base	Base

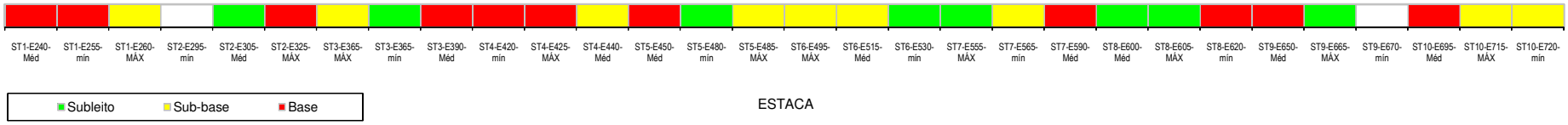
Retran5 - L

RESUMO DA RETROANÁLISE

RODOVIA: BR-232/PE
Trecho: CARUARÚ - SÃO CAETANO

SEÇÃO	CAMADA 1			CAMADA 2			CAMADA 3			CAMADA 4			CAMADA 5			DISTÂNCIAS RADIAIS (cm)							CONTRIB. DE CADA CAMADA NA DEFLEXÃO MÁXIMA (%)					1ª. CAMADA CRÍTICA	2ª. CAMADA CRÍTICA
	MR1	POIS1	ESP1	MR2	POIS2	ESP2	MR3	POIS3	ESP3	MR4	POIS4	ESP4	MR5	POIS5	ESP5	0	25	50	75	100	125	150							
Estaca	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	kgf/cm²	-	cm	DEFLEXÕES (x 0,01 mm)							Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5		
ESTATÍSTICA																													
n	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	30	30	30	30	30	30	30	28	28	28	28	28	Quant.	Quant.
Média	42.143	0,30	5,0	21.138	0,30	5,0	1.498	0,35	15,0	1.102	0,40	15,0	2.840	0,45	Infin.	53	34	17	10	6	4	3	0,0%	2,4%	34,0%	28,6%	34,9%	Base: 11	Base: 8
D. Padr	13.973	-	-	17.393	-	-	1.310	-	-	1.134	-	-	1.152	-	-	23,5	17,3	10,6	7,2	5,3	4,0	3,3	0,0%	1,7%	17,3%	14,6%	12,9%	SB: 9	SB: 8
C.V.	33,2%	-	-	82%	-	-	87%	-	-	103%	-	-	41%	-	-	44%	52%	63%	76%	89%	96%	####	0,0%	71,5%	50,8%	51,1%	36,9%	SL: 8	SL: 12
Vr. Máx	60.000	-	-	56.400	-	-	4.385	-	-	3.508	-	-	4.408	-	-	96	64	44	32	24	18	15	0,0%	6,4%	71,0%	56,6%	65,6%		
Vr. Mín	30.000	-	-	6.400	-	-	156	-	-	100	-	-	700	-	-	17	11	6	3	2	1	1	0,0%	0,0%	9,5%	3,3%	19,2%	Total: 28	Total: 28

DISTRIBUIÇÃO LINEAR DA 1ª. CAMADA CRÍTICA



ESTRUTURA-TIPO DO PAVIMENTO

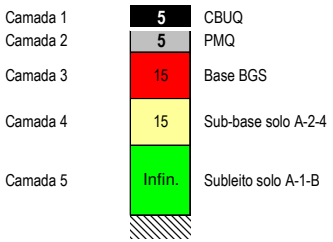


GRÁFICO 1ª. CAMADA CRÍTICA

% DAS ESTACAS ONDE CADA CAMADA TEM A MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA FORMAÇÃO DA DEFLEXÃO MÁXIMA D1

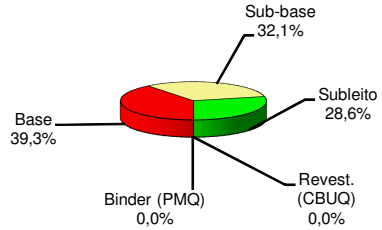
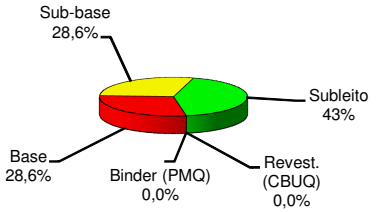


GRÁFICO 2ª. CAMADA CRÍTICA

% DAS ESTACAS ONDE CADA CAMADA TEM A SEGUNDA MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA FORMAÇÃO DA DEFLEXÃO MÁXIMA D1



5.4 –Ensaios de Laboratório

Foram realizados ensaios geotécnicos tradicionais, destinados a classificação e caracterização dos solos e ensaios triaxiais dinâmicos.

As misturas asfálticas foram avaliadas mediante ensaios de Resistência à Tração indireta (RT) e de Módulos de Resiliência (MR) e Fadiga, realizados em corpos-de-prova do tipo Marshall, moldados na usina e retirados da pista.

Esses ensaios tiveram como objetivo a identificação de parâmetros típicos desses materiais para análise estrutural do pavimento

5.4.1 – Caracterização Tradicional, Compactação e CBR

Foram realizados ensaios de caracterização, compactação e CBR das ocorrências e soluções de estabilização empregadas para camadas de base, sub-base e camada final de terraplenagem. Estes ensaios foram realizados nos Laboratórios de Engenharia de Pavimentos da UFCG e de controle de qualidade da construção da BR-232/PE, efetuada pela fiscalização do DER-PE com gerenciamento terceirizado, cujos relatórios foram fontes de dados desta pesquisa.

A tabela 5.7 mostra resultados dos ensaios: granulometria, LL, IP e expansão. Apresenta também a classificação HRB, a umidade ótima, a massa específica aparente seca máxima de compactação e o CBR. Para sub-base foi empregada a energias de Proctor Intermediário e para camada final de terraplenagem de Proctor Normal. O CBR foi realizado após imersão de 4 dias.

Nas tabelas 5.8. e 5.9 estão apresentadas as características da base, constituída de Brita Graduada Simples (BGS) obtida por processamento em usina apropriada com emprego de produtos britados provenientes de pedreira com características graníticas.

Nota-se os valores elevados de CBR para todas as camadas e subleitos, o que ressalta a qualidade geotécnica dos solos tropicais. Todos esses solos são essencialmente

constituídos de misturas bem graduadas com finos de pequena plasticidade e sem expansão, de acordo com conceitos tradicionais da engenharia rodoviária.

A sub-base apresenta porcentual de finos entre 17 e 22%. Na Camada Final de Terraplanagem (CFT) onde a variação da fração fina é maior, o percentual fica no entorno de 25%.

Os solos da CFT são constituídos de materiais areno-siltoso-argiloso apresentando valores de CBR superiores ao considerado em projeto. Os solos da camada de sub-base são constituídos de solo estabilizado granulometricamente apresentando CBR maiores do que o especificado.
Já a camada de base apresenta CBR maior do que o especificado para este tipo de camada.

Todos considerados de qualidade excelente a boa segundo critérios do HRB (Highway Research Board). Nota-se elevados valores de CBR dos materiais de CFT e sub- base. Estes valores elevados de CBR da sub-base não são levados em conta no dimensionamento tradicional pelo método do DNER, que só considera CBR igual a 20 para sub-base. No caso estudado este valor é alcançado e ultrapassado ate mesmo na camada final de terraplenagem.

Tabela 5.7 – Caracterização dos materiais do segmento em análise das camadas terrosas do pavimento (UFCG)

OCORRÊNCIA			**EMP18**	**EMP25**	**JAZ.01**	**JAZ.06**
CAMADA			TERRAP.	TERRAP.	SUB BASE	SUB BASE
GRANULOMETRIA	**PENEIRA % PASSANDO**	2”	100	100	100	100
		1”	100	94	92	92
		3/8”	94	72	75	76
		Nº 4	89	63	63	64
		Nº 10	79	53	50	54
		Nº 40	48	38	30	36
		Nº 200	25	25	17	22
L L			NL	27	28	NL
IP			NP	4	10	NP
CLASSIF. HRB			A-1-b	A-1-b	A-2-4	A-2-4
COMPACTAÇÃO	DENSIDADE MÁXIMA		1.960	2.170	2.090	1.950
	UMIDADE ÓTIMA		6,7	8,3	9,4	6,9
CBR			33	22	45	42
EXP. (%)			0,04	0,1	0,2	0,06

De uma forma geral, esses dados são semelhantes aos obtidos no controle tecnológico da construção da obra.

Tabela 5.8 – Composição Granulométrica da Brita Graduada Simples (BGS) empregada na Base do segmento analisado, feita na UFCG

Peneiras		**B 38 - 40%**	**B 19 - 10%**	**B 12 - 10%**	**Pó - 40%**	Mistura	Faixa "A" DNER-ES 303/97
		% passante p/ peneira					
Pol.	mm						
2"	50,8	100	100,00	100	100	100	100
1"	25,4	-	-	-	-	-	-
3/8"	8,5	2,10	24,15	98,15	100,00	53,07	30 - 65
nº 4	4,8	1,90	1,10	7,80	94,25	39,35	25 - 55
nº 10	2,0	1,70	0,75	2,30	66,45	27,57	15 - 40
nº 40	0,42	1,45	0,65	1,85	33,55	14,25	8 - 20
nº 200	0,07	1,00	0,45	1,30	11,75	5,28	2 - 8

Tabela 5.9 - Parâmetros de Compactação e CBR com variação de umidade – BGS do segmento em estudo, feito na UFCG

UMIDADE	COMPACTAÇÃO e CBR			
	Energ. 55 golpes			
	Dens. (kgf/cm^2)	Umid. (%)	I. S. C. (%)	EXP. (%)
-2%	2175	3,5	186	0
H.ot	2255	5,4	219	0
+2%	2217	7,5	193	0
-2%	2190	3,6	200	0
H.ot	2254	5,1	237	0
+2%	2213	7,6	120	0
+2%	2165	3,5	181	0
H.ot	2231	5,5	291	0
+2%	2209	7,7	234	0

5.4.2 Características do Revestimento

O revestimento do trecho é constituído de duas camadas de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), uma na faixa B do DNIT (camada de ligação) e outra na faixa C (camada de rolamento). A composição do concreto asfáltico é resultado das misturas de areia fina do rio Paraíba, agregado britado, filer e cimento asfáltico (CAP 50/70 de Fotaleza). A dosagem foi realizada pelo Método Marshall.

5.4.3 Agregados

Os agregados utilizados neste trabalho foram brita graduada nos diâmetros máximos de 25,4mm, 19,1mm, 12,7mm, pó de pedra e areia fina de barranco proveniente de Lajedo e como material de enchimento, foi utilizado cal hidratada que atendeu a especificação DNER-EM-036/95 (materiais semelhantes aos utilizados na obra).

As granulometrias dos agregados estão apresentadas na tabela 5.10. Outras características dos agregados minerais são mostradas na tabela 5.11.

Tabela 5.10 - Granulometria dos agregados e filer (% passando) utilizados nas misturas asfálticas do segmento em estudo, feita na UFCG

PENEIRA	ABERTURA # mm	B25	B19	B12,7	Pó	Areia	Filer
2"	50,8	100	-	-			
1 1/2"	38,1	100	100	100	100	100	100
1"	25,4	99	100	100	100	100	100
3/4"	19,1	43	100	100	100	100	100
½"	12,7	-	45	98	100	100	100
3/8"	9,5	1	10	3	100	100	100
No. 4	4,8	1	1	1	97	100	100
No. 10	2,0	-	1	1	65	95	100
No. 40	0,42	-	-	1	34	42	97
No. 80	0,177	-	-	-	21	22	91
No. 200	0,074	-	-	-	11	12	83

Tabela 5.11 - Características dos agregados minerais da mistura asfáltica desta pesquisa, feita na UFCG

ENSAIO	ESPECIFICAÇÃO DNER	AGREGADO MINERAL			
		AGREGADO GRAÚDO D≥4,8mm	PÓ DE PEDRA	AREIA	CAL HIDRATADA
Densidade Real do Grão (kg/m^3)	DNER-ME-081/94	2,765	2,735	2,653	2,727
Densidade Aparente do Grão (kg/m^3)	DNER-ME-081/94	-	N/D	N/D	N/A
Absorção (%)	DNER-ME-081/94	-	N/A	N/A	N/A
Abrasão "Los Angeles" (%)	DNER-ME-035/98 GRADUAÇÃO "B"	-	N/A	N/A	N/A
Equivalente de Areia (%)	DNER-ME-054/94	N/A	-	-	N/A
Índice de Forma	DNER-ME-086/94	-	N/A	N/A	N/A
Durabilidade (%)	DNER-ME-089/94	-	N/A	N/A	N/A

Obs. Os campos marcados com – representa a não disponibilidade de informação.

5.4.4 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Neste trabalho foi utilizado o CAP-50/70, proveniente da LUBNOR Fortaleza/CE, comumente empregado nas misturas asfáltica a quente da região nordeste. A tabela 5.12 apresenta especificações e resultados de ensaios de caracterização.

Tabela 5.12 – Caracterização de material betuminoso da mistura asfáltica desta pesquisa, feita na UFCG

CARACTERÍSTICA	***MÉTODO***	***CAP 50/70***	
		ESPECIF.	***MEDIDO***
Penetração (100g, 5s, 25ºC) 0,1 mm	NBR 6576	50 – 70	-
Ponto de amolecimento, ºC	NBR 6560	46 (min)	-
Índice de Susceptibilidade Térmica – IST (1)		(-1,5) a (+0,7)	-
Ponto de fulgor ºC	NBR 11341	235 (min.)	-
Viscosidade SayboltFurol a 135ºC, segundos	NBR 14950	141 (min.)	-
Aquecimento a 175ºC		Não espuma	Não espuma
Densidade (t/m^3)	NBR 6296/2004		1,030

O Índice de susceptibilidade térmica é obtido a partir da seguinte equação

$$\text{Índice de Suceptibilidade Térmica IST} = \frac{(500)(\text{LOG PEN}) = (20)(\text{Tº C}) - 1951}{120 - (50)(\log \text{PEN}) + (\text{Tº C})}$$

sendo:

(T ºC) = Ponto de amolecimento

PEN = penetração a 25ºC, 100g, 5 seg.

Obs. Os campos marcados com – representa a não disponibilidade de informação.

5.4.5 Misturas Asfálticas

A composição das misturas asfálticas utilizadas no revestimento da BR232-PE, no trecho estudado é resultado da combinação entre britas graduadas, pó de pedra, areia, filer e ligante asfáltica, conforme apresentado na Tabela5.13. Salienta-se nesse quadro o pequeno porcentual de filer comercial que parece prevalecer na prática cotidiana da engenharia rodoviária nacional. A tabela 5.14 apresenta as distribuições granulométricas das misturas. Nas figuras 5.9 e 5.10 estão plotadas curvas granulométricas das misturas assim como as faixas granulométricas especificadas pelo **DNER-ESP-318/97**, ambas para o concreto Betuminoso Usinado a Quente, faixas B e C.

A dosagem foi realizada pelo Método Marshall. As características de projeto estão mostradas nas tabelas 5.15 e 5.16 para binder e capa respectivamente. Os resultados obtidos atendem as especificações vigentes.

Tabela 5.13 - Composição das Misturas Asfálticas utilizadas nas obras do segmento em estudo

AGREGADOS	***CAPA – FAIXA C***	***BINDER – FAIXA B***
brita 25,4mm	-	20%
brita 19,1mm	13%	19%
brita 12,7mm	22,5%	23,5%
pó de pedra	25%	18%
areia	38%	18,5%
filer (cimento)	1,5%	1%
Total Agregados	100%	100%

Fonte: DER-PE.

Tabela 5.14 - Granulometria das Misturas Asfálticas utilizadas nas obras do segmento em estudo

PENEIRA	***ABERTURA mm***	***COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA % QUE PASSA***			
		CAPA FAIXA C	***BINDER FAIXA B***	***ESP FAIXA C***	***ESP. FAIXA B***
2"	50,8				
1 1/2"	38,1	100	100	100	100
1"	25,4	100	100	100	95 - 100
3/4"	19,1	100	89	100	80 - 100
½"	12,7	93	-	85 – 100	-
3/8"	9,5	88	62	75 – 100	45 - 80
No. 4	4,8	65	38	50 – 85	28 - 60
No. 10	2,0	54	31	30 – 75	20 - 45
No. 40	0,42	26	15	15 – 40	10 - 32
No. 80	0,177	15	9	8 – 30	8 - 20
No. 200	0,074	9	5	5 – 10	3 - 8

Fonte: DER-PE.

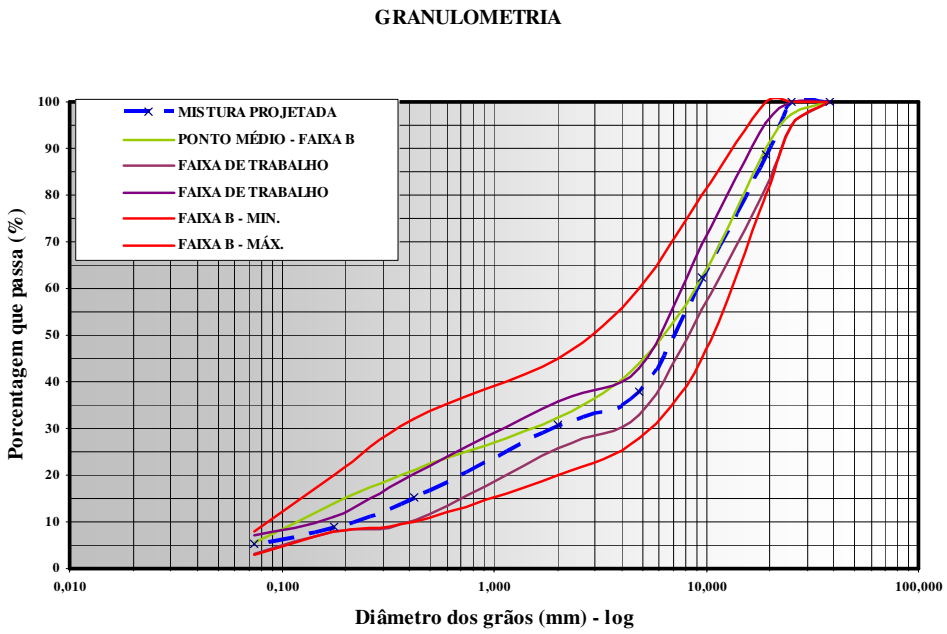


Figura 5.9 – Granulometria da Mistura Asfáltica do tipo Binder – faixa B, usada na obra do segmento em estudo

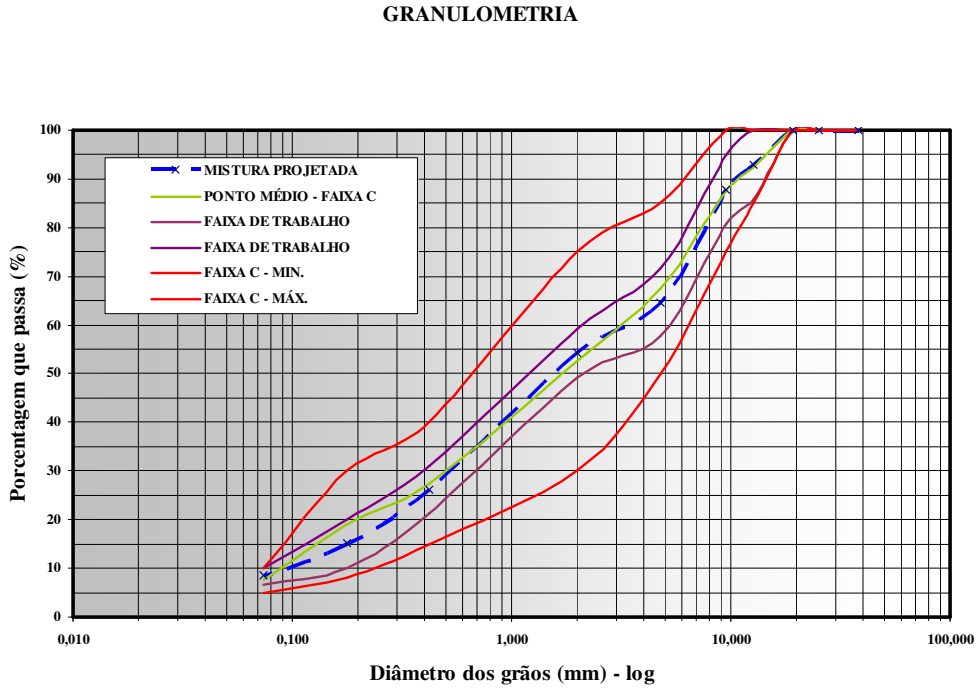


Figura 5.10 - Granulometria da Mistura Asfáltica – faixa C, usada na obra do segmento em estudo

Tabela 5.15 - Projeto de Mistura CBUQ – Binder – Faixa B da obra do segmento em estudo

INDENTIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO DNER ESP 318/97
Densidade Aparente (g/dm^3)	2,410	-
Densidade Teórica (g/dm^3)	2,732	-
Vazios (%)	4,6	4 – 6
Relação Betume Vazios (%)	71,9	65 – 72
Vazios Agregado Mineral (%)	16,4	-
Estabilidade Marshall (kgf)	861	≥ 350 (75 golpes) ≥ 250 (50 golpes)
Fluência (0,01pol.)	13,9	8 – 18
Teor Ótimo de CAP (%)	5,1	-
Resultado de Adesividade satisfatório com 0,5% de DOPE		

Fonte: DER-PE.

Tabela 5.16 - Projeto de Mistura CBUQ – Capa – Faixa C. da obra do segmento em estudo

INDENTIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO DNER ESP 318/97
Densidade Aparente (g/dm^3)	2,400	-
Densidade Teórica (g/dm^3)	2,708	-
Vazios (%)	3,0	3 -5
Relação Betume Vazios (%)	82,0	75 – 82
Vazios Agregado Mineral (%)	16,8	-
Estabilidade Marshall (kgf)	610	≥ 350 (75 golpes) ≥ 250 (50 golpes)
Fluência (0,01pol.)	11,2	8 – 18
Teor Ótimo de CAP (%)	5,9	-
Resultado de Adesividade satisfatório com 0,5% de DOPE		

Fonte: DER-PE.

5.4.6 Propriedades Físicas e Mecânicas das Misturas Asfálticas.

As características físicas e mecânicas da misturas asfálticas foram obtidas em corpos-de-prova retirados da pista e moldados em laboratório nos teores de projeto correspondentes a capa e binder.

Os corpos-de-prova extraídos da pista foram retirados nas duas faixas de tráfego conforme procedimento descrito no Capítulo 4 e numerados conforme apresentado na tabela 5.17. Em cada estação amostrada foram retirados 2 corpos-de-prova da capa e dois da camada asfáltica de ligação (numerados com adição de x).

Tabela 5.17 - Cadastro dos corpos-de-prova retirados da pista

Estaca	Corpo-de-prova	
	LE	LD
E-240	1	2
E-250	3	4
E-255	5	6
E-295	7	8
E-305	9	10
E-325	11	12
E-355	13	14
E-365	15	16
E-390	17	18
E-420	19	20
E-425	21	22
E-440	23	24
E-450	25	26
E-480	27	28
E-485	29	30

Estaca	Corpo-de-prova	
	LE	LD
E-495	31	32
E-515	33	34
E-530	35	36
E-555	37	38
E-565	39	40
E-590	41	42
E-600	43	44
E-605	45	46
E-620	47	48
E-650	49	50
E-665	51	52
E-670	53	54
E-695	55	56
E-715	57	58
E-720	59	60

As dimensões dos corpos-de-prova estão apresentadas nas tabelas 5.18 e 5.19**.**

Tabela 5.18 - Dimensões dos corpos-de-prova retirados da Pista

BINDER			CAPA		
Nº CP	**Hm**	**Dm**	**Nº CP**	**Hm**	**Dm**
1x	5,0	9,9	1	3,4	9,9
2x	_	_	2	5,8	9,9
2.1x	4,9	9,9	3	5,2	9,9
3x	4,0	9,9	4	4,8	9,9
4x	3,5	9,9	5	4,8	9,9
5x	4,3	9,9	6	4,2	9,9
6x	4,5	9,9	7	4,8	9,9
7x	3,5	9,9	8	4,3	9,9
8x	4,4	9,9	9	4,8	9,9
9x	4,6	10,0	10	5,0	9,9
10x	4,4	10,0	11	4,8	9,9
11x	3,4	10,0	12	4,8	9,9
12x	3,9	9,9	13	5,1	9,9
13x	4,1	10,0	14	4,8	9,9
14x	4,4	10,0	15	6,0	9,9
15x	4,6	9,9	16	6,2	9,9
16x	5,4	9,9	17	5,3	9,9
17x	5,0	9,9	18	5,0	9,9
17.1x	5,7	9,9	19	4,7	9,9
18x	4,2	9,9	20	4,1	9,9
19x	4,4	10,0	21	4,9	9,9
20x	4,7	9,9	22	5,0	9,9
21x	4,1	9,9	23	5,1	9,9
22x	4,0	9,9	24	5,5	9,9
23x	5,5	9,9	25	4,9	9,9
24x	5,0	10,0	26	4,9	9,9
25x	4,6	9,9	27	4,6	9,9
26x	4,7	10,0	28	6,5	9,9
27x	3,6	10,1	29	5,0	9,9
28x	_	_	30	4,5	9,9
28.1x	5,0	9,9	31	5,1	9,9
29x	_	_	32	5,1	9,9
30x	_	_	33	5,2	9,9

BINDER			CAPA		
Nº CP	**Hm**	**Dm**	**Nº CP**	**Hm**	**Dm**
31x	3,7	10,0	34	5,3	9,9
32x	3,8	10,0	35	5,2	9,9
33x	4,3	10,0	36	5,7	9,9
34x	4,4	10,0	37	3,9	9,9
35x	4,8	10,0	38	4,9	9,9
36x	5,5	9,9	39	5,8	9,9
37x	4,6	10,0	40	4,7	9,9
38x	4,1	10,0	41	4,4	10,0
39x	4,5	10,0	42	4,7	10,0
40x	4,9	10,0	43	5,0	10,0
41x	3,6	10,0	44	4,5	10,0
42x	3,9	10,0	45	5,9	9,9
43x	3,9	10,0	46	5,2	9,9
44x	3,5	10,0	47	4,2	9,9
45x	3,9	9,9	48	6,3	9,9
46x	5,4	10,0	49	3,8	9,9
47x	4,2	9,9	50	4,3	9,9
48x	_	_	51	4,9	9,9
48.1x	4,9	9,9	52	4,8	9,9
49x	3,6	10,1	53	5,9	9,9
50x	3,0	10,0	54	6,2	10,0
51x	3,4	10,0	55	5,2	9,9
52x	4,5	10,0	56	5,6	9,9
53x	4,7	9,9	57	5,3	10,0
54x	4,6	10,0	58	5,7	9,9
55x	3,4	10,0	59	5,3	9,9
56x	3,3	10,0	60	4,5	9,9
57x	5,0	10,0			
58x	4,2	10,0			
59x	3,9	9,9			
60x	5,0	9,9			
MÉDIA	**4,3**	**9,9**		**5,0**	**9,9**
DP	**0,6**	**0,0**		**0,6**	**0,0**
CV	**14,5**	**0,4**		**12,3**	**0,3**

Tabela 5.19 - Dimensões dos corpos-de-prova moldados em laboratório/usina da construtora e medidas feitas pela UFCG

CAPA			**BINDER**		
CP N°.	**ALTURA (cm)**	**DIÂMETRO (cm)**	**CP N°.**	**ALTURA (cm)**	**DIÂMETRO (cm)**
7	6,50	10,16	**11**	6,24	10,16
11	6,39	10,15	**12**	6,26	10,16
12	6,56	10,16	**13**	6,42	10,15
13	6,51	10,17	**14**	6,34	10,16
14	6,40	10,17			
15	6,44	10,16			
MÉDIA	**6,5**	**10,2**	**MÉDIA**	**6,32**	**10,16**
DP	**0,07**	**0,01**	**DP**	**0,08**	**0,00**
CV	**1,0**	**0,1**	**CV**	**1,3**	**0,0**

Tabela 5.20 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista da camada de capa pela equipe da pesquisa

Corpo-de-prova N°.	Densidade		Vazios		
	Aparente (kg/m3)	Máxima Teórica (kg/m3)	Agregado (%)	Rel. Betume vazios (%) (%)	Mistura (%)
1	2,34	2,48	17,1	79,0	5,4
2	2,35	2,48	16,8	80,8	5,1
3	2,35	2,48	16,8	80,8	5,1
4	2,35	2,48	16,8	81,1	5,0
5	2,36	2,48	16,6	82,2	4,8
6	2,35	2,48	16,7	81,4	5,0
7	2,35	2,48	16,8	81,1	5,0
8	2,38	2,48	14,9	78,3	3,8
9	2,36	2,48	16,5	82,5	4,7
10	2,36	2,48	16,5	83,0	4,6
11	2,36	2,48	16,6	82,3	4,8
12	2,36	2,48	16,3	83,8	4,5
13	2,36	2,48	16,4	83,3	4,6
14	2,37	2,48	16,3	84,0	4,3
15	2,35	2,48	16,4	82,9	5,0
16	2,37	2,48	16,2	71,9	4,1
17	2,36	2,48	16,8	81,5	4,5
18	2,37	2,48	15,2	90,1	4,4
19	2,36	2,48	16,3	83,6	4,6
20	2,35	2,48	16,2	83,5	5,2
21	2,36	2,48	16,4	83,4	4,6
22	2,38	2,48	16,9	81,1	4,0
23	2,36	2,48	16,4	83,0	4,6
24	2,37	2,48	15,9	73,2	4,3
25	2,36	2,48	16,4	83,2	4,6

Tabela 5.21 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista - capa. Continuação.

Corpo-de-prova	Densidade		Vazios		
26	2,35	2,48	15,3	88,5	5,2
27	2,36	2,48	16,4	83,3	4,5
28	2,36	2,48	16,9	80,8	4,6
29	2,36	2,48	16,4	83,5	4,6
30	2,36	2,48	16,4	83,3	4,5
31	2,37	2,48	16,4	83,5	4,2
32	2,36	2,48	16,3	71,0	4,5
33	2,36	2,48	16,1	85,1	4,5
34	2,36	2,48	15,6	87,7	4,7
35	2,35	2,48	16,3	83,4	4,9
36	2,37	2,48	16,5	83,1	4,1
37	2,36	2,48	16,6	81,9	4,8
38	2,36	2,48	16,0	85,7	4,5
39	2,37	2,48	16,6	82,5	4,2
40	2,36	2,48	16,3	70,8	4,8
41	2,37	2,48	16,1	85,0	4,4
42	2,36	2,48	15,8	86,6	4,6
43	2,35	2,48	16,3	83,6	5,1
44	2,37	2,48	16,4	83,5	4,4
45	2,35	2,48	16,8	81,0	4,9
46	2,36	2,48	16,2	84,3	4,5
47	2,37	2,48	16,7	82,5	4,0
48	2,36	2,48	16,3	70,7	4,8
49	2,36	2,48	15,9	85,7	4,7
50	2,39	2,48	15,8	87,2	3,6
51	2,36	2,48	16,5	82,7	4,8
52	2,37	2,48	15,5	88,3	4,3
53	2,37	2,48	16,6	82,5	4,1
54	2,39	2,48	16,2	85,6	3,4
55	2,36	2,48	16,0	85,5	4,5
56	2,37	2,48	15,4	75,7	4,1
57	2,36	2,48	16,3	83,8	4,5
58	2,37	2,48	15,1	90,4	4,3
59	2,37	2,48	16,3	84,0	4,3
60	2,36	2,48	16,2	84,5	4,6
MÉDIA	**2,36**	**2,48**	**16,28**	**82,47**	**4,56**
DP	**0,009**	**0,000**	**0,462**	**4,197**	**0,383**
CV	**0,40**	**0,00**	**2,84**	**5,09**	**8,42**

Tabela 5.22 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista da camada de binder pela equipe da pesquisa

Corpo-de-prova N°.	Densidade		Vazios		
	Aparente (kg/m3)	Máxima Teórica (kg/m3)	Agregado (%)	Rel. Betume vazios (%)	Mistura (%)
1X	2,41	2,53	13,8	85,8	4,6
2X					
2,1X	2,39	2,53	14,4	81,3	5,3
3X	2,38	2,53	15,1	77,4	6,0
4X	2,41	2,53	13,7	86,1	4,5
5X	2,40	2,53	14,3	82,5	5,1
6X	2,40	2,53	14,3	82,4	5,1
7X	2,40	2,53	14,2	83,0	5,0
8X	2,40	2,53	14,4	81,7	5,2
9X	2,39	2,53	14,5	81,0	5,3
10X	2,40	2,53	14,2	82,8	5,0
11X	2,39	2,53	14,4	81,5	5,3
12X	2,40	2,53	14,4	81,6	5,3
13X	2,39	2,53	14,4	81,3	5,5
14X	2,41	2,53	14,4	0,0	4,5
15X	2,40	2,53	14,6	80,6	5,0
16X	2,40	2,53	9,2	127,9	5,2
17X	2,39	2,53	14,1	82,8	5,6
17.1x	2,39	2,53	14,4	81,7	5,4
18X	2,39	2,53	14,7	79,9	5,3
19X	2,40	2,53	14,5	81,1	5,0
20X	2,41	2,53	14,5	81,5	4,8
21X	2,41	2,53	14,2	83,1	4,8
22X	2,40	2,53	14,0	84,3	5,2
23X	2,39	2,53	14,0	83,8	5,5
24X	2,41	2,53	14,3	82,4	4,9
25X	2,41	2,53	14,6	80,9	4,9
26X	2,40	2,53	14,0	83,7	5,2
27X	2,39	2,53	14,0	83,6	5,3
28X					
28.1x	2,41	2,53	14,4	81,8	4,7
29X					
30X					

Tabela 5.23 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova retirados da pista - binder. Continuação.

Corpo-de-prova N°.	Densidade		Vazios		
	Aparente (kg/m3)	Máxima Teórica (kg/m3)	Agregado (%)	Rel. Betume vazios (%)	Total (%)
31X	2,40	2,53	14,2	11,8	5,1
32X	2,40	2,53	14,2	11,8	5,1
33X	2,40	2,53	14,2	82,8	5,0
34X	2,40	2,53	14,2	82,6	5,1
35X	2,39	2,53	14,2	82,9	5,3
36X	2,40	2,53	14,3	82,3	5,1
37X	2,40	2,53	14,4	81,8	4,9
38X	2,39	2,53	14,2	82,4	5,4
39X	2,40	2,53	14,1	83,7	5,0
40X	2,40	2,53	14,5	81,3	4,9
41X	2,40	2,53	14,1	83,3	4,9
42X	2,40	2,53	14,1	83,6	5,0
43X	2,40	2,53	14,1	83,3	5,1
44X	2,41	2,53	14,2	83,0	4,8
45X	2,39	2,53	14,3	82,3	5,3
46X	2,41	2,53	14,0	84,4	4,7
47X	2,41	2,53	14,4	82,1	4,5
48.1x	2,38	2,53	13,7	84,9	6,0
49X	2,39	2,53	14,1	11,7	5,4
50X	2,39	2,53	15,0	78,1	5,3
51X	2,40	2,53	14,6	80,7	5,2
52X	2,40	2,53	14,4	81,6	5,2
53X	2,41	2,53	14,3	82,3	4,7
54X	2,41	2,53	14,3	82,4	4,6
55X	2,39	2,53	13,9	84,2	5,5
56X	2,40	2,53	13,8	85,5	5,0
57X	2,39	2,53	14,6	80,2	5,3
58X	2,40	2,53	14,1	83,2	5,1
59X	2,41	2,53	14,5	81,8	4,6
60X	2,40	2,53	14,2	82,7	5,0
MÉDIA	**2,40**	**2,53**	**18,55**	**78,17**	**5,09**
DP	**0,008**	**0,000**	**19,026**	**19,879**	**0,316**
CV	**0,33**	**0,00**	**102,54**	**25,43**	**6,20**

Tabela 5.24 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova moldados em laboratório da camada de binder feita pela UFCG.

Corpo-de-prova N°.	Densidade		Vazios		
	Aparente (kg/m3)	Máxima Teórica (kg/m3)	Agregado (%)	Rel. Betume vazios (%) (%)	Mistura (%)
1	2,41	2,53	16,3	71,9	4,6
2	2,41	2,53	16,3	71,7	4,6
3	2,40	2,53	16,7	69,7	5,0
4	2,39	2,53	17,1	68,0	5,5
5	2,41	2,53	16,5	70,9	4,8
6	2,40	2,53	16,7	69,9	5,0
7	2,41	2,53	16,5	70,7	4,8
8	2,39	2,53	16,9	68,8	5,3
9	2,41	2,53	16,3	71,9	4,6
10	2,40	2,53	16,7	69,8	5,0
11	2,40	2,53	16,7	70,0	5,0
12	2,40	2,53	16,8	69,5	5,1
13	2,40	2,53	16,6	70,0	5,0
14	2,41	2,53	16,5	70,7	4,8
MÉDIA	**2,40**	**2,53**	**16,61**	**70,26**	**4,93**
DP	**0,007**	**0,000**	**0,228**	**1,153**	**0,260**
CV	**0,27**	**0,00**	**1,37**	**1,64**	**5,27**

Tabela 5.25 - Parâmetros físicos dos corpos-de-prova moldados em laboratório da camada de capa feita pela UFCG

Corpo-de-prova N°.	Densidade		Vazios		
	Aparente	Máxima Teórica	Agregado	Rel. Betume vazios (%)	Mistura
	(kg/m3)	(kg/m3)	(%)	(%)	(%)
1	2,38	2,47	17,6	77,3	4,0
2	2,38	2,47	17,6	77,5	4,0
3	2,38	2,47	17,5	77,9	3,9
4	2,37	2,47	17,6	77,2	4,0
5	2,39	2,47	17,3	79,2	3,6
6	2,38	2,47	17,4	78,3	3,8
7	2,38	2,47	17,5	77,7	3,9
8	2,38	2,47	17,5	77,8	3,9
9	2,37	2,47	17,6	77,2	4,0
10	2,37	2,47	17,7	76,7	4,1
11	2,38	2,47	17,5	77,8	3,9
12	2,38	2,47	17,6	77,3	4,0
13	2,38	2,47	17,4	78,2	3,8
14	2,37	2,47	17,8	76,2	4,2
15	2,38	2,47	17,6	77,3	4,0
MÉDIA	**2,38**	**2,47**	**17,55**	**77,58**	**3,95**
DP	**0,004**	**0,000**	**0,131**	**0,705**	**0,153**
CV	**0,16**	**0,00**	**0,75**	**0,91**	**3,87**

5.4.7 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado em amostras (capa e binder) retiradas da pista e moldadas em laboratório. Todos os corpos-de-prova apresentaram valores para a Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25ºC, superiores ao mínimo estabelecido pela norma DNIT 031/2006, de 0,65 MPa.

Observa-se maiores valores de resistência a tração indireta (RT) nos corpos-de-prova retirados da pista. Este ganho de resistência pode ser atribuído ao envelhecimento do ligante, que ganha resistência com o passar do tempo devido à perda de componentes voláteis. Também é notável maior variabilidade neste parâmetro de resistência nos

corpos-de-prova retirados da pista, parecendo indicativo de condições de contorno diferenciadas no processo construtivo. Na tabela 5.26 estão apresentados os resultados médios obtidos e na figura 5.11 foto ilustrando a realização do ensaio de RT.

Tabela 5.26 - Resistência a Tração (RT) Estática obtida por Compressão Diametral dos corpos-de-prova de laboratório e campo do segmento em estudo

CAMADA	USINA			PISTA		
	Média(MPa	**DP(MPa)**	**CV (%)**	**Média(MPa)**	**DP(MPa)**	**CV (%)**
CAPA	0,89	0,05	6,0	1,17	0,21	17,8
BINDER	0,86	0,05	5,3	1,03	0,17	16,2

Figura 5.11 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral LEP/UFCG.

5.4.8 Ensaios de Módulo de Resiliência e Fadiga do Concreto Betuminoso Usinado a Quente

Os valores obtidos para módulo de resiliência de corpos-de-prova retirados da pista e moldados em laboratório estão sumarizados na tabela 5.27. O modelo de fadiga obtido com ensaio a tensão controlada é apresentado na tabela 5.28 e figura 5.12. Os resultados obtidos para a relação MR/RT para os CBUQs empregados estão mostrados na tabela 5.29. A análise dos resultados aponta para valores de módulo semelhantes na pista e no laboratório, porém de forma surpreendente a variabilidade da deformabilidade dos

corpos-de-prova moldados em laboratório é bem superior a obtida nos corpos-de-prova retirados da pista.

Tabela 5.27 - Valores de Módulo de Resiliência (MR) dos corpos-de-prova de campo e laboratório do segmento em estudo

CAMADA	USINA			PISTA		
	Média(MPa)	**DP(MPa)**	**CV (%)**	**Média(MPa)**	**DP(MPa)**	**CV (%)**
CAPA	6289	2494	39,7	6244	302	4,8
BINDER	4099	1398	34,1	4663	1173	25,2

Tabela 5.28 - Modelo de Fadiga – Tensão Controlada dos corpos-de-prova de campo e laboratório do segmento em estudo

CAMADA	$\mathbf{M_{R\ MÉDIO}}$ **(MPa)**	**MODELO DE FADIGA**
CAPA	6289	$N = 611\Delta\sigma(MPa)^{-5,31}$ R^2=0,95
BINDER	4099	$N = 2825\Delta\sigma(MPa)^{-3,64}$ R^2=0,85

Tabela 5.29 - Relação MR/RT das Misturas Asfálticas

CAMADA	**MR/RT USINA**	**MR/RT PISTA**
CAPA	7066	5356
BINDER	4752	4522

A relação MR/RT encontrada nesta pesquisa, para os corpos-de-prova da pista, está compatível com valores observados por outros pesquisadores em misturas semelhantes com mesmo tipo de ligante. Observa-se algo inusitado e indicativo de análise mais rigorosa o fato da relação MR/RT apresentar-se reduzida quando se compara laboratório versus campo.

A vida de fadiga determinada a partir de ensaios com corpos-de-prova moldados em laboratório, para os níveis de tensão correspondentes, é maior para o CBUQ empregado na camada de ligação (binder) do que o concreto asfáltico utilizado na capa.

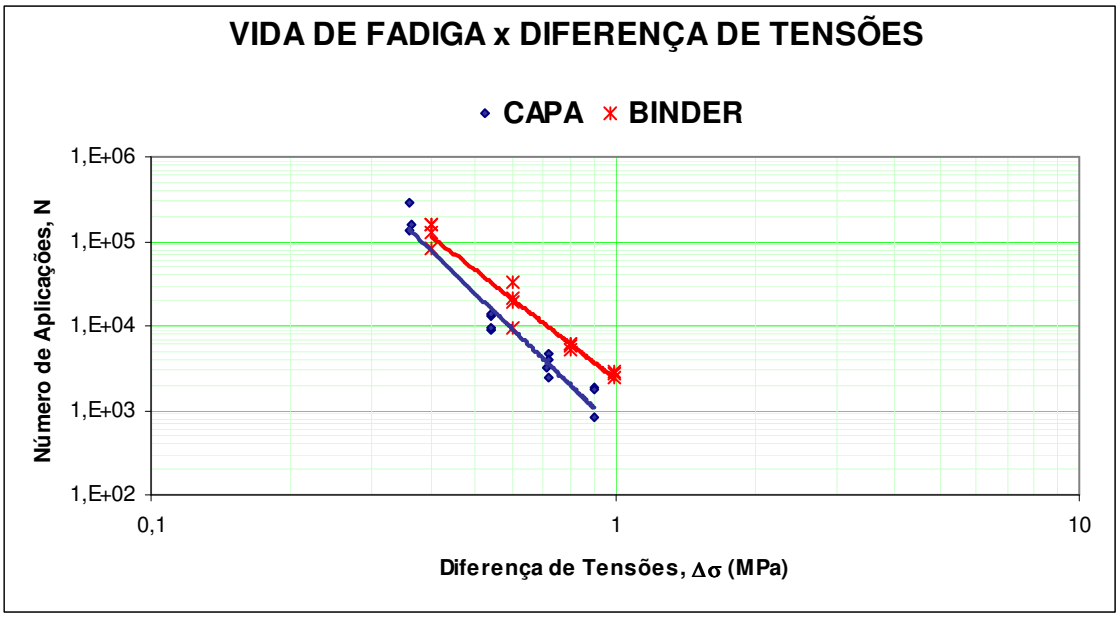


Figura 5.12 - Curvas de Fadiga à Tensão Controlada das misturas asfálticas utilizadas no segmento em estudo

5.4.9 – Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas

Para a obtenção de relações constitutivas necessárias ao cálculo das tensões e deformações atuantes no pavimento estudado foram determinados módulos resilientes das camadas de solos e britas empregando-se ensaios triaxiais de carga repetida. Além disso, o ensaio de módulo de resiliência, serviu como complemento para análise dos levantamentos deflectométricos.

