



**Gerson Alves Bastos**

**Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas  
Reforçadas com Geogrelhas para Pavimentos Flexíveis**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Michéle Dal Toé Casagrande  
Co-orientadora: Laura Maria Goretti da Motta

Rio de Janeiro, abril de 2010



**Gerson Alves Bastos**

**Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas  
Reforçadas com Geogrelhas para Pavimentos Flexíveis**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela  
Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Michéle Dal Toé Casagrande**

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Laura Maria Goretti da Motta**

Co-orientadora

UFRJ/COPPE

**Ben-Hur de Albuquerque e Silva**

IME/RJ

**Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão**

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Anna Laura Lopes da Silva Nunes**

UFRJ/COPPE

**José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 16 de abril de 2010

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e da orientadora.

### **Gerson Alves Bastos**

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade de Feira de Santana (UEFS), em 2007, iniciando o curso de mestrado em Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) em 2008, desenvolvendo Dissertação na linha de pesquisa de Geotecnia Experimental aplicada a pavimentos.

#### Ficha Catalográfica

Bastos, Gerson Alves

Comportamento mecânico de misturas asfálticas reforçadas com geogrelhas para pavimentos flexíveis / Gerson Alves Bastos; orientadora: Michéle Dal Toé Casagrande; co-orientadora: Laura Maria Goretti da Motta. – 2010.

247 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Misturas asfálticas. 3. Pavimentos reforçados. 4. Geossintéticos. 5. Geogrelhas. 6. Ensaio mecânicos. 7. Módulo resiliente. 8. Fadiga. I. Casagrande, Michéle Dal Toé. II. Motta, Laura Maria Goretti da. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Dedico esta Dissertação a meus pais  
Gerson Oliveira Bastos e Lícia Luiza Alves Bastos

## Agradecimentos

Devo aqui expressar minha gratidão àqueles que me ajudaram e foram meu apoio nos momentos em que vivi esta dissertação.

DEUS, pois do Senhor viemos e ao Senhor voltaremos.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram a fazer a Pós-Graduação.

Ao meu pai, exemplo de tudo que uma pessoa deve ser na vida.

À minha mãe, exemplo de tudo que uma pessoa deve ser na vida.

Aos meus irmãos, Fátima e Helder.

Aos meus sobrinhos, Júlia e Henrique.

Aos meus avós.

Aos amigos da PUC-Rio, em especial: Gino Omar (com quem por inúmeras noites e dias passávamos estudando na minha estimada sala 607c), Luis Fernando, Nilthson, Juliana, Phillip, Antônio... Enfim, a todos que viveram comigo esta etapa.

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

A todos os professores do curso de Geotecnia da PUC-Rio, em especial a Alberto Sayão. Aos professores Anna Laura e Ben-Hur, pela preciosa participação na banca examinadora.

Ao amigo Sergio Takeshima.

À Tatiana Kurata, uma pessoa muito especial em minha vida.

À minha tia Luizinha e aos meus primos que moram no Rio de Janeiro.

À Marise Barbosa, por ter muito me ajudado quando precisava.

Aos amigos em Feira de Santana, em especial a Gutemberg.

A todo pessoal do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, em especial a Rita de Cássia.

E claro, às minhas queridas orientadoras Michéle Casagrande e Laura Motta, pelos ensinamentos e por todos os momentos em que pudemos viver as dificuldades, que nos tornaram um pouco mais amadurecidos.

Às empresas que cederam os materiais utilizados nesta pesquisa.

E à CAPES, agência financiadora desta pesquisa.