Para a realização do ensaio de resiliência, todas as amostras de solos foram previamente secas ao ar. Após adicionar água na quantidade necessária para atingir a umidade desejada, as amostras de solos foram bem homogeneizadas e colocadas dentro de um saco plástico em uma câmara úmida por 24 horas antes da compactação. Os ensaios de módulo foram realizados na umidade ótima de compactação obtida em laboratório.

Os corpos-de-prova foram compactados em moldes cilíndricos com dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura para os materiais utilizados na camada final de terraplanagem (CFT) e sub-base e 150mm x 300mm para ensaiar a BGS. Os cilindros de compactação são tripartidos e foi empregado equipamento mecânico automático

para a compactação dos corpos-de-prova com soquete de seção não plena, tornando-se necessário girar o molde.

Os ensaios triaxiais de carga repetida foram realizados no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da UFCG. Na tabela 5.30 constam os módulos resilientes obtidos expressos pelos modelos tradicionais tendo sido moldados os corpos-de-prova nas condições de umidade e massa específica aparente seca máxima.

Tabela 5.30. – Resultado dos ensaios de módulo resiliente baseados nos modelos granular ($MR=K_1 s_3^{k2}$) e argiloso ($MR=K_1 \gamma_d^{k2}$).

CAMADAS	**MR = k1γ_3^{k2} (kgf/cm2)**			**MR = k1 γ_d^{k2} (kgf/cm2)**			**γ s mold**	**h.mold**	**ENERGIA**
	k_1	k_2	R^2	k_1	k_2	R^2	g/cm3	(%)	
BASE	4347	0,581	0,962	3013	0,458	0,638	2,256	4,7	MÁX DENS
SUB-BASE	2036	-0,46	0,967	2812	0,881	0,881	2,055	9,4	INTERMEDIÁRIA
CFT	1096	-0,06	0,030	1128	-0,01	0,002	1,992	6,7	NORMAL

Observa-se na tabela 5.30 que os coeficientes de determinação, para o solo empregado na camada final de terraplenagem, são baixos, representando para o caso em questão, um ajuste do ponto de vista estatístico pouco significativo ao se utilizar os modelos tradicionais.

MACEDO (1996) propôs o modelo composto representando o módulo de resiliência em função da pressão confinante e da tensão desvio simultaneamente, por ser estatisticamente mais representativo em comparação aos tradicionais.

Utilizou-se o programa STATGRAPHICS para obtenção dos parâmetros. Na tabela 5.31 estão apresentados os resultados dos módulos resilientes baseados no modelo citado. Na figura 5.13 está mostrada a representação gráfica em 3D do modelo ajustado para as amostras ensaiadas.

Tabela 5.31 – Resultado dos ensaios de módulo resiliente baseados no modelo composto.

AMOSTRAS	$M_R = k_1 \sigma_3^{k2} \sigma_d^{k3}$ (kgf/cm^2)			R^2
	k_1	k_2	k_3	
BASE	4234	0,55	0,06	0,969
SUB-BASE	3026	0,12	-0,57	0,986
CFT	1348	0,33	-0,26	0,914

Na tabela 5.31 observa-se que os coeficientes de determinação obtidos para o modelo composto são mais representativos em comparação aos modelos tradicionais. Quanto aos expoentes da pressão confinante e tensão desvio do modelo composto positivo e negativo, indicando que o aumento destas variáveis acarreta o aumento e a diminuição, respectivamente, do MR das camadas de sub-base, reforço e subleito.

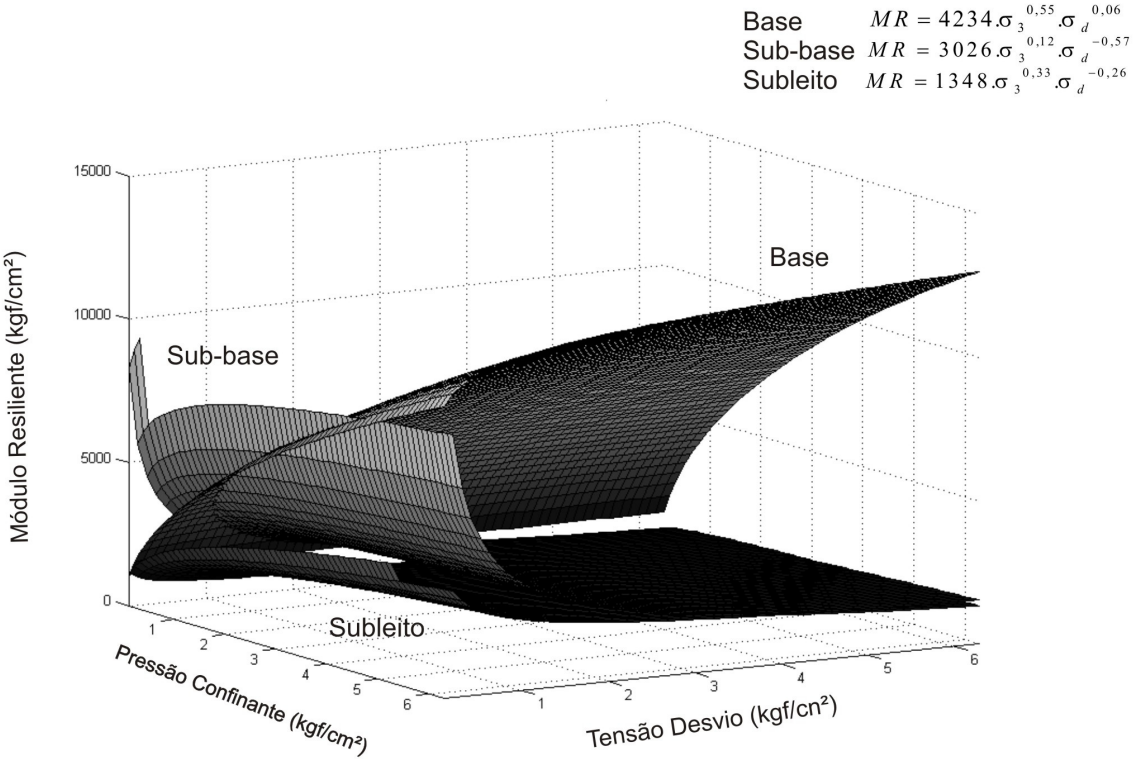


Figura 5.13 – Representação gráfica do modelo composto de resiliência para os materiais de base, sub-base e camada final de terraplenagem do segmento em estudo

5.4.10 Avaliação Estrutural Destrutiva com Base nos Ensaios de Laboratório

Neste item mostra-se a avaliação estrutural utilizando-se o programa de elementos finitos FEPAVE2, utilizando-se os ensaios dos materiais coletado empregados para construção das camadas. Para os resultados dos ensaios dos materiais coletados "in

situ" (mesmos corpos-de-prova já citados e relacionados anteriormente) determinou-se a faixa modular das camadas de base, sub-base, reforço e subleito, assim como deslocamento (deflexão), diferença de tensões, deformação específica de tração e tensão vertical no topo do subleito e contribuição percentual da deflexão total.

5.4.10.1 – Análise Mecanística com o FEPAVE2

Com base nos resultados dos ensaios para os materiais coletados em jazida e para as misturas asfálticas nas faixas B e C, procedeu-se uma análise mecanística a partir do FEPAVE2 para o cálculo dos parâmetros de deformabilidade do sistema pavimento-subleito. A configuração utilizada para a análise foi de uma carga com pressão de contato de 5,6 kgf/cm^2 e raio de 10,8 cm e malha automática. Todos parâmetros de deformabilidade foram calculados diretamente na malha de elementos finitos (sem reprocessamento). Na figura 5.14 é mostrada a estrutura analisada.

Nesta análise, buscou-se apenas verificar o efeito da variação modular das camadas de sub-base, reforço e subleito na umidade ótima e os módulos médios das camadas de concreto asfáltico, rolamento e binder, obtidos nos ensaios dinâmicos.

Os critérios admissíveis adotados para os parâmetros resposta foram os seguintes:

- Deflexão máxima admissível medida na superfície do pavimento segundo o DNER PRO-269/94:

$$\boxed{D_{adm} = 10^{(3,148-0,188.\log N_P)}} \qquad (5.8)$$

- Diferenças de tensões na fibra inferior das camadas de Capa e Binder :

$$\boxed{N_{CAPA} = 6111\Delta\sigma(MPa)^{-5,31}};\ \boxed{N_{BINDER} = 2825\Delta\sigma(MPa)^{-3,64}} \qquad (5.9)$$

- Tensão vertical admissível vertical no topo do subleito (HEUKELOM & KLOMP, 1962):

$$\boxed{\sigma_V = \frac{0,006.Mr_{Sub}}{1+0,7.LogN}} \qquad (5.10)$$

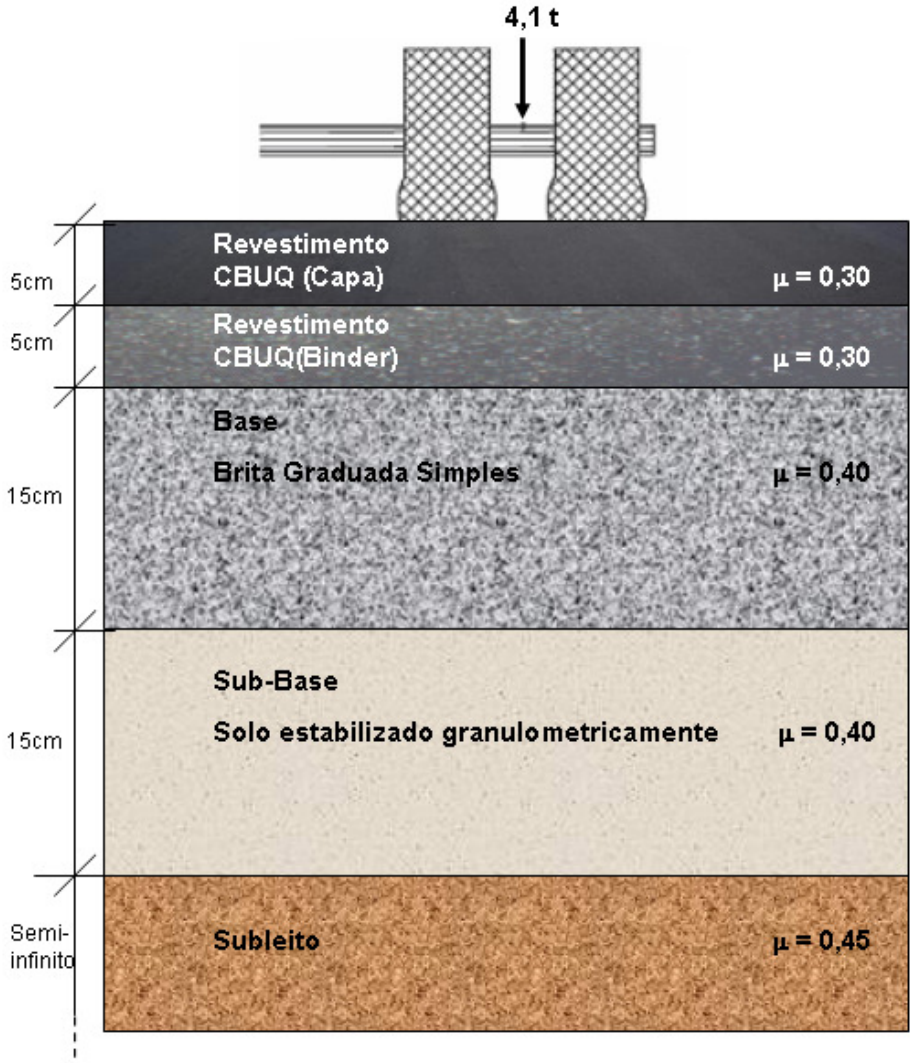


Figura 5.14 - Estrutura de pavimento analisada para BR232PE.

Para cálculo da vida de fadiga (N), empregando-se diferença de tensões, foi considerado um fator campo-laboratório de $f_o = 10^4$ conforme recomendado por PINTO (1991) considerando com critério de ruptura trincamento em 20% do revestimento em CBUQ.

A análise dos resultados da simulação realizada com o FEPAVE2 e apresentados nas tabelas 5.32 e 5.33 permite concluir que o valor obtido para a deflexão máxima está compatível com os valores medidos em campo nesta pesquisa, assim como a diferença de tensões mobilizada sob a camada de ligação é inferior ao valor admissível obtido pelo modelo empregado.

Destaca-se também neste caso, a grande diferença entre rijezas do binder e faixa de módulo de deformabilidade mobilizada na camada de brita graduada. Merece destaque a grande contribuição do subleito para a deflexão total na superfície.

Tabela 5.32 – Resultados dos parâmetros de deformabilidade obtidos a partir da simulação com o FEPAVE2.

Na superfície	**Sob o Revestimento**			**Sob o Binder**			**No Subleito**
D_o	ε_r	$\Delta\sigma$	σ_ρ	ε_r	$\Delta\sigma$	σ_ρ	σ_ϖ
(0,01mm)	(cm/cm)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(cm/cm)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)
50	7,6E-05	4,2	-1,8	1,7E-04	6,9	- 6,4	0,13
Limites Admissíveis para N de projeto - $4{,}2x10^7$							
Capa deRolamento		**Binder**					
Do	**$\Delta\sigma_{\alpha\delta\mu}$**	**$\Delta\sigma_{\alpha\delta\mu}$**		**σvsubleito**			
(10^{-2}mm)	**(kgf/cm²)**	**(kgf/cm²)**		**(kgf/cm²)**			
51	7,0	9,0		0,47			

Tabela 5.33 – Contribuição percentual das camadas na deflexão total e faixa de módulos obtidas com o FEPAVE2.

% de contribuição na Deflexão total					
Capa	**Binder**	**Base**	**Sub-Base**	**Subleito**	**Total**
0,18	0,32	16,54	2,56	80,4	100
Faixa de Módulos (kgf/cm²)					
Capa	**Binder**	**Base**	**Sub-Base**	**Subleito**	
62000	46000	305,4 - 1180,3	4357 - 6131,8	448,1 - 465,8	

VILLIBOR e outros (2005), segundo Cavalcante (2005), comentam como fatores determinantes para deterioração das camadas de base granular quando sob revestimentos de CBUQ denso, é o fato de ocorrerem elevadas tensões de tração, o mesmo absorve parte delas, por ser coesivo e ter módulo de resiliência da ordem de 3.000 a 4.000 MPa quando novo e crescente com o aumento da rigidez causada pela oxidação do seu ligante, que em serviço sob o efeito das cargas repetitivas rompem as fibras inferiores do CBUQ, por fadiga. Dessa forma inicia-se uma fissuração no fundo da camada que devido ao efeito do tráfego evoluem para um trincamento, permitindo a infiltração de água, para a interface e para o interior da base, a qual percolando entre os grãos vai contribuir para a saturação da base e da camada inferior. Como a dissipação das cargas na base se processa através do atrito entre os grãos, o contato entre os grãos maiores origina um processo de abrasão que resulta numa produção de finos provenientes do desgaste dos mesmos, tal processo acelera o crescimento do número de

vazios na camada, mesmo os finos não sendo plásticos, podem produzir, na presença de água, um excesso de pressão nos poros (devido à drenagem lenta), além de aumentar os vazios na parte superior da camada, o que causa uma queda no seu comportamento estrutural, levando-o a um aumento na deformação do pavimento que pode produzir duas situações: o trincamento imediato em revestimento de CBUQ, pela sua rigidez, e a aceleração do fenômeno de fadiga, causando trincas prematuras no mesmo vindo a comprometer a estrutura como um todo. No caso da BR-232/PE, analisado nesta pesquisa foi colocado drenagem transversal em todos os trechos com declividade longitudinal superior ao inclinação transversal da seção.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

As conclusões do trabalho foram referentes a dois aspectos principais e abrangentes, um relacionado ao tráfego (referentes aos dados apresentados no capítulo 3, item 3.3) e o outro às características físico-mecânicas do pavimento da nova pista da BR-232/PE no segmento em estudo (dados apresentados nos capítulos 4 e 5). Portanto, as conclusões serão subdivididas segundo esses dois tópicos.

6.1.1 Tráfego (dados apresentados no capítulo 3)

i. As poucas pesquisas existentes ou pelo menos divulgadas sobre pesagem de eixos rodoviários em geral, normalmente informam o peso transportado expresso por um percentual relativo ao limite legal. Porém, para efeito de projeto e/ou análise de cargas sobre o pavimento, é tanto ou mais importante informar os pesos médios transportados por cada tipo de eixo.

ii. Há vários postos de pesagem de veículos em operação no País, contudo, basicamente só informam dados referentes ao cumprimento da legislação, principalmente referentes a número de veículos com excesso de peso e possíveis multas aplicadas, perdendo a oportunidade de se enriquecer as informações sobre pesos transportados por tipo de eixo.

iii. A distribuição dos pesos transportados por eixo também assume especial relevância em uma análise sobre o hábito de cargas de determinada rodovia ou região.

iv. Dependendo do efeito da carga que se quer analisar, a equivalência com eixos padrões assume valores completamente diferentes e as metodologias atuais em

uso para obtenção do número N não ressaltam esse aspecto, por exemplo, utilizando as metodologias de equivalência de cargas usualmente denominadas de USACE e AASHTO os números N decorrentes têm diferenças significativas e muitas vezes os métodos de dimensionamento de pavimentos não as diferenciam.

v. As pesquisas realizadas e informadas nesta dissertação, no local em análise, mostram resultados que são pouco dispersos em relação ao peso médio transportado por tipo de eixo, formando boas expectativas para a continuidade de realização de pesquisas complementares visando identificar uma possível convergência.

vi. Algumas pesquisas de pesagem mostram apenas o valor final do peso transportado por tipo de eixo, contudo, seria conveniente que também se dê atenção à distribuição individualizada por faixas de peso e tipo de eixo de maneira a dar condições de se apropriar adequadamente o efeito das cargas no pavimente.

vii. O excesso de carga transportado foi muito significativo. Tal fato ficou evidenciado com os valores médios finais obtidos de carga transportada por tipo de eixo. Essa média considerou tráfego de veículos descarregados e pouco carregados, alem dos totalmente carregados e os com sobrepeso. Os valores finais se aproximaram do limite legal e em alguns casos até o ultrapassaram indicando que os sobrepesos tiveram forte influência na obtenção da média.

viii. No caso das pesquisas estudadas, o Eixo Simples de Roda Dupla (ESRD) apresentou a maior participação no transporte de peso com excesso apesar de ser o Eixo Triplo de Roda Dupla (ETRD), em tandem, o que apresentou maior freqüência relativa em número de eixos com excesso de peso. O eixo com menor representatividade no excesso transportado é o Eixo Simples de Roda Simples (ESRS), como esperado, porque é o eixo direcional.

6.1.2 Pavimento (dados apresentados nos capítulos 4 e 5)

ix. O Projeto de Engenharia que embasou a obra não contém estudos e análises mecanísticas da estrutura do pavimento e também não traz nenhum resultado de ensaio de Módulo de Resiliência. No entanto, no controle tecnológico que estava sendo executado, constavam limites de deflexão recuperável a serem obedecidos, sem comprovação da metodologia empregada para estabelecimento dos valores e também, sem especificação de serviço para efetivação deste controle. Por esse motivo, a fiscalização do DER-PE, apesar de efetuar as medidas de deflexão com a viga Benkelman, não utilizou, na prática, esse tipo de controle.

x. O não uso sistemático dos dados provenientes das medições de deflexão proveio do fato de não ter sido apresentada ao DER-PE nenhuma metodologia para aplicação dos resultados, desestimulando a execução repetida de um serviço aparentemente desnecessário e, provavelmente por esse motivo, as medidas apresentam muito pouca variabilidade.

xi. A retroanálise não apresentou valores de módulos continuamente decrescentes com a profundidade, indicando o observado bom desempenho de solos do subleito brasileiro.

xii. Verificou-se grande variação nos resultados da retroanálise, por conta da também elevada variação das mediadas de deflexão, indicando comportamento heterogêneo do subleito ou descontinuidades de operações de construção.

xiii. Apesar da utilização do procedimento de máxima densificação na compactação da base em BGS, em 40% das bacias retroanalisadas a maior contribuição na deflexão adveio dessa camada.

xiv. A variação das medidas de deflexão também pode ser explicada pela própria operação da viga que normalmente conduz a isso (Rocha Filho, 1996) e também por não ter havido tempo para consolidar as camadas do pavimento uma vez que o pavimento ainda não tinha sido aberto ao tráfego (Pereira, 1985). Os valores elevados de deflexão que conduziram a uma avaliação estrutural negativa pela retroanálise, inconsistente com o verificado em campo, seriam então explicados.

xv. Os dados obtidos com a retroanálise, estando o pavimento ainda não operativo, indicam que provavelmente os segmentos não conformes deverão ter sua vida útil reduzida.

xvi. A análise dos resultados da simulação realizada com o FEPAVE2 permite concluir que o valor obtido para a deflexão máxima está compatível com os valores medidos em campo nesta pesquisa, assim como a diferença de tensões mobilizada sob a camada de ligação é inferior ao valor admissível obtido pelo modelo empregado.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Da mesma forma do que exposto no item anterior, também as recomendações serão separadas pelos mesmos tópicos.

6.2.1 Tráfego

i. Observa-se que as poucas pesquisas sobre pesagem de eixos rodoviários são de iniciativa isolada e não existe metodologia adequada para informar os procedimentos estatísticos que devem ser observados e os produtos que são importantes de se obter. Portanto, sugere-se que um órgão rodoviário de planejamento (Ministério dos Transportes ou DNIT, uma vez que o GEIPOT está inativo) assuma a atribuição de desenvolver uma metodologia de pesquisa

que atenda as demandas e centralize as informações sobre todas as pesquisas realizadas.

ii. Evidentemente, os dados divulgados nesse trabalho se referem exclusivamente a análise das pesquisas estudadas e não devem ser estendidos além desse contexto. Dessa forma, sugere-se que futuras pesquisas também investiguem o peso médio transportado por eixo, de forma individualizada, por faixa de peso e por tipo de eixo, para se tentar consolidar um parâmetro balizador do hábito de cargas transportadas em rodovias.

6.2.2 Pavimento

iii. Sugere-se que, ao se estabelecer, em projeto, limites de deflexão recuperável a serem obedecidos na obra, se descreva e se demonstre como esses valores foram determinados e também se apresentem os ensaios que os comprovem. Também deve ser estabelecida uma especificação de serviço que defina todas as regras de aceitação ou rejeição dos serviços, inclusive estabelecendo faixas de risco e tratamento de produtos não conformes.

iv. Mesmo não existindo ensaios de valores de parâmetros que possibilitem o estabelecimento de limites de deflexão por camadas (acabamento de terraplenagem e estruturas do pavimento), sugere-se que o controle deflectométrico seja previsto em projeto, objetivando obter homogeneidade de comportamento das referidas camadas, desde que, o projeto também estabeleça uma metodologia que defina as operações a serem realizadas e o tratamento de seus produtos.

v. Por ser uma operação simples e barata, com efeitos importantes e salutares, sugere-se que o controle deflectométrico seja formalmente implementado pelos gestores rodoviários.

vi. Recomenda-se o monitoramento do desempenho do pavimento estudado, haja vista, a riqueza pouco usual de dados de construção, inclusive, também deve ser monitorado o pavimento reabilitado (que foi praticamente reconstruído em quase toda sua extensão) pra efeito de comparação. Nesse monitoramento, poderiam ser incluídas avaliações sistemáticas do tráfego solicitante.

vii. Sugere-se também o prosseguimento dessas pesquisas no sentido de analisar as diferenças de comportamento da base executada com macadame hidráulico (MH) em comparação com a construída com brita graduada simples (BGS).

viii. Recomenda-se estudos mais aprofundados para verificação do porquê da relação Módulo de Resiliência (MR) / Resistência à Tração (RT) dos corpos-de-prova extraídos na pista ser menor do que a relação dos corpos-de-prova moldados na usina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. "**Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials"**, Washington, D.C., U.S.A., 1993.

AASHTO. "**Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials"**, Washington, D.C., U.S.A., 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, NBR 15087, "**Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral"**.

AEDO, J. L. C. "**Programa para análise tridimensional de pavimentos asfálticos"**. Dissertação de M.Sc., PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1997.

ALBERNAZ, C.A.V., MOTTA, L.M.G., MEDINA, J. (1995). "**Retroanálise: Uma Útil Ferramenta na Avaliação Estrutural de Pavimentos"**. In: 29a Reunião Anual de Pavimentação. V.1, pp. 399-417, Cuiabá, MG, Brasil, 1995.

ALBERNAZ, C. A.V.."**Método Simplificado de Retroanálise de Módulos de Resiliência de Pavimentos Flexíveis Partir da Bacia de Deflexão.**" Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

ANDRADA, A.F.V. "**Estudo Comparativo de Fluxo de Veículos e de Cargas por Eixo na Rodovia BR-232/PE"**. Recife, dezembro de 2007.

ANDRADA, A.F.V. "**Estudo Comparativo de Fluxo de Veículos e de Cargas por Eixo na Rodovia BR-101/PE."** Recife, fevereiro de 2008.

AYRES JR., M. "**Development of a rational probabilistic approach for flexible pavement analysis"**. Ph.D. dissertation, University of Maryland, College Park, U.S.A., 1997.

BARBER, E. S., "**Calculation of Maximum Pavement Temperatures from Weathers".** Reports, Boletim nº 168, HRB, 1957

BARKSDALE, R.D. "**Laboratory Evaluation of Rotting in Base Course Materials"**. Third international conference on structural design of asphalts pavements. Michigan, 1971.

BENEVIDES, S. A. S. "**Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos – Empírico do DNER e Resiliência da COPPE/UFRJ em Rodovias do Ceará"**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.

BERNUCCI, L. L. B. "**Considerações Sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Lateríticos para Rodovias de Baixo Volume de Trafego"**. 1995. 237p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

BOYD, W.K. e FOSTER, C.R. (1950) "**Design curves for heavy multiple-wheel assemblies, development of CBR flexible pavement design methods for airfield"**. ASCE Transactions, Vol. 115, 534-546.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia, "**Normais climatológicas (1961-1990)**", Brasília.

BURMISTER, D. M. **"The theory stresses and displacement in layered ystems and aplications to the design of airport runways".** Proceedings, HRB. 23. Annual Meeting. Washington, DC, 1943, 194, v23, p. 126-48.

CARNEIRO, F. L. "**Um novo método para a determinação da resistência a tração dos concretos"**. Comunicação 5 Reunião Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicação Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1943 (publicado no boletim 13, RILEM, série antiga, Paris, 1953).

CAVALCANTE. F.P. **"Avaliação das Características Funcionais e Estruturais da Rodovia BR-230/PB - Lote III**" Disssertação de M.Sd., UFPE, Recife, novembro de 2005.

CERATTI, J. A P; GEHLING, W. Y. Y.; BICA, A. V. D. e RODRIGUES, M. R. (1996), **"Influência da Sucção no Módulo de Resiliência de um Solo Típico do Rio Grande do Sul**". In: Anais da 30a Reunião Anual de Pavimentação - ABPv, Volume 2, pp. 540 - 555.

COELHO, Vladimir, 1996, "**Contribuição ao Estudo das Deformações Permanentes, nas Condições do Brasil, em Camadas de Concreto Asfáltico de Pavimentação".** Tese de D.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

COELHO, V.; SÓRIA, M. H. **A. "Influência da Granulometria e da Temperatura nas Deformações Permanentes das Trilhas-de-Roda"**. 29ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Cuiabá, v. 2, p. 402-431, 1992.

DEACON, J.A. (1969) **"Load equivalency in flexible pavements"**. AAPT, Vol. 38, 465-491

DNMET, 1992, "**Normais climatológicas (1961-1990)**". Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília.

DER-PE, "**Projeto Executivo de Engenharia para Restauração e Duplicação de Rodovia, Rodovia: BR-232/PE Trecho : Recife - Entr. BR-316 (Parnamirim) Subtrecho : Entr. BR-104/423(A) (Caruaru) - Entr. PE-144 (São Caetano) Segmento : km 129,90 - km 149,70 Extensão : 19,80 km PNV : 232 BPE 0150 e BPE 0170**", elaborado pela Contécnica Ltda, Consultoria e Planejamento em abril de 2004.

DNER (1996). **"Manual de Pavimentação"**. IPR/DNER/ABNT Publ. 697, 2ª Ed. Rio de Janeiro, 320p.

DNER ME - 024/94. "**Método de Ensaio – Pavimento – Determinação das Deflexões pela Viga Benkelman**". Rio de Janeiro, 1994d.

DNER ME - 052/94. "**Solos e agregado miúdo - determinação da umidade com o emprego do Speedy**". Rio de Janeiro, 1994l.

DNER ME - 061/94. "**Pavimento - delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkleman**", Rio de Janeiro, 1994g..

DNER ME - 092/94. "**Solo - determinação da massa específica "in situ" com emprego do frasco de areia**". Rio de Janeiro, 1994j.

DNER ME - 131/1994. "**Solos - determinação do módulo de resiliência**". Rio de Janeiro, 1994e.

DNER ME - 138/1994. "**Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral**". Rio de Janeiro, 1994f.

DNER PRO - 175/94. "**Aferiação da viga Benkelman – Procedimento**". Rio de Janeiro, 1994.

DNIT, "**Manual de Estudos de Tráfego**" – Rio de Janeiro, 2006. 384p. (IPR. Publ., 723)

DNIT, "**Manual de Pavimentação**". 3.ed.. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719)

ELLIOTT, R. P. e THOMPSON, M. R. "**ILLI-PAVE Mechanisctic Analysis of AASHO Road Test Flexible Pavement TRB"**, Transportation Research Record, 1043, 1985, p. 33-49.

FAA. "**Airport Pavement Design for the Boeing 777 Airplane"**, Advisory Circular - AC 150/ 5320-16, Federal Aviation Administration, Washington, D.C., U.S.A., 1995.

FAA. "**Airport Pavement Design for the Boeing 777 Airplane"**, Advisory Circular - AC 150/ 5320-16, Federal Aviation Administration, Washington, D.C., U.S.A., 1996.

FABRÍCIO, J. M., GONÇALVES, E.A., FABRÍCIO, O. F. "**Metodologia Não Destrutiva para Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Através da Interpretação das Bacias de Deformação". In: 23** a Reunião Anual de Pavimentação. V. 3, pp. 1415-1446, Florianópolis, SC, Brasil, 1988.

FABRÍCIO, J.M., SILVA, G.A., GONÇALVES, E.A., et. al.. **"Método Simplificado de Retroanálise em Pavimentos Flexíveis".** In: 28a Reunião Anual de Pavimentação. V.1,pp. 658-682, Belo Horizonte, 1994, MG, Brasil.

FALCÃO, M. F. B. e SOARES, J. B. "**Discussão Sobre os Modos de Ruptura Observados no Ensaio de Compressão Diametral**". XVI Encontro de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás**,** IBP, Rio de Janeiro. 2002b.

FERNANDES Jr., J.L. (1994) "**Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos"**. Tese de Doutorado, EESC-USP.

FERREIRA, J. G. H. M. "**Elaboração e Análise da Base de Dados de Ensaios Triaxiais Dinâmicos da COPPE/ UFRJ"**. Tese de Mestrado, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

FONSECA, J. L. G. "**Um Método de Retroanálise de Bacias de Deflexão de Pavimentos"**. Tese de Mestrado, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

FRANCO, F. A. C. P. "**Um Sistema para Análise Mecanística de Pavimentos Asfálticos"**. Dissertação de M.Sc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

FRANCO, F. A. C. P. "**Versão da macro de Excel Desenvolvida para o Programa FEPAVE de maio de 2004"**. Divulgação Interna. Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ. 2004a.

FRANCO, F. A. C. P. "**Avaliação dos modelos de previsão do dano de fadiga em misturas asfálticas**", In: Trabalhos técnicos do 17º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, dezembro, 2004b, p. 100-117.

FRANCO, F. A. C. P. "**Método Automático de Dimensionamento Mecanístico-Empírico de Pavimentos Asfálticos"**. Tese de Doutorado, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

FOSTER, C.R. E AHLVIN, R.G. (1954) "**Stresses and deflections induced by a uniform circular load".** HRR, Vol. 33

GONÇALVES, F.P., CERATTI, J.A.P. (1998)."**Utilização do Ground Penetration Radar na Avaliação de Pavimentos".** In: 31a Reunião Anual de Pavimentação. V.1 pp. 390-404, São Paulo, SP, Brasil.

HAAS, R., W.R, ZANIEWSKI, J. (1994). "**Modern Pavement Monagement"**. Malabar,Florida, Krieger Publishing Company

HORST, Erdlen. "**Stone Mastic Asphalt – Pavement Technology**". In: Anais do 15º Encontro de Asfalto, artigo IBP 62000, pp. 143-151, Rio de Janeiro, dezembro, 2000.

HUANG, Y. H. "**Pavements Analysis and Design"**. Prentice Hall Inc. New Jersey, E.U.A. 1993.

HUANG, Y. H. "**Pavements Analysis and Design"**. 2. ed., Prentice Hall Inc. New Jersey, E.U.A., 2004.

KOPPERMAN, S.; TILLER, G. e TSENG, M., (1986), "**ELSYM5 - Elastic Layered System: Interactive Microcomputer Version, User's Manual: IBM-PC and Compatible Version"**. Office of Implementation, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, U.S.A.

KÖSTEMBERGER, H. "**Design of roadway surface course in Austria"**. 2º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço. Rio de Janeiro, 1989

LOUREIRO, T. G. "**Estudo da evolução do dano por fadiga em misturas asfálticas"**. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Ceará, 2003.

MACÊDO, J. A. G. "**Interpretação de Ensaios Defletométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos flexíveis**." Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

MARCON, A.F." **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**". Tese de Doutorado. ITA, Rio de Janeiro, 1996.

MEDINA, J., MACEDO, J.A.G., MOTTA, L.M.G., et. al. **"Utilização de Ensaios Deflectométricos e de Laboratório para a Avaliação Estrutural de Pavimentos".** In: 28a Reunião Anual de Pavimentação. V. 1,pp. 595-625, Belo Horizonte, MG, Brasil, 1994.

MEDINA, J. "**Mecânica dos Pavimentos"**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

MEDINA, J. e MOTTA, L. M. G. "**Mecânica dos Pavimentos"**. 2ª Edição. 574p. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005.

MOREIRA, M.G.V.P. **"Excesso de Carga nas Rodovias de Pernambuco e o Seu Efeito na Vida Útil dos Pavimentos."** Monografia de Curso de especialização em Engenharia Rodoviária, UPE. Recife, 2005.

MOMM, L., KRYCKYJ, P.R., SANT'ANA, W.C. et. al.. "**Deformação da Camada de Concreto Asfáltico no Pavimento em Função do Raio de Curvatura da Deformação".** In: 33a Reunião Anual de Pavimentação .pp.645—659, Florianópolis, SC, Brasil, 2001.

MONISMITH, C. L., **"Analytical Based Asphalt Pavement Design and Rehabilitation: Theory to Practice"**, TRR 1354, Transportation Research Board, Washington, 1992

MONISMITH, C. L. E DEACON, J. A. "**Fatigue of asphalt paving mixtures"**. In: Proceedings of the American society of Civil Engineers. Transportation Engineering Journal**,** v.95, Nova York, Estados Unidos, pp. 317-346, may. 1969.

MONISMITH, C. L. e BROWN, S. F., "**Developments in the Structural Design and Rehabilitation of Asphalt Pavements over three Quarters of a Century".** In: The Association of Asphalt Paving Technologists, 75th Anniversary Volume, March 1999.

MONISMITH, C.L.; OGAWA, N.; e FREEME, C.R., "**Permanent deformation characteristics of subgrade soils due to repeated loading"**, 54th Annual Meeting of TRB, Washington, 1975

MOMM, L. **"Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico"** Tese de Doutorado/USP, 1998

MOTTA, L. M. G. "**O estudo da temperatura em revestimentos betuminosos"**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1979.

MOTTA, L. M. G. "**Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaios de Cargas Repetidas"**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

MOTTA, L. M. G. "**Contribuição para a Estimativa do Módulo Resiliense de Misturas Asfálticas".** 14º Encontro de Asfalto, IBP, Rio de Janeiro, 1998.

MOTTA. L. M. G., e MAHLER (1982). "**Análise Comparativa de Diferentes Métodos de Cálculo de Sistemas em Camadas".** 6º Encontro de Asfalto - IBP. Rio de Janeiro RJ, Brasil

MOTTA, Laura M. G.; MEDINA, Jacques de; SOUSA, Ana M. "**Características de Fadiga e Resiliência de Concretos Asfálticos Brasileiros"**. In: Anais do 16º Encontro de Asfalto, artigo IBP 02402, Rio de Janeiro, 03-05 Dezembro, 2002.

NEVES, M. A., SILVA. P. L. e CASTRO. J. S. **"Ensaio de máxima densificação de britas graduadas"**.In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. V.4; pp. 256-271, Salvador, Ba, Brasil, 1995.

NETO, R, S, B., (2004). "**Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados através dos Métodos Empírico do DNER e Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande"**. Dissertação de Mestrado. USP, São Carlos

NCHRP. "**Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures"**: Program 1-37A, Final Report. Washington - DC, 2004. Disponível em:<http://www.trb.org/mepdg/guide.htm>. Acesso em: agosto 2007.

NÓBREGA, E. S." **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F., "**Pavimentação Urbana de Baixo Custo com Base de Argila Laterítica",** 29ª RAPv, Cuiabá-MT, 1995

PAUTE, J. L. MARTINEZ, J. "**Structural Finite Element Design of Unbound Material Pavement from Cyclic Loading Triaxial Tests"**. Fifty Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, 1982.

PEREIRA, A. M., "**Análise Crítica dos Fatores de Equivalência Adotados pelo DNER e sua Adequação às Rodovias de Tráfego Pesado"**. Tese para Concurso de Professor Titular da UFPR, Curitiba, 1985.

PEREIRA, D.A.M. (1992) "**Contribuição ao Estudo dos Fatores de Equivalência de Cargas"**. Tese de MSc, USP, São Paulo

PIDWERBESK, B. D. e STEVEN, B. D. (1997). "**Subgrade Strain Criterion for Limiting Reeting in Asphalt Pavements"**. Eighth International Conference on Asphalt Pavements". University of Washington. Seattle.

PINTO, S. "**Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na avaliação Estrutural de Pavimentos"**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PINTO, S. e MOTTA, L. M. G. "**Catálogo de Curvas de Fadiga"**. Boletim técnico número 16, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, Rio de Janeiro, 1995

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto S. "**Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis"**. 2 ed. Rio de Janeiro: Copiarte. 2002.

PREVITERA, J, "**Efeito da Temperatura na Deformabilidade dos Pavimentos Asfálticos".** Tese de M.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 1974

PREUSSLER, E.S. (1983). "**Estudo da Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço**." Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

PREUSSLER, E.S., VALE, A.F., CARVALHO, R.L.E. & PINTO, I.E. (2000). "**Retroanálise – Processos para Avaliação Estrutural de Pavimentos".** 32 a Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Brasília, DF, 1:337-346.

Pronk, A. C. and Hopman, P. C.,. "**Energy dissipation: The leading factor of fatigue**", Proceedings of Highway. Research: Sharing The Benefits (1990)

QUEIROZ, César Augusto V. "**Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil"**. GEIPOT, 1984.

REDE ASFALTO. Relatório Final de Atividades Rede Asfalto N/NE, Período 2005-2007 – Projeto PC03 – "**Análise Numérica de Pavimentos",** FINEP/PETROBRAS, 2007.

REZENDE, L. R., (2003). "**Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis"**. Tese de Doutorado. UNB/DF, Brasília.

ROCHA FILHO, N. R. "**Estudo de Técnicas para Avaliação estrutural de Pavimentos por meio de Levantamentos Deflectométricos,**" Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA, São José dos Campos, São Paulo, 1996.

ROCHA FILHO, N.R., RODRIGUES, R.M.. "**A Avaliação Estrutural dos Pavimentos por Meio de Levantamento Deflectométrico**s". In: 30a Reunião Anual de Pavimentação. V. 3 pp.1119-1146, Salvador, BA, Brasil, 1996.

RODRIGUES, R. M. "**Modelos para Análise Mecanística de Estrutura de Pavimentos, Coc-832 - Tópicos Especiais em Mecânica dos Pavimentos"**, COPPE/UFRJ, 1989.

RODRIGUES, R.M. "**Estudo dos Trincamentos dos Pavimentos".** Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991

RODRIGUES, R. M., S.D., "**Apostila do Curso de Pavimentação"**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Infra-estrutura Aeronáutica, S. José dos Campos, SP, 1997.

RODRIGUES, R.M., "**Notas de Aula do curso de pavimentação"**. Parte III, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Infra-estrutura Aeronáutica, S. José dos Campos, 1998.

ROSENBLUETH, E. (1975). "**Point estimates for probability moments"** – Procedings National Academy Science – USA vol 72, nº 10.

ROSENBLUETH, E. (1981). "**Two point estimates in probabilities"**. Applied Math. Modeling, october.

SÁ, MARIA F. P. "**Estudo da Deformação Permanente de Misturas Betuminosas através de Ensaios Estáticos e Dinâmicos"**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

SALINI. R., (1999). "**Avaliação da Capacidade Estrutural dos Pavimentos a Partir dos Dados Deflectométricos"** – Proposição de Metodologia. 3º simpósio Internacional deAvaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço. Belém, PA, Brasil.

SANTOS, J. D. G. "**Contribuição ao estudo dos solos lateríticos granulares como camada de pavimento"**. Tese de D.Sc., COPPE/UFJ, Rio de Janeiro, 1998.

SILVA, P. D. E. A. **"Contribuição para o Aperfeiçoamento do Emprego do Programa FEPAVE2 em Estudos e Projetos de Pavimentos Flexíveis"**. Dissertação de M.Sc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 1995.

SILVA, P.D.E.A. "**Estudo do Reforço de Concreto de Cimento Portland (*Whitetopping*) na Pista Circular Experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias."** Tese de Doutorado, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

SMITH, R.E. e LYTTON, R.L., "**Synthesis Study of Nondestructive Testing Devices for Use in Overlay Thickness Design of Flexible Pavements"**, Report No. FHWA/RD-3/097, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., April 1984.

SOARES. J. B. e MOTTA, L.M.G "**Considerações Sobre a Determinação do Fator de Veículo no Cálculo do Número N".** In: XV ANPET, 2001, Campinas: SP. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001

SOUZA, M.L. de., "**Método de projeto de pavimentos flexíveis"**, *IPR*, Publ. 667, 3. ed. rev. e atual., RJ, 33p. (1981), (a 1ª edição é de 1965).

SOUZA, J.B. de Q, "**Comportamento de Misturas Asfálticas a Quente com Agregados Provenientes de Jazidas de Seixo no Estado do Pará"**, Dissertação de M.Sc, UFCG, Campina Grande, 2007.

SVENSON, M., 1980, "**Ensaios Triaxiais Dinâmicos em Solos Argilosos".** Tese de M.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro.

TAYEBALI, A., J. DEACON, J. COPLANTZ, F. FINN, and C. MONISMITH (1994a), **"Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes, Part II - Extended Test Program,**" Strategic Highway Research Program Report No. SHRP-A-404, National Research Council, Washington, D.C.

TAYEBALI, A., J. DEACON, J. COPLANTZ, J. HARVEY, and C. MONISMITh (1994b), **"FatigueResponse of Asphalt-Aggregate Mixes, Part I - Test Method Selection,** " Strategic Highway Research Program Report No. SHRP-A-404, National Research Council, Washington, D.C.

TURNBULL, W.,J., FOSTER, C.R. E AHLVIN, R.G. (1962) "**Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume. International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements Proceedings"**. University of Michigan, Ann Arbor, Estados Unidos.

UZAN, J. "**JULEA – Jacob Uzan Layered Elastic Analysis"**. U.S.A. 1978.

VIANNA, A. A. D.; MOTTA, L. M. G.; DOMINGUES, R. G. "**Ensaio de Compressão Axial de CBUQ – Uma Nova Técnica de Medição das Deformações".** Publicado In: **Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – 17º ANPET**, 2003.

VILLIBOR. D. F., NETO. A. Z., FORTES. F. Q. NOGUEIRA JÚIOR. C.. **"Deterioração estrutural de bases de solo-cimento e granular"**. In: 36a Reunião Anual de Pavimentação, Paraná/ PR, Brasil, 2005.

WSDOT (1995a). "**Pavement Notes**". Vol 2. Washington State Department of Transportation

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W., 1975, "**Principles of Pavement Design".** 2nd Edition, New York, John Wiley & Sons.

APÊNDICE A - TABELAS DE CÁLCULO DAS PESQUISAS DE TRÁFEGO

Tabela A1 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 1985 (DER-PE apud Andrada, 2007); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	425	12,79%	425	1	0,07%	1			
2-4	1892	56,95%	5676	30	2,08%	90			
4-6	562	16,92%	2810	84	5,83%	420			
6-8	181	5,45%	1267	95	6,59%	665	11	12,4%	77
8-10	164	4,94%	1476	112	7,77%	1008	5	5,6%	45
10-12	69	2,08%	759	139	9,65%	1529	1	1,1%	11
12-14	17	0,51%	221	180	12,49%	2340	2	2,2%	26
14-16	5	0,15%	75	400	27,76%	6000	4	4,5%	60
16-18	7	0,21%	119	322	22,35%	5474	8	9,0%	136
18-20				67	4,65%	1273	1	1,1%	19
20-22				6	0,42%	126	2	2,2%	42
22-24				4	0,28%	92	2	2,2%	46
24-26				1	0,07%	25	38	42,7%	950
26-28							7	7,9%	189
28-30							3	3,4%	87
30-32							3	3,4%	93
32-34							1	1,1%	33
34-36							1	1,1%	35
36-38									
38-40									
TOTAL	3322	100,0%	12828	1441	100,0%	19043	89	100,0%	1849
Peso médio			3,9			13,2			20,8

Tabela A2 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 1985 (DER-PE apud Andrada, 2007); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	425	12,79%	0,0002	0,09	0,00	1	0,07%	0,0002	0,00	0,00					
2-4	1892	56,95%	0,0172	32,47	0,01	30	2,08%	0,0072	0,22	0,00					
4-6	562	16,92%	0,1336	75,08	0,02	84	5,83%	0,0425	3,57	0,00					
6-8	181	5,45%	0,5163	93,44	0,03	95	6,59%	0,1368	13,00	0,01	11	12,4%	0,0550	0,60	0,01
8-10	164	4,94%	1,7020	279,12	0,08	112	7,77%	0,3274	36,67	0,03	5	5,6%	0,1278	0,64	0,01
10-12	69	2,08%	5,9704	411,96	0,12	139	9,65%	0,7855	109,18	0,08	1	1,1%	0,2505	0,25	0,00
12-14	17	0,51%	16,9727	288,54	0,09	180	12,49%	1,9633	353,40	0,25	2	2,2%	0,4387	0,88	0,01
14-16	5	0,15%	41,5370	207,69	0,06	400	27,76%	4,3034	1721,34	1,19	4	4,5%	0,7091	2,84	0,03
16-18	7	0,21%	90,8655	636,06	0,19	322	22,35%	8,5488	2752,71	1,91	8	9,0%	1,0791	8,63	0,10
18-20						67	4,65%	15,7329	1054,10	0,73	1	1,1%	1,8012	1,80	0,02
20-22						6	0,42%	27,2379	163,43	0,11	2	2,2%	3,1482	6,30	0,07
22-24						4	0,28%	44,8579	179,43	0,12	2	2,2%	5,2296	10,46	0,12
24-26						1	0,07%	70,8641	70,86	0,05	38	42,7%	8,3271	316,43	3,56
26-28											7	7,9%	12,7927	89,55	1,01
28-30											3	3,4%	19,0590	57,18	0,64
30-32											3	3,4%	27,6493	82,95	0,93
32-34											1	1,1%	39,1890	39,19	0,44
34-36											1	1,1%	54,4162	54,42	0,61
36-38															
38-40															
TOTAL	3322	100,0%		2024,4385	0,61	1441	100,0%		6457,91	4,48	89	100,0%		672,11	7,55
Peso médio equivalente					7,3					15,1					24,6

Tabela A3 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 1985 (DER-PE apud Andrada, 2007); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	425	12,79%	0,0001	0,05	0,00	1	0,07%	0,0000	0,00	0,00					
2-4	1892	56,95%	0,0132	24,96	0,01	30	2,08%	0,0012	0,04	0,00					
4-6	562	16,92%	0,1199	67,37	0,02	84	5,83%	0,0104	0,87	0,00					
6-8	181	5,45%	0,5129	92,83	0,03	95	6,59%	0,0417	3,96	0,00	11	12,4%	0,0067	0,07	0,00
8-10	164	4,94%	1,5189	249,10	0,07	112	7,77%	0,1180	13,22	0,01	5	5,6%	0,0192	0,10	0,00
10-12	69	2,08%	3,6142	249,38	0,08	139	9,65%	0,2709	37,65	0,03	1	1,1%	0,0449	0,04	0,00
12-14	17	0,51%	7,4377	126,44	0,04	180	12,49%	0,5409	97,37	0,07	2	2,2%	0,0909	0,18	0,00
14-16	5	0,15%	13,8011	69,01	0,02	400	27,76%	0,9782	391,29	0,27	4	4,5%	0,1662	0,66	0,01
16-18	7	0,21%	23,6995	165,90	0,05	322	22,35%	1,6424	528,85	0,37	8	9,0%	0,2818	2,25	0,03
18-20						67	4,65%	2,6029	174,39	0,12	1	1,1%	0,4506	0,45	0,01
20-22						6	0,42%	3,9392	23,64	0,02	2	2,2%	0,6875	1,37	0,02
22-24						4	0,28%	5,7408	22,96	0,02	2	2,2%	1,0092	2,02	0,02
24-26						1	0,07%	8,1076	8,11	0,01	38	42,7%	1,4348	54,52	0,61
26-28											7	7,9%	1,9854	13,90	0,16
28-30											3	3,4%	2,6842	8,05	0,09
30-32											3	3,4%	3,5567	10,67	0,12
32-34											1	1,1%	4,6305	4,63	0,05
34-36											1	1,1%	5,9356	5,94	0,07
36-38															
38-40															
TOTAL	3322	100,0%		1045,0418	0,31	1441	100,0%		1302,35	0,90	89	100,0%		104,87	1,18
Peso médio equivalente					6,3					14,7					23,9

Tabela A4 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRS (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/07/2004			27/07/2004			28/07/2004			29/07/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	12	9,7%	12	13	7,6%	13	5	8,9%	5	29	13,8%	29	59	10,5%	59	2,7%
2-4	53	42,7%	159	72	42,1%	216	17	30,4%	51	79	37,6%	237	221	39,4%	663	30,7%
4-6	57	46,0%	285	79	46,2%	395	32	57,1%	160	98	46,7%	490	266	47,4%	1330	61,6%
6-8	2	1,6%	14	7	4,1%	49	1	1,8%	7	4	1,9%	28	14	2,5%	98	4,5%
8-10	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	1,8%	9	0	0,0%	0	1	0,2%	9	0,4%
TOTAL	124	100,0%	470	171	100,0%	673	56	100,0%	232	210	100,0%	784	561	100,0%	2159	100,0%
Peso médio			3,8			3,9			4,1			3,7			3,8	

Tabela A5 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRD (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/07/2004			27/07/2004			28/07/2004			29/07/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	3	4,2%	3	3	3,2%	3	0	0,0%	0	4	3,0%	4	10	3,0%	10	0,5%
2-4	17	23,6%	51	20	21,3%	60	7	21,2%	21	44	33,3%	132	88	26,6%	264	12,5%
4-6	19	26,4%	95	26	27,7%	130	10	30,3%	50	38	28,8%	190	93	28,1%	465	22,0%
6-8	10	13,9%	70	12	12,8%	84	5	15,2%	35	15	11,4%	105	42	12,7%	294	13,9%
8-10	15	20,8%	135	13	13,8%	117	2	6,1%	18	10	7,6%	90	40	12,1%	360	17,1%
10-12	6	8,3%	66	11	11,7%	121	5	15,2%	55	10	7,6%	110	32	9,7%	352	16,7%
12-14	1	1,4%	13	6	6,4%	78	3	9,1%	39	7	5,3%	91	17	5,1%	221	10,5%
14-16	1	1,4%	15	2	2,1%	30	0	0,0%	0	3	2,3%	45	6	1,8%	90	4,3%
16-18	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	3,0%	17	1	0,8%	17	2	0,6%	34	1,6%
18-20	0	0,0%	0	1	1,1%	19	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	0,3%	19	0,9%
20-22	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
TOTAL	72	100,0%	448	94	100,0%	642	33	100,0%	235	132	100,0%	784	331	100,0%	2109	100,0%
Peso médio			6,2			6,8			7,1			5,9			6,4	

Tabela A6 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: EDRD (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/07/2004			27/07/2004			28/07/2004			29/07/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
2-4	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
4-6	8	13,3%	40	6	6,1%	30	0	0,0%	0	4	4,2%	20	18	6,3%	90	2,4%
6-8	11	18,3%	77	28	28,6%	196	7	22,6%	49	14	14,7%	98	60	21,1%	420	11,2%
8-10	7	11,7%	63	7	7,1%	63	4	12,9%	36	10	10,5%	90	28	9,9%	252	6,7%
10-12	7	11,7%	77	5	5,1%	55	0	0,0%	0	9	9,5%	99	21	7,4%	231	6,2%
12-14	4	6,7%	52	6	6,1%	78	3	9,7%	39	11	11,6%	143	24	8,5%	312	8,3%
14-16	3	5,0%	45	8	8,2%	120	3	9,7%	45	9	9,5%	135	23	8,1%	345	9,2%
16-18	3	5,0%	51	22	22,4%	374	5	16,1%	85	9	9,5%	153	39	13,7%	663	17,7%
18-20	12	20,0%	228	11	11,2%	209	4	12,9%	76	14	14,7%	266	41	14,4%	779	20,8%
20-22	3	5,0%	63	3	3,1%	63	4	12,9%	84	11	11,6%	231	21	7,4%	441	11,8%
22-24	1	1,7%	23	2	2,0%	46	0	0,0%	0	4	4,2%	92	7	2,5%	161	4,3%
24-26	1	1,7%	25	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	0,4%	25	0,7%
26-28	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	3,2%	27	0	0,0%	0	1	0,4%	27	0,7%
28-30	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
30-32	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
TOTAL	60	100,0%	744	98	100,0%	1234	31	100,0%	441	95	100,0%	1327	284	100,0%	3746	100,0%
Peso médio			12,4			12,6			14,2			14,0			13,2	

Tabela A7 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ETRD (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/07/2004			27/07/2004			28/07/2004			29/07/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
2-4	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
4-6	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
6-8	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
8-10	1	8,3%	9	1	3,7%	9	0	0,0%	0	0	0,0%	0	2	2,8%	18	1,0%
10-12	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	9,1%	11	3	13,6%	33	4	5,6%	44	2,4%
12-14	1	8,3%	13	1	3,7%	13	0	0,0%	0	0	0,0%	0	2	2,8%	26	1,4%
14-16	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
16-18	1	8,3%	17	1	3,7%	17	1	9,1%	17	0	0,0%	0	3	4,2%	51	2,8%
18-20	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
20-22	2	16,7%	42	1	3,7%	21	0	0,0%	0	2	9,1%	42	5	6,9%	105	5,7%
22-24	1	8,3%	23	1	3,7%	23	2	18,2%	46	2	9,1%	46	6	8,3%	138	7,5%
24-26	1	8,3%	25	5	18,5%	125	1	9,1%	25	1	4,5%	25	8	11,1%	200	10,8%
26-28	2	16,7%	54	6	22,2%	162	1	9,1%	27	1	4,5%	27	10	13,9%	270	14,6%
28-30	0	0,0%	0	8	29,6%	232	3	27,3%	87	5	22,7%	145	16	22,2%	464	25,2%
30-32	2	16,7%	62	0	0,0%	0	1	9,1%	31	7	31,8%	217	10	13,9%	310	16,8%
32-34	0	0,0%	0	1	3,7%	33	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	1,4%	33	1,8%
34-36	1	8,3%	35	1	3,7%	35	0	0,0%	0	0	0,0%	0	2	2,8%	70	3,8%
36-38	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	9,1%	37	0	0,0%	0	1	1,4%	37	2,0%
38-40	0	0,0%	0	1	3,7%	39	0	0,0%	0	1	4,5%	39	2	2,8%	78	4,2%
TOTAL	12	100,0%	280	27	100,0%	709	11	100,0%	281	22	100,0%	574	72	100,0%	1844	100,0%
Peso médio			23,3			26,3			25,5			26,1			25,6	

Tabela A8 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	59	10,5%	59	10	3,0%	10						
2-4	221	39,4%	663	88	26,6%	264						
4-6	266	47,4%	1330	93	28,1%	465	18	6,3%	90			
6-8	14	2,5%	98	42	12,7%	294	60	21,1%	420			
8-10	1	0,2%	9	40	12,1%	360	28	9,9%	252	2	2,8%	18
10-12				32	9,7%	352	21	7,4%	231	4	5,6%	44
12-14				17	5,1%	221	24	8,5%	312	2	2,8%	26
14-16				6	1,8%	90	23	8,1%	345	0	0,0%	0
16-18				2	0,6%	34	39	13,7%	663	3	4,2%	51
18-20				1	0,3%	19	41	14,4%	779	0	0,0%	0
20-22							21	7,4%	441	5	6,9%	105
22-24							7	2,5%	161	6	8,3%	138
24-26							1	0,4%	25	8	11,1%	200
26-28							1	0,4%	27	10	13,9%	270
28-30										16	22,2%	464
30-32										10	13,9%	310
32-34										1	1,4%	33
34-36										2	2,8%	70
36-38										1	1,4%	37
38-40										2	2,8%	78
TOTAL	561	100,0%	2159	331	100,0%	2109	284	100,0%	3746	72	100,0%	1844
Peso médio			3,8			6,4			13,2			25,6

Tabela A9 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	69	7,7%	69						
2-4	309	34,6%	927						
4-6	359	40,2%	1795	18	6,3%	90			
6-8	56	6,3%	392	60	21,1%	420			
8-10	41	4,6%	369	28	9,9%	252	2	2,8%	18
10-12	32	3,6%	352	21	7,4%	231	4	5,6%	44
12-14	17	1,9%	221	24	8,5%	312	2	2,8%	26
14-16	6	0,7%	90	23	8,1%	345	0	0,0%	0
16-18	2	0,2%	34	39	13,7%	663	3	4,2%	51
18-20	1	0,1%	19	41	14,4%	779	0	0,0%	0
20-22				21	7,4%	441	5	6,9%	105
22-24				7	2,5%	161	6	8,3%	138
24-26				1	0,4%	25	8	11,1%	200
26-28				1	0,4%	27	10	13,9%	270
28-30							16	22,2%	464
30-32							10	13,9%	310
32-34							1	1,4%	33
34-36							2	2,8%	70
36-38							1	1,4%	37
38-40							2	2,8%	78
TOTAL	892	100,0%	4268	284	100,0%	3746	72	100,0%	1844
Peso médio			4,8			13,2			25,6

Tabela A10 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRS (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/07/2004					27/07/2004					28/07/2004					29/07/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	12	9,7%	0,0002	0,00	0,00	13	7,6%	0,0002	0,00	0,00	5	8,9%	0,0002	0,00	0,00	29	13,8%	0,0002	0,01	0,00	59	10,5%	0,0002	0,01	0,00
2-4	3	53	42,7%	0,0172	0,91	0,01	72	42,1%	0,0172	1,24	0,01	17	30,4%	0,0172	0,29	0,01	79	37,6%	0,0172	1,36	0,01	221	39,4%	0,0172	3,79	0,01
4-6	5	57	46,0%	0,1336	7,62	0,06	79	46,2%	0,1336	10,55	0,06	32	57,1%	0,1336	4,28	0,08	98	46,7%	0,1336	13,09	0,06	266	47,4%	0,1336	35,54	0,06
6-8	7	2	1,6%	0,5163	1,03	0,01	7	4,1%	0,5163	3,61	0,02	1	1,8%	0,5163	0,52	0,01	4	1,9%	0,5163	2,07	0,01	14	2,5%	0,5163	7,23	0,01
8-10	9											1	1,8%									1	0,2%	1,7020	1,70	0,00
TOTAL		124	100,0%		9,56	0,08	171	100,0%		15,41	0,09	56	100,0%		5,08	0,09	210	100,0%		16,52	0,08	561	100,0%		48,27	0,09
Peso médio equivalente						4,4					4,5					4,5					4,4					4,5

Tabela A11 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRD (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/07/2004					27/07/2004					28/07/2004					29/07/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	3	4,2%	0,0002	0,00	0,00	3	3,2%	0,0002	0,00	0,00	0	0,0%	0,0002	0,00	0,00	4	3,0%	0,0002	0,00	0,00	10	3,0%	0,0002	0,00	0,00
2-4	3	17	23,6%	0,0172	0,29	0,00	20	21,3%	0,0172	0,34	0,00	7	21,2%	0,0172	0,12	0,00	44	33,3%	0,0172	0,76	0,01	88	26,6%	0,0172	1,51	0,00
4-6	5	19	26,4%	0,1336	2,54	0,04	26	27,7%	0,1336	3,47	0,04	10	30,3%	0,1336	1,34	0,04	38	28,8%	0,1336	5,08	0,04	93	28,1%	0,1336	12,42	0,04
6-8	7	10	13,9%	0,5163	5,16	0,07	12	12,8%	0,5163	6,20	0,07	5	15,2%	0,5163	2,58	0,08	15	11,4%	0,5163	7,74	0,06	42	12,7%	0,5163	21,68	0,07
8-10	9	15	20,8%	1,7020	25,53	0,35	13	13,8%	1,7020	22,13	0,24	2	6,1%	1,7020	3,40	0,10	10	7,6%	1,7020	17,02	0,13	40	12,1%	1,7020	68,08	0,21
10-12	11	6	8,3%	5,9704	35,82	0,50	11	11,7%	5,9704	65,67	0,70	5	15,2%	5,9704	29,85	0,90	10	7,6%	5,9704	59,70	0,45	32	9,7%	5,9704	191,05	0,58
12-14	13	1	1,4%	16,9727	16,97	0,24	6	6,4%	16,9727	101,84	1,08	3	9,1%	16,9727	50,92	1,54	7	5,3%	16,9727	118,81	0,90	17	5,1%	16,9727	288,54	0,87
14-16	15	1	1,4%	41,5370	41,54	0,58	2	2,1%	41,5370	83,07	0,88	0	0,0%	41,5370	0,00	0,00	3	2,3%	41,5370	124,61	0,94	6	1,8%	41,5370	249,22	0,75
16-18	17						0	0,0%	90,8655	0,00	0,00	1	3,0%	90,8655	90,87	2,75	1	0,8%	90,8655	90,87	0,69	2	0,6%	90,8655	181,73	0,55
18-20	19						1	1,1%	182,1823	182,18	1,94											1	0,3%	182,1823	182,18	0,55
20-22	21																									
TOTAL		72	100,0%		58,51	0,81	94	100,0%		367,09	3,91	33	100,0%		141,78	4,30	132	100,0%		334,29	2,53	331	100,0%		901,67	2,72
Peso médio equivalente						7,8					10,3					10,4					9,6					9,7

Tabela A12 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: EDRD (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/07/2004					27/07/2004					28/07/2004					29/07/2004					TOTAL				
		Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																									
2-4	3																									
4-6	5	8	13,3%	0,0425	0,34	0,01	6	6,1%	0,0425	0,26	0,00	0	0,0%	0,0425	0,00	0,00	4	4,2%	0,0425	0,17	0,00	18	6,3%	0,0425	0,77	0,00
6-8	7	11	18,3%	0,1368	1,50	0,03	28	28,6%	0,1368	3,83	0,04	7	22,6%	0,1368	0,96	0,03	14	14,7%	0,1368	1,92	0,02	60	21,1%	0,1368	8,21	0,03
8-10	9	7	11,7%	0,3274	2,29	0,04	7	7,1%	0,3274	2,29	0,02	4	12,9%	0,3274	1,31	0,04	10	10,5%	0,3274	3,27	0,03	28	9,9%	0,3274	9,17	0,03
10-12	11	7	11,7%	0,7855	5,50	0,09	5	5,1%	0,7855	3,93	0,04	0	0,0%	0,7855	0,00	0,00	9	9,5%	0,7855	7,07	0,07	21	7,4%	0,7855	16,49	0,06
12-14	13	4	6,7%	1,9633	7,85	0,13	6	6,1%	1,9633	11,78	0,12	3	9,7%	1,9633	5,89	0,19	11	11,6%	1,9633	21,60	0,23	24	8,5%	1,9633	47,12	0,17
14-16	15	3	5,0%	4,3034	12,91	0,22	8	8,2%	4,3034	34,43	0,35	3	9,7%	4,3034	12,91	0,42	9	9,5%	4,3034	38,73	0,41	23	8,1%	4,3034	98,98	0,35
16-18	17	3	5,0%	8,5488	25,65	0,43	22	22,4%	8,5488	188,07	1,92	5	16,1%	8,5488	42,74	1,38	9	9,5%	8,5488	76,94	0,81	39	13,7%	8,5488	333,40	1,17
18-20	19	12	20,0%	15,7329	188,79	3,15	11	11,2%	15,7329	173,06	1,77	4	12,9%	15,7329	62,93	2,03	14	14,7%	15,7329	220,26	2,32	41	14,4%	15,7329	645,05	2,27
20-22	21	3	5,0%	27,2379	81,71	1,36	3	3,1%	27,2379	81,71	0,83	4	12,9%	27,2379	108,95	3,51	11	11,6%	27,2379	299,62	3,15	21	7,4%	27,2379	572,00	2,01
22-24	23	1	1,7%	44,8579	44,86	0,75	2	2,0%	44,8579	89,72	0,92	0	0,0%	44,8579	0,00	0,00	4	4,2%	44,8579	179,43	1,89	7	2,5%	44,8579	314,01	1,11
24-26	25	1	1,7%	70,8641	70,86	1,18						0	0,0%	70,8641	0,00	0,00						1	0,4%	70,8641	70,86	0,25
26-28	27											1	3,2%	108,0743	108,07	3,49						1	0,4%	108,0743	108,07	0,38
28-30	29																									
30-32	31																									
TOTAL		60	100,0%		115,72	1,93	98	100,0%		89,72	0,92	31	100,0%		108,07	3,49	95	100,0%		179,43	1,89	284	100,0%		492,94	1,74
Peso médio equivalente						13,0					11,3					14,4					12,9					12,7

Tabela A13 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ETRD (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/07/2004					27/07/2004					28/07/2004					29/07/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																									
2-4	3																									
4-6	5																									
6-8	7																									
8-10	9	1	8,3%	0,1278	0,13	0,01	1	3,7%	0,1278	0,13	0,00											2	2,8%	0,1278	0,26	0,00
10-12	11	0	0,0%	0,2505	0,00	0,00	0	0,0%	0,2505	0,00	0,00	1	9,1%	0,2505	0,25	0,02	3	13,6%	0,2505	0,75	0,03	4	5,6%	0,2505	1,00	0,01
12-14	13	1	8,3%	0,4387	0,44	0,04	1	3,7%	0,4387	0,44	0,02	0	0,0%	0,4387	0,00	0,00	0	0,0%	0,4387	0,00	0,00	2	2,8%	0,4387	0,88	0,01
14-16	15	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00
16-18	17	1	8,3%	1,0791	1,08	0,09	1	3,7%	1,0791	1,08	0,04	1	9,1%	1,0791	1,08	0,10	0	0,0%	1,0791	0,00	0,00	3	4,2%	1,0791	3,24	0,04
18-20	19	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00
20-22	21	2	16,7%	3,1482	6,30	0,52	1	3,7%	3,1482	3,15	0,12	0	0,0%	3,1482	0,00	0,00	2	9,1%	3,1482	6,30	0,29	5	6,9%	3,1482	15,74	0,22
22-24	23	1	8,3%	5,2296	5,23	0,44	1	3,7%	5,2296	5,23	0,19	2	18,2%	5,2296	10,46	0,95	2	9,1%	5,2296	10,46	0,48	6	8,3%	5,2296	31,38	0,44
24-26	25	1	8,3%	8,3271	8,33	0,69	5	18,5%	8,3271	41,64	1,54	1	9,1%	8,3271	8,33	0,76	1	4,5%	8,3271	8,33	0,38	8	11,1%	8,3271	66,62	0,93
26-28	27	2	16,7%	12,7927	25,59	2,13	6	22,2%	12,7927	76,76	2,84	1	9,1%	12,7927	12,79	1,16	1	4,5%	12,7927	12,79	0,58	10	13,9%	12,7927	127,93	1,78
28-30	29	0	0,0%	19,0590	0,00	0,00	8	29,6%	19,0590	152,47	5,65	3	27,3%	19,0590	57,18	5,20	5	22,7%	19,0590	95,29	4,33	16	22,2%	19,0590	304,94	4,24
30-32	31	2	16,7%	27,6493	55,30	4,61	0	0,0%	27,6493	0,00	0,00	1	9,1%	27,6493	27,65	2,51	7	31,8%	27,6493	193,55	8,80	10	13,9%	27,6493	276,49	3,84
32-34	33	0	0,0%	39,1890	0,00	0,00	1	3,7%	39,1890	39,19	1,45	0	0,0%	39,1890	0,00	0,00	0	0,0%	39,1890	0,00	0,00	1	1,4%	39,1890	39,19	0,54
34-36	35	1	8,3%	54,4162	54,42	4,53	1	3,7%	54,4162	54,42	2,02	0	0,0%	54,4162	0,00	0,00	0	0,0%	54,4162	0,00	0,00	2	2,8%	54,4162	108,83	1,51
36-38	37						0	0,0%	74,1938	0,00	0,00	1	9,1%	74,1938	74,19	6,74	0	0,0%	74,1938	0,00	0,00	1	1,4%	74,1938	74,19	1,03
38-40	39						1	3,7%	99,5216	99,52	3,69						1	4,5%	99,5216	99,52	4,52	2	2,8%	99,5216	199,04	2,76
TOTAL		12	100,0%		109,71	9,14	27	100,0%		193,13	7,15	11	100,0%		101,84	9,26	22	100,0%		293,07	13,32	72	100,0%		697,75	9,69
Peso médio equivalente						25,4					24,3					25,5					27,2					25,7

Tabela A14 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	59	10,5%	0,0002	0,01	0,00	10	3,0%	0,0002	0,00	0,00										
2-4	3	221	39,4%	0,0172	3,79	0,01	88	26,6%	0,0172	1,51	0,00										
4-6	5	266	47,4%	0,1336	35,54	0,06	93	28,1%	0,1336	12,42	0,04	18	6,3%	0,0425	0,77	0,00					
6-8	7	14	2,5%	0,5163	7,23	0,01	42	12,7%	0,5163	21,68	0,07	60	21,1%	0,1368	8,21	0,03					
8-10	9	1	0,2%	1,7020	1,70	0,00	40	12,1%	1,7020	68,08	0,21	28	9,9%	0,3274	9,17	0,03	2	2,8%	0,1278	0,26	0,00
10-12	11						32	9,7%	5,9704	191,05	0,58	21	7,4%	0,7855	16,49	0,06	4	5,6%	0,2505	1,00	0,01
12-14	13						17	5,1%	16,9727	288,54	0,87	24	8,5%	1,9633	47,12	0,17	2	2,8%	0,4387	0,88	0,01
14-16	15						6	1,8%	41,5370	249,22	0,75	23	8,1%	4,3034	98,98	0,35	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00
16-18	17						2	0,6%	90,8655	181,73	0,55	39	13,7%	8,5488	333,40	1,17	3	4,2%	1,0791	3,24	0,04
18-20	19						1	0,3%	182,1823	182,18	0,55	41	14,4%	15,7329	645,05	2,27	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00
20-22	21											21	7,4%	27,2379	572,00	2,01	5	6,9%	3,1482	15,74	0,22
22-24	23											7	2,5%	44,8579	314,01	1,11	6	8,3%	5,2296	31,38	0,44
24-26	25											1	0,4%	70,8641	70,86	0,25	8	11,1%	8,3271	66,62	0,93
26-28	27											1	0,4%	108,0743	108,07	0,38	10	13,9%	12,7927	127,93	1,78
28-30	29																16	22,2%	19,0590	304,94	4,24
30-32	31																10	13,9%	27,6493	276,49	3,84
32-34	33																1	1,4%	39,1890	39,19	0,54
34-36	35																2	2,8%	54,4162	108,83	1,51
36-38	37																1	1,4%	74,1938	74,19	1,03
38-40	39																2	2,8%	99,5216	199,04	2,76
TOTAL		561	100,0%		48,27	0,09	331	100,0%		901,67	2,72	284	100,0%		492,94	1,74	72	100,0%		697,75	9,69
Peso médio equivalente						4,5					9,7					12,7					25,7

Tabela A15 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	69	7,7%	0,0002	0,01	0,00										
2-4	3	309	34,6%	0,0172	5,30	0,01										
4-6	5	359	40,2%	0,1336	47,96	0,05	18	6,3%	0,0425	0,77	0,00					
6-8	7	56	6,3%	0,5163	28,91	0,03	60	21,1%	0,1368	8,21	0,03					
8-10	9	41	4,6%	1,7020	69,78	0,08	28	9,9%	0,3274	9,17	0,03	2	2,8%	0,1278	0,26	0,00
10-12	11	32	3,6%	5,9704	191,05	0,21	21	7,4%	0,7855	16,49	0,06	4	5,6%	0,2505	1,00	0,01
12-14	13	17	1,9%	16,9727	288,54	0,32	24	8,5%	1,9633	47,12	0,17	2	2,8%	0,4387	0,88	0,01
14-16	15	6	0,7%	41,5370	249,22	0,28	23	8,1%	4,3034	98,98	0,35	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00
16-18	17	2	0,2%	90,8655	181,73	0,20	39	13,7%	8,5488	333,40	1,17	3	4,2%	1,0791	3,24	0,04
18-20	19	1	0,1%	182,1823	182,18	0,20	41	14,4%	15,7329	645,05	2,27	0	0,0%	1,8012	0,00	0,00
20-22	21						21	7,4%	27,2379	572,00	2,01	5	6,9%	3,1482	15,74	0,22
22-24	23						7	2,5%	44,8579	314,01	1,11	6	8,3%	5,2296	31,38	0,44
24-26	25						1	0,4%	70,8641	70,86	0,25	8	11,1%	8,3271	66,62	0,93
26-28	27						1	0,4%	108,0743	108,07	0,38	10	13,9%	12,7927	127,93	1,78
28-30	29											16	22,2%	19,0590	304,94	4,24
30-32	31											10	13,9%	27,6493	276,49	3,84
32-34	33											1	1,4%	39,1890	39,19	0,54
34-36	35											2	2,8%	54,4162	108,83	1,51
36-38	37											1	1,4%	74,1938	74,19	1,03
38-40	39											2	2,8%	99,5216	199,04	2,76
TOTAL		892	100,0%		1244,69	1,40	284	100,0%		492,94	1,74	72	100,0%		697,75	9,69
Peso médio						9,0					12,7					25,7

Tabela A16 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRS (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/07/2004					27/07/2004					28/07/2004					29/07/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	12	9,7%	0,0001	0,00	0,00	13	7,6%	0,0001	0,00	0,00	5	8,9%	0,0001	0,00	0,00	29	13,8%	0,0001	0,00	0,00	59	10,5%	0,0001	0,01	0,00
2-4	3	53	42,7%	0,0164	0,87	0,01	72	42,1%	0,0164	1,18	0,01	17	30,4%	0,0164	0,28	0,00	79	37,6%	0,0164	1,29	0,01	221	39,4%	0,0164	3,62	0,01
4-6	5	57	46,0%	0,1489	8,49	0,07	79	46,2%	0,1489	11,76	0,07	32	57,1%	0,1489	4,77	0,09	98	46,7%	0,1489	14,59	0,07	266	47,4%	0,1489	39,61	0,07
6-8	7	2	1,6%	0,6371	1,27	0,01	7	4,1%	0,6371	4,46	0,03	1	1,8%	0,6371	0,64	0,01	4	1,9%	0,6371	2,55	0,01	14	2,5%	0,6371	8,92	0,02
8-10	9											1	1,8%									1	0,2%	1,8867	1,89	0,00
TOTAL		124	100,0%		10,63	0,09	171	100,0%		17,41	0,10	56	100,0%		5,68	0,10	210	100,0%		18,44	0,09	561	100,0%		54,05	0,10
Peso médio equivalente						4,4					4,6					4,6					4,4					4,5

Tabela A 17 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRD (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/07/2004					27/07/2004					28/07/2004					29/07/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	3	4,2%	0,0001	0,00	0,00	3	3,2%	0,0001	0,00	0,00	0	0,0%	0,0001	0,00	0,00	4	3,0%	0,0001	0,00	0,00	10	3,0%	0,0001	0,00	0,00
2-4	3	17	23,6%	0,0132	0,22	0,00	20	21,3%	0,0132	0,26	0,00	7	21,2%	0,0132	0,09	0,00	44	33,3%	0,0132	0,58	0,00	88	26,6%	0,0132	1,16	0,00
4-6	5	19	26,4%	0,1199	2,28	0,03	26	27,7%	0,1199	3,12	0,03	10	30,3%	0,1199	1,20	0,04	38	28,8%	0,1199	4,56	0,03	93	28,1%	0,1199	11,15	0,03
6-8	7	10	13,9%	0,5129	5,13	0,07	12	12,8%	0,5129	6,15	0,07	5	15,2%	0,5129	2,56	0,08	15	11,4%	0,5129	7,69	0,06	42	12,7%	0,5129	21,54	0,07
8-10	9	15	20,8%	1,5189	22,78	0,32	13	13,8%	1,5189	19,75	0,21	2	6,1%	1,5189	3,04	0,09	10	7,6%	1,5189	15,19	0,12	40	12,1%	1,5189	60,76	0,18
10-12	11	6	8,3%	3,6142	21,69	0,30	11	11,7%	3,6142	39,76	0,42	5	15,2%	3,6142	18,07	0,55	10	7,6%	3,6142	36,14	0,27	32	9,7%	3,6142	115,66	0,35
12-14	13	1	1,4%	7,4377	7,44	0,10	6	6,4%	7,4377	44,63	0,47	3	9,1%	7,4377	22,31	0,68	7	5,3%	7,4377	52,06	0,39	17	5,1%	7,4377	126,44	0,38
14-16	15	1	1,4%	13,8011	13,80	0,19	2	2,1%	13,8011	27,60	0,29	0	0,0%	13,8011	0,00	0,00	3	2,3%	13,8011	41,40	0,31	6	1,8%	13,8011	82,81	0,25
16-18	17						0	0,0%	23,6995	0,00	0,00	1	3,0%	23,6995	23,70	0,72	1	0,8%	23,6995	23,70	0,18	2	0,6%	23,6995	47,40	0,14
18-20	19						1	1,1%	38,3192	38,32	0,41											1	0,3%	38,3192	38,32	0,12
20-22	21																									
TOTAL		72	100,0%		21,24	0,29	94	100,0%		110,55	1,18	33	100,0%		46,01	1,39	132	100,0%		117,17	0,89	331	100,0%		294,97	0,89
Peso médio equivalente						6,2					8,5					8,8					7,9					8,0

Tabela A18 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: EDRD (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					29/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																									
2-4	3																									
4-6	5	8	13,3%	0,0104	0,08	0,00	6	6,1%	0,0104	0,06	0,00	0	0,0%	0,0104	0,00	0,00	4	4,2%	0,0104	0,04	0,00	18	6,3%	0,0104	0,19	0,00
6-8	7	11	18,3%	0,0417	0,46	0,01	28	28,6%	0,0417	1,17	0,01	7	22,6%	0,0417	0,29	0,01	14	14,7%	0,0417	0,58	0,01	60	21,1%	0,0417	2,50	0,01
8-10	9	7	11,7%	0,1180	0,83	0,01	7	7,1%	0,1180	0,83	0,01	4	12,9%	0,1180	0,47	0,02	10	10,5%	0,1180	1,18	0,01	28	9,9%	0,1180	3,30	0,01
10-12	11	7	11,7%	0,2709	1,90	0,03	5	5,1%	0,2709	1,35	0,01	0	0,0%	0,2709	0,00	0,00	9	9,5%	0,2709	2,44	0,03	21	7,4%	0,2709	5,69	0,02
12-14	13	4	6,7%	0,5409	2,16	0,04	6	6,1%	0,5409	3,25	0,03	3	9,7%	0,5409	1,62	0,05	11	11,6%	0,5409	5,95	0,06	24	8,5%	0,5409	12,98	0,05
14-16	15	3	5,0%	0,9782	2,93	0,05	8	8,2%	0,9782	7,83	0,08	3	9,7%	0,9782	2,93	0,09	9	9,5%	0,9782	8,80	0,09	23	8,1%	0,9782	22,50	0,08
16-18	17	3	5,0%	1,6424	4,93	0,08	22	22,4%	1,6424	36,13	0,37	5	16,1%	1,6424	8,21	0,26	9	9,5%	1,6424	14,78	0,16	39	13,7%	1,6424	64,05	0,23
18-20	19	12	20,0%	2,6029	31,23	0,52	11	11,2%	2,6029	28,63	0,29	4	12,9%	2,6029	10,41	0,34	14	14,7%	2,6029	36,44	0,38	41	14,4%	2,6029	106,72	0,38
20-22	21	3	5,0%	3,9392	11,82	0,20	3	3,1%	3,9392	11,82	0,12	4	12,9%	3,9392	15,76	0,51	11	11,6%	3,9392	43,33	0,46	21	7,4%	3,9392	82,72	0,29
22-24	23	1	1,7%	5,7408	5,74	0,10	2	2,0%	5,7408	11,48	0,12	0	0,0%	5,7408	0,00	0,00	4	4,2%	5,7408	22,96	0,24	7	2,5%	5,7408	40,19	0,14
24-26	25	1	1,7%	8,1076	8,11	0,14						0	0,0%	8,1076	0,00	0,00						1	0,4%	8,1076	8,11	0,03
26-28	27											1	3,2%	11,1497	11,15	0,36						1	0,4%	11,1497	11,15	0,04
28-30	29																									
30-32	31																									
TOTAL		60	100,0%		13,85	0,23	98	100,0%		11,48	0,12	31	100,0%		11,15	0,36	95	100,0%		22,96	0,24	284	100,0%		59,44	0,21
Peso médio equivalente						10,6					9,0					11,8					10,7					10,3

Tabela A19 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ETRD (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					29/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																									
2-4	3																									
4-6	5																									
6-8	7																									
8-10	9	1	8,3%	0,0192	0,02	0,00	1	3,7%	0,0192	0,02	0,00											2	2,8%	0,0192	0,04	0,00
10-12	11	0	0,0%	0,0449	0,00	0,00	0	0,0%	0,0449	0,00	0,00	1	9,1%	0,0449	0,04	0,00	3	13,6%	0,0449	0,13	0,01	4	5,6%	0,0449	0,18	0,00
12-14	13	1	8,3%	0,0909	0,09	0,01	1	3,7%	0,0909	0,09	0,00	0	0,0%	0,0909	0,00	0,00	0	0,0%	0,0909	0,00	0,00	2	2,8%	0,0909	0,18	0,00
14-16	15	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00
16-18	17	1	8,3%	0,2818	0,28	0,02	1	3,7%	0,2818	0,28	0,01	1	9,1%	0,2818	0,28	0,03	0	0,0%	0,2818	0,00	0,00	3	4,2%	0,2818	0,85	0,01
18-20	19	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00
20-22	21	2	16,7%	0,6875	1,37	0,11	1	3,7%	0,6875	0,69	0,03	0	0,0%	0,6875	0,00	0,00	2	9,1%	0,6875	1,37	0,06	5	6,9%	0,6875	3,44	0,05
22-24	23	1	8,3%	1,0092	1,01	0,08	1	3,7%	1,0092	1,01	0,04	2	18,2%	1,0092	2,02	0,18	2	9,1%	1,0092	2,02	0,09	6	8,3%	1,0092	6,06	0,08
24-26	25	1	8,3%	1,4348	1,43	0,12	5	18,5%	1,4348	7,17	0,27	1	9,1%	1,4348	1,43	0,13	1	4,5%	1,4348	1,43	0,07	8	11,1%	1,4348	11,48	0,16
26-28	27	2	16,7%	1,9854	3,97	0,33	6	22,2%	1,9854	11,91	0,44	1	9,1%	1,9854	1,99	0,18	1	4,5%	1,9854	1,99	0,09	10	13,9%	1,9854	19,85	0,28
28-30	29	0	0,0%	2,6842	0,00	0,00	8	29,6%	2,6842	21,47	0,80	3	27,3%	2,6842	8,05	0,73	5	22,7%	2,6842	13,42	0,61	16	22,2%	2,6842	42,95	0,60
30-32	31	2	16,7%	3,5567	7,11	0,59	0	0,0%	3,5567	0,00	0,00	1	9,1%	3,5567	3,56	0,32	7	31,8%	3,5567	24,90	1,13	10	13,9%	3,5567	35,57	0,49
32-34	33	0	0,0%	4,6305	0,00	0,00	1	3,7%	4,6305	4,63	0,17	0	0,0%	4,6305	0,00	0,00	0	0,0%	4,6305	0,00	0,00	1	1,4%	4,6305	4,63	0,06
34-36	35	1	8,3%	5,9356	5,94	0,49	1	3,7%	5,9356	5,94	0,22	0	0,0%	5,9356	0,00	0,00	0	0,0%	5,9356	0,00	0,00	2	2,8%	5,9356	11,87	0,16
36-38	37						0	0,0%	7,5043	0,00	0,00	1	9,1%	7,5043	7,50	0,68	0	0,0%	7,5043	0,00	0,00	1	1,4%	7,5043	7,50	0,10
38-40	39						1	3,7%	9,3711	9,37	0,35						1	4,5%	9,3711	9,37	0,43	2	2,8%	9,3711	18,74	0,26
TOTAL		12	100,0%		13,05	1,09	27	100,0%		19,94	0,74	11	100,0%		11,06	1,01	22	100,0%		34,27	1,56	72	100,0%		78,31	1,09
Peso médio equivalente						23,4					21,4					23,0					25,5					23,4