## Resumo

Bastos, Gerson Alves; Casagrande, Michéle Dal Toé; Motta, Laura Maria Goretti. **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Reforçadas com Geogrelhas para Pavimentos Flexíveis.** Rio de Janeiro, 2010. 247 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas reforçadas com geogrelhas. Inicialmente foram previstos ensaios a serem executados em um modelo físico de verdadeira grandeza. Entretanto, devido a um comprometimento estrutural localizado num dos componentes deste modelo físico durante a realização dos ensaios, optou-se por interromper a execução destes e então, elaborar um programa experimental de laboratório, que consistia da extração de amostras deste modelo físico de verdadeira grandeza e moldagem de corpos de prova por amassamento através de compactador giratório. Cada conjunto de amostras (extraídas e moldadas) possuía corpos de prova sem ou com reforço, onde foram estudados dois tipos de geogrelha (de fibra de vidro e poliéster). Foram realizados os ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Resiliência, Fadiga por compressão diametral sob carga controlada e Tração em Disco Circular com Fenda. Os resultados dos ensaios mostraram que a presença do reforço de geogrelha melhorou o comportamento mecânico das misturas asfálticas, com a tendência de maior resistência à fratura, fato este evidenciado principalmente pelo ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda, onde tais corpos de prova não atingiram o critério de finalização do ensaio (redução da carga aplicada a 0,10 kN). Nos ensaios de fadiga constatou-se que a melhor influência das geogrelhas ocorre para os menores níveis de tensão aplicada, sendo que nesta condição é permitido um maior período para as geogrelhas se deformarem, condição essencial para sua atuação como elemento com a função de atrasar a propagação de trincas. Constatou-se uma melhoria significativa nos resultados obtidos com as amostras reforçadas com as grelhas, tendo as amostras com camada de geogrelha de poliéster apresentado os melhores resultados.

## Palavras-chave

Reforço de Pavimentos; Geogrelhas, Ensaios Mecânicos; Ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda.

## Abstract

Bastos, Gerson Alves; Casagrande, Michéle Dal Toe (Advisor); Motta, Laura Maria Goretti (Co-Advisor). **Mechanical Behavior of Asphalt Mixtures Reinforced with Geogrid for Flexible Pavements**. Rio de Janeiro, 2010. 247 p. MSC. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this study was to evaluate the mechanical behavior of geogrid reinforced asphalt mixtures. Initially tests were planned to be executed on a physical model, however, this tests had to be stopped due to structural problems. Samples were extracted from the physical model and samples were shaped through gyratory compaction, both for analyze the mechanical laboratory tests. Tensile Resistance (Brazilian Test), Resilient Modulus, Fatigue (controlled load) and Disk-Shaped Compact Tension Geometry Tests were carried out in extracted and shaped samples, without reinforcement and with the reinforcement of two geogrid types (fiberglass and polyester). The reinforcement improved the mechanical behavior of asphalt mixtures, with the trend of greater resistance to fracture, and this was evidenced by Disk-Shaped Compact Tension Geometry Tests, where the final criterion of the test was not reached (reduction of the applied load of 0.10 kN). The influence of geogrid is better for lower applied stress levels according with the Fatigue Tests. This condition allows the geogrid to deform for a long period, witch is essential for the performance as an element for delay crack propagation. There was a significant improvement in the results obtained with the reinforced samples, for both geogrids studied, but the polyester geogrid reached better results when compared to fiberglass geogrid.

## Keywords

Reinforced Pavements; Geogrids, Mechanical Tests; Disk-Shaped Compact Tension Geometry Test.

# Sumário

<b>1 Introdução</b>	25
1.1. Objetivos	27
1.2. Estrutura da Dissertação	28
 <b>2 Revisão Bibliográfica</b>	 30
2.1. Ruptura de Pavimentos Asfálticos	30
2.1.1. Fadiga	31
2.2. Trincas em Pavimentos Asfálticos	51
2.2.1. Origens	52
2.2.2. Tipos de Trincamento	57
2.2.3. Trincamento por Reflexão (Mecanismo)	60
2.3. Mecânica da Fratura	66
2.4. Métodos de Combate à Reflexão de Trincas em Pavimentos	71
2.4.1. Camadas de Reforço de Pavimentos Flexíveis	71
2.4.1.1. Recapeamento Convencional	71
2.4.1.2. Materiais com Característica Inibidora ou Retardadora de Trincas	72
2.4.1.2.1. Revestimento Asfáltico com Uso de Ligantes Modificados	73
2.4.1.2.2. Camadas Intermediárias	77
2.5. Geossintéticos como Camada de Reforço de Pavimentos	80
2.5.1. Histórico	80
2.5.2. Tipos de Geossintéticos	85
2.5.3. Utilização de Geogrelhas em Pavimentos	87
2.6. Considerações sobre o Ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda	97
2.7. Considerações Finais	102
 <b>3 Programa Experimental</b>	 103
3.1. Considerações Iniciais	103