Tabela A20 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	59	10,5%	0,0001	0,01	0,00	10	3,0%	0,0001	0,00	0,00										
2-4	3	221	39,4%	0,0164	3,62	0,01	88	26,6%	0,0132	1,16	0,00										
4-6	5	266	47,4%	0,1489	39,61	0,07	93	28,1%	0,1199	11,15	0,03	18	6,3%	0,0104	0,19	0,00					
6-8	7	14	2,5%	0,6371	8,92	0,02	42	12,7%	0,5129	21,54	0,07	60	21,1%	0,0417	2,50	0,01					
8-10	9	1	0,2%	1,8867	1,89	0,00	40	12,1%	1,5189	60,76	0,18	28	9,9%	0,1180	3,30	0,01	2	2,8%	0,0192	0,04	0,00
10-12	11						32	9,7%	3,6142	115,66	0,35	21	7,4%	0,2709	5,69	0,02	4	5,6%	0,0449	0,18	0,00
12-14	13						17	5,1%	7,4377	126,44	0,38	24	8,5%	0,5409	12,98	0,05	2	2,8%	0,0909	0,18	0,00
14-16	15						6	1,8%	13,8011	82,81	0,25	23	8,1%	0,9782	22,50	0,08	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00
16-18	17						2	0,6%	23,6995	47,40	0,14	39	13,7%	1,6424	64,05	0,23	3	4,2%	0,2818	0,85	0,01
18-20	19						1	0,3%	38,3192	38,32	0,12	41	14,4%	2,6029	106,72	0,38	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00
20-22	21											21	7,4%	3,9392	82,72	0,29	5	6,9%	0,6875	3,44	0,05
22-24	23											7	2,5%	5,7408	40,19	0,14	6	8,3%	1,0092	6,06	0,08
24-26	25											1	0,4%	8,1076	8,11	0,03	8	11,1%	1,4348	11,48	0,16
26-28	27											1	0,4%	11,1497	11,15	0,04	10	13,9%	1,9854	19,85	0,28
28-30	29																16	22,2%	2,6842	42,95	0,60
30-32	31																10	13,9%	3,5567	35,57	0,49
32-34	33																1	1,4%	4,6305	4,63	0,06
34-36	35																2	2,8%	5,9356	11,87	0,16
36-38	37																1	1,4%	7,5043	7,50	0,10
38-40	39																2	2,8%	9,3711	18,74	0,26
TOTAL		561	100,0%		54,05	0,10	331	100,0%		294,97	0,89	284	100,0%		59,44	0,21	72	100,0%		78,31	1,09
Peso médio equivalente						4,5					8,0					10,3					23,4

Tabela A21 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	69	7,7%	0,0001	0,01	0,00										
2-4	3	309	34,6%	0,0132	4,08	0,00										
4-6	5	359	40,2%	0,1199	43,04	0,05	18	6,3%	0,0104	0,19	0,00					
6-8	7	56	6,3%	0,5129	28,72	0,03	60	21,1%	0,0417	2,50	0,01					
8-10	9	41	4,6%	1,5189	62,27	0,07	28	9,9%	0,1180	3,30	0,01	2	2,8%	0,0192	0,04	0,00
10-12	11	32	3,6%	3,6142	115,66	0,13	21	7,4%	0,2709	5,69	0,02	4	5,6%	0,0449	0,18	0,00
12-14	13	17	1,9%	7,4377	126,44	0,14	24	8,5%	0,5409	12,98	0,05	2	2,8%	0,0909	0,18	0,00
14-16	15	6	0,7%	13,8011	82,81	0,09	23	8,1%	0,9782	22,50	0,08	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00
16-18	17	2	0,2%	23,6995	47,40	0,05	39	13,7%	1,6424	64,05	0,23	3	4,2%	0,2818	0,85	0,01
18-20	19	1	0,1%	38,3192	38,32	0,04	41	14,4%	2,6029	106,72	0,38	0	0,0%	0,4506	0,00	0,00
20-22	21						21	7,4%	3,9392	82,72	0,29	5	6,9%	0,6875	3,44	0,05
22-24	23						7	2,5%	5,7408	40,19	0,14	6	8,3%	1,0092	6,06	0,08
24-26	25						1	0,4%	8,1076	8,11	0,03	8	11,1%	1,4348	11,48	0,16
26-28	27						1	0,4%	11,1497	11,15	0,04	10	13,9%	1,9854	19,85	0,28
28-30	29											16	22,2%	2,6842	42,95	0,60
30-32	31											10	13,9%	3,5567	35,57	0,49
32-34	33											1	1,4%	4,6305	4,63	0,06
34-36	35											2	2,8%	5,9356	11,87	0,16
36-38	37											1	1,4%	7,5043	7,50	0,10
38-40	39											2	2,8%	9,3711	18,74	0,26
TOTAL		892	100,0%		548,74	0,62	284	100,0%		59,44	0,21	72	100,0%		78,31	1,09
Peso médio						7,3					10,3					23,4

Tabela A22 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2007); Todos os eixos (peso niminal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	434	7,35%	434	120	3,27%	120	5	0,2%	5			
2-4	2383	40,37%	7149	934	25,45%	2802	44	1,6%	132			
4-6	2699	45,72%	13495	862	23,49%	4310	241	8,6%	1205	4	0,46%	20
6-8	380	6,44%	2660	468	12,75%	3276	591	21,2%	4137	108	12,44%	756
8-10	6	0,10%	54	559	15,23%	5031	256	9,2%	2304	94	10,83%	846
10-12	0	0,00%	0	391	10,65%	4301	168	6,0%	1848	22	2,53%	242
12-14	0	0,00%	0	170	4,63%	2210	206	7,4%	2678	22	2,53%	286
14-16	1	0,02%	15	68	1,85%	1020	189	6,8%	2835	34	3,92%	510
16-18				62	1,69%	1054	426	15,3%	7242	43	4,95%	731
18-20				30	0,82%	570	462	16,6%	8778	47	5,41%	893
20-22				2	0,05%	42	75	2,7%	1575	41	4,72%	861
22-24				3	0,08%	69	76	2,7%	1748	65	7,49%	1495
24-26				1	0,03%	25	21	0,8%	525	104	11,98%	2600
26-28							26	0,9%	702	160	18,43%	4320
28-30							1	0,0%	29	96	11,06%	2784
30-32										19	2,19%	589
32-34										5	0,58%	165
34-36										1	0,12%	35
36-38										3	0,35%	111
38-40												
TOTAL	5903	100,0%	23807	3670	100,0%	24830	2787	100,0%	35743	868	100,0%	17244
Peso médio			4,0			6,8			12,8			19,9

Tabela A 23 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2007); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	554	5,79%	554	5	0,18%	5			
2-4	3317	34,65%	9951	44	1,58%	132			
4-6	3561	37,20%	17805	241	8,65%	1205	4	0,5%	20
6-8	848	8,86%	5936	591	21,21%	4137	108	12,4%	756
8-10	565	5,90%	5085	256	9,19%	2304	94	10,8%	846
10-12	391	4,08%	4301	168	6,03%	1848	22	2,5%	242
12-14	170	1,78%	2210	206	7,39%	2678	22	2,5%	286
14-16	69	0,72%	1035	189	6,78%	2835	34	3,9%	510
16-18	62	0,65%	1054	426	15,29%	7242	43	5,0%	731
18-20	30	0,31%	570	462	16,58%	8778	47	5,4%	893
20-22	2	0,02%	42	75	2,69%	1575	41	4,7%	861
22-24	3	0,03%	69	76	2,73%	1748	65	7,5%	1495
24-26	1	0,01%	25	21	0,75%	525	104	12,0%	2600
26-28				26	0,93%	702	160	18,4%	4320
28-30				1	0,04%	29	96	11,1%	2784
30-32							19	2,2%	589
32-34							5	0,6%	165
34-36							1	0,1%	35
36-38							3	0,3%	111
38-40									
TOTAL	9573	100,0%	48637	2787	100,0%	35743	868	100,0%	17244
Peso médio			5,1			12,8			19,9

Tabela A24 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2007); Todos os eixos (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	434	7,35%	0,0002	0,09	0,00	120	3,27%	0,0002	0,02	0,00	5	0,2%	0,0002	0,00	0,00					
2-4	2383	40,37%	0,0172	40,89	0,01	934	25,45%	0,0172	16,03	0,00	44	1,6%	0,0072	0,32	0,00					
4-6	2699	45,72%	0,1336	360,58	0,06	862	23,49%	0,1336	115,16	0,03	241	8,6%	0,0425	10,25	0,00	4	0,46%	0,0178	0,07	0,00
6-8	380	6,44%	0,5163	196,18	0,03	468	12,75%	0,5163	241,61	0,07	591	21,2%	0,1368	80,86	0,03	108	12,44%	0,0550	5,94	0,01
8-10	6	0,10%	1,7020	10,21	0,00	559	15,23%	1,7020	951,39	0,26	256	9,2%	0,3274	83,81	0,03	94	10,83%	0,1278	12,01	0,01
10-12	0	0,00%	5,9704	0,00	0,00	391	10,65%	5,9704	2334,43	0,64	168	6,0%	0,7855	131,96	0,05	22	2,53%	0,2505	5,51	0,01
12-14	0	0,00%	16,9727	0,00	0,00	170	4,63%	16,9727	2885,35	0,79	206	7,4%	1,9633	404,44	0,15	22	2,53%	0,4387	9,65	0,01
14-16	1	0,02%	41,5370	41,54	0,01	68	1,85%	41,5370	2824,52	0,77	189	6,8%	4,3034	813,34	0,29	34	3,92%	0,7091	24,11	0,03
16-18						62	1,69%	90,8655	5633,66	1,54	426	15,3%	8,5488	3641,79	1,31	43	4,95%	1,0791	46,40	0,05
18-20						30	0,82%	182,1823	5465,47	1,49	462	16,6%	15,7329	7268,59	2,61	47	5,41%	1,8012	84,66	0,10
20-22						2	0,05%	340,6822	681,36	0,19	75	2,7%	27,2379	2042,84	0,73	41	4,72%	3,1482	129,07	0,15
22-24						3	0,08%	601,7882	1805,36	0,49	76	2,7%	44,8579	3409,20	1,22	65	7,49%	5,2296	339,93	0,39
24-26						1	0,03%	1013,7290	1013,73	0,28	21	0,8%	70,8641	1488,15	0,53	104	11,98%	8,3271	866,02	1,00
26-28											26	0,9%	108,0743	2809,93	1,01	160	18,43%	12,7927	2046,83	2,36
28-30											1	0,0%	159,9241	159,92	0,06	96	11,06%	19,0590	1829,66	2,11
30-32																19	2,19%	27,6493	525,34	0,61
32-34																5	0,58%	39,1890	195,95	0,23
34-36																1	0,12%	54,4162	54,42	0,06
36-38																3	0,35%	74,1938	222,58	0,26
38-40																				
TOTAL	5903	100,0%		649,49	0,11	3670	100,0%		23968,11	6,53	2787	100,0%		22345,39	8,02	868	100,0%		6398,14	7,37
Peso médio equivalente					4,8					11,2					16,8					24,5

Tabela A25 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2007); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	554	5,79%	0,0002	0,12	0,00	5	0,18%	0,0002	0,00	0,00					
2-4	3317	34,65%	0,0172	56,92	0,01	44	1,58%	0,0072	0,32	0,00					
4-6	3561	37,20%	0,1336	475,74	0,05	241	8,65%	0,0425	10,25	0,00	4	0,5%	0,0178	0,07	0,00
6-8	848	8,86%	0,5163	437,79	0,05	591	21,21%	0,1368	80,86	0,03	108	12,4%	0,0550	5,94	0,01
8-10	565	5,90%	1,7020	961,61	0,10	256	9,19%	0,3274	83,81	0,03	94	10,8%	0,1278	12,01	0,01
10-12	391	4,08%	5,9704	2334,43	0,24	168	6,03%	0,7855	131,96	0,05	22	2,5%	0,2505	5,51	0,01
12-14	170	1,78%	16,9727	2885,35	0,30	206	7,39%	1,9633	404,44	0,15	22	2,5%	0,4387	9,65	0,01
14-16	69	0,72%	41,5370	2866,05	0,30	189	6,78%	4,3034	813,34	0,29	34	3,9%	0,7091	24,11	0,03
16-18	62	0,65%	90,8655	5633,66	0,59	426	15,29%	8,5488	3641,79	1,31	43	5,0%	1,0791	46,40	0,05
18-20	30	0,31%	182,1823	5465,47	0,57	462	16,58%	15,7329	7268,59	2,61	47	5,4%	1,8012	84,66	0,10
20-22	2	0,02%	340,6822	681,36	0,07	75	2,69%	27,2379	2042,84	0,73	41	4,7%	3,1482	129,07	0,15
22-24	3	0,03%	601,7882	1805,36	0,19	76	2,73%	44,8579	3409,20	1,22	65	7,5%	5,2296	339,93	0,39
24-26	1	0,01%	1013,7290	1013,73	0,11	21	0,75%	70,8641	1488,15	0,53	104	12,0%	8,3271	866,02	1,00
26-28						26	0,93%	108,0743	2809,93	1,01	160	18,4%	12,7927	2046,83	2,36
28-30						1	0,04%	159,9241	159,92	0,06	96	11,1%	19,0590	1829,66	2,11
30-32											19	2,2%	27,6493	525,34	0,61
32-34											5	0,6%	39,1890	195,95	0,23
34-36											1	0,1%	54,4162	54,42	0,06
36-38											3	0,3%	74,1938	222,58	0,26
38-40															
TOTAL	9573	100,0%		24617,60	2,57	2787	100,0%		22345,39	8,02	868	100,0%		6398,14	7,37
Peso médio equivalente					9,6					16,8					24,5

Tabela A26 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2007); Todos os eixos (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	434	7,35%	0,0001	0,06	0,00	120	3,27%	0,0001	0,01	0,00	5	0,2%	0,0000	0,00	0,00					
2-4	2383	40,37%	0,0164	39,05	0,01	934	25,45%	0,0132	12,32	0,00	44	1,6%	0,0012	0,05	0,00					
4-6	2699	45,72%	0,1489	401,92	0,07	862	23,49%	0,1199	103,34	0,03	241	8,6%	0,0104	2,50	0,00	4	0,46%	0,0016	0,01	0,00
6-8	380	6,44%	0,6371	242,10	0,04	468	12,75%	0,5129	240,03	0,07	591	21,2%	0,0417	24,64	0,01	108	12,44%	0,0067	0,72	0,00
8-10	6	0,10%	1,8867	11,32	0,00	559	15,23%	1,5189	849,06	0,23	256	9,2%	0,1180	30,21	0,01	94	10,83%	0,0192	1,81	0,00
10-12	0	0,00%	4,4895	0,00	0,00	391	10,65%	3,6142	1413,17	0,39	168	6,0%	0,2709	45,51	0,02	22	2,53%	0,0449	0,99	0,00
12-14	0	0,00%	9,2388	0,00	0,00	170	4,63%	7,4377	1264,40	0,34	206	7,4%	0,5409	111,43	0,04	22	2,53%	0,0909	2,00	0,00
14-16	1	0,02%	17,1433	17,14	0,00	68	1,85%	13,8011	938,48	0,26	189	6,8%	0,9782	184,88	0,07	34	3,92%	0,1662	5,65	0,01
16-18						62	1,69%	23,6995	1469,37	0,40	426	15,3%	1,6424	699,66	0,25	43	4,95%	0,2818	12,12	0,01
18-20						30	0,82%	38,3192	1149,58	0,31	462	16,6%	2,6029	1202,54	0,43	47	5,41%	0,4506	21,18	0,02
20-22						2	0,05%	59,0457	118,09	0,03	75	2,7%	3,9392	295,44	0,11	41	4,72%	0,6875	28,19	0,03
22-24						3	0,08%	87,4712	262,41	0,07	76	2,7%	5,7408	436,30	0,16	65	7,49%	1,0092	65,60	0,08
24-26						1	0,03%	125,4012	125,40	0,03	21	0,8%	8,1076	170,26	0,06	104	11,98%	1,4348	149,22	0,17
26-28											26	0,9%	11,1497	289,89	0,10	160	18,43%	1,9854	317,67	0,37
28-30											1	0,0%	14,9881	14,99	0,01	96	11,06%	2,6842	257,68	0,30
30-32																19	2,19%	3,5567	67,58	0,08
32-34																5	0,58%	4,6305	23,15	0,03
34-36																1	0,12%	5,9356	5,94	0,01
36-38																3	0,35%	7,5043	22,51	0,03
38-40																				
TOTAL	5903	100,0%		711,59	0,12	3670	100,0%		7945,67	2,17	2787	100,0%		3508,31	1,26	868	100,0%		982,01	1,13
Peso médio equivalente					4,8					9,8					15,9					23,6

Tabela A27 - BR-232/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2007); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	554	5,79%	0,0001	0,06	0,00	5	0,18%	0,0000	0,00	0,00					
2-4	3317	34,65%	0,0132	43,76	0,00	44	1,58%	0,0012	0,05	0,00					
4-6	3561	37,20%	0,1199	426,90	0,04	241	8,65%	0,0104	2,50	0,00	4	0,5%	0,0016	0,01	0,00
6-8	848	8,86%	0,5129	434,93	0,05	591	21,21%	0,0417	24,64	0,01	108	12,4%	0,0067	0,72	0,00
8-10	565	5,90%	1,5189	858,18	0,09	256	9,19%	0,1180	30,21	0,01	94	10,8%	0,0192	1,81	0,00
10-12	391	4,08%	3,6142	1413,17	0,15	168	6,03%	0,2709	45,51	0,02	22	2,5%	0,0449	0,99	0,00
12-14	170	1,78%	7,4377	1264,40	0,13	206	7,39%	0,5409	111,43	0,04	22	2,5%	0,0909	2,00	0,00
14-16	69	0,72%	13,8011	952,28	0,10	189	6,78%	0,9782	184,88	0,07	34	3,9%	0,1662	5,65	0,01
16-18	62	0,65%	23,6995	1469,37	0,15	426	15,29%	1,6424	699,66	0,25	43	5,0%	0,2818	12,12	0,01
18-20	30	0,31%	38,3192	1149,58	0,12	462	16,58%	2,6029	1202,54	0,43	47	5,4%	0,4506	21,18	0,02
20-22	2	0,02%	59,0457	118,09	0,01	75	2,69%	3,9392	295,44	0,11	41	4,7%	0,6875	28,19	0,03
22-24	3	0,03%	87,4712	262,41	0,03	76	2,73%	5,7408	436,30	0,16	65	7,5%	1,0092	65,60	0,08
24-26	1	0,01%	125,4012	125,40	0,01	21	0,75%	8,1076	170,26	0,06	104	12,0%	1,4348	149,22	0,17
26-28						26	0,93%	11,1497	289,89	0,10	160	18,4%	1,9854	317,67	0,37
28-30						1	0,04%	14,9881	14,99	0,01	96	11,1%	2,6842	257,68	0,30
30-32											19	2,2%	3,5567	67,58	0,08
32-34											5	0,6%	4,6305	23,15	0,03
34-36											1	0,1%	5,9356	5,94	0,01
36-38											3	0,3%	7,5043	22,51	0,03
38-40															
TOTAL	9573	100,0%		8518,53	0,89	2787	100,0%		3508,31	1,26	868	100,0%		982,01	1,13
Peso médio equivalente					8,0					15,9					23,6

Tabela A28 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRS (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	30/8/2004			2/8/2004			3/8/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	2	2,0%	2	4	2,0%	4	10	5,6%	10	16	3,4%	16	0,8%
2-4	30	29,7%	90	71	36,2%	213	64	36,0%	192	165	34,7%	495	24,3%
4-6	62	61,4%	310	103	52,6%	515	103	57,9%	515	268	56,4%	1340	65,9%
6-8	7	6,9%	49	18	9,2%	126	1	0,6%	7	26	5,5%	182	9,0%
8-10										0			
TOTAL	101	100,0%	451	196	100,0%	858	178	100,0%	724	475	100,0%	2033	100,0%
Peso médio			4,5			4,4			4,1			4,3	

Tabela A29 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRD (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/7/2004			27/7/2004			28/7/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	3	4,4%	3	3	2,6%	3	2	2,0%	2	8	2,8%	8	0,4%
2-4	12	17,6%	36	16	13,7%	48	19	19,2%	57	47	16,5%	141	6,7%
4-6	9	13,2%	45	26	22,2%	130	24	24,2%	120	59	20,8%	295	14,0%
6-8	11	16,2%	77	25	21,4%	175	13	13,1%	91	49	17,3%	343	16,3%
8-10	12	17,6%	108	17	14,5%	153	16	16,2%	144	45	15,8%	405	19,2%
10-12	15	22,1%	165	19	16,2%	209	13	13,1%	143	47	16,5%	517	24,5%
12-14	5	7,4%	65	9	7,7%	117	11	11,1%	143	25	8,8%	325	15,4%
14-16	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	1,0%	15	1	0,4%	15	0,7%
16-18	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
18-20	0	0,0%	0	2	1,7%	38	0	0,0%	0	2	0,7%	38	1,8%
20-22	1	1,5%	21	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	0,4%	21	1,0%
TOTAL	68	100,0%	520	117	100,0%	873	99	100,0%	715	284	100,0%	2108	100,0%
Peso médio			7,6			7,5			7,2			7,4	

Tabela A30 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: EDRD (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/7/2004			27/7/2004			28/7/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
2-4	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
4-6	1	1,7%	5	6	5,7%	30	4	3,4%	20	11	3,9%	55	1,3%
6-8	12	20,0%	84	11	10,5%	77	17	14,7%	119	40	14,2%	280	6,7%
8-10	6	10,0%	54	8	7,6%	72	13	11,2%	117	27	9,6%	243	5,8%
10-12	1	1,7%	11	8	7,6%	88	6	5,2%	66	15	5,3%	165	4,0%
12-14	3	5,0%	39	6	5,7%	78	9	7,8%	117	18	6,4%	234	5,6%
14-16	5	8,3%	75	11	10,5%	165	11	9,5%	165	27	9,6%	405	9,7%
16-18	10	16,7%	170	18	17,1%	306	10	8,6%	170	38	13,5%	646	15,5%
18-20	17	28,3%	323	19	18,1%	361	27	23,3%	513	63	22,4%	1197	28,8%
20-22	1	1,7%	21	12	11,4%	252	16	13,8%	336	29	10,3%	609	14,6%
22-24	2	3,3%	46	2	1,9%	46	2	1,7%	46	6	2,1%	138	3,3%
24-26	0	0,0%	0	3	2,9%	75	1	0,9%	25	4	1,4%	100	2,4%
26-28	1	1,7%	27	1	1,0%	27	0	0,0%	0	2	0,7%	54	1,3%
28-30	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
30-32	1	1,7%	31	0	0,0%	0	0	0,0%	0	1	0,4%	31	0,7%
TOTAL	60	100,0%	886	105	100,0%	1577	116	100,0%	1694	281	100,0%	4157	100,0%
Peso médio			14,8			15,0			14,6			14,8	

Tabela A31 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ETRD (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	22/7/2004			27/7/2004			28/7/2004			TOTAL			
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	%
0-2	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
2-4	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
4-6	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0	0,0%	0	0,0%
6-8	2	5,9%	14	2	5,3%	14	0	0,0%	0	4	3,9%	28	1,1%
8-10	1	2,9%	9	3	7,9%	27	0	0,0%	0	4	3,9%	36	1,5%
10-12	2	5,9%	22	0	0,0%	0	0	0,0%	0	2	2,0%	22	0,9%
12-14	1	2,9%	13	3	7,9%	39	1	3,3%	13	5	4,9%	65	2,7%
14-16	1	2,9%	15	0	0,0%	0	2	6,7%	30	3	2,9%	45	1,8%
16-18	0	0,0%	0	1	2,6%	17	3	10,0%	51	4	3,9%	68	2,8%
18-20	2	5,9%	38	1	2,6%	19	3	10,0%	57	6	5,9%	114	4,7%
20-22	4	11,8%	84	0	0,0%	0	0	0,0%	0	4	3,9%	84	3,4%
22-24	0	0,0%	0	3	7,9%	69	1	3,3%	23	4	3,9%	92	3,8%
24-26	3	8,8%	75	1	2,6%	25	3	10,0%	75	7	6,9%	175	7,2%
26-28	6	17,6%	162	8	21,1%	216	4	13,3%	108	18	17,6%	486	19,9%
28-30	8	23,5%	232	10	26,3%	290	7	23,3%	203	25	24,5%	725	29,7%
30-32	4	11,8%	124	5	13,2%	155	5	16,7%	155	14	13,7%	434	17,8%
32-34				1	2,6%	33	1	3,3%	33	2	2,0%	66	2,7%
34-36													
36-38													
38-40													
TOTAL	34	100,0%	788	38	100,0%	904	30	100,0%	748	102	100,0%	2440	100,0%
Peso médio			23,2			23,8			24,9			23,9	

Tabela A32 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	16	3,4%	16	8	2,8%	8						
2-4	165	34,7%	495	47	16,5%	141						
4-6	268	56,4%	1340	59	20,8%	295	11	3,9%	55			
6-8	26	5,5%	182	49	17,3%	343	40	14,2%	280	4	3,9%	28
8-10				45	15,8%	405	27	9,6%	243	4	3,9%	36
10-12				47	16,5%	517	15	5,3%	165	2	2,0%	22
12-14				25	8,8%	325	18	6,4%	234	5	4,9%	65
14-16				1	0,4%	15	27	9,6%	405	3	2,9%	45
16-18				0	0,0%	0	38	13,5%	646	4	3,9%	68
18-20				2	0,7%	38	63	22,4%	1197	6	5,9%	114
20-22				1	0,4%	21	29	10,3%	609	4	3,9%	84
22-24							6	2,1%	138	4	3,9%	92
24-26							4	1,4%	100	7	6,9%	175
26-28							2	0,7%	54	18	17,6%	486
28-30							0	0,0%	0	25	24,5%	725
30-32							1	0,4%	31	14	13,7%	434
32-34										2	2,0%	66
34-36												
36-38												
38-40												
TOTAL	475	100,0%	2033	284	100,0%	2108	281	100,0%	4157	102	100,0%	2440
Peso médio			4,3			7,4			14,8			23,9

Tabela A33 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	24	3,2%	24						
2-4	212	27,9%	636						
4-6	327	43,1%	1635	11	3,9%	55			
6-8	75	9,9%	525	40	14,2%	280	4	3,9%	28
8-10	45	5,9%	405	27	9,6%	243	4	3,9%	36
10-12	47	6,2%	517	15	5,3%	165	2	2,0%	22
12-14	25	3,3%	325	18	6,4%	234	5	4,9%	65
14-16	1	0,1%	15	27	9,6%	405	3	2,9%	45
16-18	0	0,0%	0	38	13,5%	646	4	3,9%	68
18-20	2	0,3%	38	63	22,4%	1197	6	5,9%	114
20-22	1	0,1%	21	29	10,3%	609	4	3,9%	84
22-24				6	2,1%	138	4	3,9%	92
24-26				4	1,4%	100	7	6,9%	175
26-28				2	0,7%	54	18	17,6%	486
28-30				0	0,0%	0	25	24,5%	725
30-32				1	0,4%	31	14	13,7%	434
32-34							2	2,0%	66
34-36									
36-38									
38-40									
TOTAL	759	100,0%	4141	281	100,0%	4157	102	100,0%	2440
Peso médio			5,5			14,8			23,9

Tabela A34 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRS (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	30/8/2004					2/8/2004					3/8/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	2	2,0%	0,0002	0,00	0,00	4	2,0%	0,0002	0,00	0,00	10	5,6%	0,0002	0,00	0,00	16	3,4%	0,0002	0,00	0,00
2-4	3	30	29,7%	0,0172	0,51	0,01	71	36,2%	0,0172	1,22	0,01	64	36,0%	0,0172	1,10	0,01	165	34,7%	0,0172	2,83	0,01
4-6	5	62	61,4%	0,1336	8,28	0,08	103	52,6%	0,1336	13,76	0,07	103	57,9%	0,1336	13,76	0,08	268	56,4%	0,1336	35,80	0,08
6-8	7	7	6,9%	0,5163	3,61	0,04	18	9,2%	0,5163	9,29	0,05	1	0,6%	0,5163	0,52	0,00	26	5,5%	0,5163	13,42	0,03
8-10	9																#REF!				
TOTAL		101	100,0%		12,41	0,12	196	100,0%		24,27	0,12	178	100,0%		15,38	0,09	#REF!	100,0%		52,06	0,11
Peso médio equivalente						4,9					4,9					4,5					4,8

Tabela A35 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRD (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	3	4,4%	0,0002	0,00	0,00	3	2,6%	0,0002	0,00	0,00	2	2,0%	0,0002	0,00	0,00	8	2,8%	0,0002	0,00	0,00
2-4	3	12	17,6%	0,0172	0,21	0,00	16	13,7%	0,0172	0,27	0,00	19	19,2%	0,0172	0,33	0,00	47	16,5%	0,0172	0,81	0,00
4-6	5	9	13,2%	0,1336	1,20	0,02	26	22,2%	0,1336	3,47	0,03	24	24,2%	0,1336	3,21	0,03	59	20,8%	0,1336	7,88	0,03
6-8	7	11	16,2%	0,5163	5,68	0,08	25	21,4%	0,5163	12,91	0,11	13	13,1%	0,5163	6,71	0,07	49	17,3%	0,5163	25,30	0,09
8-10	9	12	17,6%	1,7020	20,42	0,30	17	14,5%	1,7020	28,93	0,25	16	16,2%	1,7020	27,23	0,28	45	15,8%	1,7020	76,59	0,27
10-12	11	15	22,1%	5,9704	89,56	1,32	19	16,2%	5,9704	113,44	0,97	13	13,1%	5,9704	77,62	0,78	47	16,5%	5,9704	280,61	0,99
12-14	13	5	7,4%	16,9727	84,86	1,25	9	7,7%	16,9727	152,75	1,31	11	11,1%	16,9727	186,70	1,89	25	8,8%	16,9727	424,32	1,49
14-16	15	0	0,0%	41,5370	0,00	0,00	0	0,0%	41,5370	0,00	0,00	1	1,0%	41,5370	41,54	0,42	1	0,4%	41,5370	41,54	0,15
16-18	17	0	0,0%	90,8655	0,00	0,00	0	0,0%	90,8655	0,00	0,00						0	0,0%	90,8655	0,00	0,00
18-20	19	0	0,0%	182,1823	0,00	0,00	2	1,7%	182,1823	364,36	3,11						2	0,7%	182,1823	364,36	1,28
20-22	21	1	1,5%	340,6822	340,68	5,01	#REF!	#REF!	340,6822	#REF!	#REF!						1	0,4%	340,6822	340,68	1,20
TOTAL		68	100,0%		425,55	6,26	#REF!	#REF!		#REF!	#REF!	99	100,0%		228,24	2,31	284	100,0%		1170,90	4,12
Peso médio equivalente						13,0					#REF!					10,2					11,7

Tabela A36 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: EDRD (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																0				
2-4	3																0				
4-6	5	1	1,7%	0,0425	0,04	0,00	6	5,7%	0,0425	0,26	0,00	4	3,4%	0,0425	0,17	0,00	11	3,9%	0,0425	0,47	0,00
6-8	7	12	20,0%	0,1368	1,64	0,03	11	10,5%	0,1368	1,50	0,01	17	14,7%	0,1368	2,33	0,02	40	14,2%	0,1368	5,47	0,02
8-10	9	6	10,0%	0,3274	1,96	0,03	8	7,6%	0,3274	2,62	0,02	13	11,2%	0,3274	4,26	0,04	27	9,6%	0,3274	8,84	0,03
10-12	11	1	1,7%	0,7855	0,79	0,01	8	7,6%	0,7855	6,28	0,06	6	5,2%	0,7855	4,71	0,04	15	5,3%	0,7855	11,78	0,04
12-14	13	3	5,0%	1,9633	5,89	0,10	6	5,7%	1,9633	11,78	0,11	9	7,8%	1,9633	17,67	0,15	18	6,4%	1,9633	35,34	0,13
14-16	15	5	8,3%	4,3034	21,52	0,36	11	10,5%	4,3034	47,34	0,45	11	9,5%	4,3034	47,34	0,41	27	9,6%	4,3034	116,19	0,41
16-18	17	10	16,7%	8,5488	85,49	1,42	18	17,1%	8,5488	153,88	1,47	10	8,6%	8,5488	85,49	0,74	38	13,5%	8,5488	324,85	1,16
18-20	19	17	28,3%	15,7329	267,46	4,46	19	18,1%	15,7329	298,92	2,85	27	23,3%	15,7329	424,79	3,66	63	22,4%	15,7329	991,17	3,53
20-22	21	1	1,7%	27,2379	27,24	0,45	12	11,4%	27,2379	326,86	3,11	16	13,8%	27,2379	435,81	3,76	29	10,3%	27,2379	789,90	2,81
22-24	23	2	3,3%	44,8579	89,72	1,50	2	1,9%	44,8579	89,72	0,85	2	1,7%	44,8579	89,72	0,77	6	2,1%	44,8579	269,15	0,96
24-26	25	0	0,0%	70,8641	0,00	0,00	3	2,9%	70,8641	212,59	2,02	1	0,9%	70,8641	70,86	0,61	4	1,4%	70,8641	283,46	1,01
26-28	27	1	1,7%	108,0743	108,07	1,80	1	1,0%	108,0743	108,07	1,03	#REF!	#REF!	108,0743	#REF!	#REF!	2	0,7%	108,0743	216,15	0,77
28-30	29	0	0,0%	159,9241	0,00	0,00	#REF!	#REF!	159,9241	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	159,9241	#REF!	#REF!	0	0,0%	159,9241	0,00	0,00
30-32	31	1	1,7%	230,5424	230,54	3,84	#REF!	#REF!	230,5424	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	230,5424	#REF!	#REF!	1	0,4%	230,5424	230,54	0,82
TOTAL		60	100,0%		428,33	7,14	#REF!	#REF!		#REF!	#REF!	#REF!	#REF!		#REF!	#REF!	281	100,0%		999,29	3,56
Peso médio equivalente						16,5					#REF!					#REF!					14,5

Tabela A37 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ETRD (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																				
2-4	3																				
4-6	5																				
6-8	7	2	5,9%	0,0550	0,11	0,00	2	5,3%	0,0550	0,11	0,00						4	3,9%	0,0550	0,22	0,00
8-10	9	1	2,9%	0,1278	0,13	0,00	3	7,9%	0,1278	0,38	0,01						4	3,9%	0,1278	0,51	0,01
10-12	11	2	5,9%	0,2505	0,50	0,01	0	0,0%	0,2505	0,00	0,00						2	2,0%	0,2505	0,50	0,00
12-14	13	1	2,9%	0,4387	0,44	0,01	3	7,9%	0,4387	1,32	0,03	1	3,3%	0,4387	0,44	0,01	5	4,9%	0,4387	2,19	0,02
14-16	15	1	2,9%	0,7091	0,71	0,02	0	0,0%	0,7091	0,00	0,00	2	6,7%	0,7091	1,42	0,05	3	2,9%	0,7091	2,13	0,02
16-18	17	0	0,0%	1,0791	0,00	0,00	1	2,6%	1,0791	1,08	0,03	3	10,0%	1,0791	3,24	0,11	4	3,9%	1,0791	4,32	0,04
18-20	19	2	5,9%	1,8012	3,60	0,11	1	2,6%	1,8012	1,80	0,05	3	10,0%	1,8012	5,40	0,18	6	5,9%	1,8012	10,81	0,11
20-22	21	4	11,8%	3,1482	12,59	0,37	0	0,0%	3,1482	0,00	0,00	0	0,0%	3,1482	0,00	0,00	4	3,9%	3,1482	12,59	0,12
22-24	23	0	0,0%	5,2296	0,00	0,00	3	7,9%	5,2296	15,69	0,41	1	3,3%	5,2296	5,23	0,17	4	3,9%	5,2296	20,92	0,21
24-26	25	3	8,8%	8,3271	24,98	0,73	1	2,6%	8,3271	8,33	0,22	3	10,0%	8,3271	24,98	0,83	7	6,9%	8,3271	58,29	0,57
26-28	27	6	17,6%	12,7927	76,76	2,26	8	21,1%	12,7927	102,34	2,69	4	13,3%	12,7927	51,17	1,71	18	17,6%	12,7927	230,27	2,26
28-30	29	8	23,5%	19,0590	152,47	4,48	10	26,3%	19,0590	190,59	5,02	7	23,3%	19,0590	133,41	4,45	25	24,5%	19,0590	476,47	4,67
30-32	31	4	11,8%	27,6493	110,60	3,25	5	13,2%	27,6493	138,25	3,64	5	16,7%	27,6493	138,25	4,61	14	13,7%	27,6493	387,09	3,80
32-34	33						1	2,6%	39,1890	39,19	1,03	1	3,3%	39,1890	39,19	1,31	2	2,0%	39,1890	78,38	0,77
34-36	35																				
36-38	37																				
38-40	39																				
TOTAL		34	100,0%		110,60	3,25	38	100,0%		177,44	4,67	30	100,0%		177,44	5,91	102	100,0%		465,47	4,56
Peso médio equivalente						21,1					22,5					23,5					22,4

Tabela A38 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	16	3,4%	0,0002	0,00	0,00	8	2,8%	0,0002	0,00	0,00										
2-4	3	165	34,7%	0,0172	2,83	0,01	47	16,5%	0,0172	0,81	0,00										
4-6	5	268	56,4%	0,1336	35,80	0,08	59	20,8%	0,1336	7,88	0,03	11	3,9%	0,0425	0,47	0,00					
6-8	7	26	5,5%	0,5163	13,42	0,03	49	17,3%	0,5163	25,30	0,09	40	14,2%	0,1368	5,47	0,02	4	3,9%	0,0550	0,22	0,00
8-10	9						45	15,8%	1,7020	76,59	0,27	27	9,6%	0,3274	8,84	0,03	4	3,9%	0,1278	0,51	0,01
10-12	11						47	16,5%	5,9704	280,61	0,99	15	5,3%	0,7855	11,78	0,04	2	2,0%	0,2505	0,50	0,00
12-14	13						25	8,8%	16,9727	424,32	1,49	18	6,4%	1,9633	35,34	0,13	5	4,9%	0,4387	2,19	0,02
14-16	15						1	0,4%	41,5370	41,54	0,15	27	9,6%	4,3034	116,19	0,41	3	2,9%	0,7091	2,13	0,02
16-18	17						0	0,0%	90,8655	0,00	0,00	38	13,5%	8,5488	324,85	1,16	4	3,9%	1,0791	4,32	0,04
18-20	19						2	0,7%	182,1823	364,36	1,28	63	22,4%	15,7329	991,17	3,53	6	5,9%	1,8012	10,81	0,11
20-22	21						1	0,4%	340,6822	340,68	1,20	29	10,3%	27,2379	789,90	2,81	4	3,9%	3,1482	12,59	0,12
22-24	23											6	2,1%	44,8579	269,15	0,96	4	3,9%	5,2296	20,92	0,21
24-26	25											4	1,4%	70,8641	283,46	1,01	7	6,9%	8,3271	58,29	0,57
26-28	27											2	0,7%	108,0743	216,15	0,77	18	17,6%	12,7927	230,27	2,26
28-30	29											0	0,0%	159,9241	0,00	0,00	25	24,5%	19,0590	476,47	4,67
30-32	31											1	0,4%	230,5424	230,54	0,82	14	13,7%	27,6493	387,09	3,80
32-34	33																2	2,0%	39,1890	78,38	0,77
34-36	35																				
36-38	37																				
38-40	39																				
TOTAL		475	100,0%		52,06	0,11	284	100,0%		1170,90	4,12	281	100,0%		999,29	3,56	102	100,0%		46546,9%	4,56
Peso médio equivalente						4,8					11,7					14,5					22,4

Tabela A39 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	24	3,2%	0,0002	0,00	0,00										
2-4	3	212	27,9%	0,0172	3,64	0,00										
4-6	5	327	43,1%	0,1336	43,69	0,06	11	3,9%	0,0425	0,47	0,00					
6-8	7	75	9,9%	0,5163	38,72	0,05	40	14,2%	0,1368	5,47	0,02	4	3,9%	0,0550	0,22	0,00
8-10	9	45	5,9%	1,7020	76,59	0,10	27	9,6%	0,3274	8,84	0,03	4	3,9%	0,1278	0,51	0,01
10-12	11	47	6,2%	5,9704	280,61	0,37	15	5,3%	0,7855	11,78	0,04	2	2,0%	0,2505	0,50	0,00
12-14	13	25	3,3%	16,9727	424,32	0,56	18	6,4%	1,9633	35,34	0,13	5	4,9%	0,4387	2,19	0,02
14-16	15	1	0,1%	41,5370	41,54	0,05	27	9,6%	4,3034	116,19	0,41	3	2,9%	0,7091	2,13	0,02
16-18	17	0	0,0%	90,8655	0,00	0,00	38	13,5%	8,5488	324,85	1,16	4	3,9%	1,0791	4,32	0,04
18-20	19	2	0,3%	182,1823	364,36	0,48	63	22,4%	15,7329	991,17	3,53	6	5,9%	1,8012	10,81	0,11
20-22	21	1	0,1%	340,6822	340,68	0,45	29	10,3%	27,2379	789,90	2,81	4	3,9%	3,1482	12,59	0,12
22-24	23						6	2,1%	44,8579	269,15	0,96	4	3,9%	5,2296	20,92	0,21
24-26	25						4	1,4%	70,8641	283,46	1,01	7	6,9%	8,3271	58,29	0,57
26-28	27						2	0,7%	108,0743	216,15	0,77	18	17,6%	12,7927	230,27	2,26
28-30	29						0	0,0%	159,9241	0,00	0,00	25	24,5%	19,0590	476,47	4,67
30-32	31						1	0,4%	230,5424	230,54	0,82	14	13,7%	27,6493	387,09	3,80
32-34	33											2	2,0%	39,1890	78,38	0,77
34-36	35													0,0000	0,00	0,00
36-38	37													0,0000	0,00	0,00
38-40	39													0,0000	0,00	0,00
TOTAL		759	100,0%		1614,15	2,13	281	100,0%		999,29	3,56	102	100,0%		465,47	4,56
Peso médio equivalente						10,0					14,5					22,4

Tabela A40 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRS (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	30/8/2004					2/8/2004					3/8/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	2	2,0%	0,0001	0,00	0,00	4	2,0%	0,0001	0,00	0,00	10	5,6%	0,0001	0,00	0,00	16	3,4%	0,0001	0,00	0,00
2-4	3	30	29,7%	0,0164	0,49	0,00	71	36,2%	0,0164	1,16	0,01	64	36,0%	0,0164	1,05	0,01	165	34,7%	0,0164	2,70	0,01
4-6	5	62	61,4%	0,1489	9,23	0,09	103	52,6%	0,1489	15,34	0,08	103	57,9%	0,1489	15,34	0,09	268	56,4%	0,1489	39,91	0,08
6-8	7	7	6,9%	0,6371	4,46	0,04	18	9,2%	0,6371	11,47	0,06	1	0,6%	0,6371	0,64	0,00	26	5,5%	0,6371	16,56	0,03
8-10	9																				
TOTAL		101	100,0%		14,18	0,14	196	100,0%		27,97	0,14	178	100,0%		17,03	0,10	475	100,0%		59,18	0,12
Peso médio equivalente						4,9					5,0					4,5					4,8

Tabela A41 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ESRD (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	3	4,4%	0,0001	0,00	0,00	3	2,6%	0,0001	0,00	0,00	2	2,0%	0,0001	0,00	0,00	8	2,8%	0,0001	0,00	0,00
2-4	3	12	17,6%	0,0132	0,16	0,00	16	13,7%	0,0132	0,21	0,00	19	19,2%	0,0132	0,25	0,00	47	16,5%	0,0132	0,62	0,00
4-6	5	9	13,2%	0,1199	1,08	0,02	26	22,2%	0,1199	3,12	0,03	24	24,2%	0,1199	2,88	0,03	59	20,8%	0,1199	7,07	0,02
6-8	7	11	16,2%	0,5129	5,64	0,08	25	21,4%	0,5129	12,82	0,11	13	13,1%	0,5129	6,67	0,07	49	17,3%	0,5129	25,13	0,09
8-10	9	12	17,6%	1,5189	18,23	0,27	17	14,5%	1,5189	25,82	0,22	16	16,2%	1,5189	24,30	0,25	45	15,8%	1,5189	68,35	0,24
10-12	11	15	22,1%	3,6142	54,21	0,80	19	16,2%	3,6142	68,67	0,59	13	13,1%	3,6142	46,99	0,47	47	16,5%	3,6142	169,87	0,60
12-14	13	5	7,4%	7,4377	37,19	0,55	9	7,7%	7,4377	66,94	0,57	11	11,1%	7,4377	81,81	0,83	25	8,8%	7,4377	185,94	0,65
14-16	15	0	0,0%	13,8011	0,00	0,00	0	0,0%	13,8011	0,00	0,00	1	1,0%	13,8011	13,80	0,14	1	0,4%	13,8011	13,80	0,05
16-18	17	0	0,0%	23,6995	0,00	0,00	0	0,0%	23,6995	0,00	0,00						0	0,0%	23,6995	0,00	0,00
18-20	19	0	0,0%	38,3192	0,00	0,00	2	1,7%	38,3192	76,64	0,66						2	0,7%	38,3192	76,64	0,27
20-22	21	1	1,5%	59,0457	59,05	0,87	#REF!	#REF!	59,0457	#REF!	#REF!						1	0,4%	59,0457	59,05	0,21
TOTAL		68	100,0%		96,23	1,42	#REF!	#REF!		#REF!	#REF!	99	100,0%		95,62	0,97	284	100,0%		335,43	1,18
Peso médio equivalente						8,9					#REF!					8,1					8,5

Tabela A42 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: EDRD (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																				
2-4	3																				
4-6	5	1	1,7%	0,0104	0,01	0,00	6	5,7%	0,0104	0,06	0,00	4	3,4%	0,0104	0,04	0,00	11	3,9%	0,0104	0,11	0,00
6-8	7	12	20,0%	0,0417	0,50	0,01	11	10,5%	0,0417	0,46	0,00	17	14,7%	0,0417	0,71	0,01	40	14,2%	0,0417	1,67	0,01
8-10	9	6	10,0%	0,1180	0,71	0,01	8	7,6%	0,1180	0,94	0,01	13	11,2%	0,1180	1,53	0,01	27	9,6%	0,1180	3,19	0,01
10-12	11	1	1,7%	0,2709	0,27	0,00	8	7,6%	0,2709	2,17	0,02	6	5,2%	0,2709	1,63	0,01	15	5,3%	0,2709	4,06	0,01
12-14	13	3	5,0%	0,5409	1,62	0,03	6	5,7%	0,5409	3,25	0,03	9	7,8%	0,5409	4,87	0,04	18	6,4%	0,5409	9,74	0,03
14-16	15	5	8,3%	0,9782	4,89	0,08	11	10,5%	0,9782	10,76	0,10	11	9,5%	0,9782	10,76	0,09	27	9,6%	0,9782	26,41	0,09
16-18	17	10	16,7%	1,6424	16,42	0,27	18	17,1%	1,6424	29,56	0,28	10	8,6%	1,6424	16,42	0,14	38	13,5%	1,6424	62,41	0,22
18-20	19	17	28,3%	2,6029	44,25	0,74	19	18,1%	2,6029	49,46	0,47	27	23,3%	2,6029	70,28	0,61	63	22,4%	2,6029	163,98	0,58
20-22	21	1	1,7%	3,9392	3,94	0,07	12	11,4%	3,9392	47,27	0,45	16	13,8%	3,9392	63,03	0,54	29	10,3%	3,9392	114,24	0,41
22-24	23	2	3,3%	5,7408	11,48	0,19	2	1,9%	5,7408	11,48	0,11	2	1,7%	5,7408	11,48	0,10	6	2,1%	5,7408	34,44	0,12
24-26	25	0	0,0%	8,1076	0,00	0,00	3	2,9%	8,1076	24,32	0,23	1	0,9%	8,1076	8,11	0,07	4	1,4%	8,1076	32,43	0,12
26-28	27	1	1,7%	11,1497	11,15	0,19	1	1,0%	11,1497	11,15	0,11						2	0,7%	11,1497	22,30	0,08
28-30	29	0	0,0%	14,9881	0,00	0,00											0	0,0%	14,9881	0,00	0,00
30-32	31	1	1,7%	19,7540	19,75	0,33											1	0,4%	19,7540	19,75	0,07
TOTAL		60	100,0%		42,39	0,71	105	100,0%		46,95	0,45	116	100,0%		19,59	0,17	281	100,0%		108,93	0,39
Peso médio equivalente						13,9					12,4					9,8					12,0

Tabela A43 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Tipo de Eixo: ETRD (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	22/7/2004					27/7/2004					28/7/2004					TOTAL				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1																				
2-4	3																				
4-6	5																				
6-8	7	2	5,9%	0,0067	0,01	0,00	2	5,3%	0,0067	0,01	0,00						4	3,9%	0,0067	0,03	0,00
8-10	9	1	2,9%	0,0192	0,02	0,00	3	7,9%	0,0192	0,06	0,00						4	3,9%	0,0192	0,08	0,00
10-12	11	2	5,9%	0,0449	0,09	0,00	0	0,0%	0,0449	0,00	0,00						2	2,0%	0,0449	0,09	0,00
12-14	13	1	2,9%	0,0909	0,09	0,00	3	7,9%	0,0909	0,27	0,01	1	3,3%	0,0909	0,09	0,00	5	4,9%	0,0909	0,45	0,00
14-16	15	1	2,9%	0,1662	0,17	0,00	0	0,0%	0,1662	0,00	0,00	2	6,7%	0,1662	0,33	0,01	3	2,9%	0,1662	0,50	0,00
16-18	17	0	0,0%	0,2818	0,00	0,00	1	2,6%	0,2818	0,28	0,01	3	10,0%	0,2818	0,85	0,03	4	3,9%	0,2818	1,13	0,01
18-20	19	2	5,9%	0,4506	0,90	0,03	1	2,6%	0,4506	0,45	0,01	3	10,0%	0,4506	1,35	0,05	6	5,9%	0,4506	2,70	0,03
20-22	21	4	11,8%	0,6875	2,75	0,08	0	0,0%	0,6875	0,00	0,00	0	0,0%	0,6875	0,00	0,00	4	3,9%	0,6875	2,75	0,03
22-24	23	0	0,0%	1,0092	0,00	0,00	3	7,9%	1,0092	3,03	0,08	1	3,3%	1,0092	1,01	0,03	4	3,9%	1,0092	4,04	0,04
24-26	25	3	8,8%	1,4348	4,30	0,13	1	2,6%	1,4348	1,43	0,04	3	10,0%	1,4348	4,30	0,14	7	6,9%	1,4348	10,04	0,10
26-28	27	6	17,6%	1,9854	11,91	0,35	8	21,1%	1,9854	15,88	0,42	4	13,3%	1,9854	7,94	0,26	18	17,6%	1,9854	35,74	0,35
28-30	29	8	23,5%	2,6842	21,47	0,63	10	26,3%	2,6842	26,84	0,71	7	23,3%	2,6842	18,79	0,63	25	24,5%	2,6842	67,11	0,66
30-32	31	4	11,8%	3,5567	14,23	0,42	5	13,2%	3,5567	17,78	0,47	5	16,7%	3,5567	17,78	0,59	14	13,7%	3,5567	49,79	0,49
32-34	33						1	2,6%	4,6305	4,63	0,12	1	3,3%	4,6305	4,63	0,15	2	2,0%	4,6305	9,26	0,09
34-36	35																				
36-38	37																				
38-40	39																				
TOTAL		34	100,0%		14,23	0,42	38	100,0%		22,41	0,59	30	100,0%		22,41	0,75	102	100,0%		59,05	0,58
Peso médio equivalente						18,7					20,3					21,4					20,2

Tabela A44 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	16	3,4%	0,0001	0,00	0,00	8	2,8%	0,0001	0,00	0,00										
2-4	3	165	34,7%	0,0164	2,70	0,01	47	16,5%	0,0132	0,62	0,00										
4-6	5	268	56,4%	0,1489	39,91	0,08	59	20,8%	0,1199	7,07	0,02	11	3,9%	0,0104	0,11	0,00					
6-8	7	26	5,5%	0,6371	16,56	0,03	49	17,3%	0,5129	25,13	0,09	40	14,2%	0,0417	1,67	0,01	4	3,9%	0,0067	0,03	0,00
8-10	9						45	15,8%	1,5189	68,35	0,24	27	9,6%	0,1180	3,19	0,01	4	3,9%	0,0192	0,08	0,00
10-12	11						47	16,5%	3,6142	169,87	0,60	15	5,3%	0,2709	4,06	0,01	2	2,0%	0,0449	0,09	0,00
12-14	13						25	8,8%	7,4377	185,94	0,65	18	6,4%	0,5409	9,74	0,03	5	4,9%	0,0909	0,45	0,00
14-16	15						1	0,4%	13,8011	13,80	0,05	27	9,6%	0,9782	26,41	0,09	3	2,9%	0,1662	0,50	0,00
16-18	17						0	0,0%	23,6995	0,00	0,00	38	13,5%	1,6424	62,41	0,22	4	3,9%	0,2818	1,13	0,01
18-20	19						2	0,7%	38,3192	76,64	0,27	63	22,4%	2,6029	163,98	0,58	6	5,9%	0,4506	2,70	0,03
20-22	21						1	0,4%	59,0457	59,05	0,21	29	10,3%	3,9392	114,24	0,41	4	3,9%	0,6875	2,75	0,03
22-24	23											6	2,1%	5,7408	34,44	0,12	4	3,9%	1,0092	4,04	0,04
24-26	25											4	1,4%	8,1076	32,43	0,12	7	6,9%	1,4348	10,04	0,10
26-28	27											2	0,7%	11,1497	22,30	0,08	18	17,6%	1,9854	35,74	0,35
28-30	29											0	0,0%	14,9881	0,00	0,00	25	24,5%	2,6842	67,11	0,66
30-32	31											1	0,4%	19,7540	19,75	0,07	14	13,7%	3,5567	49,79	0,49
32-34	33																2	2,0%	4,6305	9,26	0,09
34-36	35																				
36-38	37																				
38-40	39																				
TOTAL		475	100,0%		59,18	0,12	284	100,0%		335,43	1,18	281	100,0%		108,93	0,39	102	100,0%		5905,4%	0,58
Peso médio equivalente						4,8					8,5					12,0					20,2

Tabela A45 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2004 (Moreira, 2005); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	Média das cargas (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
		Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	1	24	3,2%	0,0001	0,00	0,00										
2-4	3	212	27,9%	0,0132	2,80	0,00										
4-6	5	327	43,1%	0,1199	39,20	0,05	11	3,9%	0,0104	0,11	0,00					
6-8	7	75	9,9%	0,5129	38,47	0,05	40	14,2%	0,0417	1,67	0,01	4	3,9%	0,0067	0,03	0,00
8-10	9	45	5,9%	1,5189	68,35	0,09	27	9,6%	0,1180	3,19	0,01	4	3,9%	0,0192	0,08	0,00
10-12	11	47	6,2%	3,6142	169,87	0,22	15	5,3%	0,2709	4,06	0,01	2	2,0%	0,0449	0,09	0,00
12-14	13	25	3,3%	7,4377	185,94	0,24	18	6,4%	0,5409	9,74	0,03	5	4,9%	0,0909	0,45	0,00
14-16	15	1	0,1%	13,8011	13,80	0,02	27	9,6%	0,9782	26,41	0,09	3	2,9%	0,1662	0,50	0,00
16-18	17	0	0,0%	23,6995	0,00	0,00	38	13,5%	1,6424	62,41	0,22	4	3,9%	0,2818	1,13	0,01
18-20	19	2	0,3%	38,3192	76,64	0,10	63	22,4%	2,6029	163,98	0,58	6	5,9%	0,4506	2,70	0,03
20-22	21	1	0,1%	59,0457	59,05	0,08	29	10,3%	3,9392	114,24	0,41	4	3,9%	0,6875	2,75	0,03
22-24	23						6	2,1%	5,7408	34,44	0,12	4	3,9%	1,0092	4,04	0,04
24-26	25						4	1,4%	8,1076	32,43	0,12	7	6,9%	1,4348	10,04	0,10
26-28	27						2	0,7%	11,1497	22,30	0,08	18	17,6%	1,9854	35,74	0,35
28-30	29						0	0,0%	14,9881	0,00	0,00	25	24,5%	2,6842	67,11	0,66
30-32	31						1	0,4%	19,7540	19,75	0,07	14	13,7%	3,5567	49,79	0,49
32-34	33											2	2,0%	4,6305	9,26	0,09
34-36	35													0,0000	0,00	0,00
36-38	37													0,0000	0,00	0,00
38-40	39													0,0000	0,00	0,00
TOTAL		759	100,0%		654,11	0,86	281	100,0%		108,93	0,39	102	100,0%		59,05	0,58
Peso médio equivalente						7,9					12,0					20,2

Tabela A46 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2008); Todos os eixos (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	184	4,1%	184	53	2,0%	53						
2-4	1305	29,3%	3915	460	17,6%	1380	42	1,2%	126	1	0,1%	3
4-6	2570	57,6%	12850	613	23,5%	3065	249	7,2%	1245	1	0,1%	5
6-8	391	8,8%	2737	505	19,4%	3535	491	14,2%	3437	79	7,2%	553
8-10	11	0,2%	99	434	16,6%	3906	300	8,7%	2700	67	6,1%	603
10-12				393	15,1%	4323	231	6,7%	2541	38	3,5%	418
12-14				124	4,8%	1612	232	6,7%	3016	51	4,7%	663
14-16				20	0,8%	300	278	8,0%	4170	51	4,7%	765
16-18				3	0,1%	51	528	15,3%	8976	51	4,7%	867
18-20				2	0,1%	38	762	22,0%	14478	60	5,5%	1140
20-22				0	0,0%	0	193	5,6%	4053	85	7,8%	1785
22-24				1	0,0%	23	63	1,8%	1449	91	8,3%	2093
24-26							34	1,0%	850	154	14,1%	3850
26-28							44	1,3%	1188	205	18,7%	5535
28-30							10	0,3%	290	115	10,5%	3335
30-32							3	0,1%	93	29	2,6%	899
32-34							1	0,0%	33	8	0,7%	264
34-36							0	0,0%	0	6	0,5%	210
36-38							1	0,0%	37	4	0,4%	148
38-40												
TOTAL	4461	100,0%	19785	2608	100,0%	18286	3462	100,0%	48682	1096	100,0%	23136
Peso médio			4,4			7,0			14,1			21,1

Tabela A47 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2008); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso nominal)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD			EDRD			ETRD		
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	Peso Transportado (tf)
0-2	237	3,38%	237						
2-4	1765	25,15%	5295	42	1,21%	126	1	0,09%	3
4-6	3183	45,35%	15915	249	7,19%	1245	1	0,09%	5
6-8	896	12,77%	6272	491	14,18%	3437	79	7,21%	553
8-10	445	6,34%	4005	300	8,67%	2700	67	6,11%	603
10-12	376	5,36%	4136	231	6,67%	2541	38	3,47%	418
12-14	92	1,31%	1196	232	6,70%	3016	51	4,65%	663
14-16	18	0,26%	270	278	8,03%	4170	51	4,65%	765
16-18	3	0,04%	51	528	15,25%	8976	51	4,65%	867
18-20	2	0,03%	38	762	22,01%	14478	60	5,47%	1140
20-22	0	0,00%	0	193	5,57%	4053	85	7,76%	1785
22-24	1	0,01%	23	63	1,82%	1449	91	8,30%	2093
24-26				34	0,98%	850	154	14,05%	3850
26-28				44	1,27%	1188	205	18,70%	5535
28-30				10	0,29%	290	115	10,49%	3335
30-32				3	0,09%	93	29	2,65%	899
32-34				1	0,03%	33	8	0,73%	264
34-36				0	0,00%	0	6	0,55%	210
36-38				1	0,03%	37	4	0,36%	148
38-40									
TOTAL	7018	100,0%	37438	3462	100,0%	48682	1096	100,0%	23136
Peso médio			5,3			14,1			21,1

Tabela A48 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2008); Todos os eixos (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	184	4,1%	0,0002	0,04	0,00	53	2,0%	0,0002	0,01	0,00										
2-4	1305	29,3%	0,0172	22,39	0,01	460	17,6%	0,0172	7,89	0,00	42	1,2%	0,0072	0,30	0,00	1	0,1%	0,0032	0,00	0,00
4-6	2570	57,6%	0,1336	343,35	0,08	613	23,5%	0,1336	81,90	0,03	249	7,2%	0,0425	10,59	0,00	1	0,1%	0,0178	0,02	0,00
6-8	391	8,8%	0,5163	201,86	0,05	505	19,4%	0,5163	260,71	0,10	491	14,2%	0,1368	67,17	0,02	79	7,2%	0,0550	4,34	0,00
8-10	11	0,2%	1,7020	18,72	0,00	434	16,6%	1,7020	738,65	0,28	300	8,7%	0,3274	98,22	0,03	67	6,1%	0,1278	8,56	0,01
10-12						393	15,1%	5,9704	2346,37	0,90	231	6,7%	0,7855	181,44	0,05	38	3,5%	0,2505	9,52	0,01
12-14						124	4,8%	16,9727	2104,61	0,81	232	6,7%	1,9633	455,49	0,13	51	4,7%	0,4387	22,38	0,02
14-16						20	0,8%	41,5370	830,74	0,32	278	8,0%	4,3034	1196,33	0,35	51	4,7%	0,7091	36,16	0,03
16-18						3	0,1%	90,8655	272,60	0,10	528	15,3%	8,5488	4513,77	1,30	51	4,7%	1,0791	55,03	0,05
18-20						2	0,1%	182,1823	364,36	0,14	762	22,0%	15,7329	11988,45	3,46	60	5,5%	1,8012	108,07	0,10
20-22						0	0,0%	340,6822	0,00	0,00	193	5,6%	27,2379	5256,92	1,52	85	7,8%	3,1482	267,59	0,24
22-24						1	0,0%	601,7882	601,79	0,23	63	1,8%	44,8579	2826,05	0,82	91	8,3%	5,2296	475,90	0,43
24-26											34	1,0%	70,8641	2409,38	0,70	154	14,1%	8,3271	1282,38	1,17
26-28											44	1,3%	108,0743	4755,27	1,37	205	18,7%	12,7927	2622,50	2,39
28-30											10	0,3%	159,9241	1599,24	0,46	115	10,5%	19,0590	2191,78	2,00
30-32											3	0,1%	230,5424	691,63	0,20	29	2,6%	27,6493	801,83	0,73
32-34											1	0,0%	324,8283	324,83	0,09	8	0,7%	39,1890	313,51	0,29
34-36											0	0,0%	448,5310	0,00	0,00	6	0,5%	54,4162	326,50	0,30
36-38											1	0,0%	608,3333	608,33	0,18	4	0,4%	74,1938	296,78	0,27
38-40																				
TOTAL	4461	100,0%		586,36	0,13	2608	100,0%		7609,63	2,92	3462	100,0%		36983,41	10,68	1096	100,0%		8822,86	8,05
Peso médio equivalente					5,0					9,8					17,7					24,8

Tabela A49 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2008); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - USACE)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo	Freq. Abs. (ud)	Freq. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	237	3,38%	0,0002	0,05	0,00										
2-4	1765	25,15%	0,0172	30,29	0,00	42	1,21%	0,0072	0,30	0,00	1	0,09%	0,0032	0,00	0,00
4-6	3183	45,35%	0,1336	425,24	0,06	249	7,19%	0,0425	10,59	0,00	1	0,09%	0,0178	0,02	0,00
6-8	896	12,77%	0,5163	462,57	0,07	491	14,18%	0,1368	67,17	0,02	79	7,21%	0,0550	4,34	0,00
8-10	445	6,34%	1,7020	757,37	0,11	300	8,67%	0,3274	98,22	0,03	67	6,11%	0,1278	8,56	0,01
10-12	376	5,36%	5,9704	2244,87	0,32	231	6,67%	0,7855	181,44	0,05	38	3,47%	0,2505	9,52	0,01
12-14	92	1,31%	16,9727	1561,48	0,22	232	6,70%	1,9633	455,49	0,13	51	4,65%	0,4387	22,38	0,02
14-16	18	0,26%	41,5370	747,67	0,11	278	8,03%	4,3034	1196,33	0,35	51	4,65%	0,7091	36,16	0,03
16-18	3	0,04%	90,8655	272,60	0,04	528	15,25%	8,5488	4513,77	1,30	51	4,65%	1,0791	55,03	0,05
18-20	2	0,03%	182,1823	364,36	0,05	762	22,01%	15,7329	11988,45	3,46	60	5,47%	1,8012	108,07	0,10
20-22	0	0,00%	340,6822	0,00	0,00	193	5,57%	27,2379	5256,92	1,52	85	7,76%	3,1482	267,59	0,24
22-24	1	0,01%	601,7882	601,79	0,09	63	1,82%	44,8579	2826,05	0,82	91	8,30%	5,2296	475,90	0,43
24-26						34	0,98%	70,8641	2409,38	0,70	154	14,05%	8,3271	1282,38	1,17
26-28						44	1,27%	108,0743	4755,27	1,37	205	18,70%	12,7927	2622,50	2,39
28-30						10	0,29%	159,9241	1599,24	0,46	115	10,49%	19,0590	2191,78	2,00
30-32						3	0,09%	230,5424	691,63	0,20	29	2,65%	27,6493	801,83	0,73
32-34						1	0,03%	324,8283	324,83	0,09	8	0,73%	39,1890	313,51	0,29
34-36						0	0,00%	448,5310	0,00	0,00	6	0,55%	54,4162	326,50	0,30
36-38						1	0,03%	608,3333	608,33	0,18	4	0,36%	74,1938	296,78	0,27
38-40															
TOTAL	7018	100,0%		7468,29	1,06	3462	100,0%		36983,41	10,68	1096	100,0%		8822,86	8,05
Peso médio equivalente					8,3					17,7					24,8

Tabela A50 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2008); Todos os eixos (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS					ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	184	4,1%	0,0001	0,03	0,00	53	2,0%	0,0001	0,01	0,00										
2-4	1305	29,3%	0,0164	21,39	0,00	460	17,6%	0,0132	6,07	0,00	42	1,2%	0,0012	0,05	0,00	1	0,1%	0,0002	0,00	0,00
4-6	2570	57,6%	0,1489	382,71	0,09	613	23,5%	0,1199	73,49	0,03	249	7,2%	0,0104	2,58	0,00	1	0,1%	0,0016	0,00	0,00
6-8	391	8,8%	0,6371	249,10	0,06	505	19,4%	0,5129	259,01	0,10	491	14,2%	0,0417	20,47	0,01	79	7,2%	0,0067	0,53	0,00
8-10	11	0,2%	1,8867	20,75	0,00	434	16,6%	1,5189	659,20	0,25	300	8,7%	0,1180	35,41	0,01	67	6,1%	0,0192	1,29	0,00
10-12						393	15,1%	3,6142	1420,40	0,54	231	6,7%	0,2709	62,57	0,02	38	3,5%	0,0449	1,71	0,00
12-14						124	4,8%	7,4377	922,27	0,35	232	6,7%	0,5409	125,50	0,04	51	4,7%	0,0909	4,63	0,00
14-16						20	0,8%	13,8011	276,02	0,11	278	8,0%	0,9782	271,94	0,08	51	4,7%	0,1662	8,48	0,01
16-18						3	0,1%	23,6995	71,10	0,03	528	15,3%	1,6424	867,18	0,25	51	4,7%	0,2818	14,37	0,01
18-20						2	0,1%	38,3192	76,64	0,03	762	22,0%	2,6029	1983,41	0,57	60	5,5%	0,4506	27,04	0,02
20-22						0	0,0%	59,0457	0,00	0,00	193	5,6%	3,9392	760,26	0,22	85	7,8%	0,6875	58,44	0,05
22-24						1	0,0%	87,4712	87,47	0,03	63	1,8%	5,7408	361,67	0,10	91	8,3%	1,0092	91,84	0,08
24-26											34	1,0%	8,1076	275,66	0,08	154	14,1%	1,4348	220,97	0,20
26-28											44	1,3%	11,1497	490,59	0,14	205	18,7%	1,9854	407,01	0,37
28-30											10	0,3%	14,9881	149,88	0,04	115	10,5%	2,6842	308,68	0,28
30-32											3	0,1%	230,5424	691,63	0,20	29	2,6%	3,5567	103,14	0,09
32-34											1	0,0%	324,8283	324,83	0,09	8	0,7%	4,6305	37,04	0,03
34-36											0	0,0%	448,5310	0,00	0,00	6	0,5%	5,9356	35,61	0,03
36-38											1	0,0%	608,3333	608,33	0,18	4	0,4%	7,5043	30,02	0,03
38-40																				
TOTAL	4461	100,0%		673,98	0,15	2608	100,0%		3851,67	1,48	3462	100,0%		7031,97	2,03	1096	100,0%		1350,80	1,23
Peso médio equivalente					5,0					8,9					17,9					24,1

Tabela A51 - BR-101/PE Pesquisa de pesagem em 2007 (Andrada, 2008); Todos os eixos considerando os eixos simples em conjunto (peso equivalente - AASHTO)

Ctaga p/eixo (tf)	ESRS/ESRD					EDRD					ETRD				
	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (AASHTO)	FEC absoluto	FEC relativo	Freg. Abs. (ud)	Freg. Rel. (%)	FECi (USACE)	FEC absoluto	FEC relativo
0-2	237	3,38%	0,0001	0,03	0,00										
2-4	1765	25,15%	0,0132	23,29	0,00	42	1,21%	0,0012	0,05	0,00	1	0,09%	0,0002	0,00	0,00
4-6	3183	45,35%	0,1199	381,58	0,05	249	7,19%	0,0104	2,58	0,00	1	0,09%	0,0016	0,00	0,00
6-8	896	12,77%	0,5129	459,55	0,07	491	14,18%	0,0417	20,47	0,01	79	7,21%	0,0067	0,53	0,00
8-10	445	6,34%	1,5189	675,91	0,10	300	8,67%	0,1180	35,41	0,01	67	6,11%	0,0192	1,29	0,00
10-12	376	5,36%	3,6142	1358,95	0,19	231	6,67%	0,2709	62,57	0,02	38	3,47%	0,0449	1,71	0,00
12-14	92	1,31%	7,4377	684,26	0,10	232	6,70%	0,5409	125,50	0,04	51	4,65%	0,0909	4,63	0,00
14-16	18	0,26%	13,8011	248,42	0,04	278	8,03%	0,9782	271,94	0,08	51	4,65%	0,1662	8,48	0,01
16-18	3	0,04%	23,6995	71,10	0,01	528	15,25%	1,6424	867,18	0,25	51	4,65%	0,2818	14,37	0,01
18-20	2	0,03%	38,3192	76,64	0,01	762	22,01%	2,6029	1983,41	0,57	60	5,47%	0,4506	27,04	0,02
20-22	0	0,00%	59,0457	0,00	0,00	193	5,57%	3,9392	760,26	0,22	85	7,76%	0,6875	58,44	0,05
22-24	1	0,01%	87,4712	87,47	0,01	63	1,82%	5,7408	361,67	0,10	91	8,30%	1,0092	91,84	0,08
24-26						34	0,98%	8,1076	275,66	0,08	154	14,05%	1,4348	220,97	0,20
26-28						44	1,27%	11,1497	490,59	0,14	205	18,70%	1,9854	407,01	0,37
28-30						10	0,29%	14,9881	149,88	0,04	115	10,49%	2,6842	308,68	0,28
30-32						3	0,09%	230,5424	691,63	0,20	29	2,65%	3,5567	103,14	0,09
32-34						1	0,03%	324,8283	324,83	0,09	8	0,73%	4,6305	37,04	0,03
34-36						0	0,00%	448,5310	0,00	0,00	6	0,55%	5,9356	35,61	0,03
36-38						1	0,03%	608,3333	608,33	0,18	4	0,36%	7,5043	30,02	0,03
38-40															
TOTAL	7018	100,0%		4067,20	0,58	3462	100,0%		7031,97	2,03	1096	100,0%		1350,80	1,23
Peso médio equivalente					7,2					17,9					24,1

Tabela A52 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 1985
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	12828	38,0%
EDRD	19043	56,5%
ETRD	1849	5,5%
TOTAL	33720	100,0%

Tabela A53 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 2004
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	4268	43,3%
EDRD	3746	38,0%
ETRD	1844	18,7%
TOTAL	9858	100,0%

Tabela A54 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	48637	47,9%
EDRD	35743	35,2%
ETRD	17244	17,0%
TOTAL	101624	100,0%

Tabela A55 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 1985, 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	65733	45,3%
EDRD	58532	40,3%
ETRD	20937	14,4%
TOTAL	145202	100,0%

Tabela A56 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 2004
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	2159	21,9%
ESRD	2109	21,4%
EDRD	3746	38,0%
ETRD	1844	18,7%
TOTAL	9858	100,0%

Tabela A57 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	23807	23,4%
ESRD	24830	24,4%
EDRD	35743	35,2%
ETRD	17244	17,0%
TOTAL	101624	100,0%

Tabela A58 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	25966	23,3%
ESRD	26939	24,2%
EDRD	39489	35,4%
ETRD	19088	17,1%
TOTAL	111482	100,0%

Tabela A59 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2004
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	4141	38,6%
EDRD	4157	38,7%
ETRD	2440	22,7%
TOTAL	10738	100,0%

Tabela A60 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	37438	34,3%
EDRD	48682	44,6%
ETRD	23136	21,2%
TOTAL	109256	100,0%

Tabela A61 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	41579	34,7%
EDRD	52839	44,0%
ETRD	25576	21,3%
TOTAL	119994	100,0%

Tabela A62 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2004
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	2033	18,9%
ESRD	2108	19,6%
EDRD	4157	38,7%
ETRD	2440	22,7%
TOTAL	10738	100,0%

Tabela A63 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	19785	18,0%
ESRD	18286	16,6%
EDRD	48682	44,3%
ETRD	23136	21,1%
TOTAL	109889	100,0%

Tabela A64 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	21818	18,1%
ESRD	20394	16,9%
EDRD	52839	43,8%
ETRD	25576	21,2%
TOTAL	120627	100,0%

Tabela A65 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 1985, 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	65733	45,3%
EDRD	58532	40,3%
ETRD	20937	14,4%
TOTAL	145202	100,0%

Tabela A66 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	41579	34,7%
EDRD	52839	44,0%
ETRD	25576	21,3%
TOTAL	119994	100,0%

Tabela A7 - BR - 232 e 101/PE; PESQUISA DE 1985, 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS/ESRD	107312	40,5%
EDRD	111371	42,0%
ETRD	46513	17,5%
TOTAL	265196	100,0%

Tabela A68 - BR - 232/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	25966	23,3%
ESRD	26939	24,2%
EDRD	39489	35,4%
ETRD	19088	17,1%
TOTAL	111482	100,0%

Tabela A69 - BR - 101/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	21818	18,1%
ESRD	20394	16,9%
EDRD	52839	43,8%
ETRD	25576	21,2%
TOTAL	120627	100,0%

Tabela A70 - BR - 232 E 101/PE; PESQUISA DE 2004 e 2007
PESO TRANSPORTADO

TIPO DE EIXO	QUANT (tf)	%
ESRS	47784	20,6%
ESRD	47333	20,4%
EDRD	92328	39,8%
ETRD	44664	19,2%
TOTAL	232109	100,0%

Tabela A71 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985	3,9	13,2	20,8
2004	4,8	13,2	25,6
2007	5,1	12,8	19,9
Média	4,6	13,1	22,1
Desvio Padrão	0,6	0,2	3,1
Coeficiente de Variação	13,9%	1,7%	14,0%

Tabela A72 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
2004	5,5	14,8	23,9
2007	5,3	14,1	21,1
Média	5,4	14,4	22,5
Desvio Padrão	0,1	0,5	2,0
Coeficiente de Variação	1,6%	3,6%	8,8%

Tabela A73 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985 / BR-232	3,9	13,2	20,8
2004 / BR-232	4,8	13,2	25,6
2007 / BR-232	5,1	12,8	19,9
2004 / BR-101	5,5	14,8	23,9
2007 / BR-101	5,3	14,1	21,1
Média	4,9	13,6	22,3
Desvio Padrão	0,6	0,8	2,4
Coeficiente de Variação	13,0%	5,9%	10,8%

Tabela A74 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	3,8	6,4	13,2	25,6
2007	4,0	6,8	12,8	19,9
Média	3,9	6,6	13,0	22,7
Desvio Padrão	0,1	0,3	0,3	4,1
Coeficiente de Variação	3,3%	4,2%	2,0%	17,9%

Tabela A75 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,3	7,4	14,8	23,9
2007	4,4	7,0	14,1	21,1
Média	4,4	7,2	14,4	22,5
Desvio Padrão	0,1	0,3	0,5	2,0
Coeficiente de Variação	2,5%	4,0%	3,6%	8,8%

Tabela A76 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso nominal)

Tipo de Eixo / Ano	Médio Transporta	0	0	0
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004 / BR-232	3,8	6,4	13,2	25,6
2007 / BR-232	4,0	6,8	12,8	19,9
2004 / BR-101	4,3	7,4	14,8	23,9
2007 / BR-101	4,4	7,0	14,1	21,1
Média	4,1	6,9	13,7	22,6
Desvio Padrão	0,3	0,4	0,9	2,6
Coeficiente de Variação	6,3%	6,4%	6,5%	11,6%

Tabela A 77 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso nominal)

Tipo de Eixo	Peso transportado (a) (tf)	Limite legal (b) (tf)	Limite legal c/ tolerância (c) (tf)	%	
				a/b	a/c
ESRS	4,00	6,00	6,45	67%	62%
ESRD	7,00	10,00	10,75	70%	65%
EDRD	14,00	17,00	18,28	82%	77%
ETRD	23,00	25,50	27,41	90%	84%

Tabela A78 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985	7,3	15,1	24,6
2004	9,0	12,7	25,7
2007	9,6	16,8	24,5
Média	8,6	14,9	24,9
Desvio Padrão	1,2	2,1	0,7
Coeficiente de Variação	13,9%	13,8%	2,7%

Tabela A79 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
2004	10,0	14,5	22,4
2007	8,3	17,7	24,8
Média	9,2	16,1	23,6
Desvio Padrão	1,1	2,3	1,7
Coeficiente de Variação	12,4%	14,1%	7,2%

Tabela A80 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equiivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985 / BR-232	7,3	15,1	24,6
2004 / BR-232	9,0	12,7	25,7
2007 / BR-232	9,6	16,8	24,5
2004 / BR-101	10,0	14,5	22,4
2007 / BR-101	8,3	17,7	24,8
Média	8,8	15,4	24,4
Desvio Padrão	1,1	2,0	1,2
Coeficiente de Variação	12,0%	12,8%	4,9%

Tabela A81 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,5	9,7	12,7	25,7
2007	4,8	11,2	16,8	24,5
Média	4,6	10,4	14,8	25,1
Desvio Padrão	0,2	1,0	2,9	0,9
Coeficiente de Variação	4,3%	9,9%	19,6%	3,5%

Tabela A82 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,8	11,7	14,5	22,4
2007	5,0	9,8	17,7	24,8
Média	4,9	10,8	16,1	23,6
Desvio Padrão	0,2	1,4	2,3	1,7
Coeficiente de Variação	3,2%	12,7%	14,1%	7,2%

Tabela A83 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004 / BR-232	4,5	9,7	12,7	25,7
2007 / BR-232	4,8	11,2	16,8	24,5
2004 / BR-101	4,8	11,7	14,5	22,4
2007 / BR-101	5,0	9,8	17,7	24,8
Média	4,7	10,6	15,4	24,4
Desvio Padrão	0,2	1,0	2,3	1,4
Coeficiente de Variação	4,3%	9,5%	14,7%	5,6%

Tabela A84 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso equivalente - USACE)

Tipo de Eixo	Peso transportado (a) (tf)	Limite legal (b) (tf)	Limite legal c/ tolerância (c) (tf)	%	
				a/b	a/c
ESRS	5,00	6,00	6,45	83%	78%
ESRD	11,00	10,00	10,75	110%	102%
EDRD	15,50	17,00	18,28	91%	85%
ETRD	24,50	25,50	27,41	96%	89%

Tabela A85 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985	6,3	14,7	23,9
2004	7,3	10,3	23,4
2007	8,0	15,9	23,6
Média	7,2	13,7	23,6
Desvio Padrão	0,9	2,9	0,2
Coeficiente de Variação	12,0%	21,6%	0,9%

Tabela A86 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
2004	7,9	12,0	20,2
2007	7,2	17,9	24,1
Média	7,5	14,9	22,1
Desvio Padrão	0,5	4,2	2,8
Coeficiente de Variação	6,5%	27,9%	12,6%

Tabela A87 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples em conjunto - peso equiivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)		
	ESRS / ESRD	EDRD	ETRD
1985 / BR-232	6,3	14,7	23,9
2004 / BR-232	7,3	10,3	23,4
2007 / BR-232	8,0	15,9	23,6
2004 / BR-101	7,9	12,0	20,2
2007 / BR-101	7,2	17,9	24,1
Média	7,3	14,2	23,0
Desvio Padrão	0,7	3,0	1,6
Coeficiente de Variação	9,4%	21,4%	7,1%

Tabela A88 - Rodovia BR-232/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,5	8,0	10,3	23,4
2007	4,8	9,8	15,9	23,6
Média	4,6	8,9	13,1	23,5
Desvio Padrão	0,2	1,3	4,0	0,2
Coeficiente de Variação	3,7%	14,5%	30,2%	0,7%

Tabela A89 - Rodovia BR-101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004	4,8	11,7	12,0	20,2
2007	5,0	8,9	17,9	24,1
Média	4,9	10,3	14,9	22,1
Desvio Padrão	0,2	2,0	4,2	2,8
Coeficiente de Variação	3,2%	19,1%	27,9%	12,6%

Tabela A90 - Rodovia BR-232/PE e 101/PE: Resumo de pesdo médio transportado (eixos simples separados - peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo / Ano	Peso Médio Transportado (tf)			
	ESRS	ESRD	EDRD	ETRD
2004 / BR-232	4,5	8,0	10,3	23,4
2007 / BR-232	4,8	9,8	15,9	23,6
2004 / BR-101	4,8	11,7	12,0	20,2
2007 / BR-101	5,0	8,9	17,9	24,1
Média	4,8	9,6	14,0	22,8
Desvio Padrão	0,2	1,6	3,5	1,8
Coeficiente de Variação	4,3%	16,7%	24,8%	7,9%

Tabela A91 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo de pesos transportados admitidos com os valores legais (peso equivalente - AASHTO)

Tipo de Eixo	Peso transportado (a) (tf)	Limite legal (b) (tf)	Limite legal c/ tolerância (c) (tf)	%	
				a/b	a/c
ESRS	5,00	6,00	6,45	83%	78%
ESRD	10,00	10,00	10,75	100%	93%
EDRD	14,00	17,00	18,28	82%	77%
ETRD	23,00	25,50	27,41	90%	84%

Tabela A92 - BR - 232/PE e 101/PE: Comparativo entre os pesos nominais e equivalentes admitidos como representativos das pesquisas

Tipo de Eixo	Peso equivalente (USACE) (a)(tf)	Peso equivalente (AASHTO) (b) (tf)	Peso transportado nominal (c)	%	
				a/c	b/c
ESRS	5,00	5,00	4,00	125%	125%
ESRD	11,00	10,00	7,00	157%	143%
EDRD	15,50	14,00	14,00	111%	100%
ETRD	24,50	23,00	23,00	107%	100%

Tabela A93 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo

Peso Nominal

Metodologia de equivalência de carga: USACE

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	4
ESRD	7
EDRD	14
ETRD	23

Tipo de Veículo*	Fatores do Método do DNER												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	4	0,05	1	7	0,52							0,57
3C	1	4	0,05				1	14	2,95				3,00
2S1	1	4	0,05	2	7	0,52							1,09
4C	1	4	0,05							1	23	5,23	5,28
4CD	2	4	0,05				1	14	2,95				3,06
2S2	1	4	0,05	1	7	0,52	1	14	2,95				3,52
2I2	1	4	0,05	3	7	0,52							1,60
3S1	1	4	0,05	1	7	0,52	1	14	2,95				3,52
2C2	1	4	0,05	3	7	0,52							1,60
2S3	1	4	0,05	1	7	0,52				1	23	5,23	5,80
3S2	1	4	0,05				2	14	2,95				5,95
2I3	1	4	0,05	4	7	0,52							2,12
2J3	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
3I2	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
2C3	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
3C2	1	4	0,05	2	7	0,52	1	14	2,95				4,03
3S3	1	4	0,05				1	14	2,95	1	23	5,23	8,23
3I3	1	4	0,05	3	7	0,52	1	14	2,95				4,55
3J3	1	4	0,05	1	7	0,52	2	14	2,95				6,47
3C3	1	4	0,05	1	7	0,52	2	14	2,95				6,47
3D3	1	4	0,05	1	7	0,52	2	14	2,95				6,47
3D4	1	4	0,05				3	14	2,95				8,90
3Q4	1	4	0,05	4	7	0,52	1	14	2,95				5,07
3T6	1	4	0,05				4	14	2,95				11,85
2CB	1	4	0,05	1	7	0,52							0,57
3CB	1	4	0,05				1	14	2,95				3,00
4CB	2	4	0,05				1	14	2,95				3,06
2SB1	1	4	0,05	2	7	0,52							1,09
2IB2	1	4	0,05	3	7	0,52							1,60

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

Tabela A94 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo

Peso Nominal

Metodologia de equivalência de carga: AASHTO

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	4
ESRD	7
EDRD	14
ETRD	23

Tipo de Veículo*	Fatores do Método DNER-PRO 159/85												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	4	0,06	1	7	0,51							0,57
3C	1	4	0,06				1	14	0,74				0,79
2S1	1	4	0,06	2	7	0,51							1,08
4C	1	4	0,06							1	23	1,01	1,07
4CD	2	4	0,06				1	14	0,74				0,85
2S2	1	4	0,06	1	7	0,51	1	14	0,74				1,30
2I2	1	4	0,06	3	7	0,51							1,60
3S1	1	4	0,06	1	7	0,51	1	14	0,74				1,30
2C2	1	4	0,06	3	7	0,51							1,60
2S3	1	4	0,06	1	7	0,51				1	23	1,01	1,58
3S2	1	4	0,06				2	14	0,74				1,53
2I3	1	4	0,06	4	7	0,51							2,11
2J3	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
3I2	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
2C3	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
3C2	1	4	0,06	2	7	0,51	1	14	0,74				1,82
3S3	1	4	0,06				1	14	0,74	1	23	1,01	1,80
3I3	1	4	0,06	3	7	0,51	1	14	0,74				2,33
3J3	1	4	0,06	1	7	0,51	2	14	0,74				2,04
3C3	1	4	0,06	1	7	0,51	2	14	0,74				2,04
3D3	1	4	0,06	1	7	0,51	2	14	0,74				2,04
3D4	1	4	0,06				3	14	0,74				2,26
3Q4	1	4	0,06	4	7	0,51	1	14	0,74				2,84
3T6	1	4	0,06				4	14	0,74				3,00
2CB	1	4	0,06	1	7	0,51							0,57
3CB	1	4	0,06				1	14	0,74				0,79
4CB	2	4	0,06				1	14	0,74				0,85
2SB1	1	4	0,06	2	7	0,51							1,08
2IB2	1	4	0,06	3	7	0,51							1,60