3.2. Tanque-Teste de Pavimentos	104
3.2.1. Características do Tanque-Teste de Pavimentos	106
3.2.2. Estrutura do Pavimento Experimental no Tanque-Teste	111
3.2.3. Seções de Ensaio no Pavimento Experimental Reforçado com Geogrelhas	121
3.2.4. Ensaio no Pavimento Experimental	127
3.3. Metodologia	128
3.3.1. Ensaio no Tanque-Teste e Extração de Corpos-de-Prova	130
3.3.1.1. Flexão	131
3.3.1.2. Cisalhamento	135
3.3.1.3. Extração de Corpos-de-Prova do Tanque-Teste	137
3.3.2. Moldagem dos Corpos-de-Prova em Laboratório	139
3.3.3. Ensaio Mecânicos	147
3.3.3.1. Ensaio de Módulo de Resiliência por Compressão Diametral	147
3.3.3.2. Resistência à Tração por Compressão Diametral	149
3.3.3.3. Ensaio de Fadiga por Compressão Diametral	150
3.3.3.4. Ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda	151
3.4. Considerações Finais	160
<b>4 Apresentação e Análises dos Resultados</b>	161
4.1. Ensaio Dinâmico no Tanque-Teste	161
4.2. Ensaio Mecânico nos Corpos-de-Prova	165
4.2.1. Corpos-de-Prova Extraídos do Tanque-Teste	167
4.2.2. Corpos-de-Prova Moldados em Laboratório	178
4.3. Comparativo entre os Resultados dos Ensaio	191
4.4. Correlações entre os Parâmetros do Ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (Dc(T)) e Resistência à Tração Estática (Rt)	207
4.5 Considerações Finais	210
<b>5 Conclusões e Recomendações</b>	212
5.1. Conclusões	212

5.2. Recomendações	216
<b>6 Referências Bibliográficas</b>	218
<b>ANEXO A</b>	231
<b>ANEXO B</b>	245

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Tensões no interior de um pavimento	37
Figura 2.2: Limite de Fadiga (curva S-N)	39
Figura 2.3: Representação esquemática da fratura por fadiga	42
Figura 2.4: Propagação de trincas em mistura asfáltica	57
Figura 2.5: Distribuição de tensões na extremidade da trinca	57
Figura 2.6: Trinca de fadiga de baixo nível de severidade	59
Figura 2.7: Trinca de fadiga de médio nível de severidade	60
Figura 2.8: Trincas de fadiga (tipo “couro-de-jacaré”) de alto nível de severidade	60
Figura 2.9: Movimentações possíveis de uma trinca	66
Figura 2.10: Comparação entre a Mecânica dos Meios Contínuos e a Mecânica da Fratura	67
Figura 2.11: Curva esquemática de $dc/dN$ versus $K$	71
Figura 2.12: Comparação entre diferentes geometrias de corpos de prova para ensaio de fratura	101
Figura 2.13: Dimensões do corpo de prova para ensaio em Disco Circular com Fenda	
Figura 3.1: Planta Baixa do Tanque-Teste de Pavimentos	106
Figura 3.2 – Prédio onde está localizado o Tanque – teste de Pavimentos	107
Figura 3.3: Piezômetro e Tubulação para abastecimento de água no interior do tanque	108
Figura 3.4: Planta Baixa do Tanque-Teste de Pavimentos (medidas em metros)	109
Figura 3.5: Esquema do posicionamento de alguns dos componentes do Tanque-Teste de Pavimentos (TDRs, células de carga e camada de brita) no interior da estrutura	110
Figura 3.6: Cilindro aplicador de cargas e LVDTs no tanque-teste	110
Figura 3.7: Sistema de aquisição de dados e células de carga utilizadas no Tanque – Teste	111
Figura 3.8: Esquema das camadas do pavimento experimental	113