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

Tabela A95 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo

Peso equivalente USACE

Metodologia de equivalência de carga: USACE

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	5,0
ESRD	11,0
EDRD	15,5
ETRD	24,5

Tipo de Veículo*	Fatores do Método do DNER												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	5	0,13	1	11	5,97							6,10
3C	1	5	0,13				1	15,5	5,15				5,28
2S1	1	5	0,13	2	11	5,97							12,07
4C	1	5	0,13							1	24,5	7,44	7,57
4CD	2	5	0,13				1	15,5	5,15				5,42
2S2	1	5	0,13	1	11	5,97	1	15,5	5,15				11,26
2I2	1	5	0,13	3	11	5,97							18,04
3S1	1	5	0,13	1	11	5,97	1	15,5	5,15				11,26
2C2	1	5	0,13	3	11	5,97							18,04
2S3	1	5	0,13	1	11	5,97				1	24,5	7,44	13,54
3S2	1	5	0,13				2	15,5	5,15				10,44
2I3	1	5	0,13	4	11	5,97							24,02
2J3	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
3I2	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
2C3	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
3C2	1	5	0,13	2	11	5,97	1	15,5	5,15				17,23
3S3	1	5	0,13				1	15,5	5,15	1	24,5	7,44	12,72
3I3	1	5	0,13	3	11	5,97	1	15,5	5,15				23,20
3J3	1	5	0,13	1	11	5,97	2	15,5	5,15				16,41
3C3	1	5	0,13	1	11	5,97	2	15,5	5,15				16,41
3D3	1	5	0,13	1	11	5,97	2	15,5	5,15				16,41
3D4	1	5	0,13				3	15,5	5,15				15,59
3Q4	1	5	0,13	4	11	5,97	1	15,5	5,15				29,17
3T6	1	5	0,13				4	15,5	5,15				20,74
2CB	1	5	0,13	1	11	5,97							6,10
3CB	1	5	0,13				1	15,5	5,15				5,28
4CB	2	5	0,13				1	15,5	5,15				5,42
2SB1	1	5	0,13	2	11	5,97							12,07
2IB2	1	5	0,13	3	11	5,97							18,04

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

Tabela A96 - FV dos diversos tipos de veículos com o peso transportado por eixo admitido segundo valores abaixo

Peso equivalente AASHTO

Metodologia de equivalência de carga: AASHTO

Tipo de Eixo	Carga (tf)
ESRS	5,0
ESRD	10,0
EDRD	14,0
ETRD	23,0

Tipo de Veículo*	Fatores do Método DNER-PRO 159/85												
	ESRS			ESRD			EDRD			ETRD			
	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	ud	tf	FEC	FV
2C	1	5	0,15	1	10	2,39							2,54
3C	1	5	0,15				1	14	0,74				0,88
2S1	1	5	0,15	2	10	2,39							4,94
4C	1	5	0,15							1	23	1,01	1,16
4CD	2	5	0,15				1	14	0,74				1,03
2S2	1	5	0,15	1	10	2,39	1	14	0,74				3,28
2I2	1	5	0,15	3	10	2,39							7,33
3S1	1	5	0,15	1	10	2,39	1	14	0,74				3,28
2C2	1	5	0,15	3	10	2,39							7,33
2S3	1	5	0,15	1	10	2,39				1	23	1,01	3,55
3S2	1	5	0,15				2	14	0,74				1,62
2I3	1	5	0,15	4	10	2,39							9,73
2J3	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
3I2	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
2C3	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
3C2	1	5	0,15	2	10	2,39	1	14	0,74				5,67
3S3	1	5	0,15				1	14	0,74	1	23	1,01	1,89
3I3	1	5	0,15	3	10	2,39	1	14	0,74				8,07
3J3	1	5	0,15	1	10	2,39	2	14	0,74				4,01
3C3	1	5	0,15	1	10	2,39	2	14	0,74				4,01
3D3	1	5	0,15	1	10	2,39	2	14	0,74				4,01
3D4	1	5	0,15				3	14	0,74				2,35
3Q4	1	5	0,15	4	10	2,39	1	14	0,74				10,46
3T6	1	5	0,15				4	14	0,74				3,09
2CB	1	5	0,15	1	10	2,39							2,54
3CB	1	5	0,15				1	14	0,74				0,88
4CB	2	5	0,15				1	14	0,74				1,03
2SB1	1	5	0,15	2	10	2,39							4,94
2IB2	1	5	0,15	3	10	2,39							7,33

* - Classificação segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, edição de 2006

APÊNDICE B - ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

B1 - Estudos Iniciais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

ENSAIO: DENSIDADE E VAZIOS MATERIAL DA PISTA (CAPA)

ESTUDOS FINAIS CORPOS DE PROVA DA PISTA

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,03 **Serviço : REVESTIMENTO ASFÁLTICO** **Filer** CAL

Dens. Real da Mistura de Agregados 2,713 **Faixa D.N.E.R (C)**

Corpo de prova Nº	% CA	altura (cm)	Peso em gramas		Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)		
			ar (g)	água (g)	cm3	Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h
1	5,90		575,12	329,40	245,7	2,341	2,475	13,407	81,182	5,4	18,8	71,2	5,4
2	5,90		1011,95	581,25	430,7	2,350	2,475	13,459	81,494	5,0	18,5	72,7	5,1
3	5,90		934,23	536,59	397,6	2,349	2,475	13,458	81,490	5,1	18,5	72,7	5,1
4	5,90		865,04	497,13	367,9	2,351	2,475	13,468	81,552	5,0	18,4	73,0	5,0
5	5,90		829,41	477,44	352,0	2,356	2,475	13,498	81,734	4,8	18,3	73,9	4,8
6	5,90		734,80	422,44	312,4	2,352	2,475	13,475	81,593	4,9	18,4	73,2	5,0
7	5,90		813,72	467,59	346,1	2,351	2,475	13,466	81,541	5,0	18,5	73,0	5,0
8	5,90		729,81	421,53	308,3	2,367	2,475	13,561	82,112	4,3	17,9	75,8	4,3
9	5,90		837,12	482,03	355,1	2,357	2,475	13,504	81,769	4,7	18,2	74,1	4,7
10	5,90		881,26	507,84	373,4	2,360	2,475	13,518	81,855	4,6	18,1	74,5	4,6
11	5,90		831,12	478,45	352,7	2,357	2,475	13,499	81,740	4,8	18,3	73,9	4,8
12	5,90		835,65	482,16	353,5	2,364	2,475	13,541	81,995	4,5	18,0	75,2	4,5
13	5,90		901,66	519,85	381,81	2,362	2,475	13,527	81,910	4,6	18,1	74,8	4,6
14	5,90		855,37	494,12	361,25	2,368	2,475	13,563	82,127	4,3	17,9	75,9	4,3
15	5,90		1042,23	598,93	443,30	2,351	2,475	13,467	81,547	5,0	18,5	73,0	5,0
16	5,90		1094,11	633,06	461,05	2,373	2,475	13,593	82,310	4,1	17,7	76,8	4,1
17	5,90		927,18	534,84	392,34	2,363	2,475	13,537	81,967	4,5	18,0	75,1	4,5
18	5,90		852,36	492,06	360,30	2,366	2,475	13,551	82,054	4,4	17,9	75,5	4,4
19	5,90		804,44	463,89	340,55	2,362	2,475	13,531	81,932	4,5	18,1	74,9	4,6
20	5,90		882,07	506,08	375,99	2,346	2,475	13,438	81,370	5,2	18,6	72,1	5,2
21	5,90		865,27	498,64	366,63	2,360	2,475	13,519	81,858	4,6	18,1	74,5	4,6
22	5,90		876,20	507,48	368,72	2,376	2,475	13,612	82,423	4,0	17,6	77,4	4,0
23	5,90		882,12	508,47	373,65	2,361	2,475	13,523	81,885	4,6	18,1	74,7	4,6
24	5,90		949,46	548,62	400,84	2,369	2,475	13,568	82,157	4,3	17,8	76,0	4,3
25	5,90		873,85	503,76	370,09	2,361	2,475	13,525	81,897	4,6	18,1	74,7	4,6
26	5,90		877,08	503,39	373,69	2,347	2,475	13,444	81,408	5,1	18,6	72,3	5,2
27	5,90		793,82	457,84	335,98	2,363	2,475	13,534	81,950	4,5	18,1	75,0	4,5
28	5,90		1127,24	649,84	477,40	2,361	2,475	13,525	81,898	4,6	18,1	74,7	4,6
29	5,90		872,35	502,84	369,51	2,361	2,475	13,523	81,885	4,6	18,1	74,7	4,6
30	5,90		766,02	441,94	324,08	2,364	2,475	13,540	81,984	4,5	18,0	75,2	4,5
31	5,90		855,17	494,43	360,74	2,371	2,475	13,579	82,224	4,2	17,8	76,4	4,2
32	5,90		886,00	511,01	374,99	2,363	2,475	13,534	81,951	4,5	18,0	75,0	4,5
33	5,90		907,59	523,61	383,98	2,364	2,475	13,539	81,982	4,5	18,0	75,1	4,5
34	5,90		927,56	534,15	393,41	2,358	2,475	13,506	81,778	4,7	18,2	74,1	4,7
35	5,90		926,09	532,77	393,32	2,355	2,475	13,487	81,667	4,8	18,3	73,6	4,9
36	5,90		958,45	554,71	403,74	2,374	2,475	13,598	82,339	4,1	17,7	77,0	4,1
37	5,90		689,74	396,89	292,85	2,355	2,475	13,491	81,692	4,8	18,3	73,7	4,8
38	5,90		855,68	493,64	362,04	2,363	2,475	13,538	81,977	4,5	18,0	75,1	4,5
39	5,90		958,22	553,89	404,33	2,370	2,475	13,575	82,199	4,2	17,8	76,3	4,2
40	5,90		798,97	459,91	339,06	2,356	2,475	13,498	81,732	4,8	18,3	73,9	4,8
41	5,90		782,46	451,68	330,78	2,365	2,475	13,550	82,047	4,4	18,0	75,5	4,4
42	5,90		839,21	483,87	355,34	2,362	2,475	13,528	81,916	4,6	18,1	74,8	4,6
43	5,90		880,08	505,55	374,53	2,350	2,475	13,460	81,503	5,0	18,5	72,8	5,1
44	5,90		779,35	450,05	329,30	2,367	2,475	13,557	82,088	4,4	17,9	75,7	4,4
45	5,90		1031,19	593,17	438,02	2,354	2,475	13,485	81,655	4,9	18,3	73,5	4,9
46	5,90		914,59	527,61	386,98	2,363	2,475	13,538	81,974	4,5	18,0	75,1	4,5
47	5,90		732,18	423,89	308,29	2,375	2,475	13,604	82,376	4,0	17,6	77,2	4,0
48	5,90		1104,51	635,55	468,96	2,355	2,475	13,491	81,691	4,8	18,3	73,7	4,8
49	5,90		659,36	379,91	279,45	2,359	2,475	13,516	81,839	4,6	18,2	74,4	4,7
50	5,90		747,52	434,26	313,26	2,386	2,475	13,669	82,767	3,6	17,2	79,3	3,6
51	5,90		868,81	499,89	368,92	2,355	2,475	13,490	81,683	4,8	18,3	73,6	4,8
52	5,90		840,45	485,58	354,87	2,368	2,475	13,566	82,145	4,3	17,9	76,0	4,3
53	5,90		1050,47	607,74	442,73	2,373	2,475	13,591	82,297	4,1	17,7	76,8	4,1
54	5,90		1119,05	650,91	468,14	2,390	2,475	13,693	82,911	3,4	17,1	80,1	3,4
55	5,90		928,57	535,72	392,85	2,364	2,475	13,540	81,984	4,5	18,0	75,2	4,5
56	5,90		981,50	568,07	413,43	2,374	2,475	13,599	82,343	4,1	17,7	77,0	4,1
57	5,90		922,58	532,29	390,29	2,364	2,475	13,540	81,989	4,5	18,0	75,2	4,5
58	5,90		1003,26	579,54	423,72	2,368	2,475	13,563	82,125	4,3	17,9	75,9	4,3
59	5,90		933,57	539,57	394,00	2,369	2,475	13,573	82,185	4,2	17,8	76,2	4,3
60	5,90		797,56	459,88	337,68	2,362	2,475	13,529	81,921	4,5	18,1	74,8	4,6

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

ENSAIO: DENSIDADE E VAZIOS MATERIAL DA PISTA (BINDER)

ESTUDOS FINAIS CORPOS DE PROVA DA PISTA

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,03 **Serviço : REVESTIMENTO ASFÁLTICO** **Filer** CAL
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,738 **Faixa D.N.E.R (B)** **Constante da Prens**

rpo de pr	% CA	altura	so em gramas		Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)		
Nº		(cm)	ar (g)	água (g)	cm3	parente (kg/m	ax.Teo. (kg/m	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	. betume vazios	Total
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
-	peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h
1X	5,00		907,17	531,12	376,1	2,412	2,528	11,711	83,702	4,6	16,3	71,9	4,6
2X	5,00							-	-				
2,1X	5,00		850,83	495,45	355,4	2,394	2,528	11,622	83,069	5,3	16,9	68,6	5,3
3X	5,00		729,18	422,37	306,8	2,377	2,528	11,537	82,462	6,0	17,5	65,8	6,0
4X	5,00		632,83	370,62	262,2	2,413	2,528	11,716	83,739	4,5	16,3	72,0	4,5
5X	5,00		735,62	428,98	306,6	2,399	2,528	11,645	83,237	5,1	16,8	69,5	5,1
6X	5,00		803,67	468,63	335,0	2,399	2,528	11,644	83,228	5,1	16,8	69,4	5,1
7X	5,00		591,89	345,39	246,5	2,401	2,528	11,656	83,313	5,0	16,7	69,9	5,0
8X	5,00		779,48	454,10	325,4	2,396	2,528	11,629	83,120	5,3	16,9	68,9	5,2
9X	5,00		812,20	472,77	339,4	2,393	2,528	11,616	83,024	5,4	17,0	68,4	5,3
10X	5,00		773,69	451,38	322,3	2,400	2,528	11,653	83,288	5,1	16,7	69,7	5,0
11X	5,00		603,33	351,41	251,9	2,395	2,528	11,626	83,096	5,3	16,9	68,8	5,3
12X	5,00		709,49	413,28	296,21	2,395	2,528	11,627	83,107	5,3	16,9	68,8	5,3
13X	5,00		724,99	421,56	303,43	2,389	2,528	11,599	82,902	5,5	17,1	67,8	5,5
14X	5,00		776,63	454,90	321,73	2,414	2,528	11,718	83,755	4,5	16,2	72,1	4,5
15X	5,00		821,06	479,28	341,78	2,402	2,528	11,662	83,352	5,0	16,6	70,1	5,0
16X	5,00		976,56	569,03	407,53	2,396	2,528	11,632	83,144	5,2	16,9	69,0	5,2
17X	5,00		905,01	525,87	379,14	2,387	2,528	11,587	82,822	5,6	17,2	67,5	5,6
17.1x	5,00		994,52	578,73	415,79	2,392	2,528	11,611	82,991	5,4	17,0	68,3	5,4
18X	5,00		752,25	437,89	314,36	2,393	2,528	11,616	83,028	5,4	17,0	68,4	5,3
19X	5,00		769,35	448,89	320,46	2,401	2,528	11,654	83,299	5,0	16,7	69,8	5,0
20X	5,00		831,65	486,22	345,43	2,408	2,528	11,687	83,535	4,8	16,5	71,0	4,8
21X	5,00		736,07	430,23	305,84	2,407	2,528	11,683	83,505	4,8	16,5	70,8	4,8
22X	5,00		709,41	413,55	295,86	2,398	2,528	11,640	83,196	5,2	16,8	69,3	5,2
23X	5,00		978,50	569,09	409,41	2,390	2,528	11,602	82,926	5,5	17,1	68,0	5,5
24X	5,00		893,70	522,12	371,58	2,405	2,528	11,675	83,451	4,9	16,5	70,5	4,9
25X	5,00		818,47	478,18	340,29	2,405	2,528	11,676	83,453	4,9	16,5	70,6	4,9
26X	5,00		836,15	487,13	349,02	2,396	2,528	11,630	83,124	5,2	16,9	68,9	5,2
27X	5,00		708,82	412,74	296,08	2,394	2,528	11,621	83,065	5,3	16,9	68,6	5,3
28X	5,00												
28.1x	5,00		832,77	487,08	345,69	2,409	2,528	11,694	83,585	4,7	16,4	71,2	4,7
29X	5,00								-				
30X	5,00												
31X	5,00		639,62	373,11	266,51	2,400	2,528	11,650	83,272	5,1	16,7	69,6	5,1
32X	5,00		655,65	382,44	273,21	2,400	2,528	11,650	83,266	5,1	16,7	69,6	5,1
33X	5,00		761,67	444,52	317,15	2,402	2,528	11,658	83,328	5,0	16,7	69,9	5,0
34X	5,00		781,69	455,71	325,98	2,398	2,528	11,641	83,202	5,2	16,8	69,3	5,1
35X	5,00		872,66	508,26	364,40	2,395	2,528	11,625	83,092	5,3	16,9	68,8	5,3
36X	5,00		983,03	573,34	409,69	2,399	2,528	11,648	83,253	5,1	16,7	69,6	5,1
37X	5,00		804,02	469,61	334,41	2,404	2,528	11,671	83,421	4,9	16,6	70,4	4,9
38X	5,00		722,63	420,58	302,05	2,392	2,528	11,614	83,009	5,4	17,0	68,4	5,4
39X	5,00		810,77	473,27	337,50	2,402	2,528	11,662	83,352	5,0	16,6	70,0	5,0
40X	5,00		864,68	505,02	359,66	2,404	2,528	11,671	83,417	4,9	16,6	70,4	4,9
41X	5,00		658,20	384,28	273,92	2,403	2,528	11,665	83,373	5,0	16,6	70,2	4,9
42X	5,00		688,25	401,53	286,72	2,400	2,528	11,653	83,287	5,1	16,7	69,7	5,0
43X	5,00		684,71	399,27	285,44	2,399	2,528	11,645	83,230	5,1	16,8	69,4	5,1
44X	5,00		631,32	368,99	262,33	2,407	2,528	11,682	83,501	4,8	16,5	70,8	4,8
45X	5,00		691,39	402,65	288,74	2,395	2,528	11,624	83,082	5,3	16,9	68,7	5,3
46X	5,00		968,61	566,47	402,14	2,409	2,528	11,692	83,572	4,7	16,4	71,2	4,7
47X	5,00		746,85	437,44	309,41	2,414	2,528	11,717	83,751	4,5	16,2	72,1	4,5
48X	5,00								-				
48.1x	5,00		841,67	487,62	354,05	2,377	2,528	11,540	82,484	6,0	17,5	65,9	6,0
49X	5,00		657,92	382,69	275,23	2,390	2,528	11,604	82,941	5,5	17,1	68,0	5,4
50X	5,00		542,73	316,12	226,61	2,395	2,528	11,626	83,099	5,3	16,9	68,8	5,3
51X	5,00		591,70	344,80	246,90	2,397	2,528	11,634	83,152	5,2	16,8	69,0	5,2
52X	5,00		627,35	365,58	261,77	2,397	2,528	11,634	83,153	5,2	16,8	69,1	5,2
53X	5,00		865,87	506,38	359,49	2,409	2,528	11,692	83,571	4,7	16,4	71,2	4,7
54X	5,00		837,85	490,54	347,31	2,412	2,528	11,711	83,703	4,6	16,3	71,9	4,6
55X	5,00		621,92	361,57	260,35	2,389	2,528	11,596	82,883	5,5	17,1	67,7	5,5
56X	5,00		597,54	348,78	248,76	2,402	2,528	11,661	83,344	5,0	16,7	70,0	5,0
57X	5,00		910,49	530,05	380,44	2,393	2,528	11,618	83,038	5,3	17,0	68,5	5,3
58X	5,00		759,31	442,92	316,39	2,400	2,528	11,650	83,270	5,1	16,7	69,6	5,1
59X	5,00		719,20	421,03	298,17	2,412	2,528	11,709	83,690	4,6	16,3	71,8	4,6
60X	5,00		916,29	534,64	381,65	2,401	2,528	11,655	83,302	5,0	16,7	69,8	5,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : Dezembro de 2005

Ensaio de Resistência a Tração CBUQ FAIXA C

ESTUDOS INICIAIS

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P.	altura	Diametro	Carga em (div)	Carga de ruptura	Resistencia a Tração	Resistência a Tração
Nº	(cm)	cm		cm	kgf/cm^2	(kPa)
1	6,40	10,16	199,00	371,14	3,63	0,363
3	6,34	10,18	204,00	380,46	3,75	0,375
16	6,34	10,18	272,00	507,28	5,00	0,500
21	6,31	10,16	310,00	578,15	5,74	0,574
Resistência a Tração Média					4,533	0,453

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : Dezembro de 2005

Ensaio de Resistência a Tração CBUQ FAIXA B

ESTUDOS INICIAIS

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P.	altura	Diametro	Carga em (div)	Carga de ruptura	Resistencia a Tração	Resistência a Tração
Nº	(cm)	cm		cm	kgf/cm^2	(kPa)
13	6,24	10,15	270,00	503,55	5,06	0,506
20	6,26	10,19	263,00	490,50	4,90	0,490
24	6,26	10,17	251,00	468,12	4,68	0,468
29	6,14	10,17	276,00	514,74	5,25	0,525
Resistência a Tração Média					4,971	0,497

ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: BR232 CARUARU - SÃO CAETANO CAPA | Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C | Operador(es): *AILTON*

Módulo resiliente médio da amostra: 4972 MPa | Inressado: *Afonso Macedo*

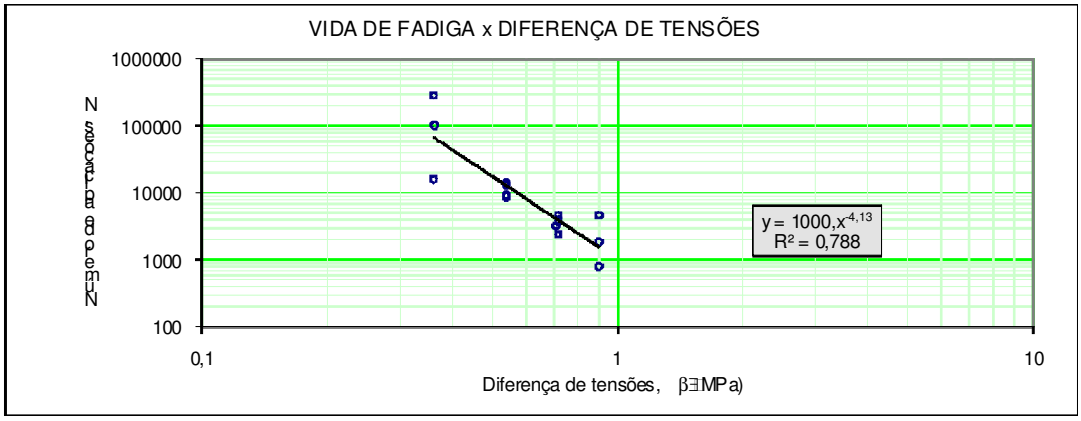
Tensão de tração estática máxima, $\sigma_{max.}$: 0,45 MPa | Data: 7-dez-05

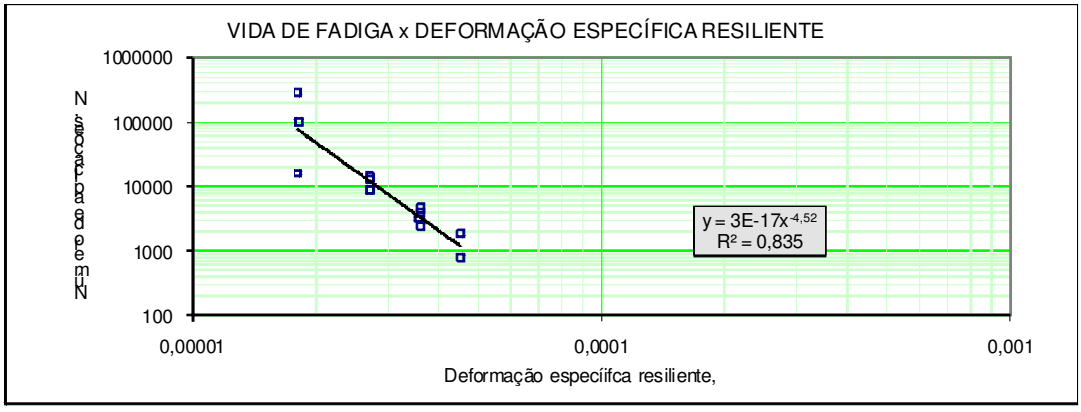
Equação do cil. de carga (4 pol): Em, 26/09/2000

$Pm_{(0-10)} = 0{,}0128F + 0{,}0163$

$F_{(0-10)} = 78{,}295Pm - 1{,}2442$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
06	6,31	10,12	20	92,1		0,0000181	0,36	16324
17	6,29	10,16	20	92,7		0,0000182	0,36	104400
19	6,32	10,16	20	92,6		0,0000181	0,36	290131
10	6,35	10,16	30	139,5		0,0000271	0,54	8963
14	6,29	10,16	30	138,2		0,0000271	0,54	13214
15	6,28	10,17	30	138,1		0,0000271	0,54	9233
25	6,31	10,18	30	138,9		0,0000271	0,54	14156
07	6,34	10,14	40	185,4		0,0000362	0,72	2442
09	6,40	10,14	40	184,1		0,0000356	0,71	3223
12	6,35	10,12	40	185,3		0,0000362	0,72	4673
13	6,34	10,16	40	185,7		0,0000362	0,72	3908
04	6,45	10,13	50	235,5		0,0000452	0,90	807
11	6,43	10,2	50	236,4		0,0000452	0,90	1871
22	6,26	10,18	50	229,7		0,0000452	0,90	4720
26	6,12	10,17	50	224,3		0,0000452	0,90	1113





F001-2001

ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: BR232: CARUARU SÃO CAETANO - BINDER | Protocolo:

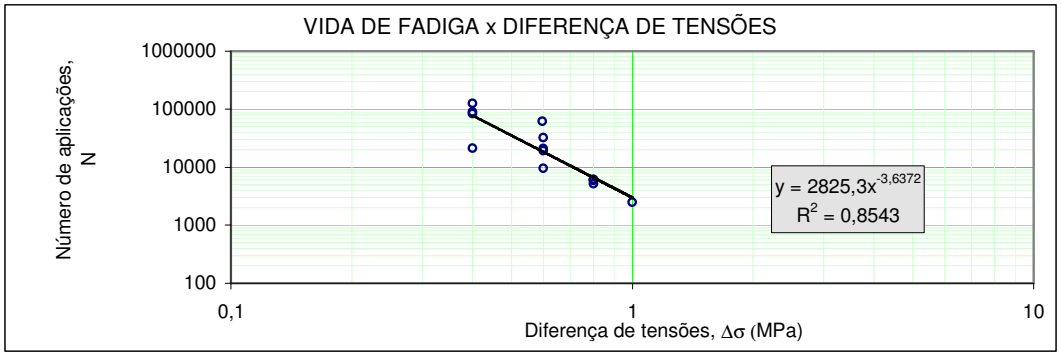
Temperatura de ensaio: 25 °C | Operador(es): *AILTON*

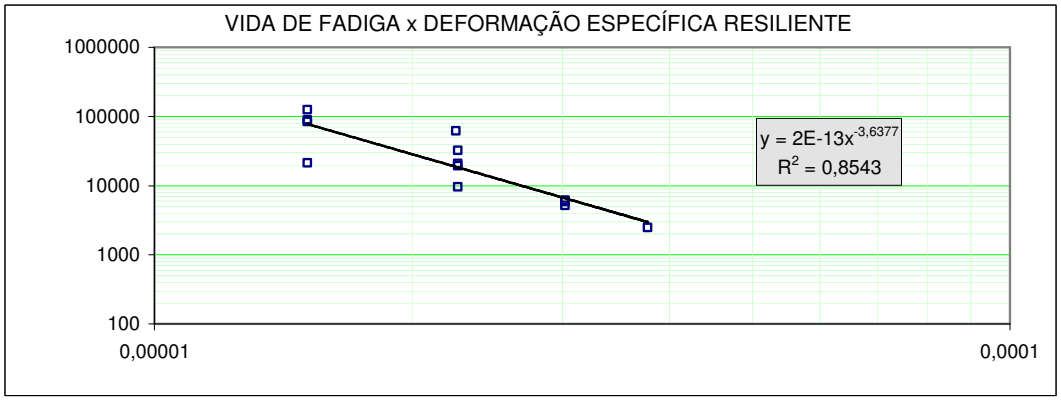
Módulo resiliente médio da amostra: 6624 MPa | Inressado: *Afonso Macedo*

Tensão de tração estática máxima, $\sigma_{Tmax.}$: 0,50 MPa | Data: 27-jan-06

Equação do cil. de carga (4 pol): $Pm_{(0-10)} = 0,0128F + 0,0163$; $F_{(0-10)} = 78,295Pm - 1,2442$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
18	6,24	10,17	20	101,6		0,0000151	0,40	89879
16	6,29	10,17	20	102,5		0,0000151	0,40	21279
22	6,36	10,16	20	103,5		0,0000151	0,40	84129
28	6,15	10,17	20	100,2		0,0000151	0,40	125382
05	6,38	10,17	30	155,9		0,0000226	0,60	20993
14	6,35	10,19	30	154,6		0,0000225	0,60	61581
15	6,30	10,17	30	153,9		0,0000226	0,60	32293
25	6,29	10,16	30	153,5		0,0000226	0,60	9564
27	6,18	10,16	30	150,9		0,0000226	0,60	19251
04	6,32	10,17	40	205,9		0,0000302	0,80	5150
17	6,31	10,17	40	205,6		0,0000302	0,80	5855
21	6,34	10,15	40	206,1		0,0000302	0,80	6179
30	6,34	10,17	40	206,6		0,0000302	0,80	6130
02	6,34	10,17	50	258,2		0,0000377	1,00	2492
06	6,32	10,16	50	257,1		0,0000377	1,00	2803
07	6,31	10,17	50	257,0		0,0000377	1,00	2696
11	6,34	10,18	50	258,4		0,0000377	1,00	2487





F001-2001

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Origem: FAIXA C — **C.P. Nº 02**
Trecho: Caruaru - São Caetano — Est/Km: 2 lvdts
Intererr.: Norconsult — Data: 07-12-2005
Temperatura: 25º — Altura C.P.(cm): 6,40

TABELA DE RESULTADOS

altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
6,40	154,85	0,002435	5540
6,40	153,05	0,002585	5157
6,40	153,07	0,002770	4814
		Valor Medio:	**5170**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Origem: FAIXA C — **C.P. Nº 08**
Trecho: Caruaru - São Caetano — Est/Km: 2 lvdts
Intererr.: Norconsult — Data: 07-12-2005
Temperatura: 25º — Altura C.P.(cm): 6,33

TABELA DE RESULTADOS

altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
6,33	212,37	0,003823	4892
6,33	212,44	0,003784	4944
6,33	212,49	0,003923	4771
		Valor Medio:	**4869**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Origem: FAIXA C — **C.P. Nº 23**
Trecho: Caruaru - São Caetano — Est/Km: 2 lvdts
Intererr.: Norconsult — Data: 07-12-2005
Temperatura: 25º — Altura C.P.(cm): 6,40

TABELA DE RESULTADOS

altura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (KPa)
6,40	183,77	0,003512	4558
6,40	182,71	0,003454	4608
6,40	182,71	0,003497	4552
		Valor Medio:	4572,667

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Origem: FAIXA C — **C.P. Nº 24**
Trecho: Caruaru - São Caetano — Est/Km: 2 lvdts
Intererr.: Norconsult — Data: 07-12-2005
Temperatura: 25º — Altura C.P.(cm): 6,39

TABELA DE RESULTADOS

altura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (KPa)
6,39	213	0,003572	5202
6,39	211,92	0,003487	5303
6,39	211,92	0,003474	5322
		Valor Medio:	**5276**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Origem: FAIXA B — **C.P. Nº 01**
Trecho: Caruaru - São Caetano — Est/Km: 2 lvdts
Intererr.: Norconsult — Data: 17-01-2006
Temperatura: 25º — Altura C.P.(cm): 6,29

TABELA DE RESULTADOS

altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
6,29	301,94	0,004025	6649
6,29	300,95	0,004196	6357
6,29	300,95	0,003995	6676
		Valor Medio:	**6561**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ — **Origem: FAIXA B**
Rodovia: BR 232 — Trecho: Caruaru - São Caetano
Operador: Ricardo/Netinho — Intererr.: Norconsult
Diâmetro C.P.(cm): — Temperatura: 25º

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	Módulo Resiliente (KPa)
CICLO 1	6,2	302,3	0,004106	6619
CICLO 2	6,2	300,08	0,004063	6642
CICLO 3	6,2	300,08	0,004188	6443
			Valor Medio:	6568

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ — **Origem: FAIXA B**
Rodovia: BR 232 — Trecho: Caruaru - São Caetano
Operador: Ricardo/Netinho — Intererr.: Norconsult
Diâmetro C.P.(cm): 10,1 — Temperatura: 25º

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	Módulo Resiliente (KPa)
CICLO 1	6,44	388,01	0,004654	7217
CICLO 2	6,44	387,99	0,004739	7088
CICLO 3	6,44	388,00	0,004948	6788
			Valor Medio:	7031

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ — **Origem: FAIXA B**
Rodovia: BR 232 — Trecho: Caruaru - São Caetano
Operador: Ricardo/Netinho — Intererr.: Norconsult
Diâmetro C.P.(cm): — Temperatura: 25º

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	Módulo Resiliente (KPa)
CICLO 1	6,31	272,05	0,003817	6297
CICLO 2	6,31	271,05	0,003793	6314
CICLO 3	6,31	271,11	0,003746	6395
			Valor Medio:	6335,33

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL	
MÓDULOS MÉDIOS - FAIXA C	
Corpo de prova	Valor Médio
2	5170
8	4869
23	4573
24	5276
Média	4972

MÓDULOS MÉDIOS - FAIXA B	
Corpo de prova	**Valor Médio**
1	6561
3	6568
12	7031
18	6335
Média	6623,75

B2 - Estudos Intermediários

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA & RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO MARSHALL
ESTUDOS INTERMEDIÁRIOS

Cmamada de Rolamento **DNER ME 43/95** **Data :DEZEMBRO 2005**

Dens. Real do Cimento Asfáltico **1,03** **Serviço : BR - 232 - Caruaru - São Caetano** **Filer** **cal**

Dens. Real da Mistura de Agregados **2,713** **Faixa D.N.E.R (C)** **Constante da Prensa** **1.865** kgf/divisão

Corpo de Prova Nº	% CA	altura (cm)	Massa em ramas					Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			F
			ar (g)	Massa Imersa (g)	cp+fita (P1)	FITA (P2)	cp+fita+parafina (P3)	cm3	Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	mm
a	b	c	d	e				f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
1	5,90	6,33	1199,34	690,90				508,4	2,359	2,475	13,512	81,817	4,7	18,2	74,3	4,7				
2	5,90	6,42	1203,40	695,50				507,9	2,369	2,475	13,572	82,181	4,2	17,8	76,2	4,3				
3	5,90	6,36	1200,09	690,73				509,4	2,356	2,475	13,496	81,720	4,8	18,3	73,8	4,8				
4	5,90	6,39	1198,60	683,80				514,8	2,328	2,475	13,337	80,756	5,9	19,2	69,3	5,9				
5	5,90	6,26	1197,60	697,60				500,0	2,395	2,475	13,720	83,077	3,2	16,9	81,1	3,2				
6	5,90	6,37	1199,80	694,30				505,5	2,373	2,475	13,596	82,324	4,1	17,7	76,9	4,1				
7	5,90	6,40	1199,90	690,20				509,7	2,354	2,475	13,485	81,653	4,9	18,3	73,5	4,9				
8	5,90	6,36	1198,70	690,60				508,1	2,359	2,475	13,514	81,828	4,7	18,2	74,4	4,7				
9	5,90	6,41	1199,10	688,70				510,4	2,349	2,475	13,457	81,486	5,1	18,5	72,7	5,1				
10	5,90	6,34	1197,30	692,00				505,3	2,369	2,475	13,573	82,185	4,2	17,8	76,2	4,3				
11	5,90	6,46	1194,20	680,60				513,6	2,325	2,475	13,319	80,648	6,0	19,4	68,8	6,0				
12	5,90	6,41	1190,70	684,30				506,4	2,351	2,475	13,469	81,555	5,0	18,4	73,0	5,0				
13	5,90	6,42	1197,30	688,10				509,2	2,351	2,475	13,469	81,556	5,0	18,4	73,0	5,0				
14	5,90	6,36	1198,20	692,30				505,9	2,368	2,475	13,567	82,149	4,3	17,9	76,0	4,3				
15	5,90	6,31	1194,10	688,40				505,7	2,361	2,475	13,526	81,901	4,6	18,1	74,7	4,6				
16	5,90	6,40	1200,79	691,89				508,9	2,360	2,475	13,516	81,842	4,6	18,2	74,4	4,7				
17	5,90	6,29	1195,70	692,20				503,5	2,375	2,475	13,603	82,369	4,0	17,6	77,2	4,0				
18	5,90	6,30	1194,50	694,60				499,9	2,389	2,475	13,687	82,879	3,4	17,1	79,9	3,4				
19	5,90	6,32	1195,00	692,50				502,5	2,378	2,475	13,622	82,484	3,9	17,5	77,8	3,9				
20	5,90	6,33	1195,80	693,60				502,2	2,381	2,475	13,639	82,589	3,8	17,4	78,3	3,8				
21	5,90	6,37	1196,96	688,81				508,2	2,356	2,475	13,493	81,701	4,8	18,3	73,7	4,8				
22	5,90	6,39	1192,70	683,40				509,3	2,342	2,475	13,414	81,226	5,4	18,8	71,5	5,4				
23	5,90	6,39	1202,90	692,30				510,6	2,356	2,475	13,495	81,713	4,8	18,3	73,8	4,8				
24	5,90	6,37	1200,60	690,80				509,8	2,355	2,475	13,490	81,684	4,8	18,3	73,7	4,8				
25	5,90	6,32	1196,60	691,10				505,5	2,367	2,475	13,559	82,105	4,3	17,9	75,8	4,3				
26	5,90	6,18	1172,70	680,00				492,7	2,380	2,475	13,634	82,555	3,8	17,4	78,2	3,8				
27	5,90	6,22	1170,50	680,10				490,4	2,387	2,475	13,672	82,787	3,5	17,2	79,4	3,6				
28	5,90	6,30	1183,80	685,20				498,6	2,374	2,475	13,600	82,350	4,0	17,6	77,1	4,1				
29	5,90	6,29	1195,40	693,40				502,0	2,381	2,475	13,640	82,594	3,8	17,4	78,4	3,8				
30	5,90	6,37	1167,70	672,10				495,6	2,356	2,475	13,496	81,722	4,8	18,3	73,8	4,8				

17 DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA DA MISTURA BETUMINOSA

mistura	filer	cimento										
%		35,5	25	38	1,5	100			TEOR DE LIGANTE			1,03
material		BRITA	PÓ DE PEDRA	areia		filler	DMA		5,9	6,5	7	7,5
densidade		2,765	2,735	2,653	2,73		2,713		2,475	2,453	2,435	2,417

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA & RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO MARSHALL
ESTUDOS INTERMEDIÁRIOS

DNER ME 43/95 **Data : dezembro 2005**

Dens. Real do Cimento Asfáltico **1,03** **Serviço : BR - 232 - Caruaru - São Caetano** **Filer** **cal**
Dens. Real da Mistura de Agregados **2,738** **Faixa D.N.E.R (B)** **Constante da Prensa** **1.865** **kgf/divisão**

Corpo de prova Nº	% CA	altura (cm)	Massa em gramas					Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			F
			ar (g)	Massa Imersa (g)	cp+fita (P1)	FITA (P2)	cp+fita+parafina (P3)	cm3	Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	mm
a	**b**	**c**	**d**	**e**				**f**	**g**	**h**	**i**	**j**	**k**	**l**	**m**	**n**	**o**	**p**	**q**	**r**
1	**5,00**	**6,33**	1188,70	698,60				490,1	**2,425**	2,528	11,774	84,155	4,1	15,8	**74,3**	**4,1**				
2	**5,00**	**6,42**	1212,00	707,00				505,0	**2,400**	2,528	11,650	83,272	5,1	16,7	**69,6**	**5,1**				
3	**5,00**	**6,36**	1198,00	697,10				500,9	**2,392**	2,528	11,610	82,984	5,4	17,0	**68,2**	**5,4**				
4	**5,00**	**6,39**	1190,00	696,00				494,0	**2,409**	2,528	11,694	83,582	4,7	16,4	**71,2**	**4,7**				
5	**5,00**	**6,26**	1208,80	708,00				500,8	**2,414**	2,528	11,717	83,749	4,5	16,3	**72,1**	**4,5**				
6	**5,00**	**6,37**	1209,60	705,50				504,1	**2,400**	2,528	11,648	83,256	5,1	16,7	**69,6**	**5,1**				
7	**5,00**	**6,40**	1205,30	703,50				501,8	**2,402**	2,528	11,660	83,340	5,0	16,7	**70,0**	**5,0**				
8	**5,00**	**6,36**	1203,20	702,50				500,7	**2,403**	2,528	11,665	83,378	5,0	16,6	**70,2**	**4,9**				
9	**5,00**	**6,41**	1199,30	693,70				505,6	**2,372**	2,528	11,515	82,302	6,2	17,7	**65,1**	**6,2**				
10	**5,00**	**6,34**	1210,00	701,00				509,0	**2,377**	2,528	11,540	82,482	6,0	17,5	**65,9**	**6,0**				
11	**5,00**	**6,46**	1207,70	705,00				502,7	**2,402**	2,528	11,662	83,357	5,0	16,6	**70,1**	**5,0**				
12	**5,00**	**6,41**	1209,20	703,50				505,7	**2,391**	2,528	11,607	82,965	5,4	17,0	**68,1**	**5,4**				
13	**5,00**	**6,42**	1202,82	703,00				499,8	**2,407**	2,528	11,682	83,498	4,8	16,5	**70,8**	**4,8**				
14	**5,00**	**6,36**	1201,00	704,50				496,5	**2,419**	2,528	11,742	83,929	4,3	16,1	**73,1**	**4,3**				
15	**5,00**	**6,31**	1191,50	698,50				493,0	**2,417**	2,528	11,732	83,857	4,4	16,1	**72,7**	**4,4**				
16	**5,00**	**6,40**	1194,20	696,50				497,7	**2,399**	2,528	11,648	83,253	5,1	16,7	**69,6**	**5,1**				
17	**5,00**	**6,29**	1197,00	699,00				498,0	**2,404**	2,528	11,668	83,398	4,9	16,6	**70,3**	**4,9**				
18	**5,00**	**6,30**	1192,50	693,90				498,6	**2,392**	2,528	11,610	82,984	5,4	17,0	**68,2**	**5,4**				
19	**5,00**	**6,32**	1200,90	698,90				502,0	**2,392**	2,528	11,613	83,003	5,4	17,0	**68,3**	**5,4**				
20	**5,00**	**6,33**	1197,50	700,00				497,5	**2,407**	2,528	11,685	83,517	4,8	16,5	**70,9**	**4,8**				
21	**5,00**	**6,37**	1198,00	700,80				497,2	**2,409**	2,528	11,697	83,602	4,7	16,4	**71,3**	**4,7**				
22	**5,00**	**6,39**	1201,40	700,00				501,4	**2,396**	2,528	11,632	83,137	5,2	16,9	**69,0**	**5,2**				
23	**5,00**	**6,39**	1198,40	696,50				501,9	**2,388**	2,528	11,591	82,847	5,6	17,2	**67,6**	**5,5**				
24	**5,00**	**6,37**	1200,80	702,00				498,8	**2,407**	2,528	11,686	83,528	4,8	16,5	**70,9**	**4,8**				
25	**5,00**	**6,32**	1187,00	692,50				494,5	**2,400**	2,528	11,652	83,286	5,1	16,7	**69,7**	**5,0**				
26	**5,00**	**6,18**	1183,00	685,90				497,1	**2,380**	2,528	11,552	82,572	5,9	17,4	**66,3**	**5,9**				
27	**5,00**	**6,22**	1186,70	695,00				491,7	**2,413**	2,528	11,716	83,740	4,5	16,3	**72,1**	**4,5**				
28	**5,00**	**6,30**	1174,70	685,00				489,7	**2,399**	2,528	11,645	83,231	5,1	16,8	**69,4**	**5,1**				
29	**5,00**	**6,29**	1178,12	688,80				489,3	**2,408**	2,528	11,688	83,539	4,8	16,5	**71,0**	**4,8**				
30	**5,00**	**6,37**	1190,20	696,00				494,2	**2,408**	2,528	11,691	83,562	4,7	16,4	**71,1**	**4,7**				