Figura 3.9: Curva de Vida de Fadiga em função da diferença de tensões da mistura asfáltica	121
Figura 3.10: Curva de Vida de Fadiga em função da deformação específica resiliente da mistura asfáltica	121
Figura 3.11: Configuração esquemática do Tanque-Teste após execução das seções-teste e das trincas artificiais, e locais em que foi feito poços e extraído corpos-de-prova	123
Figura 3.12: Configuração das três seções-teste e das trincas produzidas de modo artificial	123
Figura 3.13: Locais em que foram extraídos materiais do pavimento experimental	124
Figura 3.14: Projeção dos cortes delimitando as seções-teste e das trincas artificiais	125
Figura 3.15: Aspecto da geogrelha de fibra de vidro usada neste estudo	126
Figura 3.16: Geogrelhas de poliéster (revestida com betume) e de fibra de vidro usadas neste estudo, dispostas lado a lado	126
Figura 3.17: Passos da montagem do experimento no Tanque – teste	127
Figura 3.18: Cilindros de carga utilizados nesta pesquisa (êmbolo: 160 mm e 200 mm)	129
Figura 3.19: Fluxograma das etapas previstas para realização desta pesquisa	131
Figura 3.20: Configuração do primeiro ensaio para etapa de flexão – Seção teste 1	133
Figura 3.21: Local do ensaio (FL1) em que foi observada apenas ruptura localizada do revestimento asfáltico	133
Figura 3.22: Calibração do novo cilindro de carga no tanque – teste neste estudo	135
Figura 3.23: Comparação entre os perfis metálicos: inicialmente disponível e atual	136
Figura 3.24: Representação esquemática da atual configuração da placa de carregamento	137

Figura 3.25: Ensaio por cisalhamento com a placa metálica retangular (área de 450 cm <sup>2</sup> )	137
Figura 3.26: Extração de corpos-de-prova do tanque-teste	139
Figura 3.27: Corpos de prova extraídos e faceados: a) seção-teste sem geogrelha; b) seção-teste de geogrelha de fibra de vidro e c) seção-teste de geogrelha de poliéster	140
Figura 3.28: Gráfico Viscosidade versus Temperatura do ligante REPLAN	143
Figura 3.29: Compactador Giratório para moldagem de corpos-de-prova do Laboratório de Pavimentos da COPPE/UFRJ	145
Figura 3.30: Aplicação de emulsão asfáltica na primeira metade do corpo-de-prova moldado	146
Figura 3.31: Colocação da camada intermediária (no caso apenas como ilustração, é mostrada a geogrelha de fibra de vidro utilizada)	146
Figura 3.32: Reaplicação de emulsão asfáltica sobre a geogrelha	146
Figura 3.33: Corpo de prova após conclusão da compactação neste estudo	147
Figura 3.34: Corpos de prova após moldagem em laboratório	147
Figura 3.35: Equipamento e execução de ensaio de Módulo de Resiliência na COPPE	149
Figura 3.36: Equipamento e ensaio de Resistência à tração estática	151
Figura 3.37: Esquema do Ensaio de Fadiga por compressão diametral	152
Figura 3.38: Execução dos furos de carregamento nos corpos de prova	154
Figura 3.39: Execução da pré-trinca e do chanfro nos corpos de prova para ensaio de tração	155
Figura 3.40: Corpos de prova moldados com pintura branca na provável região de propagação da trinca	156
Figura 3.41: Dimensões das placas de alumínio utilizadas para acoplagem do clip-on-gage	157
Figura 3.42: Câmara de condicionamento de temperatura das amostras utilizadas	157

Figura 3.43: Corpo de prova com termopar para controle de temperatura, dentro da câmara de condicionamento (HIRSCH, 2009)	158
Figura 3.44: Garras utilizadas para fixação do corpo-de-prova na prensa de carregamento do ensaio	159
Figura 3.45: Prensa utilizada para realização dos ensaios no Laboratório de Estruturas da COPPE/UFRJ	159
Figura 3.46: <i>Clip - on - gage</i> empregado nos ensaios de tração neste estudo	160
Figura 3.47: Configuração final para o início do ensaio de tração em disco com fenda (garras de carregamento, corpo-de-prova e clip-on-gage)	161
Figura 4.1: Deslocamento plástico (no local referente à trinca FL3) em função do número de golpes aplicados	163
Figura 4.2: Deslocamento elástico (no local referente à trinca FL3) em função do número de golpes aplicados	164
Figura 4.3: Deslocamento plástico no local referente à trinca C3 em função do número de golpes aplicados	164
Figura 4.4: Deslocamento elástico no local referente à trinca C3 em função do número de golpes aplicados	165
Figura 4.5: Tela principal do software TRAPEZIUM X (HIRSCH, 2009)	168
Figura 4.6: Gráfico Carga versus Abertura da trinca para os corpos-de-prova extraídos da Seção-Teste 1	171
Figura 4.7: Corpo-de-prova cuja fratura ocorreu através de um dos furos de carregamento	171
Figura 4.8: Gráfico Carga versus Abertura da trinca para os corpos-de-prova extraídos da Seção-Teste 2	174
Figura 4.9: Gráfico Carga versus Abertura da trinca para os corpos-de-prova extraídos da Seção-Teste 3	177
Figura 4.10: Gráfico de Vida de Fadiga (número de golpes versus diferença de tensões) para os corpos-de-prova moldados sem presença de camada intermediária de geogrelha	182
Figura 4.11: Gráfico de Vida de Fadiga (número de golpes versus	182

deformação específica resiliente) para os corpos-de-prova moldados sem presença de camada intermediária de geogrelha	
Figura 4.12: Corpo-de-prova sem geogrelha (SG 13904) com ruptura no furo de carregamento	183
Figura 4.13: Gráfico Carga versus Abertura da trinca para o corpo-de-prova (SG 13921)	184
Figura 4.14: Gráfico de Vida de Fadiga (número de golpes versus diferença de tensões) para os corpos-de-prova moldados com a presença de camada intermediária de geogrelha de fibra de vidro	186
Figura 4.15: Gráfico de Vida de Fadiga (número de golpes versus deformação específica resiliente) para os corpos-de-prova moldados com a presença de camada intermediária de geogrelha de fibra de vidro	187
Figura 4.16: Gráfico Carga versus Abertura da trinca para o corpo-de-prova FV 13891	188
Figura 4.17: Gráfico de Vida de Fadiga (número de golpes versus diferença de tensões) para os corpos-de-prova moldados com a presença de camada intermediária de geogrelha de poliéster	190
Figura 4.18: Gráfico de Vida de Fadiga (número de golpes versus deformação específica resiliente) para os corpos-de-prova moldados com a presença de camada intermediária de geogrelha de poliéster	191
Figura 4.19: Corpo-de-prova (HT 13867) com camada intermediária de geogrelha de poliéster cuja ruptura ocorreu em um dos furos de carregamento	191
Figura 4.20: Gráfico Carga versus Abertura da trinca para o corpo-de-prova (HT)	192
Figura 4.21: Valores médios de Resistência à Tração Estática (SG: sem geogrelha; FV: geogrelha de fibra de vidro e HT: geogrelha de poliéster) das amostras deste estudo	193
Figura 4.22: Valores médios de Módulo de Resiliência das amostras deste estudo	193
Figura 4.23: Relação entre Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Tração (RT) para os corpos-de-prova extraídos	194

Figura 4.24: Valores médios de energia de fratura para os corpos-de-prova ensaiados (DC(T))	195
Figura 4.25: Valores médios da carga máxima dos corpos-de-prova ensaiados (DC(T))	195
Figura 4.26: Correlação entre MR/RT e Energia de fratura para os corpos-de-prova ensaiados	196
Figura 4.27: Valores médios recalculados de energia de fratura para os corpos-de-prova ensaiados (DC(T)), excluindo-se os corpos-de-prova de valores discrepantes	197
Figura 4.28: Valores médios recalculados da carga máxima dos corpos-de-prova ensaiados (DC(T)), excluindo-se os corpos-de-prova de valores discrepantes	197
Figura 4.29: Correlação entre MR/RT e Energia de fratura para os corpos-de-prova ensaiados, excluindo-se os corpos-de-prova de valores discrepantes	197
Figura 4.30: Valores médios de Resistência à Tração Estática (SG: sem geogrelha; FV: geogrelha de fibra de vidro e HT: geogrelha de poliéster)	199
Figura 4.31: Valores médios de Módulo de Resiliência para os corpos de prova moldados no compactador giratório	200
Figura 4.32: Relação entre Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Tração (RT) para os corpos-de-prova moldados	200
Figura 4.33: Curvas de fadiga para os corpos-de-prova (sem geogrelha, geogrelha de fibra de vidro e de poliéster)	203
Figura 4.34: Exemplo de corpos-de-prova rompido ao final do ensaio de fadiga: a) corpos-de-prova com presença de geogrelha e b) corpo-de-prova sem camada de geogrelha	203
Figura 4.35: Valores médios de energia de fratura para os corpos-de-prova ensaiados (DC(T))	204
Figura 4.36: Valores médios da carga máxima dos corpos-de-prova ensaiados (DC(T))	204
Figura 4.37: Correlação entre MR/RT e Energia de fratura para os corpos-de-prova ensaiados	205



Figura 4.38: Correlação entre RT e Gf para os corpos-de-prova extraídos sem geogrelha (SG), com geogrelha de fibra de vidro (FV) e geogrelha de poliéster (HT), além dos corpos-de-prova obtidos de HIRSCH (2009)	210
Figura 4.39: Correlação entre RT e Gf para os corpos-de-prova moldados sem geogrelha (SG), com geogrelha de fibra de vidro (FV) e geogrelha de poliéster (HT), além dos corpos-de-prova obtidos de HIRSCH (2009)	211
Figura 4.40: Corpo de prova rompido após ensaio de tração em disco circular com fenda	212
Figura A.1: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova sem presença de reforço de geogrelha (CP 13971)	232
Figura A.2: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova sem presença de reforço de geogrelha (CP 13972)	233
Figura A.3: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova sem presença de reforço de geogrelha (CP 13973)	234
Figura A.4: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova sem presença de reforço de geogrelha (CP 13975)	235
Figura A.5: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de fibra de vidro (CP 13982)	236
Figura A.6: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de fibra de vidro (CP 13985)	237
Figura A.7: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de fibra de vidro (CP 13986)	238
Figura A.8: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de fibra de vidro (CP 13987)	239
Figura A.9: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de fibra de vidro (CP 13990)	240
Figura A.10: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de poliéster (CP 13998)	241
Figura A.11: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de poliéster (CP 14001)	242
Figura A.12: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de	243

geogrelha de poliéster (CP 14002)	
Figura A.13: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de poliéster (CP 14004)	244
Figura A.14: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de poliéster (CP 14008)	245
Figura B.1: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova sem reforço de geogrelha (CP 13921)	246
Figura B.2: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de fibra de vidro (CP 13891)	247
Figura B.3: Ensaio DC(T) – corpo-de-prova com reforço de geogrelha de poliéster (CP 13865)	248

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Comparação entre diferentes geometrias de corpos-de-prova para ensaio de fratura	101
Tabela 3.1: Características do ligante e mistura asfáltica do revestimento “antigo”	115
Tabela 3.2: Características do equipamento compactador manual	115
Tabela 3.3: Caracterização dos agregados da mistura asfáltica compactada nesta dissertação	116
Tabela 3.4: Características do ligante utilizado na mistura asfáltica compactada	116
Tabela 3.5: Granulometria da mistura do revestimento novo (proporção dos agregados)	117
Tabela 3.6: Características da mistura asfáltica compactada	117
Tabela 3.7: Características da mistura asfáltica empregada no Tanque-Teste	119
Tabela 3.8: Resistência à Tração e Módulo de Resiliência da mistura asfáltica deste estudo	120
Tabela 3.9: Valores de tensões a diferentes profundidades, obtidos pelo ELSYM5, sob o centro do carregamento para o tanque – teste na configuração original	135
Tabela 3.10: Característica do ligante – CAP 50/70	141
Tabela 3.11: Granulometria dos agregados usados na moldagem dos cps desta pesquisa	142
Tabela 3.12: Propriedades dos agregados	142
Tabela 3.13: Temperaturas de mistura, de compactação, dos agregados e do ligante	142
Tabela 3.14: Planejamento experimental dos ensaios mecânicos nos corpos-de-prova	148
Tabela 4.1: Valores de parâmetros volumétricos para os corpos-de-prova extraídos da seção-teste 1 desta pesquisa	169
Tabela 4.2: Valores da Resistência à Tração e do Módulo de	170

Resiliência dos corpos-de-prova extraídos da Seção-Teste 1 desta pesquisa	
Tabela 4.3: Resultados do ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (DC(T)) realizados nos corpos-de-prova da Seção-Teste 1	170
Tabela 4.4: Valores de massa específica aparente e volume de vazios para os corpos-de-prova extraídos da seção-teste 2	173
Tabela 4.5: Valores da Resistência à Tração e do Módulo de Resiliência dos corpos-de-prova extraídos da Seção-Teste 2	173
Tabela 4.6: Resultados do ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (DC(T)) realizados nos corpos-de-prova da Seção-Teste 2	174
Tabela 4.7: Valores de massa específica aparente e volume de vazios dos corpos-de-prova da seção-teste 3	176
Tabela 4.8: Valores da Resistência à Tração e do Módulo de Resiliência dos corpos-de-prova extraídos da Seção-Teste 3	176
Tabela 4.9: Resultados do ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (DC(T)) realizados nos corpos-de-prova da Seção-Teste 3	177
Tabela 4.10: Valores de parâmetros volumétricos para os corpos-de-prova moldados sem geogrelha	180
Tabela 4.11: Valores da Resistência à Tração e do Módulo de Resiliência dos corpos-de-prova moldados sem geogrelha	181
Tabela 4.12: Resultado do ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (DC(T)) realizado no corpo-de-prova sem camada de geogrelha moldado em laboratório	183
Tabela 4.13: Valores de parâmetros volumétricos para os corpos-de-prova moldados com geogrelha de fibra de vidro	185
Tabela 4.14: Valores da Resistência à Tração e do Módulo de Resiliência dos corpos-de-prova moldados com geogrelha de fibra de vidro	186
Tabela 4.15: Resultado do ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (DC(T)) realizado no corpo-de-prova com camada de geogrelha moldado em laboratório	187
Tabela 4.16: Valores de parâmetros volumétricos para os corpos-de-prova moldados com geogrelha de poliéster	189

Tabela 4.17: Valores da Resistência à Tração e do Módulo de Resiliência dos corpos-de-prova moldados com geogrelha de poliéster	190
Tabela 4.18: Resultado do ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda (DC(T)) realizado no corpo-de-prova com camada de geogrelha moldado em laboratório	192
Tabela 4.19: Valores dos parâmetros dos ensaios de fadiga e tração em disco circular com fenda (DC(T)) para as amostras moldadas pelo compactador giratório	207
Tabela 4.20: Resultados de Resistência à Tração e Energia de Fratura (HIRSCH, 2009)	208
Tabela 4.21: Resultados de Resistência à Tração e Energia de Fratura para os corpos-de-prova extraídos	209
Tabela 4.22: Resultados de Resistência à Tração e Energia de Fratura para os corpos-de-prova moldados	210

## Lista de Abreviaturas

AASHTO	= American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	= Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	= Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ASTM	= American Society for Testing and Materials
CA	= Concreto Asfáltico
CAP	= Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	= Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP	= Corpo de Prova
DNER	= Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	= Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FEG	= Fator de Eficiência do Geossintético
HRB	= Highway Research Board
ISC	= Índice de Suporte Califórnia
LVDT	= Linear Variable Differential Transformer
MR	= Módulo de Resiliência
RT	= Resistência à Tração
SUCS	= Sistema Unificado de Classificação dos Solos
TDR	= Time-Domain Reflectometer
WASHO	= Western Association of State Highway Officials

## Lista de Símbolos e Siglas

$\nu$	= coeficiente de Poisson
$\Delta\sigma$	= diferença de tensões
$\sigma_3$	= tensão de confinamento
$\sigma_d$	= tensão desviadora
$\varepsilon_r$	= deformação específica resiliente
C1, C2, C3	= trincas que correspondiam aos locais em que deveriam ser executados ensaios por modo de carregamento a cisalhamento
Dap	= densidade aparente
DC(T)	= ensaio de Tração em Disco Circular com Fenda
DMM	= densidade máxima medida
Dt	= densidade teórica
FL1, FL2, FL3	= trincas que correspondiam aos locais em que deveriam ser executados ensaios por modo de carregamento à flexão
FV	= indica amostras com camada intermediária de geogrelha de fibra de vidro
$G_f$	= energia de fratura
Gmb	= massa específica aparente de mistura asfáltica compactada
Gmm	= massa específica máxima medida
GW	= Pedregulhos bem graduados, com pouco ou nenhum fino
HT	= indica amostras com camada intermediária de geogrelha de poliéster
K, n	= constantes resultantes de regressão linear (em ensaio de fadiga)
$K_I, K_{II}, K_{III}$	= fatores de intensidade de tensões
N	= Número de operações do eixo padrão rodoviário
RBV	= relação betume/vazios
SG	= indica amostras sem camada intermediária de geogrelha

SW	= Areias bem graduada, pedregulhosas, e com poucos finos
VAM	= vazios do agregado mineral
VCB	= vazios com betume
$V_v$	= volume de vazios