17 DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA DA MISTURA BETUMINOSA

mistura 4filer cimento

%	62,5	18	18,5	1	100		TEOR DE LIGANTE	1,03
material	BRITA	PÓ DE PEDRA	areia	filler	DMA	5,9	6,5	7	5
densidade	2,765	2,735	2,653	2,727	2,738	2,494	2,471	2,453	2,528

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : 25 de novembro de 2005
Ensaio de Resistência a Tração CBUQ FAIXA C

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P. Nº	altura (cm)	Diametro cm	Carga de ruptura cm	Resistencia a Tração kgf/cm²	Resistência a Tração (kPa)
1	6,33	10,16	462,00	4,57	0,457
2	6,42	10,18	324,00	3,16	0,316
3	6,36	10,18	371,00	3,65	0,365
4	6,39	10,16	481,00	4,72	0,472
5	6,26	10,18	286,00	2,86	0,286
6	6,37	10,18	309,00	3,03	0,303
7	6,40	10,17	590,00	5,77	0,577
8	6,36	10,14	762,00	7,53	0,753
9	6,41	10,18	681,00	6,64	0,664
10	6,34	10,17	809,00	7,99	0,799
11	6,46	10,15	619,00	6,01	0,601
12	6,41	10,17	371,00	3,62	0,362
13	6,42	10,18	338,00	3,29	0,329
14	6,36	10,17	657,00	6,47	0,647
15	6,31	10,17	342,00	3,39	0,339
16	6,40	10,16	547,00	5,35	0,535
17	6,29	10,17	857,00	8,53	0,853
18	6,30	10,17	595,00	5,91	0,591
19	6,32	10,18	538,00	5,32	0,532
20	6,33	10,15	524,00	5,19	0,519
21	6,37	10,16	324,00	3,19	0,319
22	6,39	10,17	505,00	4,95	0,495
23	6,39	10,19	590,00	5,77	0,577
24	6,37	10,18	600,00	5,89	0,589
25	6,32	10,18	643,00	6,36	0,636
26	6,18	10,17	500,00	5,06	0,506
27	6,22	10,16	488,00	4,92	0,492
28	6,30	10,18	475,00	4,72	0,472
29	6,29	10,17	496,00	4,93	0,493
30	6,37	10,16	502,00	4,94	0,494
MÉDIA				2,82	0,282

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : 25 de novembro de 2005
Ensaio de Resistência a Tração CBUQ FAIXA B

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P. Nº	altura (cm)	Diametro cm	Carga de ruptura cm	Resistencia a Tração kgf/cm^2	Resistência a Tração (MPa)
31	6,33	10,16	466,00	4,61	0,461
32	6,42	10,17	509,00	4,96	0,496
33	6,48	10,18	386,00	3,73	0,373
34	6,29	10,17	333,00	3,31	0,331
35	6,25	10,17	367,00	3,67	0,367
36	6,27	10,17	290,00	2,89	0,289
37	6,46	10,17	419,00	4,06	0,406
38	6,23	10,16	328,00	3,30	0,330
39	6,22	10,15	323,00	3,26	0,326
40	6,32	10,13	376,00	3,74	0,374
41	6,34	10,17	338,00	3,34	0,334
42	6,03	10,16	343,00	3,56	0,356
43	6,38	10,15	319,00	3,13	0,313
44	6,28	10,16	390,00	3,89	0,389
45	6,41	10,15	386,00	3,78	0,378
46	6,39	10,14	390,00	3,83	0,383
47	6,30	10,20	324,00	3,21	0,321
48	6,24	10,16	333,00	3,34	0,334
49	6,34	10,17	371,00	3,66	0,366
50	6,72	10,17	357,00	3,33	0,333
51	6,22	10,17	452,00	4,55	0,455
52	6,43	10,15	442,00	4,31	0,431
53	6,28	10,16	343,00	3,43	0,343
54	6,21	10,17	338,00	3,40	0,340
55	6,47	10,17	419,00	4,05	0,405
56	6,38	10,17	495,00	4,86	0,486
57	6,45	10,17	443,00	4,30	0,430
58	6,37	10,16	438,00	4,31	0,431
59	6,27	10,17	386,00	3,85	0,385
60	6,22	10,17	333,00	3,35	0,335
MÉDIA				3,77	0,377

B3 - Estudos Finais

B3.1 – Corpos-de-Prova Pista

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

ENSAIO: DENSIDADE E VAZIOS MATERIAL DA PISTA (CAPA)

ESTUDOS FINAIS CORPOS DE PROVA DA PISTA

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,03 **Serviço : REVESTIMENTO ASFÁLTICO** **Filer** CAL

Dens. Real da Mistura de Agregados 2,713 **Faixa D.N.E.R (C)**

Corpo de prova Nº	% CA	altura (cm)	Peso em gramas		Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)		
			ar (g)	água (g)	cm3	Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h
1	5,90		575,12	329,40	245,7	2,341	2,475	13,407	81,182	5,4	18,8	71,2	5,4
2	5,90		1011,95	581,25	430,7	2,350	2,475	13,459	81,494	5,0	18,5	72,7	5,1
3	5,90		934,23	536,59	397,6	2,349	2,475	13,458	81,490	5,1	18,5	72,7	5,1
4	5,90		865,04	497,13	367,9	2,351	2,475	13,468	81,552	5,0	18,4	73,0	5,0
5	5,90		829,41	477,44	352,0	2,356	2,475	13,498	81,734	4,8	18,3	73,9	4,8
6	5,90		734,80	422,44	312,4	2,352	2,475	13,475	81,593	4,9	18,4	73,2	5,0
7	5,90		813,72	467,59	346,1	2,351	2,475	13,466	81,541	5,0	18,5	73,0	5,0
8	5,90		729,81	421,53	308,3	2,367	2,475	13,561	82,112	4,3	17,9	75,8	4,3
9	5,90		837,12	482,03	355,1	2,357	2,475	13,504	81,769	4,7	18,2	74,1	4,7
10	5,90		881,26	507,84	373,4	2,360	2,475	13,518	81,855	4,6	18,1	74,5	4,6
11	5,90		831,12	478,45	352,7	2,357	2,475	13,499	81,740	4,8	18,3	73,9	4,8
12	5,90		835,65	482,16	353,5	2,364	2,475	13,541	81,995	4,5	18,0	75,2	4,5
13	5,90		901,66	519,85	381,81	2,362	2,475	13,527	81,910	4,6	18,1	74,8	4,6
14	5,90		855,37	494,12	361,25	2,368	2,475	13,563	82,127	4,3	17,9	75,9	4,3
15	5,90		1042,23	598,93	443,30	2,351	2,475	13,467	81,547	5,0	18,5	73,0	5,0
16	5,90		1094,11	633,06	461,05	2,373	2,475	13,593	82,310	4,1	17,7	76,8	4,1
17	5,90		927,18	534,84	392,34	2,363	2,475	13,537	81,967	4,5	18,0	75,1	4,5
18	5,90		852,36	492,06	360,30	2,366	2,475	13,551	82,054	4,4	17,9	75,5	4,4
19	5,90		804,44	463,89	340,55	2,362	2,475	13,531	81,932	4,5	18,1	74,9	4,6
20	5,90		882,07	506,08	375,99	2,346	2,475	13,438	81,370	5,2	18,6	72,1	5,2
21	5,90		865,27	498,64	366,63	2,360	2,475	13,519	81,858	4,6	18,1	74,5	4,6
22	5,90		876,20	507,48	368,72	2,376	2,475	13,612	82,423	4,0	17,6	77,4	4,0
23	5,90		882,12	508,47	373,65	2,361	2,475	13,523	81,885	4,6	18,1	74,7	4,6
24	5,90		949,46	548,62	400,84	2,369	2,475	13,568	82,157	4,3	17,8	76,0	4,3
25	5,90		873,85	503,76	370,09	2,361	2,475	13,525	81,897	4,6	18,1	74,7	4,6
26	5,90		877,08	503,39	373,69	2,347	2,475	13,444	81,408	5,1	18,6	72,3	5,2
27	5,90		793,82	457,84	335,98	2,363	2,475	13,534	81,950	4,5	18,1	75,0	4,5
28	5,90		1127,24	649,84	477,40	2,361	2,475	13,525	81,898	4,6	18,1	74,7	4,6
29	5,90		872,35	502,84	369,51	2,361	2,475	13,523	81,885	4,6	18,1	74,7	4,6
30	5,90		766,02	441,94	324,08	2,364	2,475	13,540	81,984	4,5	18,0	75,2	4,5
31	5,90		855,17	494,43	360,74	2,371	2,475	13,579	82,224	4,2	17,8	76,4	4,2
32	5,90		886,00	511,01	374,99	2,363	2,475	13,534	81,951	4,5	18,0	75,0	4,5
33	5,90		907,59	523,61	383,98	2,364	2,475	13,539	81,982	4,5	18,0	75,1	4,5
34	5,90		927,56	534,15	393,41	2,358	2,475	13,506	81,778	4,7	18,2	74,1	4,7
35	5,90		926,09	532,77	393,32	2,355	2,475	13,487	81,667	4,8	18,3	73,6	4,9
36	5,90		958,45	554,71	403,74	2,374	2,475	13,598	82,339	4,1	17,7	77,0	4,1
37	5,90		689,74	396,89	292,85	2,355	2,475	13,491	81,692	4,8	18,3	73,7	4,8
38	5,90		855,68	493,64	362,04	2,363	2,475	13,538	81,977	4,5	18,0	75,1	4,5
39	5,90		958,22	553,89	404,33	2,370	2,475	13,575	82,199	4,2	17,8	76,3	4,2
40	5,90		798,97	459,91	339,06	2,356	2,475	13,498	81,732	4,8	18,3	73,9	4,8
41	5,90		782,46	451,68	330,78	2,365	2,475	13,550	82,047	4,4	18,0	75,5	4,4
42	5,90		839,21	483,87	355,34	2,362	2,475	13,528	81,916	4,6	18,1	74,8	4,6
43	5,90		880,08	505,55	374,53	2,350	2,475	13,460	81,503	5,0	18,5	72,8	5,1
44	5,90		779,35	450,05	329,30	2,367	2,475	13,557	82,088	4,4	17,9	75,7	4,4
45	5,90		1031,19	593,17	438,02	2,354	2,475	13,485	81,655	4,9	18,3	73,5	4,9
46	5,90		914,59	527,61	386,98	2,363	2,475	13,538	81,974	4,5	18,0	75,1	4,5
47	5,90		732,18	423,89	308,29	2,375	2,475	13,604	82,376	4,0	17,6	77,2	4,0
48	5,90		1104,51	635,55	468,96	2,355	2,475	13,491	81,691	4,8	18,3	73,7	4,8
49	5,90		659,36	379,91	279,45	2,359	2,475	13,516	81,839	4,6	18,2	74,4	4,7
50	5,90		747,52	434,26	313,26	2,386	2,475	13,669	82,767	3,6	17,2	79,3	3,6
51	5,90		868,81	499,89	368,92	2,355	2,475	13,490	81,683	4,8	18,3	73,6	4,8
52	5,90		840,45	485,58	354,87	2,368	2,475	13,566	82,145	4,3	17,9	76,0	4,3
53	5,90		1050,47	607,74	442,73	2,373	2,475	13,591	82,297	4,1	17,7	76,8	4,1
54	5,90		1119,05	650,91	468,14	2,390	2,475	13,693	82,911	3,4	17,1	80,1	3,4
55	5,90		928,57	535,72	392,85	2,364	2,475	13,540	81,984	4,5	18,0	75,2	4,5
56	5,90		981,50	568,07	413,43	2,374	2,475	13,599	82,343	4,1	17,7	77,0	4,1
57	5,90		922,58	532,29	390,29	2,364	2,475	13,540	81,989	4,5	18,0	75,2	4,5
58	5,90		1003,26	579,54	423,72	2,368	2,475	13,563	82,125	4,3	17,9	75,9	4,3
59	5,90		933,57	539,57	394,00	2,369	2,475	13,573	82,185	4,2	17,8	76,2	4,3
60	5,90		797,56	459,88	337,68	2,362	2,475	13,529	81,921	4,5	18,1	74,8	4,6

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

ENSAIO: DENSIDADE E VAZIOS MATERIAL DA PISTA (BINDER)

ESTUDOS FINAIS CORPOS DE PROVA DA PISTA

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,03 **Serviço : REVESTIMENTO ASFÁLTICO** **Filer** CAL
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,738 **Faixa D.N.E.R (B)** **Constante da Prens**

rpo de pr	% CA	altura	so em gramas		Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)		
Nº		(cm)	ar (g)	água (g)	cm3	parente (kg/m	ax.Teo. (kg/m	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	. betume vazios	Total
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
-	peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h
1X	5,00		907,17	531,12	376,1	2,412	2,528	11,711	83,702	4,6	16,3	71,9	4,6
2X	5,00							-	-				
2,1X	5,00		850,83	495,45	355,4	2,394	2,528	11,622	83,069	5,3	16,9	68,6	5,3
3X	5,00		729,18	422,37	306,8	2,377	2,528	11,537	82,462	6,0	17,5	65,8	6,0
4X	5,00		632,83	370,62	262,2	2,413	2,528	11,716	83,739	4,5	16,3	72,0	4,5
5X	5,00		735,62	428,98	306,6	2,399	2,528	11,645	83,237	5,1	16,8	69,5	5,1
6X	5,00		803,67	468,63	335,0	2,399	2,528	11,644	83,228	5,1	16,8	69,4	5,1
7X	5,00		591,89	345,39	246,5	2,401	2,528	11,656	83,313	5,0	16,7	69,9	5,0
8X	5,00		779,48	454,10	325,4	2,396	2,528	11,629	83,120	5,3	16,9	68,9	5,2
9X	5,00		812,20	472,77	339,4	2,393	2,528	11,616	83,024	5,4	17,0	68,4	5,3
10X	5,00		773,69	451,38	322,3	2,400	2,528	11,653	83,288	5,1	16,7	69,7	5,0
11X	5,00		603,33	351,41	251,9	2,395	2,528	11,626	83,096	5,3	16,9	68,8	5,3
12X	5,00		709,49	413,28	296,21	2,395	2,528	11,627	83,107	5,3	16,9	68,8	5,3
13X	5,00		724,99	421,56	303,43	2,389	2,528	11,599	82,902	5,5	17,1	67,8	5,5
14X	5,00		776,63	454,90	321,73	2,414	2,528	11,718	83,755	4,5	16,2	72,1	4,5
15X	5,00		821,06	479,28	341,78	2,402	2,528	11,662	83,352	5,0	16,6	70,1	5,0
16X	5,00		976,56	569,03	407,53	2,396	2,528	11,632	83,144	5,2	16,9	69,0	5,2
17X	5,00		905,01	525,87	379,14	2,387	2,528	11,587	82,822	5,6	17,2	67,5	5,6
17.1x	5,00		994,52	578,73	415,79	2,392	2,528	11,611	82,991	5,4	17,0	68,3	5,4
18X	5,00		752,25	437,89	314,36	2,393	2,528	11,616	83,028	5,4	17,0	68,4	5,3
19X	5,00		769,35	448,89	320,46	2,401	2,528	11,654	83,299	5,0	16,7	69,8	5,0
20X	5,00		831,65	486,22	345,43	2,408	2,528	11,687	83,535	4,8	16,5	71,0	4,8
21X	5,00		736,07	430,23	305,84	2,407	2,528	11,683	83,505	4,8	16,5	70,8	4,8
22X	5,00		709,41	413,55	295,86	2,398	2,528	11,640	83,196	5,2	16,8	69,3	5,2
23X	5,00		978,50	569,09	409,41	2,390	2,528	11,602	82,926	5,5	17,1	68,0	5,5
24X	5,00		893,70	522,12	371,58	2,405	2,528	11,675	83,451	4,9	16,5	70,5	4,9
25X	5,00		818,47	478,18	340,29	2,405	2,528	11,676	83,453	4,9	16,5	70,6	4,9
26X	5,00		836,15	487,13	349,02	2,396	2,528	11,630	83,124	5,2	16,9	68,9	5,2
27X	5,00		708,82	412,74	296,08	2,394	2,528	11,621	83,065	5,3	16,9	68,6	5,3
28X	5,00												
28.1x	5,00		832,77	487,08	345,69	2,409	2,528	11,694	83,585	4,7	16,4	71,2	4,7
29X	5,00								-				
30X	5,00												
31X	5,00		639,62	373,11	266,51	2,400	2,528	11,650	83,272	5,1	16,7	69,6	5,1
32X	5,00		655,65	382,44	273,21	2,400	2,528	11,650	83,266	5,1	16,7	69,6	5,1
33X	5,00		761,67	444,52	317,15	2,402	2,528	11,658	83,328	5,0	16,7	69,9	5,0
34X	5,00		781,69	455,71	325,98	2,398	2,528	11,641	83,202	5,2	16,8	69,3	5,1
35X	5,00		872,66	508,26	364,40	2,395	2,528	11,625	83,092	5,3	16,9	68,8	5,3
36X	5,00		983,03	573,34	409,69	2,399	2,528	11,648	83,253	5,1	16,7	69,6	5,1
37X	5,00		804,02	469,61	334,41	2,404	2,528	11,671	83,421	4,9	16,6	70,4	4,9
38X	5,00		722,63	420,58	302,05	2,392	2,528	11,614	83,009	5,4	17,0	68,4	5,4
39X	5,00		810,77	473,27	337,50	2,402	2,528	11,662	83,352	5,0	16,6	70,0	5,0
40X	5,00		864,68	505,02	359,66	2,404	2,528	11,671	83,417	4,9	16,6	70,4	4,9
41X	5,00		658,20	384,28	273,92	2,403	2,528	11,665	83,373	5,0	16,6	70,2	4,9
42X	5,00		688,25	401,53	286,72	2,400	2,528	11,653	83,287	5,1	16,7	69,7	5,0
43X	5,00		684,71	399,27	285,44	2,399	2,528	11,645	83,230	5,1	16,8	69,4	5,1
44X	5,00		631,32	368,99	262,33	2,407	2,528	11,682	83,501	4,8	16,5	70,8	4,8
45X	5,00		691,39	402,65	288,74	2,395	2,528	11,624	83,082	5,3	16,9	68,7	5,3
46X	5,00		968,61	566,47	402,14	2,409	2,528	11,692	83,572	4,7	16,4	71,2	4,7
47X	5,00		746,85	437,44	309,41	2,414	2,528	11,717	83,751	4,5	16,2	72,1	4,5
48X	5,00								-				
48.1x	5,00		841,67	487,62	354,05	2,377	2,528	11,540	82,484	6,0	17,5	65,9	6,0
49X	5,00		657,92	382,69	275,23	2,390	2,528	11,604	82,941	5,5	17,1	68,0	5,4
50X	5,00		542,73	316,12	226,61	2,395	2,528	11,626	83,099	5,3	16,9	68,8	5,3
51X	5,00		591,70	344,80	246,90	2,397	2,528	11,634	83,152	5,2	16,8	69,0	5,2
52X	5,00		627,35	365,58	261,77	2,397	2,528	11,634	83,153	5,2	16,8	69,1	5,2
53X	5,00		865,87	506,38	359,49	2,409	2,528	11,692	83,571	4,7	16,4	71,2	4,7
54X	5,00		837,85	490,54	347,31	2,412	2,528	11,711	83,703	4,6	16,3	71,9	4,6
55X	5,00		621,92	361,57	260,35	2,389	2,528	11,596	82,883	5,5	17,1	67,7	5,5
56X	5,00		597,54	348,78	248,76	2,402	2,528	11,661	83,344	5,0	16,7	70,0	5,0
57X	5,00		910,49	530,05	380,44	2,393	2,528	11,618	83,038	5,3	17,0	68,5	5,3
58X	5,00		759,31	442,92	316,39	2,400	2,528	11,650	83,270	5,1	16,7	69,6	5,1
59X	5,00		719,20	421,03	298,17	2,412	2,528	11,709	83,690	4,6	16,3	71,8	4,6
60X	5,00		916,29	534,64	381,65	2,401	2,528	11,655	83,302	5,0	16,7	69,8	5,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : 15 de agosto de 2006
Constante do Anel ***1,87 Kgf/div***

Ensaio de Resistência à Tração com C.P. da pista (CAPA)

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P. Nº	altura (cm)	Diametro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (cm)	Resistencia a Tração (kgf/cm^2)	Resistência a Tração (kPa)
1	3,38	9,87	260,00	484,90	9,25	0,925
4	4,80	9,90	550,00	1025,75	13,74	1,374
5	4,84	9,87	552,00	1029,48	13,72	1,372
8	4,27	9,90	472,00	880,28	13,26	1,326
9	4,78	9,91	494,00	921,31	12,38	1,238
12	4,77	9,90	553,00	1031,35	13,90	1,390
13	5,10	9,91	542,00	1010,83	12,73	1,273
16	6,21	9,90	590,00	1100,35	11,39	1,139
17	5,30	9,92	539,00	1005,24	12,17	1,217
20	4,14	9,93	442,00	824,33	12,77	1,277
21	4,87	9,94	473,00	882,15	11,60	1,160
24	5,46	9,93	427,00	796,36	9,35	0,935
25	4,93	9,93	447,00	833,66	10,84	1,084
28	6,51	9,94	475,00	885,88	8,72	0,872
29	5,05	9,91	601,00	1120,87	14,26	1,426
32	5,10	9,95	529,00	986,59	12,38	1,238
33	5,20	9,91	448,00	835,52	10,32	1,032
36	5,67	9,89	418,00	779,57	8,85	0,885
37	3,93	9,91	304,00	566,96	9,27	0,927
40	4,65	9,95	354,00	660,21	9,08	0,908
41	4,37	9,97	508,00	947,42	13,84	1,384
45	5,88	9,93	490,00	913,85	9,96	0,996
48	6,33	9,89	471,00	878,42	8,93	0,893
49	3,79	9,90	512,00	954,88	16,20	1,620
52	4,78	9,94	543,00	1012,70	13,57	1,357
53	5,85	9,94	508,00	947,42	10,37	1,037
56	5,60	9,92	501,00	934,37	10,71	1,071
57	5,27	9,96	452,00	842,98	10,22	1,022
60	4,54	9,94	543,00	1012,70	14,29	1,429
Média					11,658	1,166

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : 15 de agosto de 2006

Constante do Anel ***1,87 Kgf/div***

Ensaio de Resistência à Tração com C.P. da Pista - Binder

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P. Nº	altura (cm)	Diametro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (cm)	Resistencia a Tração (kgf/cm^2)	Resistência a Tração (kPa)
1x	5,03	9,88	530,00	988,45	12,66	1,266
4x	3,47	9,93	290,00	540,85	9,99	0,999
5x	4,29	9,91	452,00	842,98	12,62	1,262
8x	4,43	9,90	248,00	462,52	6,71	0,671
9x	4,60	9,97	395,00	736,68	10,23	1,023
12x	3,94	9,94	242,00	451,33	7,34	0,734
13x	4,05	9,98	394,00	734,81	11,57	1,157
16x	5,40	9,90	442,00	824,33	9,82	0,982
17.1x	5,03	9,94	519,00	967,94	12,32	1,232
20x	4,65	9,94	451,00	841,12	11,59	1,159
21x	4,10	9,94	458,00	854,17	13,34	1,334
24x	5,01	9,96	418,00	779,57	9,95	0,995
25x	4,60	9,95	401,00	747,87	10,40	1,040
28.1x	5,01	9,94	341,00	635,97	8,13	0,813
32x	3,76	9,97	352,00	656,48	11,15	1,115
33x	4,27	9,96	358,00	667,67	9,99	0,999
36x	5,49	9,93	434,00	809,41	9,45	0,945
37x	4,64	9,99	397,00	740,41	10,17	1,017
40x	4,90	9,96	431,00	803,82	10,49	1,049
41x	3,65	9,99	338,00	630,37	11,01	1,101
45x	3,88	9,94	332,00	619,18	10,22	1,022
48.1x	4,95	9,92	374,00	697,51	9,04	0,904
49x	3,62	10,11	294,00	548,31	9,54	0,954
52x	3,47	9,96	351,00	654,62	12,06	1,206
53x	4,74	9,91	387,00	721,76	9,78	0,978
56x	3,35	9,97	352,00	656,48	12,51	1,251
57x	4,97	9,96	327,00	609,86	7,84	0,784
60x	4,96	9,93	364,00	678,86	8,77	0,877
Média					10,311	1,031

Observações: Os copros-de-prova 17.1x, 28.1x e 48.1x foram retirados do acostamento

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 2.1**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 240
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,86	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,94

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,94	123,91	0,003005	2331
CICLO 2	4,94	123,90	0,003009	2328
CICLO 3	4,94	123,86	0,002990	2342
			Valor Medio:	**2334**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: camada de rolamento	**C.P. Nº 6**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 260
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,87	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,24

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,24	182,36	0,004008	5982
CICLO 2	4,24	182,41	0,004099	5852
CICLO 3	4,24	182,37	0,004121	5818
			Valor Medio:	**5884**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 6x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 260
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,88	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,47

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,47	153,21	0,003638	5253
CICLO 2	4,47	153,18	0,003628	5265
CICLO 3	4,47	153,15	0,003672	5202
			Valor Medio:	**5240**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Camada de rolamento	**C.P. Nº 10**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 305
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,97	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,39

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,39	213,13	0,004192	6457
CICLO 2	4,39	211,90	0,004164	6463
CICLO 3	4,39	211,75	0,004271	6296
			Valor Medio:	**6405**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Camada de rolamento	**C.P. Nº 14**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 355
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,96	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,44

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,44	184,21	0,003437	6730
CICLO 2	4,44	183,08	0,003548	6480
CICLO 3	4,44	182,94	0,003501	6561
			Valor Medio:	**6590**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 15x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 365
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,94	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,55

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,55	153,67	0,003581	5258
CICLO 2	4,55	153,62	0,003617	5204
CICLO 3	4,55	153,5	0,003648	5156
			Valor Medio:	**5206**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 19x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 420
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,94	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 5,03

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	5,03	124,55	0,00325	4248
CICLO 2	5,03	123,39	0,003366	4064
CICLO 3	5,03	123,22	0,003300	4138
			Valor Medio:	**4150**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Camada de rolamento	**C.P. Nº 23**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 440
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,92	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 5,08

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	5,08	213,55	0,003886	6030
CICLO 2	5,08	212,42	0,004014	5808
CICLO 3	5,08	212,51	0,004028	5789
			Valor Medio:	**5876**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 23x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 440
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,94	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 5,47

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	5,47	182,27	0,003515	5285
CICLO 2	5,47	182,19	0,003505	5298
CICLO 3	5,47	182	0,003435	5400
			Valor Medio:	**5328**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 26x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 450
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,97	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,68

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,68	153,28	0,003784	4825
CICLO 2	4,68	153,19	0,004002	4560
CICLO 3	4,68	153,06	0,004156	4387
			Valor Medio:	**4591**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 39x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 565
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,96	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,54

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,54	124,71	0,004034	3796
CICLO 2	4,54	123,50	0,004249	3569
CICLO 3	4,54	123,47	0,004357	3479
			Valor Medio:	**3615**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 46x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 605
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,01	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 5,42

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	5,42	271,33	0,004255	6559
CICLO 2	5,42	269,98	0,004342	6396
CICLO 3	5,42	269,86	0,004500	6169
			Valor Medio:	**6375**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Camada de rolamento	**C.P. Nº 54**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 670
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,95	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,16

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	6,16	272,41	0,003923	6284
CICLO 2	6,16	271,21	0,003916	6268
CICLO 3	6,16	271,21	0,003956	6205
			Valor Medio:	**6252**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: BINDER	**C.P. Nº 54x**
Rodovia: BR 232		Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 670
Operador: Ailton		Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm):	9,95	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,58

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,58	124,15	0,002941	5139
CICLO 2	4,58	124,30	0,002903	5212
CICLO 3	4,58	124,17	0,003005	5030
			Valor Medio:	**5127**

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ	Origem: Camada de rolamento	**C.P. Nº 59**
Rodovia: BR 232	Trecho: Caruaru - São Caetano	Est/Km: 720
Operador: Ailton	Intererr.: Grotecnica	Data: 16-08-2006
Diâmetro C.P.(cm): 9,94	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 4,54

TABELA DE RESULTADOS

	altura do cp (cm)	**Força** (kgf)	**Deslocamento Resiliente** (mm)	**Módulo Resiliente** (KPa)
CICLO 1	4,54	213,82	0,004009	6549
CICLO 2	4,54	211,44	0,00395	6573
CICLO 3	4,54	211,46	0,004156	6247
			Valor Medio:	**6456**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : AGOSTO 2006
MÓDULO DE RESILIÊNCIA CBUQ C PISTA
RODOVIA BR232 PE
TRECHO CARUARU SÃO CAETANO

CP Nº	**ESTACA**	**ALTURA (cm)**	**DIAMETRO (cm)**	**MR (Mpa)**
6	260	4,24	9,87	5884
10	305	4,39	9,97	6405
14	355	4,44	9,96	6590
23	440	5,08	9,92	5876
54	670	6,16	9,95	6252
59	720	4,54	9,94	6456
MÉDIA		**4,81**	**9,94**	**6244**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : AGOSTO 2006
MÓDULO DE RESILIÊNCIA RESUMO CBUQ B PISTA
RODOVIA BR232 PE
TRECHO CARUARU SÃO CAETANO

CP Nº	ESTACA	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	MR (Mpa)
2.1x	240	4,94	9,86	2334
6X	260	4,47	9,88	5240
15X	365	4,55	9,94	5206
19X	420	5,03	9,94	4150
23X	440	5,47	9,94	5328
26X	450	4,68	9,97	4591
39X	565	4,54	9,96	3615
46X	605	5,42	10,01	6375
54X	670	4,58	9,95	5127
MÉDIA		**4,85**	**9,94**	**4663**

B3.2 – Corpos-de-Prova Usina

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA & RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO MARSHALL

Cmamada de Rolamento **DNER ME 43/95** **Data :SETEMBRO 2006**

ESTUDOS FINAIS CBUQ C CP USINA

Dens. Real do Cimento Asfáltico **1,03** **Serviço : BR - 232 - Caruaru - São Caetano** **Filer** **cal**

Dens. Real da Mistura de Agregados **2,713** **Faixa D.N.E.R (C)** **Constante da Prensa** **1.865** **kgf/divisão**

Corp de Nº	% CA	altura (cm)	Massa em ramas					Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			F
			ar (g)	Massa Imersa (g)	cp+fita (P1)	FITA (P2)	cp+fita +parafina	cm3	Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	mm
a	b	c	d	e				f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
1	5,90	6,33	1198,70	694,10				504,6	2,376	2,475	13,607	82,395	4,0	17,6	77,3	4,0				
2	5,90	6,42	1195,10	692,30				502,8	2,377	2,475	13,615	82,442	3,9	17,6	77,5	4,0				
3	5,90	6,36	1199,80	695,40				504,4	2,379	2,475	13,625	82,504	3,9	17,5	77,9	3,9				
4	5,90	6,39	1203,80	696,90				506,9	2,375	2,475	13,603	82,371	4,0	17,6	77,2	4,0				
5	5,90	6,26	1202,40	698,40				504,0	2,386	2,475	13,666	82,748	3,6	17,3	79,2	3,6				
6	5,90	6,37	1203,20	697,90				505,3	2,381	2,475	13,640	82,590	3,8	17,4	78,3	3,8				
7	5,90	6,40	1198,50	694,50				504,0	2,378	2,475	13,621	82,480	3,9	17,5	77,7	3,9				
8	5,90	6,36	1197,80	694,10				503,7	2,378	2,475	13,622	82,481	3,9	17,5	77,8	3,9				
9	5,90	6,41	1198,40	693,80				504,6	2,375	2,475	13,604	82,375	4,0	17,6	77,2	4,0				
10	5,90	6,34	1200,80	694,60				506,2	2,372	2,475	13,588	82,279	4,1	17,7	76,7	4,1				
11	5,90	6,46	1198,30	694,50				503,8	2,379	2,475	13,625	82,499	3,9	17,5	77,8	3,9				
12	5,90	6,41	1202,40	696,20				506,2	2,375	2,475	13,606	82,389	4,0	17,6	77,3	4,0				
13	5,90	6,42	1203,40	697,80				505,6	2,380	2,475	13,634	82,555	3,8	17,4	78,2	3,8				
14	5,90	6,36	1199,60	693,40				506,2	2,370	2,475	13,575	82,197	4,2	17,8	76,2	4,2				
15	5,90	6,31	1198,30	693,90				504,4	2,376	2,475	13,608	82,401	4,0	17,6	77,3	4,0				

17 DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA DA MISTURA BETUMINOSA

mistura	filer	cimento									
%	35,5	25	38	1,5	100			TEOR DE LIGANTE	1,03		
material	BRITA	PÓ DE PEDRA	areia	filler	DMA		5,9	6,5	7	7,5	
densidade	2,765	2,735	2,653	2,727	2,713		2,475	2,453	2,435	2,417	

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA & RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATORIO DE ENGENHARIA DE PAVIMENTOS

ENSAIO MARSHALL

DNER ME 43/95

Data : setembro de 2006

ESTUDOS FINAIS CBUQ B CP USINA

Dens. Real do Cimento Asfáltico **1,03** **Serviço : BR - 232 - Caruaru - São Caetano** **Filer** **cal**

Dens. Real da Mistura de Agregados **2,738** **Faixa D.N.E.R (B)** **Constante da Prensa** **1.865** **kgf/divisão**

Corpo de prova Nº	% CA	altura (cm)	Massa em gramas					Volume	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			F
			ar (g)	Massa Imersa (g)	cp+fita (P1)	FITA (P2)	cp+fita+parafina (P3)	cm3	Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	mm
a	**b**	**c**	d	**e**				f	**g**	h	i	j	k	l	**m**	**n**	**o**	**p**	**q**	**r**
1	**5,00**	**6,33**	1201,50	703,50				498,0	**2,413**	2,528	11,712	83,711	4,6	16,3	**71,9**	**4,6**				
2	**5,00**	**6,42**	1200,80	702,90				497,9	**2,412**	2,528	11,707	83,679	4,6	16,3	**71,7**	**4,6**				
3	**5,00**	**6,36**	1197,60	698,70				498,9	**2,400**	2,528	11,653	83,289	5,1	16,7	**69,7**	**5,0**				
4	**5,00**	**6,39**	1198,20	696,90				501,3	**2,390**	2,528	11,603	82,932	5,5	17,1	**68,0**	**5,5**				
5	**5,00**	**6,26**	1198,50	700,60				497,9	**2,407**	2,528	11,685	83,519	4,8	16,5	**70,9**	**4,8**				
6	**5,00**	**6,37**	1197,50	698,80				498,7	**2,401**	2,528	11,657	83,316	5,0	16,7	**69,9**	**5,0**				
7	**5,00**	**6,40**	1199,70	701,10				498,6	**2,406**	2,528	11,680	83,485	4,8	16,5	**70,7**	**4,8**				
8	**5,00**	**6,36**	1198,20	697,90				500,3	**2,395**	2,528	11,626	83,098	5,3	16,9	**68,8**	**5,3**				
9	**5,00**	**6,41**	1201,60	703,60				498,0	**2,413**	2,528	11,713	83,718	4,6	16,3	**71,9**	**4,6**				
10	**5,00**	**6,34**	1197,50	698,70				498,8	**2,401**	2,528	11,654	83,299	5,0	16,7	**69,8**	**5,0**				
11	**5,00**	**6,46**	1199,80	700,30				499,5	**2,402**	2,528	11,660	83,342	5,0	16,7	**70,0**	**5,0**				
12	**5,00**	**6,41**	1196,70	697,90				498,8	**2,399**	2,528	11,646	83,243	5,1	16,8	**69,5**	**5,1**				
13	**5,00**	**6,42**	1196,80	698,60				498,2	**2,402**	2,528	11,661	83,350	5,0	16,6	**70,0**	**5,0**				
14	**5,00**	**6,36**	1198,50	700,40				498,1	**2,406**	2,528	11,680	83,486	4,8	16,5	**70,7**	**4,8**				

17 DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA DA MISTURA BETUMINOSA

mistura 4	filer	cimento									
%	62,5	18	18,5	1	100		TEOR DE LIGANTE	1,03			
material	BRITA	PÓ DE PEDRA	areia	filler	DMA		5,9	6,5	7	5	
densidade	2,765	2,735	2,653	2,727	2,738		2,494	2,471	2,453	2,528	

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : 15 de agosto de 2006

Constante do Anel ***1,87 Kgf/div***

Ensaio de Resistência à Tração com Corpos-de-Prova da Usina CBUQ C

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P. Nº	altura (cm)	Diametro (cm)	Leitura do Anel	Carga de Ruptura (cm)	Resistencia a Tração (kgf/cm^2)	Resistência a Tração (kPa)
1	6,41	10,17	445	829,93	8,10	0,810
2	6,43	10,16	515	960,48	9,36	0,936
3	6,46	10,16	475	885,88	8,59	0,859
4	6,40	10,15	465	867,23	8,50	0,850
5	6,38	10,16	495	923,18	9,07	0,907
6	6,35	10,17	530	988,45	9,74	0,974
8	6,31	10,15	468	872,82	8,68	0,868
9	6,42	10,15	520	969,80	9,47	0,947
10	6,33	10,16	465	867,23	8,58	0,858
Média					8,900	0,890

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADEMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS
Data : setembro de 2006

Constante do Anel ***1,87 Kgf/div***

Ensaio de Resistência à Tração com Corpos-de-Prova da Usina cbuq b

Rodovia: BR 232 PE Trecho: Caruaru - São Caetano

C.P. Nº	altura (cm)	Diametro (cm)	Leitura do Anel (divisões)	Carga de Ruptura (cm)	Resistencia a Tração (kgf/cm^2)	Resistência a Tração (kPa)
1x	6,38	10,16	465	867,23	8,52	0,852
2x	6,41	10,16	470	876,55	8,57	0,857
3x	6,39	10,17	495	923,18	9,04	0,904
4x	6,35	10,15	505	941,83	9,30	0,930
5x	6,41	10,15	475	885,88	8,67	0,867
6x	6,40	10,17	445	829,93	8,12	0,812
7x	6,38	10,16	485	904,53	8,88	0,888
8x	6,31	10,18	490	913,85	9,06	0,906
9x	6,42	10,16	435	811,28	7,92	0,792
10x	6,43	10,15	450	839,25	8,19	0,819
Média					8,626	0,863

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa C	C.P. Nº 07
Rodovia: BR - 232		Trecho:Caruaru - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,16	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm):6,50

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,50	506,08	0,00489	8876	
CICLO 2	6,50	505,33	0,004777	9073	
CICLO 3	6,50	505,61	0,004853	8936	
			Valor Médio:	8962	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa C	C.P. Nº 11
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,15	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,39

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,39	420,15	0,004607	7957	
CICLO 2	6,39	417,23	0,004761	7645	
CICLO 3	6,39	417,34	0,004667	7803	
			Valor Médio:	7802	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa C	C.P. Nº 12
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,16	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,56

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,56	153,51	0,004398	2965	
CICLO 2	6,56	153,7	0,004407	2963	
CICLO 3	6,56	153,7	0,002206	5919	
			Valor Médio:	3949	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa C	C.P. Nº 13
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,17	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,51

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,51	475,73	0,004633	8791	
CICLO 2	6,51	475,7	0,004587	8878	
CICLO 3	6,51	476,11	0,004678	8713	
			Valor Medio:	8794	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa C	C.P. Nº 14
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,17	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,40

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	eslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,40	124,15	0,005608	1928	
CICLO 2	6,40	124,24	0,00645	1677	
CICLO 3	6,40	124,18	0,00813	1330	
			Valor Medio	1645	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa C	C.P. Nº 15
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,16	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,44

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,44	184,35	0,0032	4988	
CICLO 2	6,44	182,2	0,003606	4373	
CICLO 3	6,44	182,25	0,003601	4380	
			Valor Medio	4580	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa B	C.P. Nº 11
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,16	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,24

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,24	272,48	0,003573	6811	
CICLO 2	6,24	271,25	0,003733	6490	
CICLO 3	6,24	271,25	0,003752	6457	
			Valor Medio	6586	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa B	C.P. Nº 12
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,16	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,26

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)	
CICLO 1	6,26	329,86	0,004069	7217	
CICLO 2	6,26	329,91	0,004017	7312	
CICLO 3	6,26	329,93	0,004122	7126	
			Valor Medio	7219	Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa B	C.P. Nº 13
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,15	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,42

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)
CICLO 1	6,42	124,66	0,001581	6845
CICLO 2	6,42	123,64	0,000521	ELIMINADO
CICLO 3	6,42	123,65	0,00118	9097
			Valor Medio	7971 Mpa

RELATÓRIO DE ENSAIO DE MÓDULO - COMPRESSÃO DIAMETRAL

DADOS DO ENSAIO

Amostra: CBUQ		Origem: Faixa B	C.P. Nº 14
Rodovia: BR - 232		Trecho: Caetano - São Caetano	Est/Km:
Operador: Ailton		Intererr.: Norconsult	Data: 30-09-2006
Diâmetro C.P.(cm):	10,16	Temperatura: 25º	Altura C.P.(cm): 6,34

TABELA DE RESULTADOS

	alltura do cp (cm)	Força (kgf)	Deslocamento Resiliente (mm)	Módulo Resiliente (Mpa)
CICLO 1	6,34	301,61	0,004046	6553
CICLO 2	6,34	300,36	0,004144	6372
CICLO 3	6,34	300,45	0,004204	6283
			Valor Medio	6402 Mpa

B3.3 – Defletometria

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS

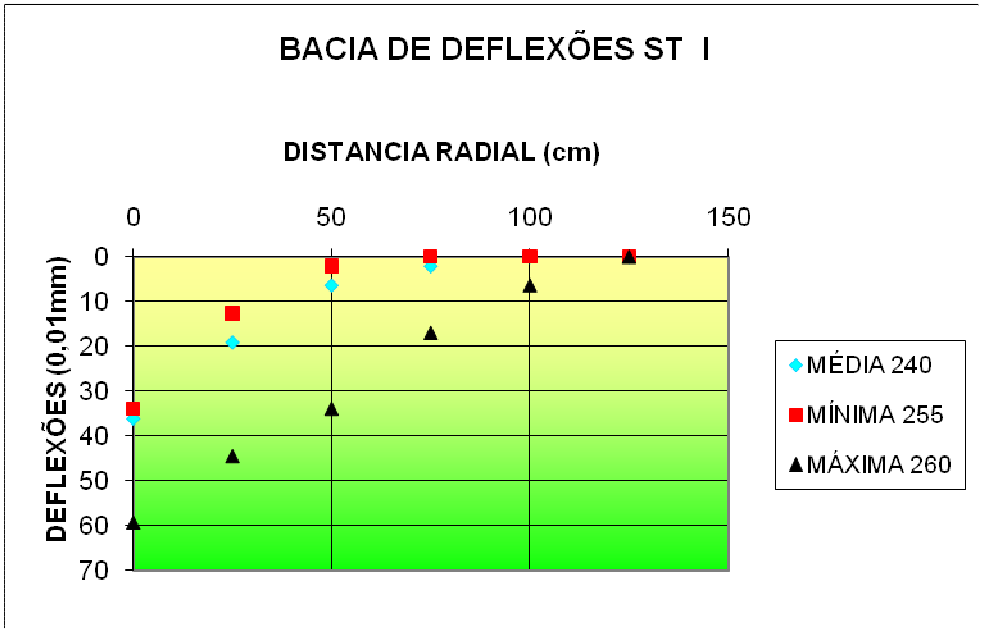
	DEFLEXÕES	ENSAIO	VALOR DA DEFLEXÃO
Trecho 1			
Est.240 - 290	Dmáx = 55	E - 250	55
	Dméd = 35,2	E - 240	34
	Dmín = 21	E - 255	21
Trecho 2			
Est. 290 - 340	Dmáx = 85	E - 325	85
	Dméd = 40,8	E - 305	40
	Dmín = 21	E - 295	21
Trecho 3			
Est. 340 - 390	Dmáx = 93	E - 355	93
	Dméd = 50,8	E - 390	53
	Dmín = 25	E - 365	25
Trecho 4			
Est. 390 - 440	Dmáx = 102	E - 425	102
	Dméd = 46	E - 440	51
	Dmín = 25	E - 420	25
Trecho 5			
Est. 440 - 490	Dmáx = 89	E - 485	89
	Dméd = 48,5	E - 450	45
	Dmín = 30	E - 480	30
Trecho 6			
Est. 490 - 540	Dmáx = 74	E - 495	74
	Dméd = 45,5	E - 515	45
	Dmín = 30	E - 530	30
Trecho 7			
Est. 540 - 590	Dmáx = 76	E - 555	76
	Dméd = 52	E - 590	51
	Dmín = 36	E - 565	36
Trecho 8			
Est. 590 - 640	Dmáx = 64	E - 605	64
	Dméd = 49,5	E - 600	47
	Dmín = 32	E - 620	32
Trecho 9			
Est. 640 - 690	Dmáx = 74	E - 650	74
	Dméd = 56	E - 665	64
	Dmín = 32	E - 670	32
Trecho 10			
Est. 690 - 740	Dmáx = 70	E - 715	70
	Dméd = 52	E - 695	
	Dmín = 19	E - 720	19

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS

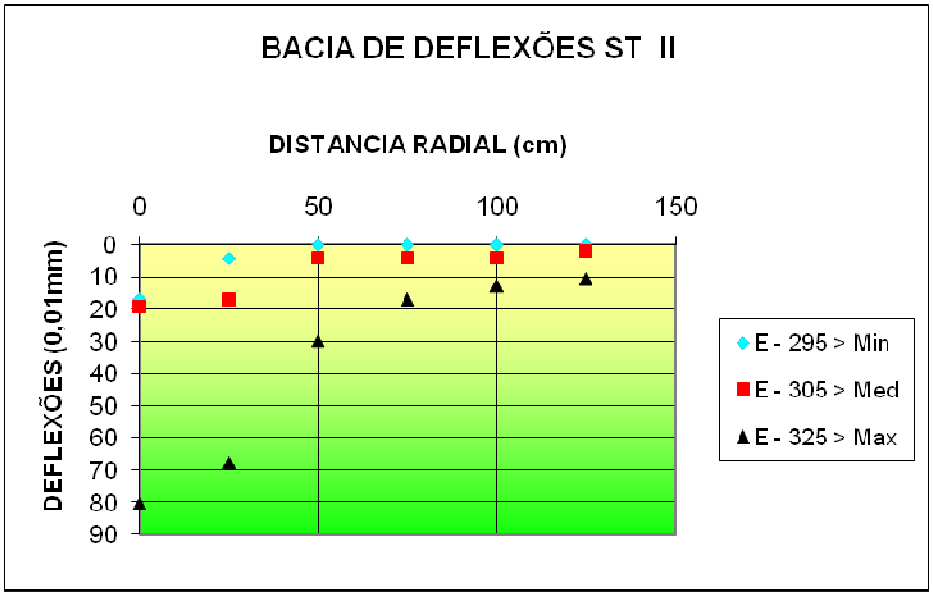
DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN
DNER - ME 024/94

Rodovia: BR 232 — Data: 06 de Julho 2006
Temperatura Ambiente: 30º C — **Trecho: Caruaru - São Caetano**
Temperatura do Revestimento: 32º C — Leituras na viga: 1 divisão = 0,01 mm
Constante da Viga: 2,12
Largura da faixa de tráfego: 7,20 m — Hora: 13:15

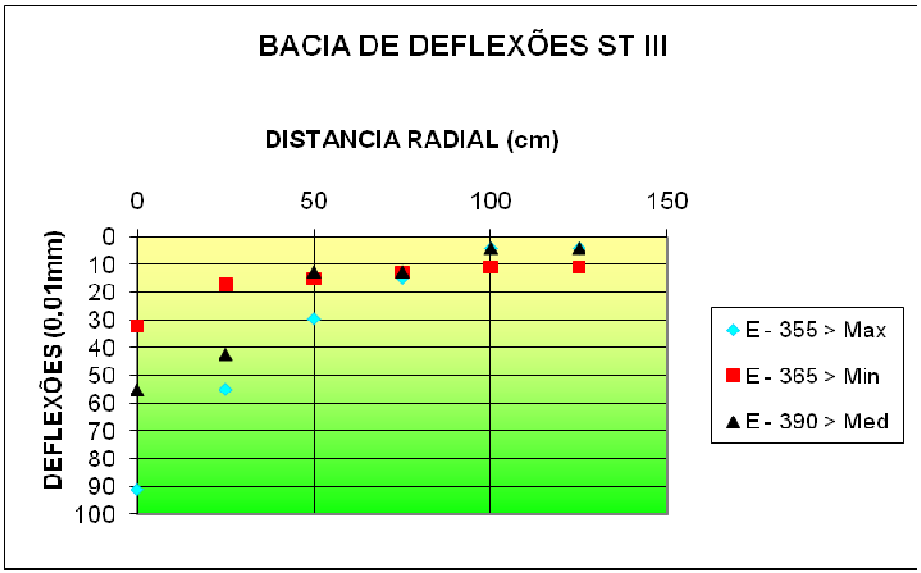
SUB-TRECHO I							
Distancia Radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
MÉDIA 240	36	19	6	2	0	0	184
MÍNIMA 255	34	13	2	0	0	0	147
MÁXIMA 260	59	45	34	17	6	0	211



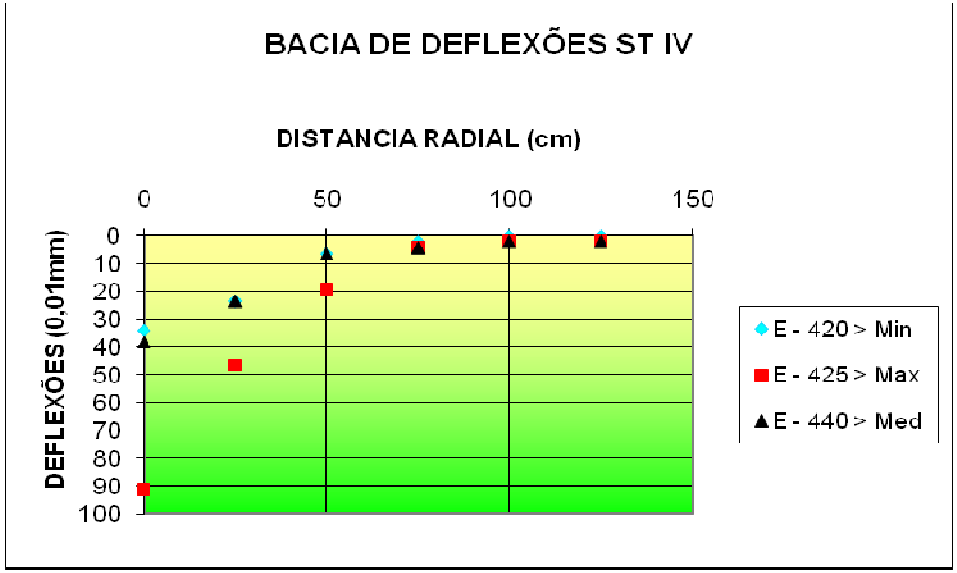
SUBTRECHO II							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 295 > Min	17	4	0	0	0	0	246
E - 305 > Med	19	17	4	4	4	2	1474
E - 325 > Max	81	68	30	17	13	11	246



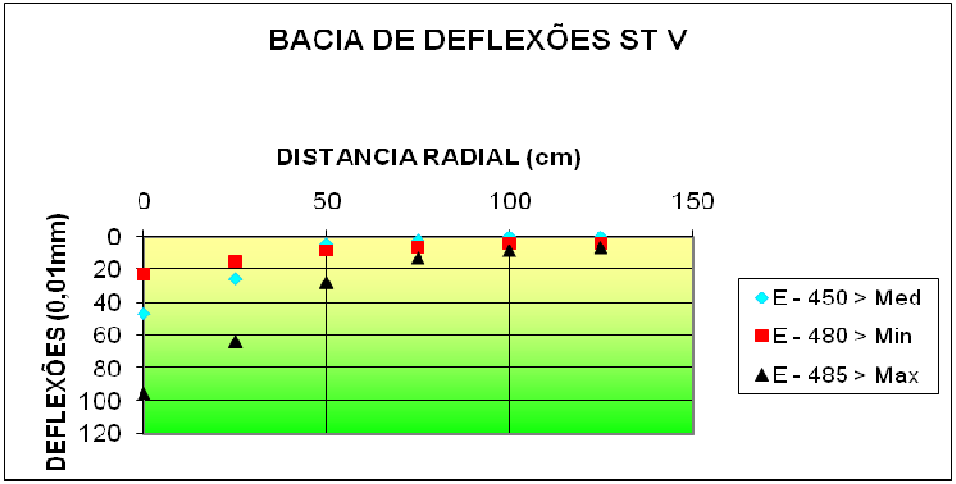
SUBTRECHO III							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 355 > Max	91	55	30	15	4	4	87
E - 365 > Min	32	17	15	13	11	11	211
E - 390 > Med	55	42	13	13	4	4	246



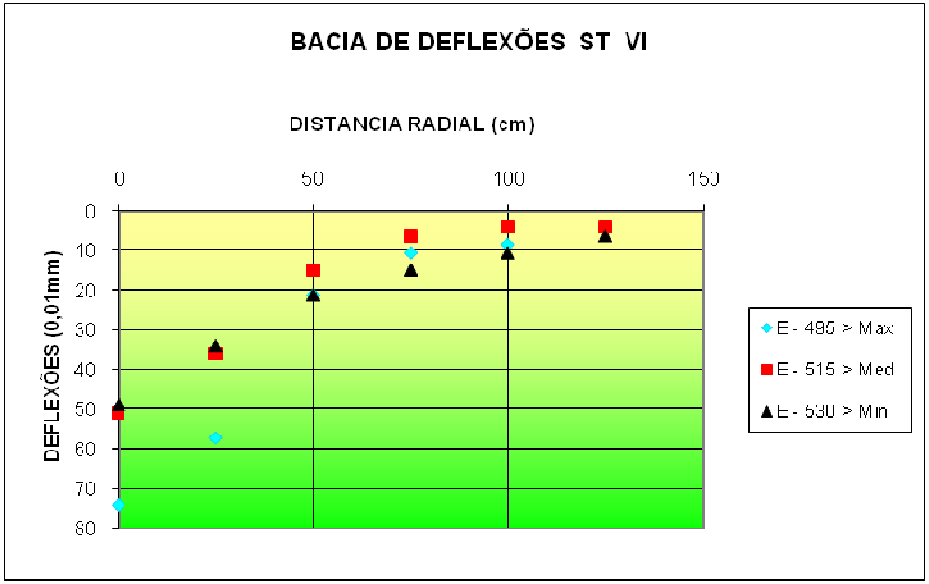
SUBTRECHO IV							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 420 > Min	34	23	6	2	0	0	295
E - 425 > Max	91	47	19	4	2	2	70
E - 440 > Med	38	23	6	4	2	2	211



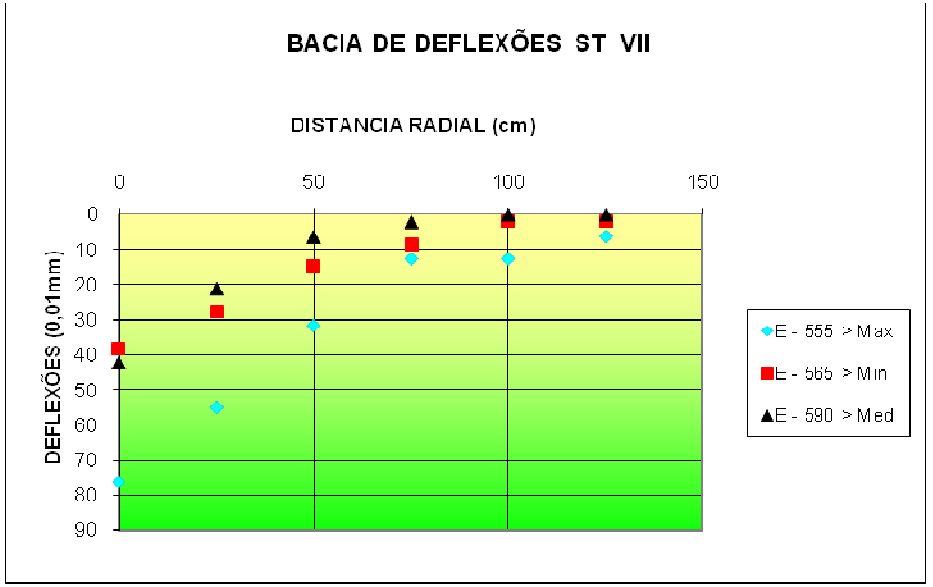
SUBTRECHO V							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 450 > Med	47	25	4	2	0	0	147
E - 480 > Min	23	15	8	6	4	4	369
E - 485 > Max	95	64	28	13	8	6	98



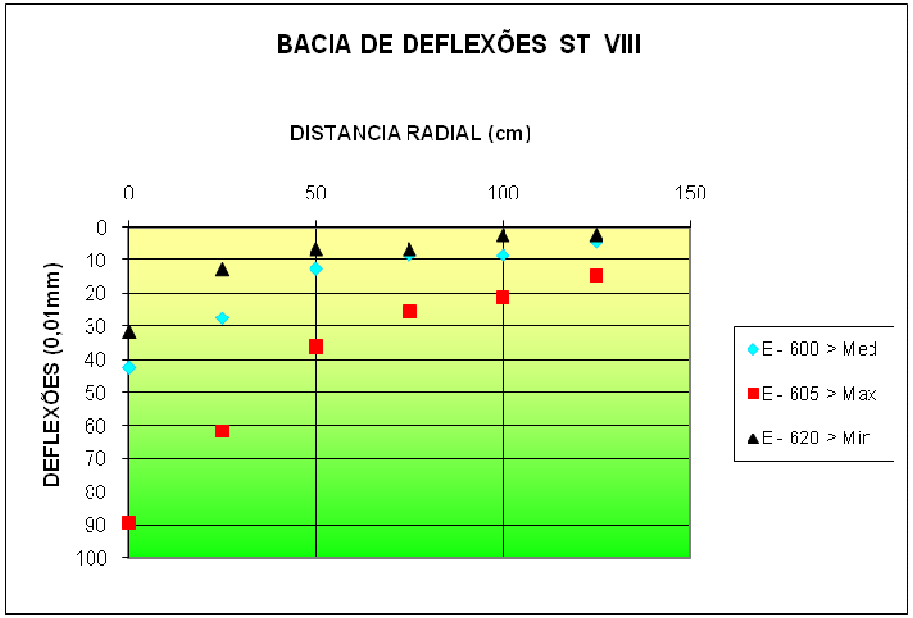
SUB-TRECHO VI							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 495 > Max	74	57	21	11	8	4	184
E - 515 > Med	51	36	15	6	4	4	211
E - 530 > Min	49	34	21	15	11	6	211



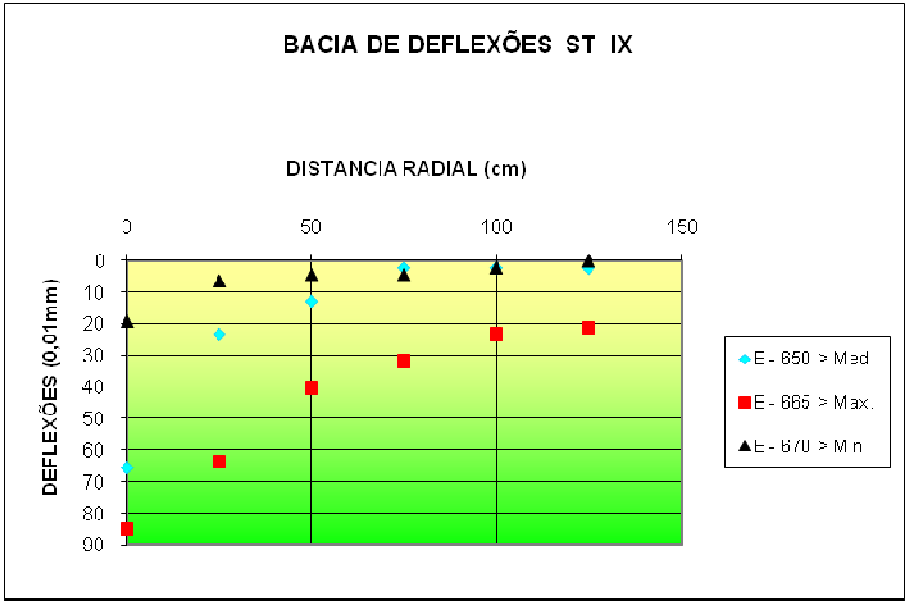
SUB-TRECHO VII							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 555 > Max	76	55	32	13	13	6	147
E - 565 > Min	38	28	15	8	2	2	295
E - 590 > Med	42	21	6	2	0	0	147



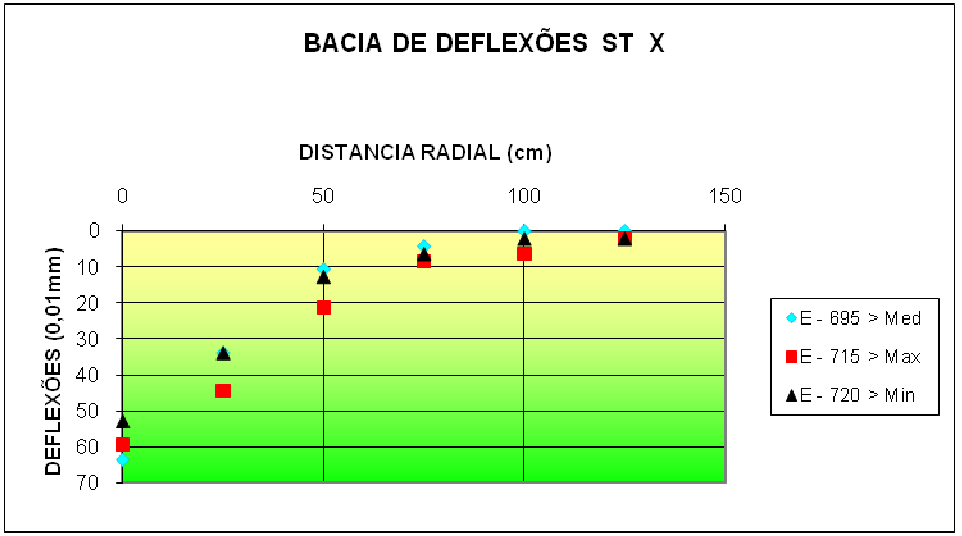
SUB-TRECHO VIII							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 600 > Med	42	28	13	8	8	4	211
E - 605 > Max	89	61	36	25	21	15	113
E - 620 > Min	32	13	6	6	2	2	164



SUB-TRECHO IX							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 650 > Med	66	23	13	2	2	2	74
E - 665 > Max.	85	64	40	32	23	21	147
E - 670 > Min	19	6	4	4	2	0	246



SUB-TRECHO X							
distancia radial (cm)	0	25	50	75	100	125	Rc (m)
E - 695 > Med	64	34	11	4	0	0	105
E - 715 > Max	59	45	21	8	6	2	211
E - 720 > Min	53	34	13	6	2	2	164



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS

DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN
DNER - ME 024/94

Rodovia: BR 232 Data: 04 de Julho 2006

Temperatura Ambiente: 28º C **Trecho: Caruaru - São Caetano - Lado Direito**
Temperatura do Revestimento: 34º C
Constante da Viga: 2,12
Largura da faixa de tráfego: 7,20 m Hora: 14:00

Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)
240	16	34
250	26	55
260	18	38
270	15	32
280	16	34
290	10	21
300	15	32
310	14	30
320	17	36
330	16	34
340	16	34
350	25	53
360	20	42
370	18	38
380	17	36
390	25	53
400	20	42
410	15	32
420	12	25
430	16	34
440	24	51
450	21	45
460	19	40
470	20	42
480	14	30
490	17	36

Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)
500	24	51
510	24	51
520	17	36
530	14	30
540	23	49
550	21	45
560	33	70
570	17	36
580	19	40
590	24	51
600	22	47
610	28	59
620	15	32
630	25	53
640	24	51
650	35	74
660	23	49
670	15	32
680	23	49
690	17	36
700	31	66
710	25	53
720	25	53
730	27	57
740	23	49

OBSERVAÇÕES

Hora	T ºC (ambiente)	T ºC (Pista)
14:00	28	34
14:30	27	32
15:00	27	31
15:30	26	29
16:00	26	28
16:30	26	28
16:45	26	28
17:00	26	28

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE PAVIMENTOS

DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN
DNER - ME 024/94

Rodovia: BR 232 Data: 05 de Julho 2006
Temperatura Ambiente: 28º C **Trecho: Caruaru - São Caetano - Lado Esquerdo**
Temperatura do Revestimento: 34º C
Constante da Viga: 2,12
Largura da faixa de tráfego: 7,20 m Hora: 11:15

Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)
245	16	34
255	10	21
265	20	42
275	18	38
285	18	38
295	10	21
305	19	40
315	24	51
325	40	85
335	21	45
345	40	85
355	44	93
365	12	25
375	16	34
385	23	49
395	17	36
405	15	32
415	18	38
425	48	102
435	32	68
445	26	55
455	32	68
465	20	42
475	18	38
485	42	89
495	35	74

Estaca	Leitura Final (LF)	Deflexão ($x10^{-2}$ mm)
505	18	38
515	21	45
525	16	34
535	25	53
545	25	53
555	36	76
565	17	36
575	25	53
585	28	59
595	27	57
605	30	64
615	18	38
625	18	38
635	25	53
645	29	61
655	27	57
665	30	64
675	34	72
685	30	64
695	28	59
705	25	53
715	33	70
725	29	61
735	9	19
745	15	32

OBSERVAÇÕES

Hora	T ºC (ambiente)	T ºC (Pista)
11:15	28	34
11:30	28	34
11:45	28	34
12:00	28	34
12:15	28	34

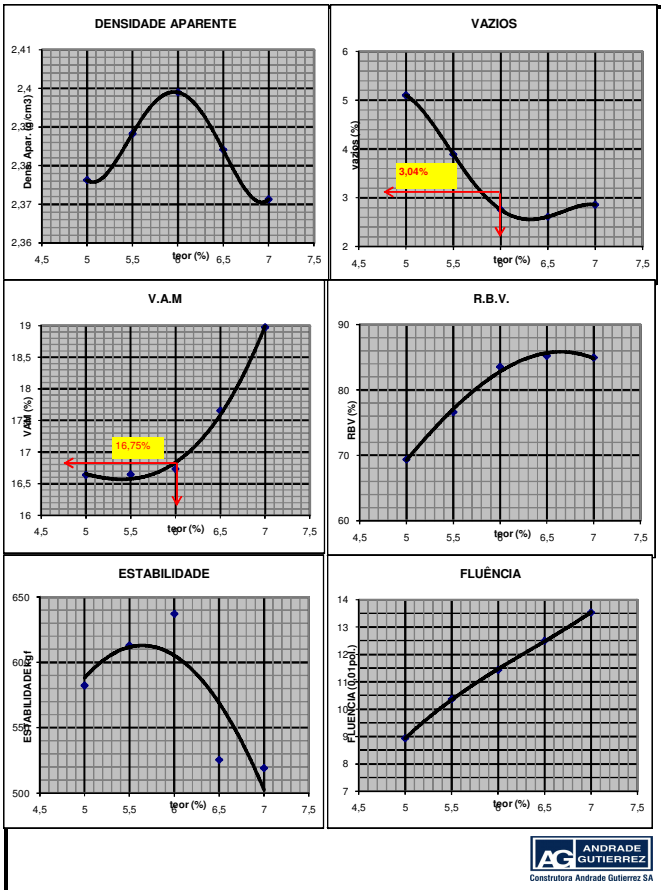
B3.4 – Informações do Executor

ENSAIO MARSHALL PARA COMPOSIÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS

CBUQ FAIXA "C"

Construtora Andrade Gutierrez SA

CORPO DE PROVA Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	DENSIDADE %		%				LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE Constante 1,959			FLUÊNCIA
				NO AR	NA ÁGUA		APARENTE	TEÓRICO	VAZIOS %	VCB	VAM	RBV		LIDA	CORREÇÃO	CORRIGIDA	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	O	P	Q	R	S
	POR PESO DE AGREGADO	POR PESO DE MISTURA	Cm	G	G	Cm3	D/F	100,000 / (%LIG/D.LIG + %AGR/D.AGR.)	B X G / D. LIG.	(100 - B) G / D. Agr.	100 - i -j	100 - j	-	Kg	USAR TABELA	Kg	1 " / 100
1	-	5,0	-	1192,1	692,3	499,8	2,385	2,504	4,75	11,58	16,32	70,93	280	549	1,03	565	9,3
2		5,0		1201,5	696,8	504,7	2,381	2,504	4,93	11,56	16,48	70,11	290	568	1,05	597	9,3
3	-	5,0	-	1181,3	681,3	500,0	2,363	2,504	5,63	11,47	17,10	67,07	290	568	1,03	585	8,2
MÉDIA	**-**	**5,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,376**		**5,10**	**11,54**	**16,64**	**69,37**	**-**	**-**		**582**	**8,9**
4	-	5,5	-	1195,6	694,6	501,0	2,386	2,485	3,97	12,74	16,71	76,26	300	588	1,08	635	12,5
5		5,5		1196,5	695,4	501,1	2,388	2,485	3,91	12,75	16,66	76,51	290	568	1,06	602	9,3
6	-	5,5	-	1192,7	693,8	498,9	2,391	2,485	3,80	12,77	16,56	77,08	290	568	1,06	602	9,3
MÉDIA	**-**	**5,5**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,388**		**3,89**	**12,75**	**16,65**	**76,62**		**-**	**-**	**613**	**10,4**
7	-	6,0	-	1191,6	694,3	497,3	2,396	2,467	2,87	13,96	16,83	82,93	310	607	1,04	632	9,3
8		6,0		1188,7	692,6	496,1	2,396	2,467	2,87	13,96	16,83	82,92	310	607	1,04	632	12,5
9	-	6,0	-	1193,7	697,3	496,4	2,405	2,467	2,52	14,01	16,53	84,73	315	617	1,05	648	12,5
MÉDIA	**-**	**6,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,399**		**2,76**	**13,97**	**16,73**	**83,53**		**-**	**-**	**637**	**11,4**
10	-	6,5	-	1186,3	688,3	498,0	2,382	2,448	2,69	15,03	17,72	84,82	240	470	1,09	512	12,5
11		6,5		1179,4	685,9	493,5	2,390	2,448	2,37	15,08	17,46	86,40	250	490	1,09	534	12,5
12	-	6,5	-	1176,8	682,4	494,4	2,380	2,448	2,77	15,02	17,79	84,44	260	509	1,04	530	12,5
MÉDIA	**-**	**6,5**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,384**		**2,61**	**15,05**	**17,66**	**85,22**	**-**	**-**	**-**	**525**	**12,5**
13	-	7,0	-	1186,4	684,1	502,3	2,362	2,441	3,24	16,05	19,29	83,21	245	480	1,10	528	15,6
14		7,0		1181,1	685,1	496,0	2,381	2,441	2,45	16,18	18,63	86,86	240	470	1,09	512	12,5
15	-	7,0	-	1150,7	665,3	485,4	2,371	2,441	2,88	16,11	18,99	84,82	240	470	1,10	517	12,5
MÉDIA	**-**	**7,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,371**		**2,86**	**16,12**	**18,97**	**84,96**	**-**	**-**	**-**	**519**	**13,5**
Densidade real CAP		**1,030 kg/m³**		**Densidade real dos agregados**		D >= 4 **2,765**	PÓ **2,735**	AREIA **2,653**	FILLER **2,727**	**Densidade real da mistura**			**2,708kg/m3**				



Construtora Andrade Gutierrez SA

RESUMO/GRÁFICO/CBUQ C

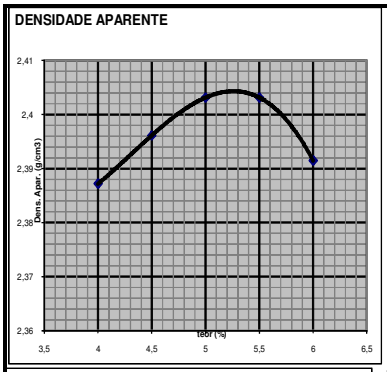
Densidade Aparente:	2,40 g/cm³	**V.A.M.**	16,8%	**Estabilidade:**	610	**Teor**
Vazios:	3,0%	**R.B.V.**	82,0%	**Fluência:**	11,2	5,90%
Rodovia:	BR 232			Data:	8/10/2005	
Trecho:	CARUARU - SAO CAETANO			Laboratorista:	José Luiz	

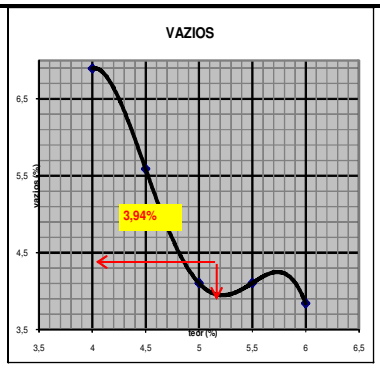
ENSAIO MARSHALL PARA COMPOSIÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS

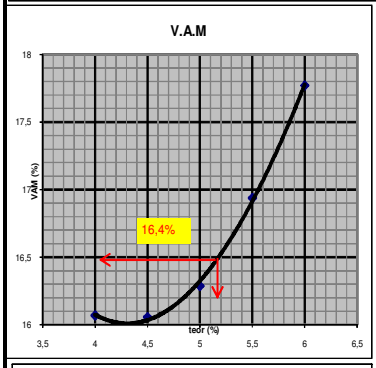
CBUQ FAIXA "B"

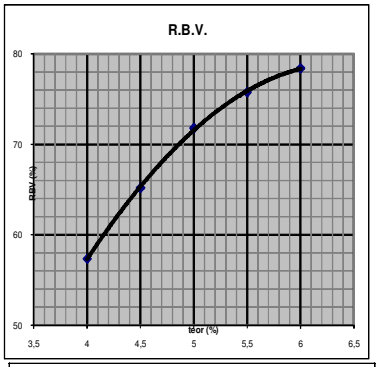
Construtora Andrade Gutierrez SA

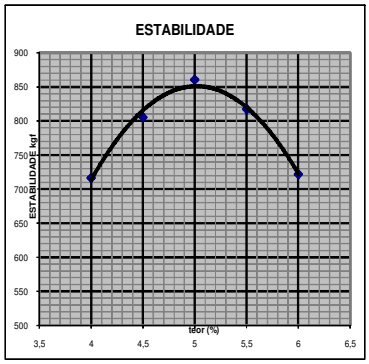
Nº DE CORPO DE PROVA	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	DENSIDADE %		%				LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE Constante 1,959			FLUÊNCIA
				NO AR	NA ÁGUA		APARENTE	TEÓRICO	VAZIOS %	VCB	VAM	RBV		LIDA	CORREÇÃO	CORRIGIDA	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	O	P	Q	R	S
	POR PESO DE AGREGADO	POR PESO DE MISTURA	Cm	G	G	Cm3	D/F	100,000 / (%LIG/D.LIG + %AGR/D.AGR.)	B X G / D. LIG.	(100 - B) G / D. Agr.	100 - i -j	100 - j	-	Kg	USAR TABELA	Kg	1 " 100
1	-	4,0	-	1174,9	683,3	491,6	2,390	2,564	6,79	9,28	16,07	57,76	355	695	1,05	730	6,2
2		4,0		1175,4	681,2	494,2	2,378	2,564	7,24	9,24	16,48	56,06	352	690	1,04	717	9,4
3	-	4,0	-	1180,6	687,3	493,3	2,393	2,564	6,66	9,29	15,95	58,26	348	682	1,03	702	6,2
MÉDIA	**-**	**4,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,387**		**6,90**	**9,27**	**16,17**	**57,36**	**-**	**-**		**717**	**7,3**
4	-	4,5	-	1195,3	696,4	498,9	2,396	2,538	5,60	10,47	16,07	65,15	392	768	1,03	791	9,4
5		4,5		1170,5	683,1	487,4	2,402	2,538	5,38	10,49	15,87	66,11	400	784	1,02	799	12,5
6	-	4,5	-	1175,2	683,7	491,5	2,391	2,538	5,79	10,45	16,24	64,34	394	772	1,07	826	12,5
MÉDIA	**-**	**4,5**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,396**		**5,59**	**10,47**	**16,06**	**65,20**		**-**	**-**	**805**	**11,5**
7	-	5,0	-	1165,3	682,1	483,2	2,412	2,525	4,49	11,71	16,20	72,28	428	838	1,07	897	12,5
8		5,0		1161,8	679,2	482,6	2,407	2,525	4,66	11,69	16,34	71,50	420	823	1,03	847	12,5
9	-	5,0	-	1151,3	673,2	478,1	2,408	2,525	4,63	11,69	16,32	71,63	415	813	1,03	837	15,6
MÉDIA	**-**	**5,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,409**		**4,59**	**11,69**	**16,29**	**71,80**		**-**	**-**	**861**	**13,5**
10	-	5,5	-	1170,2	684,2	486,0	2,408	2,506	3,92	12,86	16,78	76,64	402	788	1,03	811	15,6
11		5,5		1187,6	692,8	494,8	2,400	2,506	4,22	12,82	17,04	75,21	398	780	1,06	826	15,6
12	-	5,5	-	1183,9	690,9	493,0	2,401	2,506	4,17	12,82	17,00	75,45	404	791	1,03	815	15,6
MÉDIA	**-**	**5,5**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,403**		**4,10**	**12,83**	**16,94**	**75,77**	**-**	**-**	**-**	**818**	**15,6**
13	-	6,0	-	1150,3	669,7	480,6	2,393	2,487	3,76	13,94	17,70	78,76	350	686	1,05	720	15,6
14		6,0		1170,2	682,0	488,2	2,397	2,487	3,62	13,96	17,58	79,41	348	682	1,06	723	18,7
15	-	6,0	-	1155,3	670,7	484,6	2,384	2,487	4,14	13,89	18,03	77,03	345	676	1,07	723	18,7
MÉDIA	**-**	**6,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**2,391**		**3,84**	**13,93**	**17,77**	**78,40**	**-**	**-**	**-**	**722**	**17,7**
Densidade real CAP		**10,30 kg/m³**		**Densidade real dos agregados**		D >= 4 **2,765**	PÓ **2,735**	AREIA **2,653**	FILLER **2,727**	**Densidade real da mistura**			**2,732Kg/m3**				

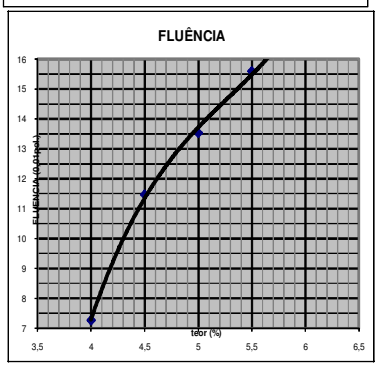










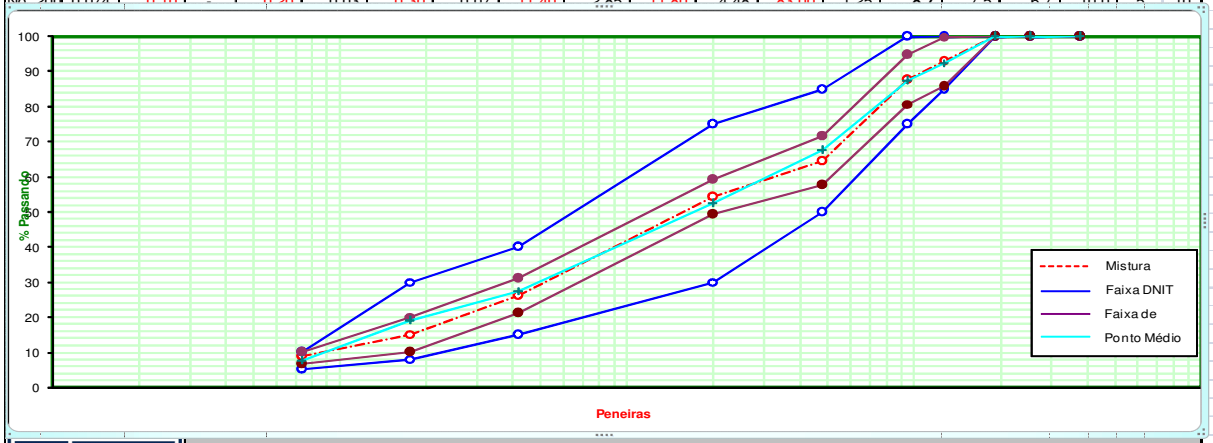


ANDRADE GUTIERREZ
Construtora Andrade Gutierrez SA

RESUMO/GRÁFICO/CBUQ B

Densidade Aparente:	2,40 g/cm³	**V.A.M.**	16,4%	**Estabilidade:**	860	**Teor**
Vazios:	4,0%	**R.B.V.**	72,0%	**Fluência:**	14	5,10%
Rodovia:	BR 232			Data:	8/10/2005	
Trecho:	CARUARU - SAO CAETANO			Laboratorista:	José Luiz	

Peneiras		B 25	0,0%	B 19	13,0%	B 12	22,5%	PÓ	25,0%	Areia	38,0%	Filler	1,5%	Gran. Mist.	Ponto Médio	Faixa de Trabalho		Faixa " C " do DNIT	
Pol	mm																		
2"	50,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
1 1/2"	38,1	100	-	100	13,00	100	22,50	100	25,00	100	38,00	100	1,50	**100,0**	100	100	100	100	
1"	25,4	99,40	-	100	13,00	100	22,50	100	25,00	100	38,00	100	1,50	**100,0**	100,0	100	100	100	100
3/4"	19,1	42,90	-	100	13,00	100	22,50	100	25,00	100	38,00	100	1,50	**100,0**	100,0	100	100	100	100
1/2"	12,7			45,40	5,90	100	22,50	100	25,00	100	38,00	100	1,50	**92,9**	92,5	85,9	99,9	85	100
3/8"	9,5	0,60	-	10,20	1,33	97,50	21,94	100	25,00	100	38,00	100	1,50	**87,8**	87,5	80,8	94,8	75	100
No. 4	4,8	0,50	-	1,10	0,14	3,30	0,74	96,80	24,20	100	38,00	100	1,50	**64,6**	67,5	57,6	71,6	50	85
No. 10	2,0	0,40	-	0,60	0,08	1,20	0,27	64,80	16,20	95,30	36,21	100	1,50	**54,3**	52,5	49,3	59,3	30	75
No. 40	0,42	0,30	-	0,40	0,05	0,90	0,20	34,30	8,58	41,80	15,88	96,70	1,45	**26,2**	27,5	21,2	31,2	15	40
No. 80	0,177	0,20	-	0,30	0,04	0,70	0,16	21,30	5,33	21,70	8,25	90,80	1,36	**15,1**	19,0	10,1	20,1	8	30
No. 200	0,074	0,10	-	0,20	0,03	0,30	0,07	11,40	2,85	11,80	4,48	83,00	1,25	**8,7**	7,5	6,7	10,0	5	10



ANDRADE GUTIERREZ
Construtora Andrade Gutierrez SA

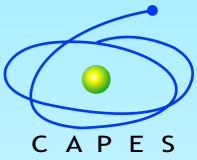
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS DA MISTURA
CBUQ Faixa "C"

Rodovia	: BR 232	**Operador**	EQUIPE	
		Calculista	JOSÉ LUIZ	
Trecho	: CARUARU - SÃO CAETANO	**Data**	08-out-05	**VISTO LAB.:**

Peneiras		Gran. Mist.	Ponto Médio	Faixa de Trabalho		Faixa " C " do DNER	
Pol	mm						
2"	50,8	-					
1 1/2"	38,1	**100,0**	100,0	100	100	100	100
1"	25,4	**100,0**	100,0	100	100	100	100
3/4"	19,1	**100,0**	100,0	100	100	100	100
1/2"	12,7	**92,9**	92,5	85,9	99,9	85	100
3/8"	9,5	**87,8**	87,5	80,8	94,8	75	100
No. 4	4,8	**64,6**	67,5	57,6	71,6	50	85
No. 10	2,0	**54,3**	52,5	49,3	59,3	30	75
No. 40	0,42	**26,2**	27,5	21,2	31,2	15	40
No. 80	0,177	**15,1**	19,0	10,1	20,1	8	30
No. 200	0,074	**8,7**	7,5	6,7	10,0	5	10

Universidade Federal
de Campina Grande

Departamento
de Engenharia Civil



Coordenação de Aperfeiçoamento
de Pessoas de Nível Superior

Centro de Tecnologia
e Recursos Naturais

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Secretaria
Fone: (83) 3310-1050
Departamento de Engenharia Civil
Av. Aprígio Veloso, 882 - Bloco CM - 1º Andar - CEP:58.109-970
Campina Grande - PB
http://www.coenge.ufcg.edu.br
E-mail: coenge@dec.ufcg.edu.br

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo