

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

**AVALIAÇÃO DE RODOVIAS GOIANAS
RESTAURADAS COM A TÉCNICA DE
RECICLAGEM A FRIO *IN SITU***

JORGE HERNÁN GARCÍA HÓMEZ

D0098G14
GOIÂNIA
2014

JORGE HERNÁN GARCÍA HÓMEZ

**AVALIAÇÃO DE RODOVIAS GOIANAS
RESTAURADAS COM A TÉCNICA DE
RECICLAGEM A FRIO *IN SITU***

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

Área de Concentração: Geotecnia

Orientadora: Prof^ª. Lilian Ribeiro de Rezende, DSc.

Co-orientador: Prof. Dr. Washington Peres Núñez, DSc.

D0098G14
GOIÂNIA
2014

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

García Hómez, Jorge Hernán
Avaliação de Rodovias Goianas Restauradas com a Técnica de
Reciclagem a Frio In Situ [manuscrito] / Jorge Hernán García Hómez. -
2014.

CLXXI, 171 f.

Orientador: Profa. Dra. Lilian Ribeiro de Rezende; co-orientador
Washington Peres Nuñez.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de
Engenharia Civil (EEC) , Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, 2014.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, gráfico, lista de figuras, lista
de tabelas.

1. Pavimentação. 2. Reciclagem In Situ. 3. Avaliação Estrutural e
Funcional. I. Ribeiro de Rezende, Lilian, orient. II. Peres Nuñez,
Washington, co-orient. III. Título.

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

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

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

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	JORGE HERNAN GARCIA HOMEZ		
CPF:	702.533.121-08		
E-mail:	jorge_hernan_garcia@hotmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor:	Nenhum		
Agência de fomento: Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Sigla:	CAPES	
País:	Brasil	UF: GO	CNPJ:
Título:	Avaliação de Rodovias Goianas Restauradas com a Técnica de Reciclagem a Frio <i>In Situ</i>		
Palavras-chave:	Pavimentação. Reciclagem "in situ". Avaliação Estrutural e Funcional.		
Título em outra língua:	Assessment of Goias state highways restored using full depth reclamation technique		
Palavras-chave em outra língua:	Asphalt pavement. "In situ" Recycling. Structural and Functional Analyses.		
Área de concentração:	Geotecnia		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	27/08/2014		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção civil		
Orientador (a):	Profª. Lilian Ribeiro de Rezende, DSc.		
E-mail:	rezende.lilian@gmail.com		
Co-orientador (a):	Prof. Dr. Washington Peres Núñez, DSc.		
E-mail:	wpnunez@superig.com.br		

3. Informações de acesso ao documento:

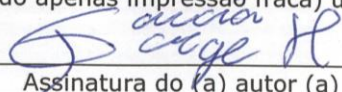
Liberação para disponibilização?¹ total parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

Capítulos. Especifique: _____
 Outras restrições: _____

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

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


 Assinatura do (a) autor (a)

Data: 24 / 02 / 2015

¹ Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.



Universidade Federal de Goiás
Escola de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação de Rodovias Goianas Restauradas com a Técnica de Reciclagem a Frio *In Situ*

Jorge Hernán Garcia Hómez

Dissertação defendida e aprovada pela banca constituída pelos senhores:

Prof.^a Dr.^a Lilian Ribeiro de Rezende (GECON/UFG)

Prof.^a Dr.^a Márcia Maria dos Anjos Mascarenha (GECON/UFG)

Prof. Dr. Gilberto Fernandes (UFOP)

Goiânia, 27 de agosto de 2014

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha esposa Angélica, à minha filha Violeta,
aos meus pais Jorge Lisímaco (in memoriam) e Elvira,
aos meus irmãos Rosário, Miguel e Ingrid,
e a todos os familiares e amigos que torceram pelo sucesso deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A mais imensa gratidão a Deus por iluminar sempre meu caminho e me dar força para continuar o mestrado após ultrapassar o momento mais difícil de minha vida, quando apenas estava no início dele.

Agradeço ao meu pai Jorge Lisímaco (*in memoriam*), que apesar de não estar comigo e me acompanhar para alcançar esta conquista, seus conselhos e ensinamentos guiam meu caminho e são meu incentivo a continuar nos momentos difíceis.

À minha mãe Elvira que sempre fica atenta frente a qualquer necessidade e sem importar a distância que nos separa, seu amor e carinho estão sempre comigo. Agradeço suas orações ao Espírito Santo para me iluminar ao longo dos meus estudos.

À minha esposa Maria Angélica pelo amor, carinho, companhia e por me dar minha bela filha Violeta. Agradeço por ela me incentivar a realizar estudos superiores procurando programas de pós-graduação e pelo esforço para conseguir a vaga no mestrado e assim, sair de nosso país para desenvolver nossos estudos.

À minha irmã Rosário que é meu maior apoio e sempre tem me orientado em todas as minhas decisões, por sempre estar presente incondicionalmente para tudo. Estendo os agradecimentos para seu esposo e seus filhos.

Aos meus irmãos Miguel e Ingrid e suas famílias que torceram e apoiaram para atingir este sonho, assim como, todos familiares e amigos, que sem importar a distância, estiveram sempre atentos no desenvolvimento do mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação GECON da Universidade Federal de Goiás por ter me aceitado na vaga do mestrado e a todos os professores e técnicos por compartilhar seus conhecimentos ao longo das disciplinas e dos ensaios realizados no laboratório e no campo.

Agradeço a minha orientadora. Dr^a Lilian Ribeiro de Rezende, inicialmente pela paciência que teve comigo pelos meus erros de redação no início da pesquisa, pela ajuda contínua ao longo da pesquisa, por ficar sempre atenta do andamento nas campanhas de ensaios e nas viagens às rodovias, por todos seus conselhos e dicas técnicas para coletar, calcular e analisar todos os

dados obtidos no desenvolvimento deste trabalho. Por dedicar seu tempo, mesmo nos finais de semana ou férias para corrigir e me orientar até concluir a pesquisa.

Também agradeço ao Prof. Washington Núñez, co-orientador, quem deu grandes aportes técnicos à dissertação através de seus comentários, pela disposição e atenção sempre que precise dele.

Agradeço a meus técnicos Tiago, Luiz M. e Mateus pelo apoio na execução dos ensaios de laboratório e de campo. Mesmo sendo muito cansativo e em baixo de sol ou de chuva, sempre tiveram a vontade de ir além para fazer os ensaios da melhor maneira e com o melhor resultado.

Agradeço à Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES), pela bolsa de mestrado que ajudou ao meu sustento durante os dois anos de mestrado.

À Controladoria Geral do Estado de Goiás e à FUNAPE, pela parceria e apoio financeiro para a execução dos ensaios. Ao pessoal responsável do convênio, pela colaboração no aluguel dos veículos para as viagens e por não poupar esforços para que esta pesquisa finalizasse da melhor maneira.

Ao pessoal da Polícia Militar Rodoviária do estado de Goiás, na pessoa da Cabo Viviane que sempre ficou atenta aos meus chamados para me orientar no tratamento com os policiais em cada posto que tivemos ajuda, assim como aos membros da força policial ao nosso serviço.

Agradeço a AGUIA LOCADORA pelo cumprimento e disposição do pessoal e da frota de veículos sempre disponível e com o maior sentido de serviço, nas viagens, os ensaios e todo o relacionado à coleta de materiais e dados.

Meus agradecimentos a Francisco e Atila, responsáveis pela locação dos caminhões que fizeram possíveis as campanhas de levantamento de dados com a viga Benkelman, sem contratemplos e com a maior disposição.

A Ludmila pela amizade e pelas inúmeras dicas de campo para a execução dos ensaios e na compreensão dos dados coletados.

Meus agradecimentos ao Mauro que foi meu professor particular de Português nos primeiros meses deste desafio, assim como a todos os companheiros e amigos que fiz nesta etapa de

mestrado. A todos os colegas do GECON com os que compartilhamos aulas, estudos para as provas em horários fora do normal, assim como, nos aniversários, churrascos, lanches etc.

Ao Antônio pela amizade, quem mesmo sendo de outra área do mestrado, desde o início tornou-se um amigo incondicional, compartilhando viagens e outros momentos junto com sua família, os quais nos adotaram como parte dela, assim como, a todos os outros amigos que adotaram este gringo e sua família.

RESUMO

Estudos desenvolvidos pela Agência Goiana de Transportes e Obras (AGETOP) a respeito da infraestrutura rodoviária do estado de Goiás, no ano 2010, indicaram a necessidade de reconstrução de 60% para recompor seu nível de serviço. Para tanto, em 2011, foi criado o programa de restauração rodoviário “Rodovida”, o qual visa recuperar a infraestrutura viária do estado ao longo de quatro anos. Com a finalidade de obter parâmetros para avaliação dos serviços executados, foi firmado um convênio entre a Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO) e a Universidade Federal de Goiás (UFG). Esta dissertação foi desenvolvida com o objetivo de realizar análises estruturais e funcionais de rodovias restauradas com emprego da técnica de reciclagem profunda a frio “in situ” e incorporação de brita, visando avaliar se as soluções definidas nos projetos possibilitam que os pavimentos restaurados atendam, ou não, parâmetros técnicos das normas rodoviárias atuais, e assim fornecer parâmetros para a incorporação dessas técnicas de reconstrução em futuros projetos. Para tanto foram selecionadas três obras de reconstrução de pavimentos em andamento, nas quais foram monitorados os procedimentos de reciclagem e compactação de base através de ensaios de frasco de areia, “Speedy Moisture Test” e o Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP). Também foram coletadas amostras deformadas do material reciclado para ensaios de laboratório, visando propor um modelo que relacione o Índice de Suporte Califórnia (ISC) com o Índice de Penetração (DN) para bases de cascalho com acréscimo de brita, obtido a partir do ensaio com o DCP em corpos de prova compactados. Para a análise estrutural, foram realizados ensaios de DCP em campo para determinação da resistência à penetração dinâmica e avaliação estratigráfica, assim como ensaios com a viga Benkelman, para a determinação das bacias de deflexões. Com os dados de estratigrafia coletados com o DCP e as bacias de deslocamento com a viga Benkelman, foram determinados os módulos de resiliência por meio de retroanálise interativa com auxílio do programa KENLAYER. Os resultados obtidos com o DCP mostraram a variação nas espessuras das camadas recicladas, gerando a necessidade de realizar um maior controle durante a execução. Com relação ao índice de penetração determinado para as bases ensaiadas, esses valores apresentaram maior variabilidade que pode estar associada à falta de controle no processo executivo; já nas camadas de sub-base e subleito foram determinados valores heterogêneos, concluindo que embora as bases recicladas apresentem elevada resistência, essa resistência, assim como a espessura das bases, é heterogênea. Em termos de deflexão, as três rodovias apresentaram valores dentro de uma faixa de variação considerada satisfatória, apesar de serem identificadas algumas regiões com elevados valores de deflexão. Em termos de módulos retroanalizados, os resultados obtidos podem ser considerados heterogêneos, o qual pode ser associado ou com a técnica de reciclagem utilizada ou ao fato de terem sido adotadas diferentes soluções de restauração ao longo do trecho avaliado numa rodovia. Sendo assim, conclui-se que mesmo sendo adotadas soluções de reciclagem semelhantes nas três rodovias estudadas, as análises realizadas mostram comportamentos distintos vinculados, principalmente, a processos executivos utilizados.

Palavras-chave: Pavimentação. Reciclagem “in situ”. Avaliação Estrutural e Funcional.

ABSTRACT

Studies developed by the state road agency (AGETOP) in 2010, regarding the road infrastructure in the state of Goiás, indicated a need for rebuild 60% of the road network to reestablish its service level. To this end, in 2011, was create the program of road restoration "Rodovida", which aims to restore road infrastructure in the state along four years. In order to obtain parameters for evaluation of performed services, was signed an agreement between the government inspection agency (GO-CGE) and the federal university (UFG). This investigation was developed with the goal to made structural and functional analysis of restored pavements using full depth reclamation technique with gravel addition, to evaluate if the solutions defined in the projects enable the restored pavements meet, or not, the technical parameters of the current road standards, and therefore provide parameters for the incorporation of these reconstruction techniques in future projects. For this study were select three roads with pavements reconstruction in progress, in which procedures for recycling and compacting base monitored by sand bottle test, Speedy Moisture Test and the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Also deformed samples of recycled material for laboratory testing were collect, aiming to propose a model that relates California Bearing Ratio (CBR) with the Penetration Index (DN) for bases added crushed gravel, obtained from the analysis with the DCP in compacted specimens. For structural analysis, were performed field DCP tests to determine the resistance to dynamic penetration and stratigraphic evaluation. As well as testing with Benkelman beam for determining deflections. With the stratigraphy data collected from DCP and displacement basins with the Benkelman beam were determined resilience modulus through back analysis with the aid of the KENLAYER iterative tool. The results obtained with DCP showed thickness variation in the recycled layers, showing the need for greater control during restoration process. Respect to the penetration index determined for the tested bases, these values had increased variability that may be associated with loss control in the executive process, now for sub-base and subgrade layers were determined heterogeneous values, concluding that although high strength present in the recycled bases, this resistance, as well as the thickness of the bases, is heterogeneous. In terms of deflection, the three studied roads showed values within a satisfactory variation range, although some parts were identify with large values of deflection. In terms of back calculated modules, the obtained results can be considered heterogeneous, which may be associated to the recycling technique used or the fact that were adopt different restoration solutions along the evaluated section on a highway. As such, is concluded that even being adopted similar recycling solutions in the three studied roads, the analysis shows distinct behaviors connected mainly to executive processes used.

KEYWORDS: Asphalt pavement. "In situ" Recycling. Structural and Functional Analyses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Classificação Geral rodovias do estado de Goiás (CNT, 2012).	29
Figura 2.2 - - Fases da vida de um pavimento considerando o número N (DNIT, 2006).....	31
Figura 2.3 - Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos (DNIT, 2003a)	40
Figura 2.4 - Condição do pavimento em relação ao tempo (FRESAR, 2012)	54
Figura 2.5 - Procedimento para execução do projeto de reciclagem (WIRTGEN 2012)	55
Figura 2.6 - Centro de trituração da recicladora. (MORIAN,2012)	57
Figura 2.7 – Reciclagem profunda com agente estabilizador: (a) Agente estabilizador espalhado na pista; (b) Mistura dos agentes com água (MORIAN, 2012).....	58
Figura 2.8 - Modelagem da mistura com niveladora (MORIAN, 2012).	58
Figura 2.9 - Compactação de base reciclada (MORIAN, 2012)	59
Figura 3.1 - Mapa de localização dos trechos (AGETOP, 2011)	69
Figura 3.2 – Coleta de amostras após o processo de reciclagem.....	70
Figura 3.3 - Processo alternativo de Reciclagem GO-413	71
Figura 3.4 - Execução de ensaio de Frasco de Areia e Speedy	72
Figura 3.5 - Curvas de Compactação e Saturação dos materiais coletados nos trechos restaurados (SILVA JR, 2014 ²)	73
Figura 3.6 - Ensaio realizados em laboratório: (a) CBR (b) DCP	74
Figura 3.7 – Planilha para inventário de superfície do pavimento	75
Figura 3.8 - Levantamento do afundamento de trilha de roda	76
Figura 3.9 – - Penetrômetro Dinâmico de Cone. (a) esquema do equipamento; (b) Ensaio em andamento.	77
Figura 3.10 – Ensaio de Viga Benkelman.....	78
Figura 4.1 - Correlação obtida entre CBR x DN	82
Figura 4.2 - Aspectos da superfície do pavimento de algumas estacas avaliadas para obtenção do IGG na GO-156.....	86
Figura 4.3 - Aspectos da superfície do pavimento de algumas estacas avaliadas para obtenção do IGG na GO-215.....	86

Figura 4.4 - Aspectos da superfície do pavimento de algumas estacas avaliadas para obtenção do IGG na GO-413.....	87
Figura 4.5 - Espessuras da base obtidas por médio do DCP na GO-156.....	93
Figura 4.6 - Espessuras da base obtidas por médio do DCP na GO-215.....	93
Figura 4.7 - Espessuras da base obtidas por médio do DCP na GO-413.....	94
Figura 4.8 - Variação do DN para GO-156.....	96
Figura 4.9 - Variação do DN para GO-215.....	97
Figura 4.10 - Variação do DN GO-413.....	97
Figura 4.11 - Box-plot dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito da GO-156.....	98
Figura 4.12 - Box-plot dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito da GO-050.....	99
Figura 4.13 - Box-plot dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito da GO-413.....	99
Figura 4.14 - Gráfico de Fator de Correção da Deflexão em Função da Temperatura do Revestimento Asfáltico (DER, SP, 2003).....	100
Figura 4.15 - Medidas deflectométricas máximas (D_0) do segmento da GO-156.....	101
Figura 4.16 - Medidas deflectométricas máximas (D_0) do segmento da GO-215.....	102
Figura 4.17 - Medidas deflectométricas máximas (D_0) do segmento da GO-413.....	102
Figura 4.18 - Proporção de faixas de deflexão no segmento da GO-156.....	103
Figura 4.19 - Proporção de faixas de deflexão no segmento da GO-215.....	104
Figura 4.20 - Proporção de faixas de deflexão no segmento da GO-413.....	104
Figura 4.21 - Bacia média de deslocamento obtida para todos os trechos de 8 km das GO-156, GO-215 e GO-413.....	106
Figura 4.22 - Bacias média de deslocamento obtidas para todos os segmentos homogêneos da GO-156.....	110
Figura 4.23 - Bacias média de deslocamento obtidas para todos os Segmentos Homogêneos da GO-215.....	111
Figura 4.24 - Bacias média de deslocamento obtidas para todos os Segmentos Homogêneos da GO-413.....	111
Figura 4.25 – Quadro de critérios para avaliação estrutural, (DNER, 1979b).....	113

Figura 4.26 - Bacias de deslocamento médias de campo e as bacias teóricas retroanalizadas dos segmentos homogêneos da GO-156.....	117
Figura 4.27 - Bacias de deslocamento médias de campo e as bacias teóricas retroanalizadas dos segmentos homogêneos da GO-215.....	118
Figura 4.28 - Bacias de deslocamento médias de campo e as bacias teóricas retroanalizadas dos segmentos homogêneos da GO-413.....	119
Figura A.1 - Curvas de penetração obtidas na GO-156.....	136
Figura A.2 - Curvas de penetração obtidas na GO-215.....	142
Figura A.3 - Curvas de penetração obtidas na GO-413.....	147
Figura A.1 - Mapa de localização da GO-156 (AGETOP 2012)	152
Figura A.2 - Mapa de localização da GO-215 (AGETOP 2012)	153
Figura A.3 - Mapa de localização da GO-413 (AGETOP 2012)	154
Figura B.1 - Soluções definidas para a GO-156 (AGETOP 2012)	156
Figura B.2 - Soluções definidas para a GO-215 (AGETOP 2012)	163
Figura B.3 - Soluções definidas para a GO-156 (AGETOP 2012)	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Estado geral de conservação das rodovias sob gestão pública e privada entre 2004 e 2011 (IPEA, 2012).	28
Tabela 2.2 - Classificação dos defeitos HVEEM em pavimentos flexíveis (DNIT, 2005).	35
Tabela 2.3 - Parâmetros deflectométricos para determinação do número N. (LOPES, 2012).	43
Tabela 2.4 - Faixas de Valores recomendados. (LOPES, 2012).	44
Tabela 3.1 - Descrição das rodovias selecionadas.	69
Tabela 3.2 - Energias de Compactação utilizadas para preparação dos corpos de prova	72
Tabela 3.3 – Localização dos ensaios de campo	74
Tabela 3.4 – Quantidade de ensaios de campo realizados	75
Tabela 4.1 - Resultados do controle de compactação nas bases recicladas estudadas “in situ”.	81
Tabela 4.2 – Planilha de Cálculo do IGG da GO-156	83
Tabela 4.3 – Planilha de Cálculo do IGG da GO-215	84
Tabela 4.4 – Planilha de Cálculo do IGG da GO-413	84
Tabela 4.5 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.....	85
Tabela 4.6 - Resultados Gerais do Ensaio DCP da GO-156	88
Tabela 4.7 - Resultados Gerais do Ensaio DCP da GO-215	89
Tabela 4.8 - Resultados Gerais do ensaio DCP da GO-413.....	90
Tabela 4.9 - Variações Estratigráficas dos Pavimentos	92
Tabela 4.10 - Dados estatísticos dos valores de DN.....	95
Tabela 4.11 - Valores de CBR (%) obtidos a partir do DN (m/golpe) empregando-se o modelo de equação 3.1	95
Tabela 4.12 - Resumo estatístico das medidas de deflexão máxima	105
Tabela 4.13 - Valores de z em função de n, (DNER, 1979b).....	107
Tabela 4.14 - Valores do fator de correção sazonal, (DNER, 1979b).	108
Tabela 4.15 - Resumo dos resultados de deflexões dos segmentos homogêneos da GO-156	109
Tabela 4.16 - Resumo dos resultados de deflexões dos segmentos homogêneos da GO-215	109
Tabela 4.17 - Resumo dos resultados de deflexões dos segmentos homogêneos da GO-413	110

Tabela 4.18 - Resultados $R \times D_0$ para as rodovias avaliadas.	112
Tabela 4.19 - Avaliação da qualidade estrutural dos segmentos para tráfego baixo, médio e alto na GO-156	113
Tabela 4.20 - Avaliação da qualidade estrutural dos segmentos para tráfego baixo, médio e alto na GO-215	114
Tabela 4.21 - Avaliação da qualidade estrutural dos segmentos para tráfego baixo, médio e alto na GO-413	114
Tabela 4.22 - Resultados de estimativa do número N para a GO-156.....	114
Tabela 4.23 - Resultados de estimativa do número N para a GO-215.....	115
Tabela 4.24 - Resultados de estimativa do número N para a GO-413.....	115
Tabela 4.25 - Espessura média e módulo de elasticidade das camadas para cada segmento homogêneo da GO-156	120
Tabela 4.26 - Espessura média e módulo de elasticidade das camadas para cada segmento homogêneo da GO-215	120
Tabela 4.27 - Espessura média e módulo de elasticidade das camadas para cada segmento homogêneo da GO-413	120
Tabela 4.28 - Rodovias selecionadas para comparação e análise de resultados.	121
Tabela 4.29 - Comparativo de resultados finais do ensaio LVC.	122
Tabela 4.30 - Principais variações estratigráficas das rodovias restauradas pela AGETOP nos anos 2012 e 2013.	122
Tabela 4.31 - Valores estatísticos e valores de DN para as rodovias restauradas pela AGETOP nos anos 2012 e 2013.	123
Tabela 4.32 - Resumo estatístico das medidas de deflexão máxima nas rodovias restauradas nos anos 2012 e 2013.	124
Tabela 4.33 - Módulos de resiliência das camadas do pavimento obtidas através da retroanálise das bacias de deslocamento para as rodovias GO-156 e GO-413 restauradas no ano 2013..	124
Tabela 4.34 - Módulos de resiliência das camadas do pavimento obtidas através da retroanálise das bacias de deslocamento para as rodovias GO-050 e GO-154 restauradas no ano 2012..	125

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	“American Association of State Highways and Transportation Officials”
AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras
ALC	Afundamento de consolidação Local
ALP	Afundamento Plástico Local
ARRA	“Asphalt Recycling and Reclamation Association”
ASTM	“American Section of the International Association for Testing Materials”
ATC	Afundamento de consolidação da Trilha
ATP	Afundamento Plástico da Trilha
ATR	Afundamentos na Trilha de Roda
BCI	Índice de Curvatura da Base
BDI	Índice de Danos à Base
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CBR	“California Bearing Ratio”
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCPR	“Cold Central Plant Recycling”
CGE-GO	Controladoria Geral do Estado de Goiás
CIR	“Cold In Place Recycling”
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CP	“Cold Planing”
CR	“Cold Recycling”
CV	Coefficiente de Variação
D	Desgaste
DCP	Penetrômetro Dinâmico de Cone
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem – São Paulo
DN	Índice de penetração
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes

E	Escorregamento
ESAL	Eixo Simples Equivalente
EX	Exsudação
FDR	“Full depth reclamation”
FI	Fissura
FWD	“Falling Weight Deflectometer”
HIR	“Hot in-place recycling”
HMA	“Hot Mix Asphalt”
HR	“Hot recycling”
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICPE	Índice de Condição de Pavimento Flexível
IES	Índice do Estado de Superfície
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IGI	Índice de Gravidade Individual
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	“International Roughness Index”
J	Trincas interligadas “jacaré” sem erosão acentuada
JE	Trincas interligadas “jacaré” com erosão acentuada
LD	Lado Direito
LE	Lado Esquerdo
LVC	Levantamento Visual Contínuo
LWD	“Light Weight Deflectometer”
MEPDG	“Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide”
NCHRP	“National Cooperative Highway Research Program”
O	Ondulação/Corrugação
P	“Panelas”
PAC	Plano de Aceleração do Crescimento
PANDA	“Pénétromètre Autonome Numérique Dynamique Assisté par Ordinateur”
PBD	Parâmetros da Bacia Deflectométrica
PIB	Produto Interno Bruto

Rodovida	Programa de Reconstrução de Rodovias Estaduais
RP	Remendo Profundo
RS	Remendo Superficial
RTA	Rede Temática de Asfalto
SAMI	“Stress-Absorbing Membrane Interlayer”
SCI	Índice de Curvatura da Superfície
SDIMPA	Sistema de Dimensionamento de Pavimento Asfáltico
SEPLAN-GO	Secretaria de Desenvolvimento
SMA	“Stone Matrix Asphalt”
TB	Trincas interligadas “bloco” sem erosão acentuada
TBE	Trincas interligadas “bloco” com erosão acentuada
TLC	Trincas isoladas longitudinais curtas
TLL	Trincas isoladas longitudinais longas
TRB	“Transportation Research Board”
TRR	Trincas isoladas devido à retração térmica ou dissecação da base
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TTC	Trincas isoladas transversais curtas
TTL	Trincas isoladas transversais longas
UFG	Universidade Federal de Goiás

LISTA DE SÍMBOLOS

α_i	Fator de ponderação
h_0	Altura inicial
y_i	Leitura realizada para cada golpe aplicado
CO ₂	Dióxido de Carbono
D_{25}	Deflexão medida a 25 cm do ponto de aplicação da carga
D_{30}	Deflexão medida a 30 cm do ponto de aplicação da carga
D_{60}	Deflexão medida a 60 cm do ponto de aplicação da carga
D_{90}	Deflexão medida a 90 cm do ponto de aplicação da carga
cm	Centímetro
D_0	Deflexão recuperável máxima
D_{adm}	Deflexão admissível
D_p	Deflexão de projeto
F_s	Fator de correção sazonal
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
Kg	Quilo
kgf.cm/cm ³	Quilograma força vezes centímetro por centímetro cúbico
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
kN/m ³	Quilonewton por metro cúbico
kPa	Quilopascal
mm	Milímetro
mm/golpes	Milímetros por golpe
MPa	Megapascal
MR	Módulo de Resiliência
N	Número de operações do eixo padrão
n	Número de amostras
R	Raio de curvatura
R ²	coeficiente de correlação

σ	Desvio padrão
S^2	Variância
unid	Unidade
w	Umidade
w_{ot}	Umidade ótima
w_p	Limite de plasticidade
γ_d	Peso específico aparente seco
$\gamma_{dm\acute{a}x}$	Peso específico aparente seco máximo
Δw	Variação da umidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	22
INTRODUÇÃO	23
1.1 JUSTIFICATIVA	24
1.2 OBJETIVOS	24
1.3 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO	25
CAPÍTULO 2	26
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA BRASILEIRA	26
2.2 DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS E FATORES QUE INFLUENCIAM SUA DEGRADAÇÃO	29
2.3 DEFEITOS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	34
2.4 RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS	40
2.4.1 Recuperação estrutural da rodovia	41
2.4.2 Técnicas de reciclagem de rodovias	49
2.4.3 Reciclagem profunda de pavimentos	53
2.4.4 Avaliação Funcional e Estrutural dos Pavimentos Asfálticos	60
2.5 RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFORMAÇÃO	64
CAPÍTULO 3	68
METODOLOGIA	68
3.1 RODOVIAS SELECIONADAS PARA PESQUISA E COLETA DE AMOSTRAS	68
3.2 CONTROLE DE COMPACTAÇÃO “IN SITU”	71
3.3 AVALIAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE CBR E DCP	72
3.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL	74
3.4.1 Levantamento Visual e determinação da Trilha de Roda	75
3.4.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone	76
3.4.3 Viga Benkelman	77
3.5 RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFORMAÇÃO	79

CAPÍTULO 4	81
APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	81
4.1 ENSAIOS DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO “IN SITU”	81
4.1.1 Determinação da Umidade e do Peso Específico Aparente Seco “in situ”	81
4.1.2 Correlação entre DN e CBR em laboratório.....	82
4.2 ENSAIOS DE CAMPO	83
4.2.1 Levantamento Visual e determinação da Trilha de Roda.....	83
4.2.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone	88
4.2.3 Viga Benkelman	99
4.2.3.1 Avaliação pelo Procedimento PRO 011 (DNER, 1979b)	106
4.2.3.2 Estimativa da vida remanescente do pavimento.....	114
4.3 RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFORMAÇÃO	116
4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM OS RESULTADOS DE COSTA 2013	121
CAPÍTULO 5	126
CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
5.1 CONCLUSÕES.....	126
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	128
REFERÊNCIAS	130
APÊNDICE A – GRÁFICOS DOS PONTOS ENSAIADOS COM O DCP	136
FIGURA A.1 - CURVAS DE PENETRAÇÃO OBTIDAS NA GO-156	136
FIGURA A.2 - CURVAS DE PENETRAÇÃO OBTIDAS NA GO-215	142
FIGURA A.3 - CURVAS DE PENETRAÇÃO OBTIDAS NA GO-413	147
ANEXO A – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO (AGETOP, 2011)	152
ANEXO B – DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO (AGETOP, 2012)	155

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Com o crescente desenvolvimento econômico, o Brasil está classificado nas posições superiores da economia global. Segundo a Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás (SEPLAN-GO, 2010) o estado de Goiás é um dos principais contribuintes no aumento do crescimento, já que o estado é classificado como a nona economia brasileira com um Produto Interno Bruto (PIB) de 97,576 bilhões de reais, o que representa uma participação de 2,6% do PIB nacional. Segundo projeções, no ano 2020 terá uma participação de 4%. Esse crescimento é devido à evolução do agronegócio goiano, assim como do comércio. Nos últimos dez anos, a economia goiana teve um aumento de 46,21% superior à média brasileira.

Os crescimentos da economia, assim como sua sustentabilidade, estão ligados ao sistema logístico de escoamento da produção, sendo que no histórico nacional esse sistema encontra-se marcado pela falta de investimentos na manutenção, conservação e ampliação das outras modalidades de transporte, centralizando a maior porcentagem de cargas no modal rodoviário. Conforme a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás (SEPLAN-GO, 2010), o estado dispõe de 965 quilômetros de ferrovia que atende as sub-regiões sudeste e norte, sendo que mais de 90% de transporte é feito através da malha rodoviária.

A evolução dos meios de transporte terrestre gerou aumento no fluxo de veículos que faz uso das rodovias. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), o estado de Goiás conta com uma frota próxima aos três milhões de veículos, dentro dos quais 110 mil são caminhões, que transportam produtos para diferentes cidades dentro e fora do estado. Isto gera um aumento das solicitações por eixo e, conseqüentemente, na necessidade de aumentar-se a capacidade de carga dos pavimentos, de modo a fornecer aos usuários das rodovias melhor qualidade, visando diminuir os tempos de viagem e aumentar a segurança. Em função dessas exigências, é dever dos governos federal e estadual fornecerem à população infraestrutura viária com a melhor qualidade possível.

O estado de Goiás localiza-se na região Centro-Oeste, tendo uma extensão territorial de 340.086,7 km² e uma malha rodoviária composta por mais de 87 mil quilômetros de rodovias

dos quais apenas 10.259 são pavimentadas. Dos 246 municípios do estado, há seis que não têm acesso através de rodovia asfaltada (AGETOP, 2012).

Em Goiás, a administração pública é encarregada dos projetos, da execução e da manutenção das rodovias por meio da Agência Goiana de Transportes e Obras (AGETOP). O órgão vem desenvolvendo atividades de restauração da rede rodoviária de maneira sistemática há mais de dez anos. No ano 2010, a equipe técnica do órgão participou de estudos socioeconômicos, levantamentos de campo, avaliação da situação das rodovias goianas, suas idades e volumes de tráfego. Como resultado desses estudos, foi detectado que uma elevada porcentagem da rede rodoviária pavimentada estava em elevado nível de deterioração. Com isso, investiu-se em serviços de restauração dos pavimentos.

Assim, foi criado o programa Rodovida Reconstrução visando melhorar substancialmente a malha rodoviária do estado de Goiás, abrangendo aproximadamente 5.300 km, que vem sendo desenvolvido em três etapas. Os trechos selecionados foram reconstruídos com profundas intervenções como reciclagem de base, retirada do pavimento deteriorado e colocação de mistura asfáltica nova, resistente e de qualidade nas rodovias estaduais selecionadas (AGETOP, 2011). Além disso, um estudo técnico realizado pela AGETOP, indicou que era necessário reconstruir 60% da malha rodoviária pavimentada. Nesse contexto, para a execução dos projetos, as rodovias foram classificadas a partir das condições em que se encontravam e da importância social e econômica de cada uma para o estado.

Por outro lado, no Brasil, é crescente a dificuldade de explorarem-se jazidas de materiais granulares, o que impulsiona o uso de novas técnicas para a execução de projetos de restauração, inclusive com aplicação de soluções alternativas para a recuperação da capacidade estrutural das rodovias. A reciclagem é uma alternativa viável para a restauração do pavimento uma vez que essa técnica possibilita o movimento mínimo de massas, aproveita ligantes e agregados do pavimento deteriorado, conserva a geometria da rodovia e diminui a necessidade de áreas de bota foras.

Algumas dessas técnicas estão sendo utilizadas nos projetos de reconstrução das rodovias do estado de Goiás, mas devido a poucas obras de reciclagem realizadas na região, é necessária uma análise profunda para melhorar o gerenciamento das obras e projetos através da avaliação objetiva de todos os estágios de execução dos projetos. Esse controle pode ser feito mediante

avaliações estrutural e funcional do pavimento que revelarão dados que descrevem o possível comportamento das estruturas reconstruídas e sua capacidade para resistir às cargas de tráfego atuante.

1.1 JUSTIFICATIVA

A realização desta pesquisa é justificada pela continuidade do convênio realizado entre a Universidade Federal de Goiás (UFG) e a Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO) no ano de 2011. No âmbito desse convênio já foi gerada a dissertação de mestrado de Costa (2013).

Nesta etapa serão avaliados três dos 25 lotes de reconstrução rodoviária propostos no edital de concorrência no 110/12 GEGEL da AGETOP (2012), que descreve os serviços propostos para as diferentes estradas estaduais.

A continuidade da parceria entre a CGE e a UFG visa fornecer aos órgãos de controle do estado resultados da avaliação estrutural e funcional da malha viária, assim como da qualidade da reconstrução das rodovias estaduais. Isso permitirá, entre outros, constatar se as soluções implantadas se deram conforme proposto no projeto e se a execução das obras teve um adequado controle tecnológico cumprindo com os padrões de construção, bem como a utilização de materiais adequados.

1.2 OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como objetivo principal a avaliação estrutural e funcional de rodovias recuperadas com a técnica de reciclagem profunda e recomposição granulométrica da base existente com o acréscimo de brita.

Como objetivos específicos têm-se:

- ◆ Determinar parâmetros de resistência das camadas executadas;
- ◆ Identificar a existência ou não de defeitos nas rodovias estudadas;
- ◆ Determinar os valores de módulo de elasticidade das camadas;
- ◆ Fornecer ao estado, parâmetros para à melhoria na execução de obras rodoviárias.

1.3 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, encontra-se a abordagem introdutória sobre a pesquisa, a justificativa para seu desenvolvimento e seus objetivos gerais e específicos.

O Capítulo 2 aborda a revisão bibliográfica sobre aspectos relacionados às generalidades e atualidades sobre a infraestrutura rodoviária no Brasil e sobre reciclagem de pavimentos, incluindo os tipos existentes. Contém ainda uma parte da revisão relacionada a defeitos encontrados nos pavimentos e, no final, considerações para avaliação estrutural e funcional de trechos rodoviários a partir da estimativa dos módulos de resiliência através da retroanálise.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa juntamente com a descrição dos trabalhos de campo e de laboratório realizados para a avaliação estrutural e funcional de trechos restaurados com a técnica de reciclagem a frio “in situ”.

Já no Capítulo 4 tem-se os resultados obtidos nesta pesquisa assim como as análises realizadas. E o Capítulo 5 contém as conclusões desta pesquisa e as sugestões para pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção é apresentada a revisão bibliográfica que tem servido como base teórica para o desenvolvimento desta pesquisa, assim como experiências e trabalhos que tenham similitude a mesma. Dentre os assuntos apresentados têm-se atualidades sobre o estado da pavimentação no país, definições, teorias e técnicas de restauração de pavimentos, assim como, os principais métodos de restauração que estão sendo aplicadas no estado de Goiás.

2.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA BRASILEIRA

O Brasil conta com a terceira malha rodoviária do planeta, em termos de comprimento, com um total de 1.691.215 km de extensão das quais 1.261.745 km são responsabilidade dos governos municipais e do restante só 212.414 km (13,5%) são responsabilidade dos governos federal e estadual (CNT, 2012). Atualmente, há grandes problemas em relação ao transporte, entre os quais se encontra a baixa qualidade das rodovias brasileiras, fato que prejudica a eficiência do transporte do país, já que há uma sobrecarga sobre o modal rodoviário. (SERAFIM, 2009).

Atualmente, mais do 60% das cargas transportadas nacionalmente são deslocadas por meio das rodovias, devido à facilidade de movimentar menores volumes a menor custo. As rodovias consolidam-se como o maior meio para movimentar os produtos que é em maior volume no setor agrícola tanto para a chegada dos insumos, quanto para o escoamento da produção para os mercados interno e externo. Uma possível explicação para a persistência da preferência do uso das rodovias nacionais para o deslocamento de cargas refere-se aos custos relativos de construção das vias e ao foco de curto prazo do planejamento de transporte no país.

O Brasil possui mais de 61 mil quilômetros de vias federais, onde apenas 12% dessas vias são pavimentadas (IPEA 2011). No país, é comum a construção de rodovias de asfalto, cujo preço de construção é inferior ao pavimento em concreto, sendo amplamente utilizadas no território nacional. No entanto, as rodovias brasileiras não possuem a qualidade desejada. As pistas de

asfalto sofrem deformações constantes devido ao peso não controlado das cargas transportadas pelos caminhões e as mudanças no clima brasileiro, o que reduz a sua durabilidade e seu desempenho.

Por outro lado, as rodovias de concreto têm um custo maior de implantação, mas apresentam custos de manutenção até 85% mais baixos, além de benefícios para os usuários com uma maior segurança e redução na frenagem dos veículos de até 40% em superfície molhada, redução de até 20% do consumo de combustível desses mesmos veículos e economia entre 30% e 60% no gasto com energia elétrica na iluminação devido à superfície clara oferecida pelo concreto. (IPEA, 2012).

Ao longo dos anos, as rodovias passaram por uma progressiva degradação. Devido à diminuição de investimentos, as rodovias apresentaram um avançado estado de degradação, o que implica em elevados investimentos para sua recuperação. Dessa forma, os serviços necessários para recuperar os trechos passaram a ser mais onerosos, visto que são necessárias intervenções estruturais, podendo até chegar na necessidade de reconstrução total em alguns trechos. Para realizar essas intervenções em rodovias, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT 2010) criou o Programa de Restauração, Recuperação e Manutenção de Rodovias, denominado Crema. (IPEA, 2012),

Segundo o estudo do IPEA (2012), entre os anos 2003 e 2011 foram coletados dados de investimentos realizados em rodovias sob administração pública em torno de 57 mil quilômetros. Nesse estudo, se destacam serviços de pavimentação rodoviária, além de adequações, ampliações e construção de novas estradas.

A Tabela 2.1 resume a classificação geral das rodovias sob gestão pública e privada avaliadas entre os anos de 2004 e 2011. Os dados mostram que houve um aumento no percentual de rodovias em ótimas e boas condições gerais em ambas as gestões, sendo que as rodovias sob administração privada apresentam melhor estado do que aquela sob administração pública, (IPEA, 2012). Assim, pode ser constatado nas rodovias federais sob administração pública que há uma porcentagem maior de trechos classificados como regular, ruim e péssimo.

Tabela 2.1 - Estado geral de conservação das rodovias sob gestão pública e privada entre 2004 e 2011 (IPEA, 2012).

<i>Estado Geral</i>	<i>2004</i>		<i>2011</i>		<i>Varição no período</i>	
	<i>Pública (%)</i>	<i>Privada (%)</i>	<i>Pública (%)</i>	<i>Privada (%)</i>	<i>Pública (%)</i>	<i>Privada (%)</i>
<i>Ótimo e Bom</i>	17,0	78,4	33,8	86,9	98,8	10,8
<i>Regular</i>	39,3	17,5	34,2	12,0	-12,9	-31,4
<i>Ruim ou Péssimo</i>	43,7	4,1	32,1	1,1	-26,8	-73,2

Os investimentos privados são aplicados em uma extensão menor de rodovias, concentrados, na sua maioria, em estradas duplicadas que servem como ligação de grandes centros urbanos. Além disso, essas vias possuem um grande fluxo de veículos, o que justifica, portanto, a necessidade de maiores investimentos para garantir a segurança e a adequada operação (IPEA, 2012).

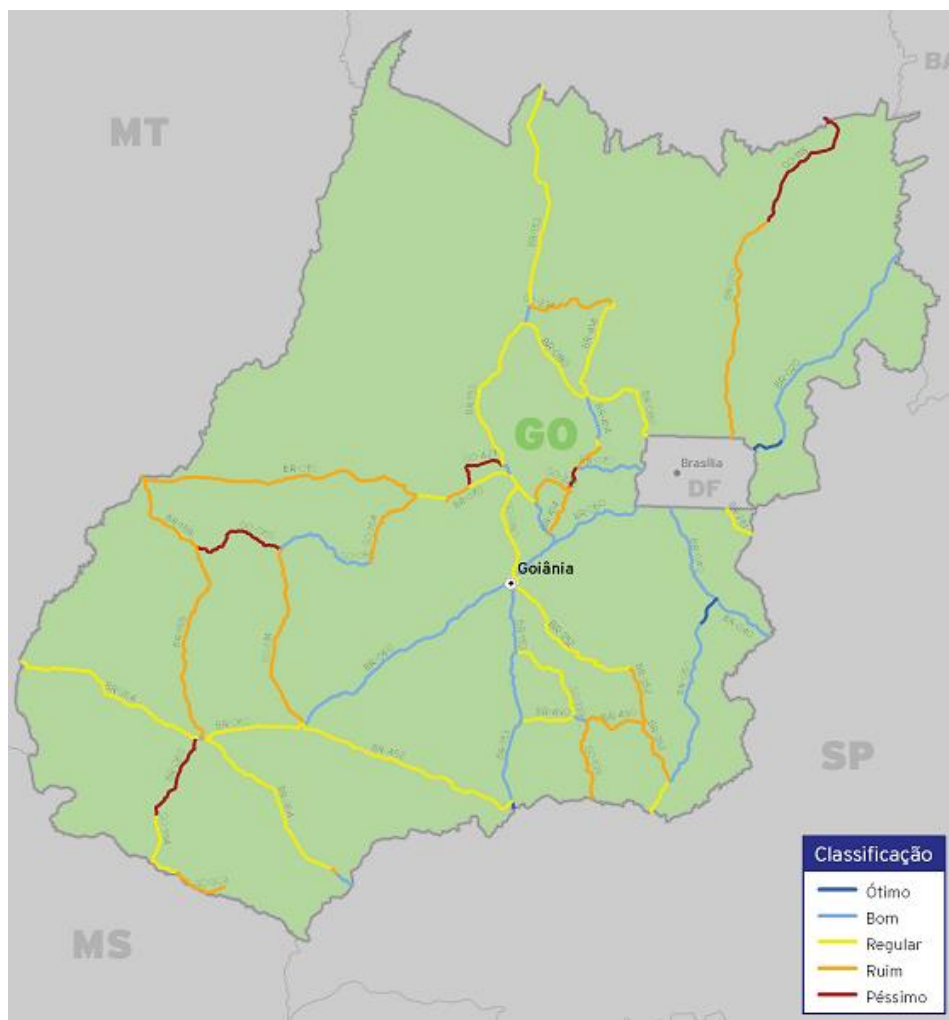
Outros fatores que também influenciam na quantidade de investimentos estão ligados às diferentes condições de conservação entre rodovias sob administração pública e privada, pois as rodovias mal conservadas e precárias necessitam de um volume maior de recursos.

Segundo o BNDES (2011), a perspectiva de investimentos para o setor rodoviário, no período 2011–2014 está estimada em R\$ 50,6 bilhões divididos em: i) investimento público, proveniente do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), sendo 65% do total para conservação, manutenção e elaboração de projetos; ii) 27% do total será investido em novas concessões rodoviárias, em fase de investimento e as que ainda serão objeto de processo licitatório, incluindo a 3ª Etapa do programa Federal de Concessões e a 3ª Etapa do Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo, o qual inclui o projeto de implantação do Rodoanel trecho sul e leste; iii) 8% do total para investimentos correntes dos concessionários existentes. De acordo com IPEA (2012), foi identificada a necessidade de R\$ 183,5 bilhões em investimentos para sanar os problemas e impulsionar o setor rodoviário nacional.

O estado de Goiás conta com 87.860 km de rodovias dos quais 12.480 km estão sob responsabilidade dos órgãos estaduais (CNT, 2011). No ano 2013, a CNT avaliou em sua pesquisa anual apenas 5.357 km de rodovias do estado e encontrou que 1,4% das rodovias goianas selecionadas foram classificadas em estado ótimo, 26,2% é considerada boa, 38,8%

regular, 25,8% ruim e 7,8% péssima. Na Figura 2.1 são mostradas as rodovias pesquisadas pela CNT.

Figura 2.1 - Classificação Geral rodovias do estado de Goiás (CNT, 2012).



2.2 DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS E FATORES QUE INFLUENCIAM SUA DEGRADAÇÃO

A evolução da pavimentação em todos seus campos tem sido reconhecida, a qualidade funcional de um pavimento de asfalto irá variar, dependendo do volume de tráfego. Sendo mais maior a resistência em estradas de alto volume, especialmente para suportar o desgaste gerado pelos veículos e evitar afundamentos, tendo que passar por fases de manutenção periódica após alguns anos. Pavimentos bem executados em estradas de baixo volume poderão ter mais anos de serviço antes de precisar de manutenção ou recapeamento do mesmo.

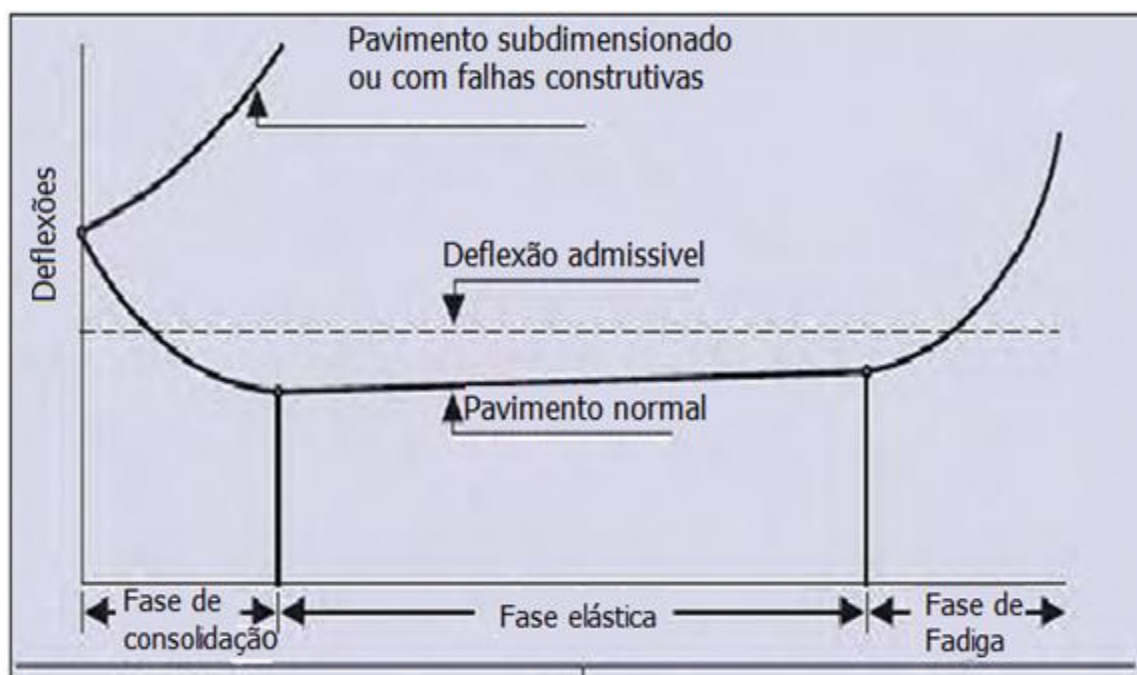
No entanto, pode-se observar que muitos serviços não apresentam o devido padrão de qualidade, o que gera aumento de custos para todos os fatores envolvidos no modal rodoviário, (PINTO, 1991). Numa rede rodoviária o pavimento constitui a infraestrutura mais importante, sendo aquela que está sujeita a ações mais severas, como tráfego e clima. Por esta razão que a rede rodoviária recebe os maiores investimentos de construção, conservação e reabilitação, sendo necessário promover a sustentabilidade estrutural dos pavimentos e promover estes como estruturas que precisem apenas de manutenção superficial ao longo da sua vida útil.

Para Albuquerque (2007), em todos os modelos de avaliação, o fator clima, a capacidade estrutural e as cargas acumuladas de tráfego são determinantes na previsão de desempenho de pavimentos. Devem ser aplicados em regiões com as mesmas características ambientais, pois os mecanismos de degradação dos pavimentos definem sua aplicabilidade.

De acordo com o IPR 720 (DNIT, 2006), um asfalto projetado satisfatoriamente e bem construído durante a exposição às cargas, explicitados pelo número de operações do eixo padrão (N), e aos agentes intempéricos, envolve a consideração de três fases básicas, descritas a seguir e apresentado na Figura 2.2:

- Fase de consolidação: fase que sucede imediatamente à construção, caracterizada por um decréscimo desacelerado do valor da deflexão, decorrente da consolidação adicional proporcionada pelo tráfego nas diversas camadas do pavimento. O valor da deflexão tende a se estabilizar ao fim desta fase;
- Fase elástica: a deflexão permanece com valores praticamente constantes. Essa fase define a vida útil do pavimento, tendendo a se alongar na medida da diferença verificada entre a deflexão admissível e a deflexão suportada do pavimento;
- Fase de fadiga: caracteriza-se por um acelerado crescimento do valor da deflexão devido à perda de capacidade estrutural das camadas do pavimento.

Figura 2.2 - - Fases da vida de um pavimento considerando o número N (DNIT, 2006)



O estado de um pavimento está relacionado com a capacidade de serviço adequado em função da qualidade de rolamento dos veículos. Trichês e Santos (2011) mostram que um caminhão trafegando em vias com péssimas condições tem um aumento próximo a 38% no seu custo operacional. Para o transporte de uma mesma quantidade de carga, um caminhão gasta mais combustível ao trafegar em uma via em péssimas condições, além de emitir uma maior quantidade de CO₂.

Para que os pavimentos permaneçam em boas condições de trafegabilidade, além de um bom projeto estrutural, ao longo dos anos é necessário executar intervenções preventivas e corretivas, evitando assim, o aumento das deteriorações e consequentemente a perda do nível de serventia do pavimento. É necessário fazer intervenções preventivas para otimizar a vida útil do pavimento e diminuir gastos na infraestrutura rodoviária, pois uma das justificativas para a falta de manutenção das estradas é o custo elevado e a falta de recursos financeiros. (GARCIA *et al.*, 2009).

É possível quantificar o desempenho dos pavimentos através de uma avaliação atual e previsão do futuro comportamento estrutural e funcional. Esta avaliação envolve tanto a realização de ensaios de campo como a utilização de modelos matemáticos e estatísticos que em conjunto

forneem informação detalhada das causas que geram o processo de deterioração do pavimento e indicam a melhor técnica para sua restauração. (DNIT, 2006).

Albuquerque (2007) considera fundamentais os seguintes fatores no desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho do pavimento:

- ◆ Avaliação dos defeitos: onde se devem definir os principais tipos de defeitos assim como a medida de restauração apropriada para cada tipo;
- ◆ Levantamento de dados: obtenção de dados de desempenho confiáveis mediante o uso da técnica mais econômica tais como: deflexão, “International Roughness Index” (IRI), Afundamento de Trilha de Roda (ATR), Índice de Gravidade Global (IGG) e “Pavement Condition Index” (PCI).
- ◆ Modelagem de variáveis que serão utilizadas no desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho.

Os pavimentos são projetados para alcançarem uma durabilidade determinada num espaço de tempo, denominada de ciclo de vida. O pavimento inicia numa condição ótima até alcançar uma condição ruim, sendo que o decréscimo da condição ou da serventia do pavimento num espaço de tempo é conhecido como deterioração. O entendimento dos mecanismos que regem o processo de deterioração de um pavimento é condição essencial para a identificação das causas que o levaram a sua condição atual, bem como para a escolha e programação da técnica mais adequada para sua restauração (DNIT 2006).

No Brasil, o método de dimensionamento ainda utilizado pelos engenheiros é o “California Bearing Ratio” (CBR), considerado obsoleto e ultrapassado, pois se baseia em parâmetros que não representam o comportamento mecânico real dos materiais, e não avaliam o desempenho da estrutura ao longo do tempo sob à ação do tráfego e do clima. A não utilização de parâmetros que consideram a relação tensão-deformação do pavimento sob o efeito de carregamento dinâmico e a não adoção de métodos de dimensionamento mecânicos podem contribuir com a baixa durabilidade das vias.

Segundo Garcia (2010), a degradação dos pavimentos é causada principalmente pelo tráfego, caracterizado pela passagem dos veículos sobre este, pelos fatores ambientais, como a

precipitação e a radiação solar. Para alguns autores, os danos causados pelo tráfego são mais expressivos do que os danos causados pelos outros fatores, principalmente pelo fato de que, com grande frequência, veículos trafegam nas rodovias com excesso de carga, o que, para Medina e Motta (2005) têm como consequência a degradação acelerada dos pavimentos.

Para Vieira (2002) é fundamental conhecer os mecanismos de degradação do revestimento assim como a influência do clima no desempenho do pavimento, para projetar misturas com maior durabilidade que proporcionem melhores qualidades estruturais e funcionais.

A irregularidade longitudinal é definida pela norma PRO 164 (DNER, 1994a) como “o desvio da superfície da via em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmico sobre a via” e é medida através de uma escala padrão adotada no Brasil chamado de Quociente de Irregularidade (QI). Essa é a medida que melhor correlaciona a superfície do pavimento com outras variáveis como conforto, velocidade, segurança, economia nas viagens ou custos operacionais.

O desempenho estrutural de um pavimento refere-se à capacidade de manter sua estrutura sem apresentar falhas significativas. É associado com a preservação dos investimentos e considerando como melhor momento para sua reabilitação, aquele que conduza a um menor custo na recuperação de seu ciclo de vida. O conhecimento dos tipos, intensidade e severidade dos defeitos pode influir na necessidade maior de tratamentos de restauração. (DNIT, 2006).

Para o estudo dos danos por degradação do pavimento tecnicamente não se tem um critério padrão aprovado pelos pesquisadores, sendo que, geralmente é dado pela combinação de diversos fatores. Alguns destes foram apresentados por Balbo (2007):

- ◆ Esforços excessivos em camadas – ruptura por resistência: é a reação do material que se rompe por esforço aplicado igual ou superior à sua resistência específica;
- ◆ Fissuração de materiais – dano por fadiga: ocorre quando o material sendo sucessivamente solicitado em níveis de tensão inferior ao de ruptura, gradativamente desenvolve alterações em sua estrutura interna, resultando em perda da característica da estrutura original. Isso gera a microfissuração progressiva, desenvolvimentos de fraturas e posteriormente, o rompimento da estrutura;

- ◆ Deformação plástica das camadas: essa condição de ruptura está relacionada à ruptura funcional, ou seja, a perda de qualidade de rolamento. É o comportamento mais significativo dos materiais de pavimentação devido na sua natureza viscoplástica;
- ◆ Retração: A retração em misturas cimentadas de pavimentos flexíveis consiste em variações volumétricas na massa que ocasionam fissuras em sua estrutura interna, sendo que pode ser tanto hidráulica como térmica.

2.3 DEFEITOS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

De acordo com Soncim (2011), a deterioração do pavimento é a resposta à ação das cargas repetidas, e é influenciada pelos fatores relacionados ao meio ambiente, clima, composição do tráfego, materiais de construção empregados, assim como as técnicas construtivas e sua interação na estrutura. Essa degradação interfere no histórico da serventia da rodovia ao longo do tempo.

O meio ambiente afeta significativamente o desempenho dos pavimentos asfálticos devido à variação climática que é significativa no Brasil. Variações de umidade ou temperatura podem ser fatores ligados à deterioração do pavimento. Além desses fatores, a drenagem do pavimento é considerada como assunto separado do processo de dimensionamento. Com a suposição de que as condições de drenagem serão adequadas, não ocorrerá variação significativa do teor de umidade dos materiais. Esses fatores devem ser incluídos nos processos de avaliação do desempenho dos pavimentos. (SONCIM, 2011)

Para Azevedo (2007), a água livre no interior da estrutura do pavimento é considerada uma das causas essenciais da deterioração precoce e desempenho insatisfatório a longo prazo junto com o excesso de tráfego e possíveis falhas na construção.

Os carregamentos do tráfego causam deformação em três situações, como está expresso no manual IPR 720 (DNIT, 2006):

- ◆ Quando os esforços induzidos nos materiais constituintes dos pavimentos são suficientes para causar cisalhamento, promovendo deslizamentos no interior do material. Neste caso, poucas cargas concentradas ou pressões excessivas nos pneus podem causar tensões que excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais;

- ◆ Carregamentos estáticos ou de longa duração podem causar afundamentos em materiais de comportamento viscoso, como as misturas betuminosas e alguns tipos de solo;
- ◆ Finalmente, um grande número de repetições de cargas de pressões reduzidas podem causar pequenas deformações que se acumulam ao longo do tempo e se manifestam como afundamentos canalizados nas trilhas de roda, na Tabela 2.2 são resumidos os defeitos gerais que sofrem os pavimentos asfálticos e as principais causas destas.

Tabela 2.2 - Classificação dos defeitos HVEEM em pavimentos flexíveis (DNIT, 2005).

DEFEITOS GERAIS	DEFEITOS ESPECÍFICOS	CAUSAS PRIMÁRIAS
Deficiência do pavimento ou da composição do revestimento	Desagregação	Falta de ligante
		Endurecimento (envelhecimento) do ligante
	Trincas	Ação de água
		Endurecimento (rigidez) do ligante
		Baixa Temperatura
		Falta de ligante
Instabilidade (deformação plástica)	Excesso de ligante	
	Excesso de água	
Deficiência de ligação	Trincas de escorregamento	Agregado polido
		Falta de ligação entre as camadas
		Revestimento muito delgado
		Trafego muito pesado
Deficiência estrutural da(s) Camada(s) do pavimento ou do subleito	Trincas	Deformação plástica da camada subjacente
		Fundação resiliente
	Ondulações transversais	Deformação plástica da base
		Base insuficiente
	Ruptura	Fundação fraca

A partir da identificação dos tipos de defeitos, que estão ligados com os diferentes mecanismos de deterioração, é possível prever diferentes causas das patologias em pavimentos. É necessário ter conhecimento para identificação dos defeitos e suas patologias. Na norma de terminologia TER 005 (DNIT, 2003d) são definidos termos técnicos empregados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e serve para padronizar a linguagem adotada na elaboração das normas, manuais e projetos relativos aos pavimentos asfálticos. As patologias superficiais são

divididas em oito categorias. Fenda, Afundamento, Ondulação ou Corrugação, Escorregamento, Exsudação, Desgaste, Panela ou Buraco e Remendo.

a) Fendas

São aberturas na superfície asfáltica que geram descontinuidade na superfície do pavimento, e que conduzem a aberturas de menor ou maior porte e podem ser classificadas como:

- ◆ Fissura: Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m. As fissuras são fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo assim consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície. Podem ser causa de fissuras: excesso de finos no revestimento, má dosagem do ligante betuminoso; compactação excessiva e/ou com mistura muito quente.
- ◆ Trinca: Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.
 - ◆ Trinca isolada transversal: Trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa;
 - ◆ Trinca isolada longitudinal: Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa;
 - ◆ Trinca de retração: Trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida subjacentes ao revestimento trincado.
 - ◆ Trinca interligada do tipo “Couro de Jacaré”: Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas.

- ◆ Trinca interligada do tipo “Bloco”: Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas. Nas trincas em blocos ocorre o endurecimento (envelhecimento) e contração térmica do revestimento asfáltico. São também causadas por contração de base tratadas com cimento ou com utilização de solos tropicais.

b) Afundamento

O afundamento é a deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento, podendo apresentar-se sob a forma e afundamento plástico ou de consolidação.

- ◆ Afundamento plástico: causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de levantamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda. O afundamento plástico pode ser causado por:
 - ◆ Falha na dosagem de mistura asfáltica – excesso de ligante asfáltico;
 - ◆ Falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante; em geral com levantamento lateral – compensação volumétrica junto à depressão
- ◆ Afundamento de consolidação: causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de leve levantamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento e consolidação da trilha de roda. O afundamento de consolidação pode ser causado por:
 - ◆ Densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento;
 - ◆ Descolamento de película de asfalto junto ao agregado (“stripping”); em geral desenvolvem-se trincas dentro das trilhas de roda ou à sua borda. Em geral sem compensação volumétrica lateral, a não ser em alguns casos de ruptura por cisalhamento;

- ◆ Problemas ou deficiências construtivas, falhas de compactação, presença de solo “borrachudo”;
- ◆ Problemas de drenagem;
- ◆ Rupturas por cisalhamento localizadas: em geral desenvolvem-se trincas nas depressões.

c) Ondulação ou Corrugação

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento. A corrugação devido à fluência da massa asfáltica– comprimento de onda a ordem de centímetros a dezenas de centímetros; em geral ocorre em área de aceleração ou desaceleração, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, curvas, entre outros locais. Não se deve confundir com a ondulação causada por adensamento diferencial do subleito que provoca comprimentos de ondas da ordem de metros.

d) Escorregamento

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua. Em geral é decorrente de excesso de ligante ou por falhas construtivas e de pintura de ligação

e) Exsudação

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento. Pode ocorrer por segregação de massa, com concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros; ou ainda por cravamento de agregados em base e ascensão de ligante à superfície.

f) Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego. As causas dos desgastes são:

- ◆ Perda do envolvimento betuminoso;
- ◆ Perda de adesividade ligante-agregado por ação de produtos químicos, água ou abrasão;

- ◆ Abertura ao tráfego antes que o ligante tivesse aderido ao agregado;
- ◆ Compactação insuficiente;
- ◆ Teor de betume insuficiente;
- ◆ Segregação;
- ◆ Endurecimento do ligante;
- ◆ Execução em condições meteorológicas desfavoráveis.

g) Panela ou buraco

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas. Pode ocorrer por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas. Em locais em que havia trincas interligadas e com a ação do tráfego e intempéries houve remoção do revestimento ou mesmo de parte da base. Ou ainda por falha construtiva – deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo, falha na imprimação; desagregação por falha na dosagem, stripping ou ainda segregação.

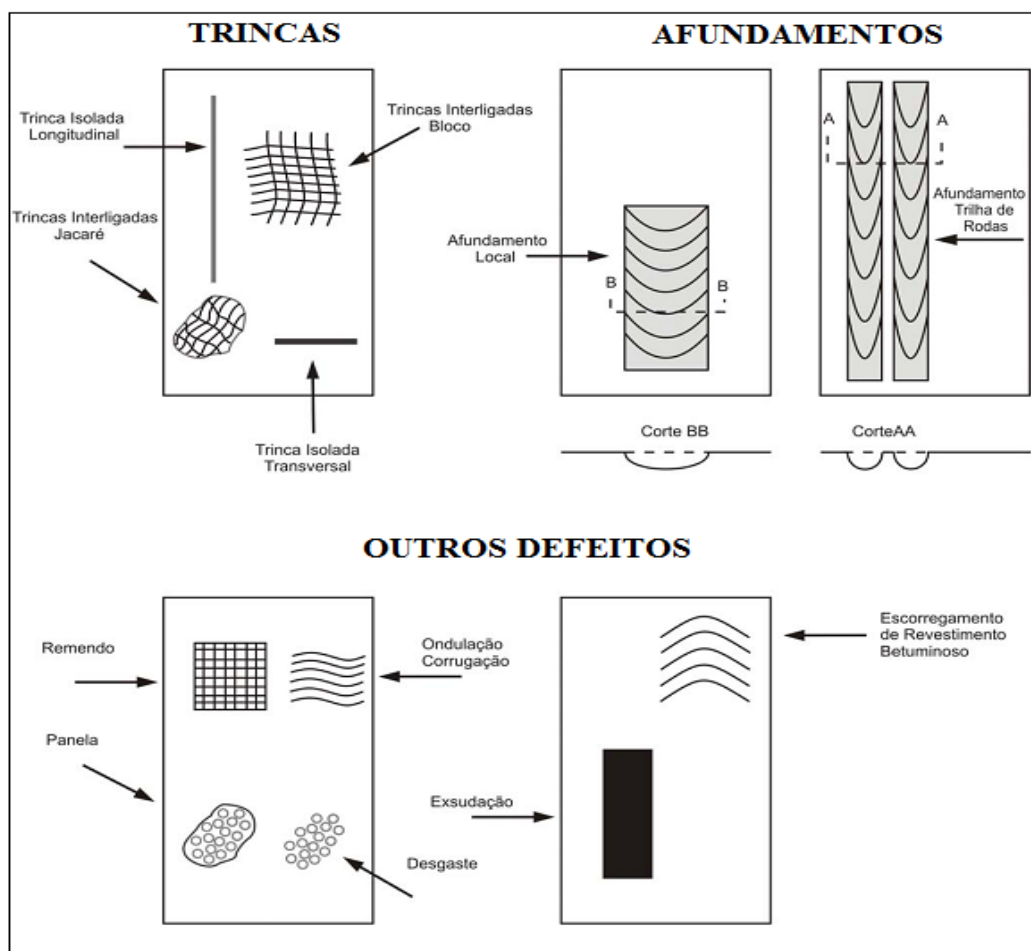
h) Remendo

Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”. Apesar de ser uma atividade de conservação é considerado um defeito por apontar um local de fragilidade do revestimento e por provocar danos ao conforto ao rolamento. Podem existir dois tipos:

- ◆ Remendo profundo: aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular;
- ◆ Remendo superficial: correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa.

O bombeamento de finos das camadas de suporte para a superfície devido ao acesso de água na base da estrutura que gera erosão de baixo para cima, refletindo-se em formação de trincas no revestimento ocasionada pela oxidação do ligante o qual facilita seu trincamento e o arrancamento de agregados acelerando sua degradação. Na Figura 2.3 observam-se os principais tipos de defeitos na superfície dos pavimentos.

Figura 2.3 - Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos (DNIT, 2003a)



2.4 RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS

Com a finalidade de garantir conforto e segurança aos usuários no decorrer do tempo de vida útil do pavimento, existem diferentes tipos de intervenções, conforme descrito em IPR 710 (DNIT, 2005). As tarefas de conservação propriamente dita, conforme exposto, podem ser bastante diversificadas, como são descritas a seguir:

- ◆ **Conservação Corretiva:** Operações de conservação que tem como reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento dos componentes da rodovia;
- ◆ **Conservação Preventiva Periódica:** operações de conservação, realizadas periodicamente com o objetivo de evitar surgimento ou agravamento de defeitos; Trata-se de trabalhos cuja frequência de execução depende de fatores como trânsito, clima e topografia;

- ◆ Conservação de Emergência: operações necessárias para reparar, repor, reconstruir ou restaurar trechos ou estrutura da rodovia, que tenham sido seccionados, obstruídos ou danificados por um evento extraordinário ou catastrófico.
- ◆ Restauração: operações destinadas a restabelecer características técnicas originais e o funcionamento. Envolve um conjunto de medidas destinadas a adaptar a rodovia de uma forma permanente, às condições de tráfego atuais e futuras, prolongando seu período de vida.
- ◆ Melhoramentos da Rodovia: é o conjunto de operações que acrescentam à rodovia existente, características novas, ou modificação das características existentes.

2.4.1 Recuperação estrutural da rodovia

Uma vez construída uma rede rodoviária, é necessário preservar a infraestrutura através de uma estratégia racional de conservação e reabilitação, o desenvolvimento desta estratégia é suportado por informação rodoviária confiável e atualizada, referente à observação do comportamento, permitindo a análise dos dados de caracterização do estado da rede e o desenvolvimento de estratégias de conservação / reabilitação. (PEREIRA *et al.*, 2007).

Na mecânica dos pavimentos um dos tópicos mais importantes é a relação entre o surgimento de fissuras nos com as deflexões elásticas excessivas e o consequente trincamento por fadiga do revestimento, devido a tensões reversíveis e repetidas por longos períodos de tempo. A comparação entre as deflexões obtidas em campo através de ensaios com a viga Benkelman e as deflexões calculadas por programas de análise de tensões de sistemas em camadas, aumenta a confiabilidade dos procedimentos desenvolvidos na análise. (BENEVIDES, 2000).

Grande parte da malha viária brasileira encontra-se em estado de degradação progressiva devido, principalmente, ao excesso de carga, à falta de planejamento e recursos para a sua manutenção. Pensando nesse grave problema, o meio técnico rodoviário tem-se esforçado em encontrar soluções alternativas e mais econômicas de restauração dos pavimentos. Entre as novas técnicas estudadas, destaca-se a reciclagem de revestimento e base, que além de apresentar rapidez executiva e custos competitivos preza também pelo aspecto ambiental. (ARAÚJO, 2004).

Albuquerque (2007) afirma que para manter o pavimento em níveis de serventia adequados num novo espaço de tempo, esse precisa da aplicação de técnicas de restauração que sejam executadas no menor espaço de tempo possível. Alguns autores nomeiam essas como Técnicas de Manutenção Preventiva ou Correção Preventiva.

No Brasil, a avaliação estrutural de rodovias para reabilitação não segue uma norma padrão. Portanto, cada órgão rodoviário adota o procedimento considerado por eles adequado, existindo vários métodos utilizados para o dimensionamento de reforços de pavimentos. No Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes (DNIT) existem diversas normas a partir de avaliações empíricas, da análise defletoométrica e do estudo do tráfego. Existem diversos métodos tais como: PRO 010 (DNER, 1979a), PRO 011 (DNER, 1979b), PRO 159 (DNER, 1985) e PRO 269 (DNER, 1994k). E a partir dos resultados obtidos é determinado o tempo de vida remanescente do pavimento assim como a espessura necessária para o reforço.

No caso do PRO 010 (DNER, 1979a) e PRO 011 (DNER, 1979b) é realizada uma abordagem empírica baseada no comportamento estrutural do pavimento em que é avaliado o mesmo a partir da análise defletoométrica e do estudo do tráfego e depois determina o tempo de vida remanescente do pavimento assim como a espessura necessária para o reforço.

Os engenheiros Salomão Pinto e Ernesto Preussler propuseram à comunidade rodoviária, conforme IPR 720 (DNIT, 2006), projeto de reforço de pavimento flexível que permite considerar, ainda de forma empírica, as propriedades resilientes de solos e materiais que, rotineiramente, constituem as estruturas de pavimentos no Brasil.

Segundo o procedimento da norma PRO 269 (DNER, 1994k), o dimensionamento do reforço da estrutura do novo pavimento é feito com base nas características do subleito do pavimento existente e no número N. Dessa maneira, são dimensionadas e tabuladas as espessuras das camadas de revestimentos, base e sub-base de um pavimento, necessário para proteger o subleito e suportar as deformações previstas. Em função dos valores obtidos são compensadas as deficiências estruturais do pavimento existente com a incorporação de espessuras equivalentes às camadas de base ou revestimento.

As avaliações realizadas mediante o método PRO 269 (DNER, 1994k) são consideradas mais abrangentes em respeito às condições estruturais e funcionais do pavimento, já que o procedimento é fundamentado no cálculo de tensões e deformações, além do comportamento

resiliente de materiais granulares e de solos finos pela consideração da teoria elástica não linear e modelos de fadiga.

Quando o pavimento se aproxima ao final de sua vida útil, esse passa a apresentar um desempenho próximo de condição limite permissível. Nesse momento, o processo de degradação crescerá de maneira abrupta e a via pode ser avaliada como antieconômica dentro dos custos de operação dos transportes. (DNIT, 2006).

Para Costa (2013) é necessária a realização de estudos da condição do pavimento existente. A partir de avaliações funcionais e estruturais do pavimento são obtidos dados para análise da condição da superfície do pavimento e de sua estrutura, e a partir desses resultados poderão ser adotadas alternativas de restauração apropriadas.

Lopes (2012) propôs um estudo paramétrico com objetivo de auxiliar na avaliação da estimativa da vida útil remanescente dos pavimentos asfálticos a partir dos levantamentos defletométricos baseados na relação entre os Parâmetros da Bacia Deflectométrica (PBDs) e os indicadores que refletem a capacidade estrutural dos pavimentos asfálticos. Propôs um conjunto de ábacos e equações para estimar o número N que a estrutura avaliada conseguirá resistir no futuro.

Tabela 2.3 - Parâmetros defletométricos para determinação do número N. (LOPES, 2012).

Parâmetro	Fórmula	Unidades
D ₀ – Deflexão Máxima	-	D ₀ (10 ⁻² mm)
R – Raio de Curvatura	$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$	R (m)
SCI = Índice da Curvatura da Superfície	$SCI = D_0 - D_{30}$	SCI (10 ⁻² mm)
BDI - Índice de Danos à Base	$BDI = D_{30} - D_{60}$	BDI (10 ⁻² mm)
BCI - Índice de Curvatura da Base	$BCI = D_{60} - D_{90}$	BCI (10 ⁻² mm)

As Equações 2.1 a 2.5 podem ser usados para a determinação o cálculo do número N que suportara a rodovia num futuro de maneira direta e simples, a partir dos PBD's obtidos de ensaios defletométricos.

$$N = 7,2024 \times 10^{13} \times D_0^{-4,0568} \quad (2.1)$$

$$N = 8,3928 \times 10^{10} \times SCI^{-3,2927} \quad (2.2)$$

$$N = 5,7636 \times 10^{10} \times BDI^{-3,8417} \quad (2.3)$$

$$N = 9,8496 \times 10^{13} \times BCI^{-5,1046} \quad (2.4)$$

$$N = 0,2320 \times R^{3,2268} \quad (2.5)$$

A Tabela 2.4 apresenta a faixa de valores aceitáveis para os PBD's para as faixas de tráfego usualmente adotadas nos métodos brasileiros de dimensionamento de pavimentos.

Tabela 2.4 - Faixas de Valores recomendados. (LOPES, 2012).

PBD	$N \geq 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 > N \geq 1 \times 10^6$	$1 \times 10^6 > N \geq 1 \times 10^5$	$N < 1 \times 10^5$
$D_0(10^{-2} \text{mm})$	< 50	50 - 90	90 - 150	> 150
R (m)	> 230	230 - 110	110 - 60	< 60
SCI (10^{-2} mm)	< 15	15 - 30	30 - 60	> 60
BDI (10^{-2} mm)	< 10	10 - 15	15 - 30	> 30
BCI (10^{-2} mm)	< 6	6 - 10	10 - 15	> 15

Existem várias tecnologias e formas de intervenções para a recuperação da capacidade estrutural de uma rodovia. Entretanto, a crescente sensibilização sobre a limitação dos recursos naturais, da necessidade da preservação ambiental e da necessidade de redução das emissões de poluentes, tem impulsionado a busca de alternativas ambientalmente amigáveis e de maior durabilidade para a recuperação e preservação das rodovias. (TRICHÊS; SANTOS, 2011).

Os tipos de tratamento para recuperação do nível de serviço de pavimentos asfálticos pode variar a partir de manutenção simples até reconstrução total, dependendo das circunstâncias. Nos casos de pavimentos submetidos ao tráfego moderado a pesado, o tratamento mais utilizado é a superposição de camadas sobre a estrutura existente. (HUANG, 2004).

No contexto rodoviário vêm sendo utilizados diversas metodologias para o dimensionamento de reforços. Até o ano de 1960, a maioria das agências basearam-se fortemente no julgamento dos engenheiros e sua experiência profissional para a determinação das espessuras de tipos de reforços requeridos. A partir da década de 1960, o uso dos ensaios de deflexão não destrutivos ganhou ampla aceitação, e mais métodos racionais baseados na medição das deflexões para avaliar as condições do pavimento “in situ” foram gradualmente desenvolvidas.

A tendência atual é a utilização de métodos de dimensionamento de reforços baseados em critérios mecânicos, com o emprego de programas computacionais que avaliam os módulos

de elasticidade das camadas adotando uma previsão da deterioração por critérios empíricos de fadiga, e que levam em conta às características elásticas dos materiais empregados na construção das camadas.

Segundo Motta (1991) é referência mundial o método para reabilitação proposto no ano 1993 pela “American Association of State Highways and Transportation Officials” (AASHTO) na qual foram introduzidos no âmbito rodoviário conceitos como serventia e desempenho, que encaminham os novos projetos de restauração ou reforço de pavimentos. A partir dessa metodologia foram estabelecidos seis objetivos no desenvolvimento da reabilitação:

- ◆ Avaliação dos métodos de projeto existentes;
- ◆ Desenvolvimento do aperfeiçoamento de métodos de projeto e estratégias para reabilitação dos pavimentos;
- ◆ Desenvolvimento do aperfeiçoamento de equações de projeto para pavimentos novos e reconstruídos;
- ◆ Determinação dos efeitos de: carga, meio ambiente, propriedade e variabilidade dos materiais, qualidade da construção e níveis de manutenção na vida útil do pavimento;
- ◆ Determinar os defeitos específicos das características de projeto no desempenho do pavimento;
- ◆ Estabelecimento de uma base de dados do pavimento nacional em longo prazo para suporte dos objetivos e necessidades futuras.

Segundo Baus e Stires (2010), nos diferentes órgãos rodoviários americanos foram utilizados as equações empíricas com base na análise de regressão conhecidas e ainda amplamente utilizadas da AASHTO. Essas incluem o valor de suporte do solo, cargas por eixo simples equivalente (ESAL), fatores regionais (assumido como 1,0), valor de manutenção do terminal e o coeficiente de camada de material.

A partir de 2010, foi introduzido a fase dois da nova metodologia “Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide” (MEPDG) desenvolvida em 2002 pela AASHTO para projetos novos e de reabilitação. O objetivo foi desenvolver uma metodologia baseada nas respostas geradas pelo software na simulação do pavimento (tensões, deformações e deslocamentos) calculados usando o carregamento detalhado do tráfego, as propriedades dos materiais e dados ambientais.

As respostas são utilizadas para calcular o incremento dos danos ao longo do tempo. O uso do software é um processo iterativo com base nos resultados de análise de estruturas de pavimentos experimentais propostas. Um projeto experimental é analisado quanto à sua adequação em relação a critérios de desempenho, sendo que o resultado das análises do software é uma predição do amolecimento e distensão da estrutura contra um determinado grupo de valores de confiabilidade. Esse é um processo iterativo em que, se as previsões não atendem os critérios de desempenho desejados assim como a confiabilidade necessária, o projeto do estudo é revisto e a avaliação é repetida.

A metodologia proposta pelo MEPDG prevê três níveis hierárquicos de entradas de projeto para permitir ao designer igualar a qualidade e nível de detalhe das entradas do projeto. Procedimentos do MEPDG permitem que o projetista possa controlar ajustes incrementais na estrutura do pavimento e da especificação de cada critério de desempenho utilizados no processo de análise. Para prever o desempenho ao longo de um período de projeto, o método MEPDG usa mais de 100 dados de entrada para modelar o tráfego de carga, as propriedades dos materiais e fatores ambientais. Em adicional, os dados climáticos detalhados (incluindo a temperatura de hora em hora, precipitação, velocidade do vento, umidade relativa e cobertura de nuvens) de 851 estações meteorológicas dos Estados Unidos estão embutidos no software MEPDG. Um modelo climático Integrado Reforçado (EICM) utiliza dados climáticos para simular a temperatura interna do pavimento, umidade e condições de congelamento e descongelamento, em função do tempo (BAUS; STIRES 2010).

Como indica Motta (1991), o Brasil começou a direcionar o dimensionamento de pavimentos à maneira racional pelo grupo de pesquisas COPPE/UFRJ, e determinaram que a utilização de ensaios dinâmicos na caracterização de materiais granulares, misturas asfálticas e solo estabilizado, juntamente com análise de tensões e deformações de caráter não linear dos sistemas em camadas é o melhor caminho para o aperfeiçoamento dos métodos de dimensionamento de pavimentos, sendo introduzido como Método da Resiliência

Atualmente, estão sendo construídos trechos para monitoramento previstos dentro do Projeto Integrado da Rede Temática de Tecnologia em Asfalto PETROBRAS / ANP para o desenvolvimento de um método de dimensionamento de pavimentos asfálticos denominado Sistema de Dimensionamento de Pavimento Asfáltico (SDIMPA). (RTA, 2010). Segundo RTA (2010), em sua primeira fase está prevista a construção e monitoramento sistemático de seções

experimentais em várias regiões do Brasil, sempre vinculadas a uma das instituições participantes da Rede. O objetivo desse projeto é desenvolver um banco de dados de materiais utilizados e de desempenho de pavimentos que visa validar o aperfeiçoamento de um método brasileiro para dimensionamento mecânico de pavimentos asfálticos novo e de reforço. (RTA, 2010).

Assim, o dimensionamento tem como objetivo calcular ou verificar espessuras e compatibilizar os materiais de forma que a restauração consiga um aumento na vida útil correspondente ao número projetado de repetições de carga. A vida útil de um pavimento é o período após o qual este atinge um grau inaceitável de deterioração sob o aspecto estrutural e funcional.

Técnicas de restauração de pavimentos devem ser apropriadas ao tipo e grau de degradação do pavimento. Na maioria dos casos, a restauração de pavimentos ocorre quando o mesmo encontra-se parcialmente ou totalmente trincado. Os principais serviços dentro desse grupo realizados no Brasil são (DNIT, 2005):

- ◆ Recapeamento simples em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ);
- ◆ Fresagem total ou parcial do revestimento deteriorado e aplicação de camada em CBUQ que aumente a capacidade estrutural do pavimento;
- ◆ Colocação de camada intermediária especial contra reflexão de trincas, seguida de recapeamento;
- ◆ Colocação de geotêxtil após uma pintura de ligação na camada existente (trincada), seguida de recapeamento;
- ◆ Fresagem parcial do revestimento deteriorado, seguida de aplicação de camada intermediária contra reflexão de trincas e coberta com novo revestimento em CBUQ. Considera-se em dois níveis: 1 e 2, com o nível 2 envolvendo maiores espessuras;
- ◆ Reciclagem do revestimento e da base granular deteriorados, formando-se uma base tratada com emulsão ou cimento e construindo-se um novo revestimento;
- ◆ Aplicação de Tratamento Superficial Duplo (TSD) sobre o tratamento existente;
- ◆ Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento em tratamento e da camada de base, seguida de aplicação de camada de TSD;

- ◆ Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento existente e da camada de base, seguida de aplicação de camada de CBUQ;
- ◆ Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico existente, nas condições do projeto original, seguida de complementação da espessura da capa em CBUQ (reforço estrutural);
- ◆ Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico.

De acordo com Bernucci et al. (2010) e IPR 720 (DNIT, 2006), quando um pavimento não apresenta problemas estruturais e é necessária uma restauração para a correção de defeitos superficiais, geralmente são recapeados, antecedidos ou não por uma remoção de parte do antigo revestimento. A seguir são descritas algumas das técnicas mais utilizadas para o recapeamento de um pavimento:

- ◆ Capa selante: executado por penetração invertida, envolvendo uma aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado miúdo. Sua execução tem por finalidade principal o incremento das condições de impermeabilização da camada a ser tratada;
- ◆ Lama asfáltica: tem especial aplicação no rejuvenescimento de revestimentos porosos ou fissurados;
- ◆ Camada porosa de atrito: Sua principal vantagem é prover uma superfície mais aderente, que minimiza a hidroplanagem e também pode reduzir o ruído entre o pneu e o pavimento;
- ◆ Tratamento superficial simples ou duplo (selagem de trincas e restauração da aderência superficial);
- ◆ Microrrevestimento asfáltico a frio ou a quente (selagem de trincas e restauração da aderência superficial quando existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego);
- ◆ Concreto asfáltico (quando o defeito funcional principal é a irregularidade elevada);
- ◆ Mistura do tipo camada porosa de atrito, “Stone Matrix Asphalt” (SMA) ou misturas descontínuas (para melhorar a condição de atrito e o escoamento de água superficial).

Segundo a norma IPR 720 (DNIT, 2006), tem-se testado a adoção de uma camada de reforço e efetuada a análise do efeito do aumento na espessura da capa e as características do seu material têm sobre a velocidade ou taxa de propagação do trincamento, com a finalidade de evitar a propagação de trincas nas camadas de reforço, seja impedindo-a ou retardando seu aparecimento. É analisado também o efeito da execução de uma camada para alívio de tensões

conhecidas como “Stress-Absorbing Membrane Interlayer” (SAMI) considerando diferentes possibilidades quanto às suas características resistentes. Para o desvio das trincas é utilizado o emprego de geossintéticos e geogrelhas desviando-as ou convertendo-as em microfissuras. Mas, processos sucessivos de recapeamento poderão resultar na criação de degraus em acessos a estruturas como pontes, viadutos ou acostamentos com uma alta diferença de altura respeito ao greide da pista.

Com o aumento de normativas ambientais e a diminuição de áreas de bota-fora para resíduos produzidos pela demolição dos revestimentos asfálticos desgastados, tem-se procurado alternativas para o reaproveitamento desses resíduos tornando-os em materiais viáveis para seu reaproveitamento. Essas alternativas são denominadas como reciclagem de pavimentos.

Segundo Fonseca (2009), a reciclagem de pavimento é uma técnica de reabilitação onde toda a camada, ou parte do pavimento existente, é reaproveitada na construção de uma nova camada, incorporando ou não novos materiais, permitindo assim obter um pavimento com características semelhantes ou superiores ao pavimento antigo.

Com as restrições impostas pela legislação de proteção do meio ambiente às áreas exploráveis que detêm a exploração agressiva dessas áreas, além do esgotamento das fontes naturais de materiais, devido a sua intensa exploração, reforça-se a viabilidade do uso da reciclagem dos materiais constituintes do pavimento para fins de uso nos trabalhos de restauração o qual propicia uma redução na demanda de novos materiais, aumentando o período de exploração e fornecimento dos mesmos nas jazidas e pedreiras existentes.

A reciclagem de pavimentos quando comparado com os processos tradicionais de pavimentação poderá resultar mais econômica, influenciando o desenvolvimento destas técnicas, devido aos baixos custos do processo e com o desenvolvimento de equipamentos apropriados tornaram mais favorável a execução dos serviços, ao triturar o pavimento em pequenas dimensões com baixos consumo de agregados, energia e ajudando à preservação do meio ambiente.

2.4.2 Técnicas de reciclagem de rodovias

Segundo o “National Cooperative Highway Research Program” (NCHRP, 2011), a experiência tem mostrado ótimos resultados de reciclagem de pavimentos em CBUQ quando devidamente

projetados e construídos, tanto em misturas com outros materiais reciclados, como em misturas produzidas a partir de novos materiais. Além disso, a indústria de pavimentação asfáltica é líder no uso de produtos reciclados já que o pavimento em CBUQ é um dos materiais mais reciclados no mundo.

Segundo a “Asphalt Recycling and Reclaiming Association” (ARRA, 2001), as técnicas de reciclagem de materiais asfálticos para produzir novos materiais resultaram em diminuições consideráveis de dinheiro, materiais e energia. Ao mesmo tempo ajuda a diminuir os problemas de bota fora devido ao reuso de material. Alguns benefícios da reciclagem são descritos a seguir.

- ◆ Redução dos custos de construção em relação aos métodos tradicionais de reabilitação e períodos mais curtos de execução das obras;
- ◆ Conservação de agregados e ligantes;
- ◆ Preservação da geometria existente da rodovia e do acostamento;
- ◆ Conservação do meio ambiente devido ao reuso de materiais e conservação dos recursos não renováveis e conservação de energia;
- ◆ Melhoria nas propriedades físicas pela modificação da graduação dos agregados e da mistura asfáltica. Assim como a correção do perfil da rodovia;
- ◆ Dependendo da técnica pode ocorrer redução ou eliminação das trincas de reflexão.

Araújo (2004), citando Barber e Scherocman (1987)¹, define que vários são os motivos pelos quais se pode afirmar que a técnica de reciclagem é de grande aplicabilidade na engenharia rodoviária. Dentre eles, pode-se citar:

- ◆ Motivos técnicos: remoção seletiva das camadas do pavimento, remoção de deformações plásticas (longitudinais e transversais), manutenção dos gabaritos e alívio de sobrecarga em obras de arte, aumento do intertravamento entre um revestimento antigo e um novo, manutenção do nível de serviço, entre outros;

¹ Barber e Scherocman (1987) “Fresagem a Frio e Reciclagem - Uma Tecnologia Econômica de Manutenção de Pavimentos.”

- ◆ Motivos econômicos: maior velocidade na execução da obra, menor quantidade de mão de obra envolvida no processo, possibilidade de reaproveitamento do material fresado;
- ◆ Motivos ecológicos: reduções na exploração de agregados minerais, menor consumo de derivados de petróleo, menor volume de bota-fora, entre outros;
- ◆ Motivos sociais: melhor relação custo/benefício, em função da maior velocidade da obra, menor nível de ruído durante a execução, possibilitando serviços noturnos, menor interferência no tráfego de veículos.

Nessa linha, foram definidas pelo ARRA (2001), cinco categorias para descrever os vários métodos de reciclagem de asfalto. Essas categorias são:

- ◆ Fressagem a frio: (“Cold Planing” - CP): é a remoção controlada do pavimento existente, até uma profundidade desejada, no perfil utilizando equipamento específico;
- ◆ Reciclagem a quente (“Hot Recycling” - HR): A reciclagem a quente é um processo pelo qual uma parte ou toda a estrutura do revestimento é removida geralmente mediante fresagem a frio e é posteriormente transportada para ser misturada com novos agregados e asfalto a quente numa usina de asfalto fixa. Tendo com produto final uma mistura reciclada;
- ◆ Reciclagem a quente “in situ” (“Hot In-place Recycling” - HIR): O processo consiste em aquecer e amolecer o pavimento de asfalto existente, permitindo que seja escarificada com uma rotativa quente até à profundidade entre 0 e 75 mm. O pavimento de asfalto escarificado é, depois, cuidadosamente misturado, e em seguida colocado e compactado com equipamento convencional de pavimentação a quente;
- ◆ Reciclagem profunda (“Full Depth Reclamation” - FDR): Para reconstrução total do pavimento ou reciclagem profunda é a técnica de recuperação em que a espessura total do pavimento e de uma porção predeterminada do material de base (base, sub-base e / ou o subleito) é pulverizado e misturado uniformemente para produzir um material de base homogênea melhorada.

Segundo Morian et al. (2012), a reciclagem profunda é um serviço onde a estrada reabilitada poderá ter melhorias em todas as áreas: aumento da capacidade (através de alargamento da estrada), aumento da resistência estrutural e melhor condição de estrada e

vida útil. Na maioria das vezes, são necessários materiais adicionais para melhorar a qualidade e capacidade da base estabilizada. Estes materiais incluem: emulsão ou espuma de asfalto para a estabilização da base de betume, cimento, ou outros agentes de cimentação considerados como estabilizadores químicos, ou simplesmente agregados para assegurar a graduação dos materiais para assegurar a qualidade da base e sua capacidade de carga. A altura do pavimento triturado pode variar na profundidade de 100 mm a 300 mm.

Os benefícios da reciclagem profunda podem ser colocados em três categorias principais: econômicos, tecnológicos e ambientais. Inicialmente, todos os materiais da estrada existente são reciclados. Em segundo lugar, diversos materiais têm potencial de estabilização, tais como: cinzas volantes e poeiras do forno de cal, são também produtos reciclados. Por tanto, existe a oportunidade de reciclar vários materiais no processo.

As condições adequadas do pavimento para a aplicação de reciclagem profunda incluem: Pavimentos flexíveis ou estradas não pavimentadas; Renovação de estradas deterioradas, incorporando materiais existentes; Estradas severamente trincadas ou rachadas (bloco, jacaré, longitudinal, térmica, reflexivo); Estradas com afundamentos ou degraus, devido a camadas subjacentes; Estradas com alto número de operações de tampa buraco; Estradas com deformação plástica severa (afundamentos, ondulações, etc.) e base / sub-base deficiente.

- ◆ Reciclagem a frio (“Cold Recycling” - CR): é o processo de reciclagem do pavimento sem aplicação de calor durante o mesmo. Pode ser subdividida em reciclagem a frio “in situ” (“Cold in place recycling” - CIR), técnica de reabilitação de pavimentos com o reaproveitamento total ou parcial do material das camadas existentes, podendo ou não ser adicionados agregados e agentes de reciclagem emulsionados, com o intuito de se obter uma mistura homogênea e compatível com os requisitos exigidos no projeto.
- ◆ A outra técnica é a reciclagem a frio em usina (“Cold Central Plant Recycling” - CCPR), A reciclagem a frio em usina pode ser realizada em usinas estacionárias, valendo-se das usinas de solos, que recebe o material fresado e o processa com a adição de material novo e caso necessário, um agente rejuvenescedor emulsionado. (DNER, 1996).

A fresagem já está bastante difundida no mercado brasileiro, mas durante algum tempo não existia uma normatividade que especificasse o serviço. Com o aumento acelerado do uso desta técnica, principalmente em obras de recuperação de grande volume e em vias urbanas, no ano 2011 foi publicada a norma 159 (DNIT, 2011), que define a sistemática a ser empregada na execução de fresagem a frio de pavimento asfáltico, assim como os requisitos concernentes a equipamentos, execução e controle de qualidade.

A reciclagem de revestimento asfáltico vem sendo executada, no Brasil, desde meados da década de 80. Logo com a introdução das primeiras máquinas fresadoras no país, nesse tipo de reciclagem o material fresado de capa asfáltica é reaproveitado como revestimento a partir da incorporação de agentes rejuvenescedores que recuperam as características do ligante original envelhecido.

Com o surgimento das fresadoras e usinas móveis de reciclagem, os problemas de estocagem foram sendo amenizados e atualmente se dispõe de equipamentos sofisticados e de grande desempenho “in situ” que fresam, corrigem a granulometria do fresado, incorporam os aditivos, emulsão, cimento, cal, etc., e executam a compactação da camada reciclada.

Como nesta pesquisa, nas obras avaliadas foi utilizada a técnica de reciclagem profunda, esse tema será melhor detalhado no próximo item.

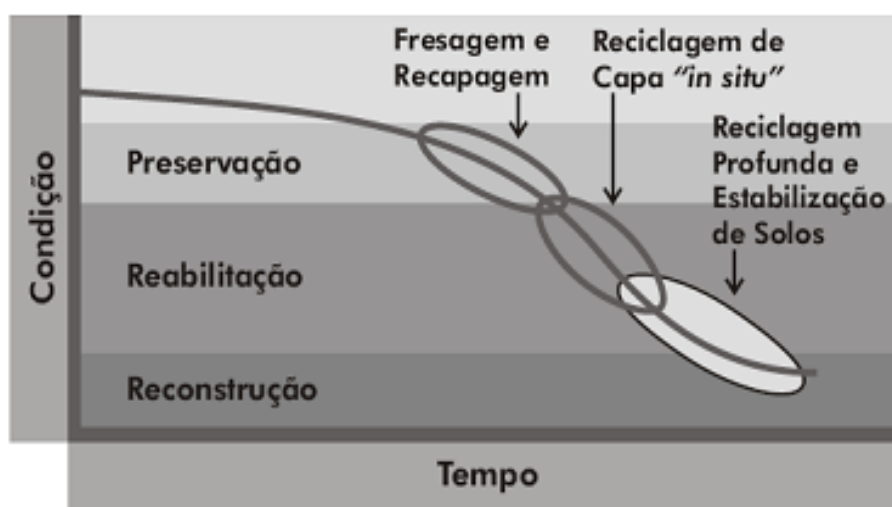
2.4.3 Reciclagem profunda de pavimentos

No país, a reciclagem de base ou profunda vem ganhando espaço entre as empresas de pavimentação e está sendo executada em várias regiões brasileiras, com destaque à reciclagem com incorporação de aditivos químicos e a espuma de asfalto a frio. Nesse tipo de técnica o revestimento asfáltico fresado pode ser reaproveitado na forma em que se encontra na pista e incorporado ao material de base original, para compor uma base melhorada. Eles são conhecidos na área da pavimentação como “Recycling Train”.

A reciclagem profunda de pavimentos é o termo utilizado para descrever o trabalho necessário para restaurar uma estrada deteriorada e recuperar a integridade estrutural do pavimento. Se uma estrada for projetada e construída adequadamente e se as intervenções de manutenção de rotina e recapeamento forem empreendidas no tempo certo, a necessidade de recuperação pode

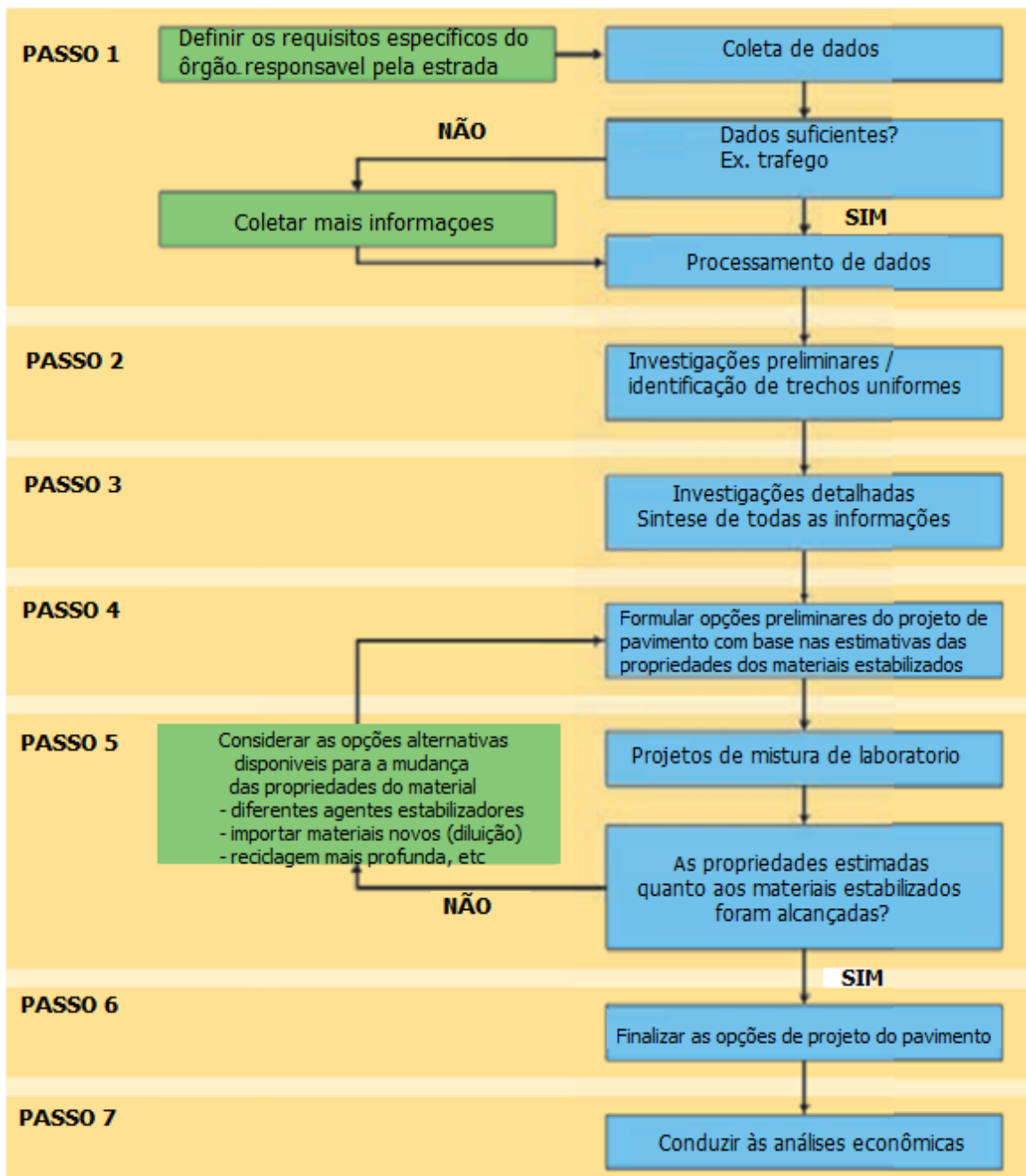
ser postergada até que o pavimento alcance uma condição terminal devido à deterioração estrutural. Na prática, essas atividades de manutenção e recapeamento geralmente não são realizadas, o que resulta na necessidade de recuperação prematura do pavimento em relação ao originalmente previsto (Figura 2.4). Além disso, a recuperação de pavimentos é normalmente realizada com a inclusão de melhorias como o fortalecimento do pavimento ou melhorias geométricas necessárias para acomodar maiores volumes de trânsito. (WIRTGEN, 2012).

Figura 2.4 - Condição do pavimento em relação ao tempo (FRESAR, 2012)



Segundo Wirtgen (2012), a necessidade de recuperação geralmente surge pela constatação de um nível inaceitável de deterioração que se reflete nas más condições da capa (ex.: qualidade de rodagem ruim, desenvolvimento de buracos, etc.). Depois de identificar uma estrada que necessita de recuperação, a investigação e o procedimento de projeto de todo o pavimento devem ser desenvolvidos para a definição da solução de recuperação mais adequada. É necessária a realização de investigações ao pavimento existente visando determinar a composição da estrutura do pavimento, compreender o comportamento mecânico dos materiais nas várias camadas e estabelecer a causa da deterioração que aumentou a demanda por medidas de manutenção. Na Figura 2.5 são estabelecidas as etapas sequenciais para desenvolver um projeto de recuperação.

Figura 2.5 - Procedimento para execução do projeto de reciclagem (WIRTGEN 2012)



Segundo ARRA (2001), quatro diferentes tipos de reciclagem profunda são utilizados atualmente: o que inclui a sequência de múltiplas etapas, a sequência de duas etapas, passagem única e o trem equipamentos de uma única passagem. A seguir, esses tipos são detalhados:

- ◆ **Passagem de múltiplas etapas:** nesse processo, o pavimento existente é quebrado, pulverizado e misturados com um agente de reciclagem. Os equipamentos disponíveis para a quebra inicial incluem motoniveladora com escarificador na frente, na traseira ou móvel. Esse método é acreditado para ser eficiente para asfaltos de camadas finas, mas pode produzir grandes pedaços de materiais, quando o corte mais profundo do que o necessário. Materiais produzidos por esse método pode precisar de redução adicional de tamanho.
- ◆ **Sequência de duas etapas:** nesse processo, a quebra e pulverização são combinadas com uma fresadora a frio ou uma grande máquina de pulverização. A segunda etapa envolve a adição do agente estabilizador de reciclagem ao solo com equipamento de mistura móvel. A principal característica de uma máquina fresadora de asfalto é um tambor rotativo forrado com um número variável (dependendo da largura) de substituíveis, que é usado para moer o pavimento existente. Essas máquinas podem proporcionar um controle preciso da profundidade no perfil, bem como pulverizar e tamanho, numa única passagem, o que resulta em menor interferência com o tráfego. Elas também podem ser equipadas com um sistema de bomba de medição e para servir como uma unidade misturadora.
- ◆ **Máquina simples:** o equipamento da máquina ou de uma única passagem é capaz de quebrar, pulverizar e adicionar agentes de reciclagem em uma única passagem. O asfalto triturado é adicionado à máquina por fresadora de asfalto ou por um caminhão caçamba. Material novo, se necessário, é espalhado sobre a superfície existente à frente do equipamento de reciclagem. Uma passagem dessa máquina é suficiente para moer, pulverizar e adicionar agente de reciclagem. O agente de reciclagem é adicionado na câmara de molhagem do misturador.
- ◆ **Trem de passagem única:** o equipamento de uma única passagem de comboios consiste de uma série de equipamentos, cada um capaz de uma operação particular. Os componentes mais comuns são uma máquina fresadora, triturador portátil, misturador de plantas e máquina de espalhamento. A unidade de britagem e peneiramento esmaga e espalha o material de grandes dimensões a partir da máquina de trituração, e depois o material é depositado e processado em um triturador de lâminas, onde é adicionado o agente de reciclagem. Após a mistura, o material é depositado sobre o funil de uma

máquina de espalhamento automotor ou depositadas em leira. Se a mistura é colocada num cordão, isto é, em seguida, captado por uma pavimentadora para assentamento.

As etapas de construção e atividades realizadas durante projetos de reciclagem de base ou profunda são resumidos em quatro etapas, conforme apresentado a seguir.

- ◆ **Pulverização:** Consiste em triturar a superfície da estrada e da fundação a ser recuperada. A cabeça de corte (Figura 2.6) é semelhante a um escarificador muito grande com dentes de carbono montadas numa cabeça de corte, tipicamente entre 2,5 e 4,0 metros de largura e pode cortar a uma profundidade de cerca de 50 centímetros. As profundidades típicas estão entre 15 e 30 centímetros. A experiência tem demonstrado que a rotação da cabeça de corte é sempre no sentido longitudinal da pista, conforme é mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Centro de trituração da recicladora. (MORIAN,2012)



- ◆ **Estabilização** consiste na adição do aditivo selecionado pulverizado sobre a superfície. A Figura 2.7a mostra um exemplo de tal aplicação. Num segundo passo a recuperadora mistura o aditivo estabilizante e água integradas na estrada pulverizada (Figura 2.7b).

Figura 2.7 – Reciclagem profunda com agente estabilizador: (a) Agente estabilizador espalhado na pista; (b) Mistura dos agentes com água (MORIAN, 2012).



(a)



(b)

- ◆ Modelagem: Consiste na gradação criteriosa para integrar a base do perfil de superfície que é desejado no produto final. A Figura 2.8 mostra um exemplo de modelagem com a niveladora.

Figura 2.8 - Modelagem da mistura com niveladora (MORIAN, 2012).



Compactação: Deve ser compensada com a profundidade da reciclagem. Para alcançar o máximo de benefícios deste processo a base deve ser compactada à densidade máxima. A

Figura 2.9 mostra a compactação com rolo pé de carneiro, que é necessário quando a profundidade escarificada ultrapassa 20 cm ou oito polegadas.

Figura 2.9 - Compactação de base reciclada (MORIAN, 2012)



Alguns fatores como a dureza e qualidade dos materiais, tanto dos agregados como do ligante betuminoso, a espessura de corte, a temperatura do ambiente e, principalmente, o estado de degradação do pavimento são fatores que agem diretamente no pavimento, possibilitando o desgaste do mesmo e determinam o tempo de trabalho das obras.

No entanto, Valdés *et al.* (2010) sugerem que, com a sua utilização na construção de estradas e projetos de reabilitação, as técnicas de reciclagem tornam-se mais generalizadas, sendo que a investigação adicional é necessária devido ao efeito prejudicial de tráfego e às condições climáticas.

Atualmente, encontram-se em revisão pelo DNIT a normatividade concernente à sistemática a ser adotada na execução da reciclagem do pavimento a frio “in situ”, com a utilização de espuma de asfalto, assim como o projeto de norma para reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland.

A eficiência e o desempenho da técnica de reabilitação com reciclagem profunda dependem de várias variáveis tais como (ARRA, 2001):

- ◆ Condições locais;
- ◆ Clima;
- ◆ Tráfego;
- ◆ Tipo de técnica e qualidade dos materiais aplicados;
- ◆ Qualidade da mão de obra.

Com a finalidade de garantir o desempenho projetado, as aplicações de misturas em pista devem estar sempre associadas a parâmetros de controle. Misturas não convencionais, com distintos sistemas de aplicação costumam carecer de regulamentação para controle tecnológico, revelando poucos estudos para desenvolvimento técnico (SILVA, 2011).

2.4.4 Avaliação Funcional e Estrutural dos Pavimentos Asfálticos

Segundo o DNIT (2006), a condição de um pavimento representa o nível de degradação resultante dos processos associados ao meio ambiente e ao seu uso continuado pelo tráfego. A avaliação dessa condição é possível por meio do conhecimento de diversos parâmetros como são as condições superficiais e estruturais, rugosidade longitudinal, condições de aderência pneu/pavimento e avaliação das solicitações do tráfego.

A partir do conhecimento do estado da integridade dos pavimentos é possível prever o seu desempenho futuro. Através da avaliação da condição dos pavimentos é possível obter dados da condição atual do pavimento, para atingir objetivos como são: traçado de diretrizes ou elaborar programas de manutenção e estimar custos de estratégias de conservação. A acurácia destes planos está vinculada à confiabilidade dos resultados obtidos na etapa de avaliação (DANIELESKI, 2004).

Danieleski (2004) afirma ainda que a atividade de avaliação de pavimentos inclui o estabelecimento do controle ou avaliação das seções, verificação periódica das características quanto à capacidade estrutural, deterioração, irregularidade e resistência à derrapagem.

A avaliação funcional dos pavimentos é determinada a partir da análise em campo dos defeitos encontrados na rodovia o qual pode ser feito mediante a aplicação de diferentes métodos, por meio dos quais o consultor faz uma avaliação objetiva para a determinação da condição do

pavimento. Para os levantamentos dos defeitos utilizam-se planilhas onde são anotadas as ocorrências encontradas. E ao serem analisados os dados determina-se o grau de degradação superficial que traduzem as condições de conforto e segurança dos usuários.

Existem diferentes metodologias para realização de levantamentos deste tipo na verificação da presença de defeitos, que aparecem na superfície dos pavimentos, entre os quais três métodos normatizados pelo DNIT. O PRO 006 (DNIT, 2003a) é um método em que são contadas e classificadas as patologias, sem considerar a extensão dos defeitos. O defeito é apenas quantificado e são medidos os afundamentos nas trilhas de roda externa e interna em cada faixa da pista. O levantamento é feito manualmente em cada seção, que ocorre a cada 20 metros alternados em relação ao eixo da pista.

Na norma PRO 007 (DNIT, 2003b) é realizado o levantamento das patologias detalhadamente com registros dos tipos, severidades e extensões dos defeitos. Uma ficha é preenchida com dados de uma tabela, onde devem ser registrados dados numéricos correspondentes às áreas levantadas dentro de cada superfície de avaliação. No campo destinado à indicação dos defeitos devem ser locadas e enumeradas as áreas levantadas.

Norma PRO 008 (DNIT, 2003c) fixa os procedimentos exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos pelo processo de Levantamento Visual Contínuo (LVC) processo baseado na determinação do valor do Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos (ICPF), ao mesmo tempo em que proporciona também os elementos necessários para o cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) e do Índice do Estado de Superfície (IES). No levantamento visual contínuo deve ser usado um veículo equipado com velocímetro/odômetro calibrado para aferição da velocidade de operação e das distâncias percorridas

Para Mota (2009), a avaliação estrutural é o processo no qual se procura informação quanto às características mecânicas do pavimento com a finalidade de prever seu comportamento e vida útil, através de ensaios que determinam o grau de deterioração do pavimento produzido pelas cargas do tráfego.

Segundo IPR 745 (DNIT, 2011), o Sistema de Gerência de Pavimentos está estruturado por componentes que devem interagir mutuamente, o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos. O controle tecnológico constante aos pavimentos visa fornecer

dados do estado atual da estrutura através de uma série de informações coletadas a partir de métodos destrutivos, semi-destrutivos e os não destrutivos.

Nos métodos destrutivos são retiradas amostras deformadas e/ou indeformadas por meio de furos de sondagem, visando à determinação das características físicas dos materiais no laboratório, com a desvantagem que no laboratório não é possível a reprodução das condições ambientais e as tensões que os materiais suportam em campo.

Nos métodos semi-destrutivos podem ser citados os cones de penetração, onde é possível determinar a espessura das camadas e nos quais não é preciso fazer sondagens para a extração de amostras e tem como vantagem sua execução em menor tempo e com menor dano à estrutura. Dentre eles pode-se citar o “Dynamic Cone Penetration” (DCP) ou Penetrômetro Dinâmico de Cone e o “Pénétrômetre Autonome Numérique Dynamique Assisté par Ordinateur” (PANDA).

Segundo Sachet *et.al* (2006), o ensaio DCP trata-se de um ensaio rápido e de baixo custo que não requer a abertura de trincheiras e possibilita caracterizar a capacidade de suporte do solo em seu estado natural ou em camadas compactadas é um procedimento consagrado em países como África do Sul, Argentina, Chile, Estados Unidos, Inglaterra, Malásia e Israel. No Brasil a utilização dessa técnica tem-se limitado a escalas menores. Diversos trabalhos apontam aspectos relevantes do DCP como elemento auxiliar no controle tecnológico de obras rodoviárias.

Toledo e Hermosilla (2008) afirmam que o DCP mede a penetração dinâmica produzida por cada curso através dos vários componentes das camadas do pavimento. Essa penetração é função da força de cisalhamento *in situ* dos materiais que formam a estrutura. O perfil de resistência à profundidade fornece uma indicação das propriedades das camadas de materiais que o compõem, em condições reais em que estes estão no momento do teste.

Em projetos de pavimentos são normalmente utilizados valores de capacidade de suporte resultantes do ensaio CBR, porém estas determinações podem ser adquiridas através do ensaio utilizando o DCP, desde que haja um modelo de calibração entre os índices DCP e CBR para o material em que se deseja estimar a sua resistência. Além disso, o ensaio DCP pode ser útil quando se deseja conhecer a capacidade de suporte “*in situ*”, assim como a profundidade das camadas da estrutura do pavimento (BERTI; PAIVA, 2006).

Com base nos índices CBR e DCP é possível estabelecer correlações, conduzindo ao desenvolvimento de modelos de regressão, correlacionando a capacidade de suporte obtida através de ensaios com o auxílio do DCP e do CBR.

A correlação de resultados de ensaios é desejável para se estimarem os valores entre ensaios de vários materiais. Essas correlações são aproximações e assim devem ser usadas. Valores provenientes de ensaios são uma função do método da realização do ensaio, do teor de umidade e a massa específica aparente seca. Ao fixar valores de resistência de um solo, sem considerar esses fatores, é comum gerar suposições errôneas.

De acordo com Karunaprema e Edirisinghe (2003), análises de regressão mostraram que existe uma relação inversa entre o DCP e o CBR para o ensaio de solos. Os dados podem ser analisados através de modelos lineares, Logarítmicos, exponenciais ou bi-logarítmicos (Log x Log).

Quanto a esse tema existem diversas pesquisas desenvolvidas no Brasil e em vários países do mundo, correlacionando o valor de resistência à penetração DCP (mm/golpe), razão entre profundidade de penetração e número de golpes e a medida CBR (%), porcentagem em relação a um material com alta qualidade de resistência. Portanto, através dessas correlações é possível estimar valores que indicam a capacidade de suporte do material. Porém, as correlações variam de acordo com o tipo de material, com as condições de ensaio (em que se prioriza que os dois sejam ensaiados com o material no mesmo teor de umidade e massa específica aparente seca, além da mesma energia de compactação), assim como o ângulo da ponta cônica do equipamento DCP.

Métodos não destrutivos são executados ensaios na superfície onde é possível a medição dos deslocamentos recuperáveis do asfalto com a aplicação de uma carga padrão, e a partir de uma adequada interpretação de seus resultados é possível determina-se a vida remanescente do pavimento mediante correlações e retroanálise de dados.

Os equipamentos para a determinação da deformação recuperável ou “deflexão” do pavimento são conhecidos como deflectómetros. Dentre os equipamentos mais conhecidos no meio rodoviário tem-se:

- ◆ Viga Benkelman: é um equipamento versátil, com grandes facilidades para a execução do ensaio, a medição das deflexões e ainda para seu transporte. Segundo as normas

PRO-010/79 (DNER, 1979a) e PRO-011/79 (DNER, 1979b), consiste na aplicação de uma carga padrão de 8,2 toneladas no eixo traseiro de um caminhão o qual deve ter seus pneus calibrados a uma pressão de 80 Psi. O cálculo da deflexão máxima é realizado mediante o deslocamento do caminhão numa medida de 0,25 m e para a determinação da bacia de deslocamento o caminhão será deslocado em distintas medidas de 0,25m até atingir 2,0 m. A desvantagem deste aparelho é a lentidão na execução no ensaio, a maior acurácia do método depende da experiência e habilidade da equipe na sincronização dos movimentos e leitura do extensômetro.

- ◆ “Falling Weight Deflectometer” (FWD): equipamento que utiliza um impulso a modo de carregamento à superfície do pavimento simulando as cargas produzidas pela rodagem dos veículos, seu funcionamento é dado pela queda livre de um conjunto de pesos de uma altura especificada sobre um sistema de amortecimento o qual transfere a carga do impacto a uma placa circular que se encontra apoiada no pavimento, os impactos causam deflexões que são automaticamente registradas por sensores posicionados radialmente ao redor da placa.

2.5 Retroanálise das Bacias de Deformação

Para aplicação de cálculo de tensões e deformações para conhecimento da estrutura de um pavimento ou para dimensionamento de reforços, é necessário conhecer a rigidez de todas as camadas que o compõem incluso o subleito.

A maioria dos pavimentos no Brasil é dimensionado pelo método do California Bearing Ratio (CBR), e no início de uma análise não são conhecidas as características de resiliência dos materiais nos trechos avaliados. Mesmo conhecendo os valores dos módulos de resiliência da época de desenho e construção dos projetos, eles tendem a ser variáveis com o tempo e o uso, e em alguns casos pelo clima. Uma forma de conhecer as propriedades desses materiais seria por meio de avaliação destrutiva pela abertura de poços, que permitam coletar amostras e determinar esses parâmetros em laboratório. Mas esse tipo de avaliação gera transtornos ao pavimento e demora um tempo razoável.

Surgiu então a retroanálise, um método que permite inferir os módulos de elasticidade das camadas do pavimento e do subleito por interpretação das bacias de deformação, o qual é um

parâmetro retrocalculado e não determinado em laboratório por ensaios de repetição de carga como é o módulo de resiliência. (BERNUCCI, et al, 2010)

Os métodos tradicionais fazem a caracterização estrutural de um pavimento a partir dos valores individuais de deflexão máxima, considerando-os isoladamente. A deflexão máxima possibilita a determinação dos locais onde o pavimento apresenta variações nas deformações verticais reversíveis do carregamento imposto pelo tráfego. Entretanto, um mesmo valor de deflexão reversível máxima pode representar inúmeros níveis de qualidade estrutural, tanto mais crítica quanto mais concentrada a bacia, dependendo também do tipo da estrutura. Ou seja, pode-se obter uma mesma deflexão máxima para diversas combinações estruturais.

Entre os programas simplificados brasileiros tem sido utilizado o RETRAN2CL, desenvolvido por Albernaz (1997) que se baseia nas seguintes hipóteses e simplificações, entre outras:

- ◆ Modelagem como um sistema ideal elástico de duas camadas: (i) pavimento, e (ii) subleito;
- ◆ Materiais da estrutura de pavimento são considerados sem peso, homogêneos e isotrópicos;
- ◆ Pavimento tem uma espessura uniforme e uma largura infinita; o subleito tem espessura infinita;
- ◆ Coeficiente de Poisson é 0,5 para o pavimento e o subleito;
- ◆ Aplicação em pavimento com espessura menor que o raio da placa de carga não é confiável.

Na literatura são conhecidos dois métodos de retroanálise, os simplificados e os iterativos. Nos métodos simplificados de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos são estimados os módulos do sistema pavimento-subleito por meio da aplicação direta de equações, tabelas, gráficos e outros procedimentos simplificados gerados a partir da Teoria da Elasticidade aplicada aos meios homogêneos, isotrópicos e linearmente elásticos, a partir de bacias de deflexão. Mas segundo Albernaz (1997), devido a sua formulação simplificada, esses métodos perdem em acurácia, mas ganham em tempo de processamento, podendo ser úteis em análises preliminares e anteprojetos. Existem também outros métodos simplificados comuns como são: o Método de Fabrício et. al. (1988), o Método da AASTHO (1993), o e o Método de Nouredin (1993) que utiliza os dados deflectométricos obtidos com FWD.

Métodos interativos calculam os módulos de todas as camadas do pavimento e do subleito. Conhecendo as espessuras dessas camadas, e as cargas atuantes, podem ser calculadas as tensões, deformações e deslocamentos em qualquer ponto do sistema pavimento/subleito.

Medina e Motta (2005) afirmaram que quando se têm poucas camadas de materiais distintos e medem-se as deflexões em muitos pontos é possível associar pontos da bacia com a contribuição de camadas específicas e dessa forma obter os módulos elásticos equivalentes correspondentes, desde que se conheçam a espessura das mesmas.

Segundo Medina et al. (1994), de um modo geral, as metodologias de retroanálise adotam as seguintes etapas:

1. Estimativa dos módulos iniciais para as diversas camadas;
2. Cálculo da bacia de deflexões a partir dos módulos estimados;
3. Comparação entre as deflexões teóricas e as deflexões medidas em campo;
4. Ajuste dos módulos;
5. Repetição dos itens 2 a 4, até que o erro verificado entre as deflexões esteja limitado por algum critério previamente estabelecido, ou ainda que o conjunto de módulos não varie mais do que um intervalo pré-fixado, ou ainda que o programa atinja um certo número de iterações

Para determinação por retroanálise dos módulos de elasticidade do pavimento BATISTA (2007) utiliza a ferramenta KENLAYER (HUANG, 2004) para determinação de parâmetros de deformabilidade de camadas de um pavimento a partir de ensaios de campo que possui como método de cálculo a teoria elástica de múltiplas camadas sob uma área de carga circular.

KENLAYER, juntamente com a ferramenta de entrada de dados LAYERINP e a ferramenta gráfica LGRAPH, são parte do programa KENPAVE. Este programa pode ser aplicado a um máximo de 19 camadas com saída em 10 diferentes coordenadas radiais e 19 diferentes coordenadas verticais, num total de 190 pontos. Para facilitar a inserção e edição de dados, o programa chamado LAYERINP é utilizado. O programa usa formulários de entrada de dados para criar e editar o arquivo de dados. Apesar do grande número de parâmetros de entrada,

alguns valores padrão são fornecidos para muitos deles, portanto, apenas um número limitado de dados de entrada é necessário (HUANG, 2004).

Para Nóbrega (2003), o KENLAYER é uma ferramenta que calcula durante o processamento os parâmetros elásticos. Nesse método, a comparação entre as bacias de campo e a calculada é feita de forma iterativa, até que a semelhança entre ambas esteja dentro do limite estipulado.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentadas as rodovias escolhidas para o estudo, as metodologias utilizadas para desenvolver esta pesquisa e os procedimentos para análise dos resultados. A seguir é apresentada a descrição das etapas do trabalho.

3.1 RODOVIAS SELECIONADAS PARA PESQUISA E COLETA DE AMOSTRAS

Conforme a Agência Goiana de Transportes e Obras (AGETOP, 2011), o programa Rodovida Reconstrução procura cuidar de obras de infraestrutura viária do estado de Goiás, para facilitar o acesso intermunicipal, estimular o escoamento da produção do estado, assim como oferecer maior segurança e comodidade aos usuários e muitos outros benefícios. A prioridade do programa é atender os segmentos que apresentam dificuldades nas condições de tráfego e aumentar a vida útil das rodovias no mínimo em dez anos.

Para a adoção das soluções para cada uma das rodovias foram considerados fatores como a condição visual da superfície, condições do tráfego como tipos de carga, frequência, volume, até a disponibilidade de materiais nas zonas próximas às obras. A definição das soluções foi dada em segmentos homogêneos para cada projeto, em função de levantamentos da avaliação visual de sua condição e posterior determinação do índice de degradação do pavimento, essas análises realizadas por uma empresa privada contratada pela AGETOP.

Dentre as obras que estavam sendo executadas no momento da renovação do convênio, foram escolhidas pela Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO) seis rodovias para serem avaliadas. Dessas seis, duas se tratavam de duplicação e as outras quatro de restauração. Para esta pesquisa foram estudadas as quatro rodovias estaduais que estavam inseridas na segunda fase do programa Rodovida Reconstrução e que tiveram a reciclagem profunda com incorporação de brita como solução adotada para restauração das vias. No entanto, em uma delas não foi possível realizar o ensaio com o Penetrômetro Dinâmico de Cone. Assim sendo,

nesta dissertação são apresentados os resultados de três rodovias em que foi possível realizar o estudo completo.

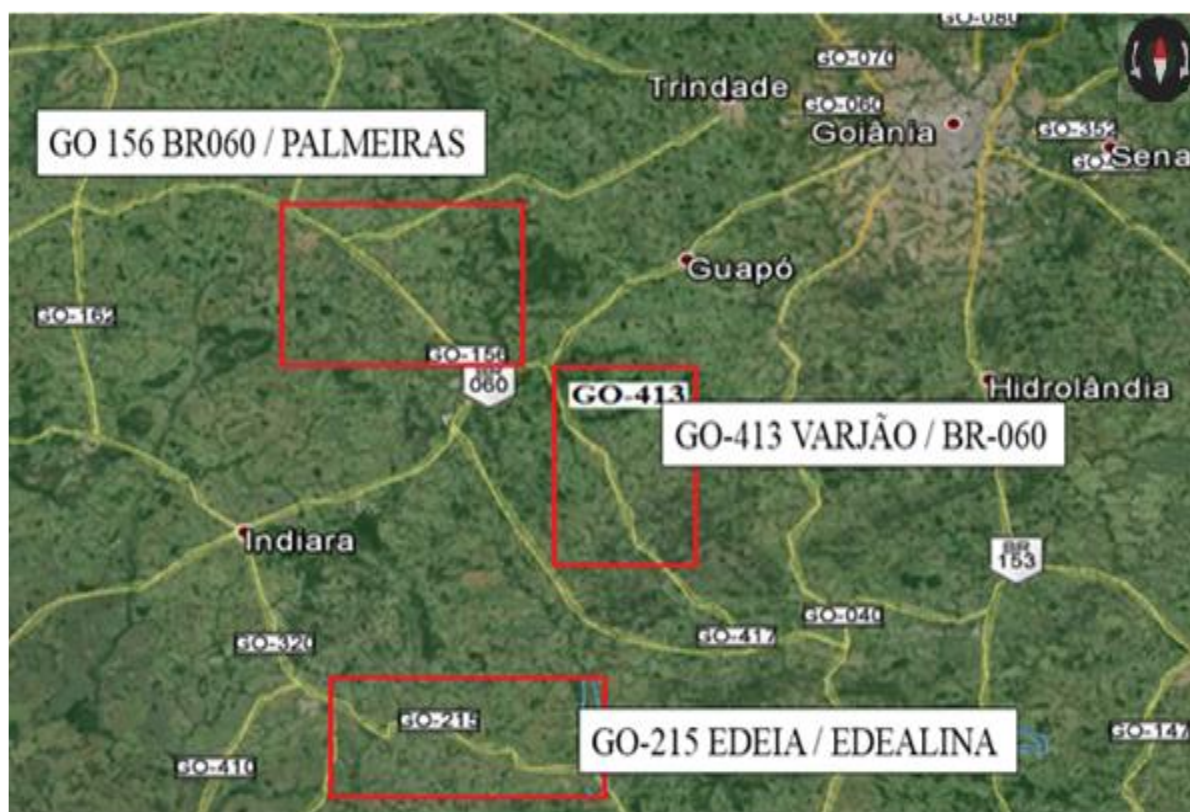
Na Tabela 3.1 são apresentados os três trechos selecionados que foram avaliados nesta dissertação. Em cada rodovia foram selecionados trechos de oito quilômetros para a realização dos estudos. Na Figura 3.1 tem-se um mapa com a localização destas rodovias. Reciclagem de base 18 cm + adição de 25% de brita

Tabela 3.1 - Descrição das rodovias selecionadas.

RODOVIA	EXTENSÃO AVALIADA (km)	TRECHO	BASE	TIPO DE REVESTIMENTO
GO-156	8	BR-060 / Palmeiras de Goiás	Reciclagem de base 18 cm + adição de 25% de brita	TSD + Microrrevestimento 8 mm
GO-413	8	Varjão / BR-060		
GO-215	8	Edeia / Pontalina		CBUQ (esp = 4 cm)

Obs.: TSD – Tratamento Superficial Duplo; CBUQ – Cimento Betuminoso Usinado a Quente

Figura 3.1 - Mapa de localização dos trechos (AGETOP, 2011)



Foram programadas coletas de amostras deformadas nos dias em que as construtoras estavam realizando a reciclagem da base. Após a passagem da recicladora e espalhamento da brita e antes da compactação, foram coletados 80 kg do material de base em cada trecho, conforme ilustrado na Figura 3.2.

Essas amostras foram levadas para o Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Goiás. Inicialmente, foi definida a calibração da umidade medida com o aparelho “Speedy” em função da umidade determinada com a estufa, separando várias amostras com diferente teor de água para secagem a partir da umidade de compactação da base de cada rodovia. Posteriormente, essas amostras foram utilizadas para a compactação de corpos de prova segundo a norma NBR 7182 (ABNT, 1986), conforme as energias de compactação utilizadas em cada rodovia restaurada para a posterior realização de ensaios de “California Bearing Ratio” (CBR) e Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) para a determinação da correlação entre eles para amostras de base reciclada a frio “in situ”.

Os estudos laboratoriais completos para determinação de parâmetros de caracterização, compactação, expansão, CBR e módulo resiliente desses materiais são objeto de estudo de Silva Jr (2014)², em fase de elaboração.

Figura 3.2 – Coleta de amostras após o processo de reciclagem



²SILVA JR. V.M. Estudo Laboratorial de Bases Recicladas “in situ”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás, 2014.

Nos dias das visitas nas obras, observou-se que na rodovia GO-413 o processo de reciclagem não foi executado com máquina recicladora, devido a problemas mecânicos relatados pelos encarregados do processo. O processo de reciclagem foi então realizado de forma alternativa em duas etapas: na primeira, o pavimento existente era quebrado e escarificado com a motoniveladora e na etapa seguinte os materiais eram gradados e misturados com o acréscimo de brita. A mistura prévia dos materiais era executada com outro aparelho diferente de uma recicladora de asfalto. Nesses processos não houve monitoramento da profundidade da camada reciclada por parte da equipe de trabalho responsável pela obra. Na Figura 3.3a. é ilustrada a escarificação do pavimento e a base, e na Figura 3.3b. é apresentado o equipamento alternativo utilizado na reciclagem desse trecho (Patrol).

Figura 3.3 - Processo alternativo de Reciclagem GO-413



(a) Escarificação com Motoniveladora



(b) Equipamento alternativo para Reciclagem

3.2 CONTROLE DE COMPACTAÇÃO “IN SITU”

Uma vez finalizada a fase de compactação na camada de base, foram executados ensaios de campo para determinação da massa específica aparente do solo seco “in situ” com emprego do frasco de areia, segundo o procedimento da norma 092 (DNER, 1994a) e mostrado na Figura 3.4a. Nos mesmos pontos foi determinado o teor de umidade “in situ” com o “Speedy” conforme a norma 052 (DNER, 1994b) e ilustrado na Figura 3.4b. No caso do “Speedy”, com as amostras deformadas coletadas em campo foram realizados ensaios em laboratório para

determinar a calibração entre o “Speedy” e a estufa, visando auxiliar no andamento dos ensaios em campo. Em cada trecho foram selecionadas três estacas para a realização desses ensaios em função da extensão da pista que foi reciclada nos dias das visitas para execução do controle tecnológico.

Figura 3.4 - Execução de ensaio de Frasco de Areia e Speedy



3.3 AVALIAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE CBR E DCP

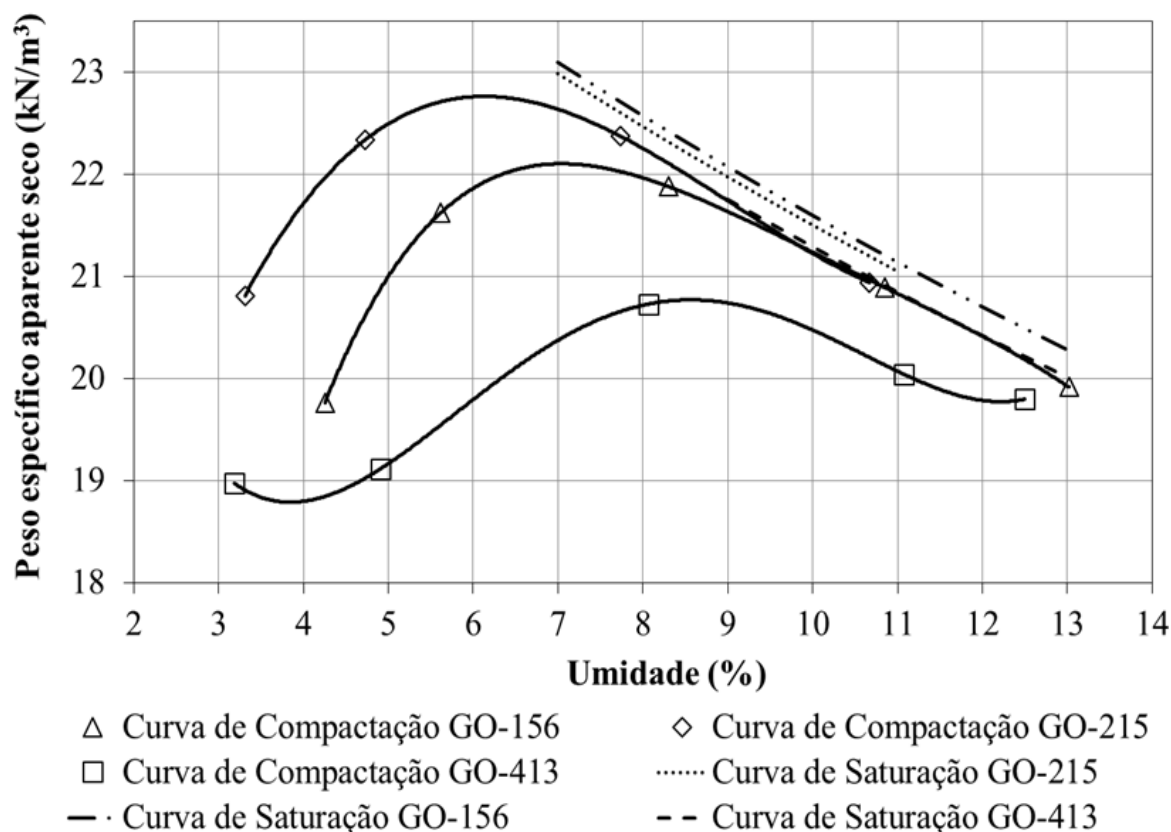
Com o material coletado nas pistas, foram executados ensaios de laboratório segundo a metodologia proposta por Abitante *et al* (2009), visando propor um modelo que relacione o CBR com o Índice de Penetração (DN) obtido a partir do ensaio com DCP em corpos de prova compactados. Para o desenvolvimento desses ensaios foram moldados pares de corpos de prova no cilindro grande com a mistura coletada em cada rodovia na umidade ótima e na energia de compactação definidas nas obras (Tabela 3.2). A umidade ótima foi determinada a partir das curvas de compactação encontradas por Silva Jr. (2014)² e apresentadas na Figura 3.5.

Tabela 3.2 - Energias de Compactação utilizadas para preparação dos corpos de prova

Rodovia	Energia de Compactação	Nº de Golpes	Nº de Camadas	Peso do Soquete (g)
GO-156	Intermediária	26	5	4536 ± 10
GO-215	Modificada	55	5	4536 ± 10
GO-413	Intermediária	26	5	4536 ± 10

Na Figura 3.5 observa-se que a forma da curva de compactação do material da GO-413 é diferente (mais achatada) das demais, o que afetará a faixa de variação de umidade permitida na obra para garantir o Grau de Compactação (GC) adequado, sendo ela menor para este material.

Figura 3.5 - Curvas de Compactação e Saturação dos materiais coletados nos trechos restaurados (SILVA JR, 2014²)



Mais quatro pares de corpos de prova foram compactados tentando atingir uma variação em suas umidades próxima a 0,5% acima e abaixo da umidade ótima. Depois de compactados e pesados, os pares de corpos de prova para cada ponto de umidade foram colocados na prensa para realizar o procedimento de penetração mecânica para a determinação do CBR de acordo com o método de ensaio que descreve a norma NBR – 9895 (1987), como mostrado na Figura 3.6a. Em seguida, foi executado o ensaio de DCP em laboratório nos corpos de prova confinados nos cilindros de compactação, como apresentado na Figura 3.6b. Cabe ressaltar que os ensaios de CBR e DCP de laboratório foram realizados nos corpos de prova após o processo

de compactação e sem imersão, com o objetivo de simular da melhor maneira possível a condição que se tem em campo.

Figura 3.6 - Ensaios realizados em laboratório: (a) CBR (b) DCP



3.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL

Para avaliar a estrutura e a funcionalidade dos pavimentos restaurados, foram realizados os seguintes ensaios de campo: Levantamento Visual Contínuo (LVC), DCP e viga Benkelman num total de 24 km, como apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Localização dos ensaios de campo

RODOVIA	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (Km)
GO - 156	400 + 0,00	800 + 0,00	8
GO - 215	600 + 0,00	1000 + 0,00	8
GO - 413	050 + 0,00	450 + 0,00	8
TOTAL	--	--	24

A escolha das estacas para realização dos ensaios de campo foi em função dos segmentos que foram concluídos, sendo que em todos os trechos foram realizados ensaios de campo necessariamente nos locais em que foram coletadas amostras deformadas. A seguir tem-se a descrição dos ensaios realizados.

Na Tabela 3.4 tem-se o total de ensaios que foram realizados nos segmentos escolhidos. É importante ressaltar que os ensaios foram realizados no momento em que as rodovias tiveram suas obras de restauração concluídas.

Tabela 3.4 – Quantidade de ensaios de campo realizados

TOTAL: 24 km	
TIPO DE ENSAIOS	QUANTIDADE DE ENSAIOS (unid.)
Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP)	123
Levantamento Visual Contínuo (LVC)	1200
Deflexões máximas com a Viga Benkelman	1200
Bacia de deslocamento com a Viga Benkelman	240

3.4.1 Levantamento Visual e determinação da Trilha de Roda

Para avaliação do estado do pavimento após sua restauração, foi feita uma análise objetiva da frequência da ocorrência de defeitos na superfície do pavimento, através da contagem e classificação de ocorrências aparentes e da medida das deformações permanentes nas trilhas de roda. Essa avaliação objetiva precisa de conhecimento das patologias descritas na norma TER 005 (DNIT, 2003a). Para a identificação dos defeitos e o levantamento de dados em campo são utilizadas planilhas conforme apresentada na Figura 3.7, onde são coletados e codificados os dados referentes às deteriorações encontradas na superfície.

Figura 3.7 – Planilha para inventário de superfície do pavimento

INVENTÁRIO DO ESTADO DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				DATA :			
RODOVIA: SUBTRECHO :										TIPO DE REVES. :										ESTACA			
TRECHO:										SEGMENTO : Est 0,00 a Est										0+0,00			
EST. ou Km	FC - 1						FC - 2		FC - 3		ALP	ATP	O	P	EX	D	R	ALP	ATC	E	FLECHAS		OBS
	FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	JE	TBE											TRI	TRE	
	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	(3)	(3)	(4)	(4)	(5)	(5)	(6)	(7)	(8)						

A Figura 3.8 mostra como são medidos os afundamentos ou medidas das flechas nas trilhas de roda interna e externa encontradas na superfície analisada com auxílio da treliça metálica os dados coletados foram anotados na planilha de campo. Com os dados coletados foram atribuídos indicadores numéricos que classificaram o estado geral do pavimento, sendo

calculado o Índice de Gravidade Global (IGG) conforme o procedimento PRO 006 (DNIT, 2003a).

Figura 3.8 - Levantamento do afundamento de trilha de roda



Foram marcados segmentos de avaliação a cada 20 m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 m em 40 m em cada faixa de tráfego) e os ensaios de LVC nas rodovias desta pesquisa foram realizados nos meses de maio e junho de 2014.

3.4.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone

O ensaio com DCP (Figura 3.9) foi realizado de acordo com a norma americana D 6951 – 03 (ASTM, 2003), em que é realizada a contagem do número de golpes aplicados pela queda de uma massa de aço, com peso de 8 kg que desliza por uma barra de aço de 25 mm de diâmetro, a uma altura de 575 mm e introduz a haste com diâmetro de 16 mm juntamente com o cone no solo. A haste deverá penetrar 60 cm no solo, que serão medidos com uma régua. Entende-se que ao penetrar 60 cm, a haste percorre as camadas de base, sub-base e uma parte da camada de subleito.

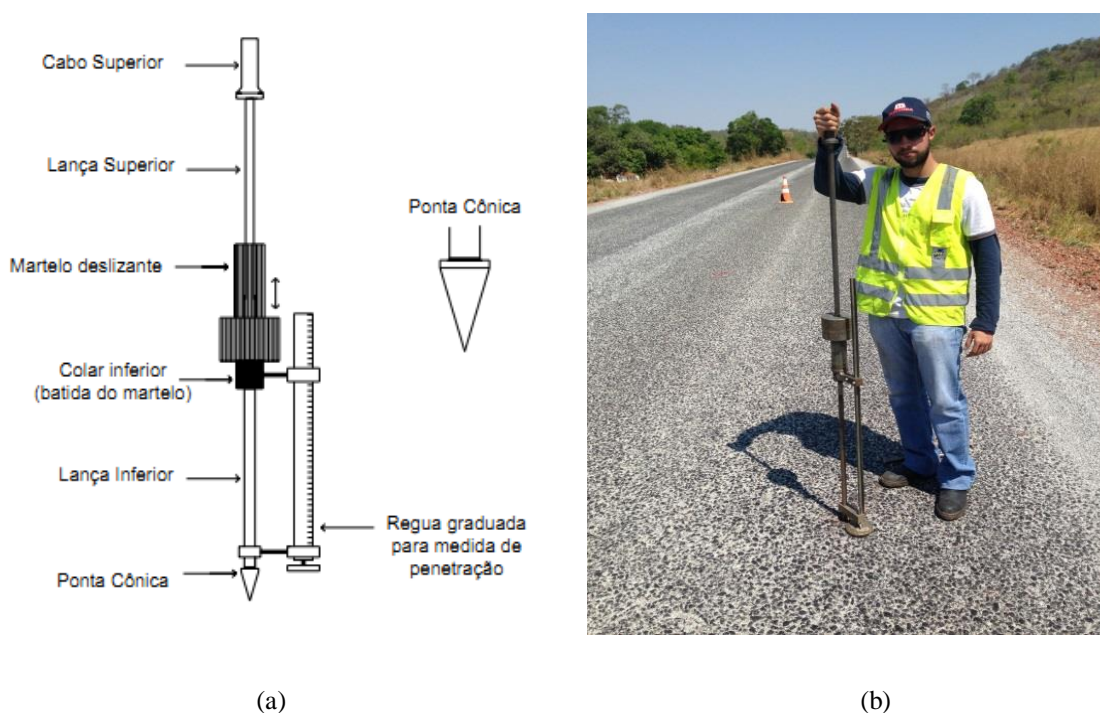
O ensaio foi realizado de 200 m em 200 m de maneira alternada entre os bordos direito e esquerdo da pista nos meses de outubro e novembro do ano 2013, antes da execução do revestimento dos trechos. Dessa forma, obtinha-se no mínimo 40 ensaios para realização das análises. Os dados foram anotados em uma planilha onde se indicou para cada série de golpes aplicados, a profundidade alcançada pela ponta cônica. Dessa forma, foram realizados os registros das penetrações, em milímetros, correspondentes a cada golpe do martelo.

O ensaio DCP, além de determinar o índice de penetração (DN mm/golpes), permite a identificação da estratigrafia do pavimento. Assim, quando a camada é composta por um material de maior resistência, o número de golpes necessários para alcançar uma determinada profundidade é maior do que quando a camada é composta por solo de menor resistência.

Além disso, com os valores de DN obtidos para as bases, foi possível estimar o valor de CBR utilizando a equação obtida no estudo realizado em laboratório para correlacionar os dois parâmetros.

Com os dados obtidos dos ensaios foram determinados os valores de espessura média e DN médio de cada camada. Em seguida, foram determinados os valores estatísticos de mediana, erro padrão da média e coeficiente de variação para avaliação da homogeneidade dos parâmetros nos trechos analisados.

Figura 3.9 -- Penetrômetro Dinâmico de Cone. (a) esquema do equipamento; (b) Ensaio em andamento.



3.4.3 Viga Benkelman

Para determinação das bacias de deslocamento, foi adotado o método de ensaio ME 133 (DNIT, 2010), no qual para delinear as bacias serão realizados ensaios com deslocamento do caminhão

de 100 em 100 m, (Figura 3.10) de maneira alternada nas bordas das rodovias. Foram medidas as deflexões correspondentes às distâncias entre a ponta da viga e o eixo traseiro do caminhão, de 0,25m em 0,25m até a extensão de 2,00m. Os ensaios foram realizados após a execução do revestimento numa extensão de oito quilômetros. Durante a realização dos levantamentos, foi medida a temperatura na superfície do revestimento com auxílio de termômetro infravermelho.

A viga utilizada apresenta a relação de braços a/b de 2/1, sendo a igual a 2,44 m e b igual a 1,22 m. Para a avaliação da deflexão máxima, foram realizadas medições de 20 em 20 m, de maneira alternada entre os bordos direito e esquerdo da pista, conforme o método de ensaio ME 133 (DNIT, 2010). Antes do início da campanha de medição, a viga foi calibrada em laboratório, de acordo com o procedimento PRO 175 (DNER, 1994).

A avaliação estrutural dos pavimentos estudados foi realizada segundo os procedimentos descritos nas normas PRO-010/79 (DNER, 1979a) e PRO-011/79 (DNER, 1979b) e a metodologia proposta por Lopes (2012). Esses procedimentos propõem a divisão dos trechos em segmentos homogêneos, onde seus limites foram definidos levando-se em conta os resultados das análises estatística dos valores dos raios de curvatura, calculados após o ensaio de viga Benkelman.

Figura 3.10 – Ensaio de Viga Benkelman



3.5 RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFORMAÇÃO

Com os dados de deflexão máxima D_0 calculados com os dados coletados dos ensaios com a viga Benkelman, foi realizada a retroanálise das bacias de deslocamento para estimar o módulo de elasticidade das camadas dos pavimentos dos trechos selecionados. A comparação das bacias medidas em campo com as calculadas é feita de maneira interativa até que a semelhança entre a calculada com os dados da viga Benkelman e a encontrada com o retroanálise esteja dentro do limite estipulado para o projeto.

Para a determinação da forma e magnitude das bacias de deslocamento verificadas em campo, foi utilizado o pacote computacional KENPAVE e sua ferramenta de retroanálise denominada KENLAYER desenvolvido na Universidade de Kentucky (HUANG, 2004). Esse programa de retroanálise foi adotado para esta pesquisa devido a sua fácil operação e seu baixo tempo de processamento nas interações.

As retroanálises das bacias foram feitas após a subdivisão dos trechos de oito quilômetros em segmentos homogêneos conforme indica a norma PRO 011 (DNER, 1979b). As retroanálises foram feitas para o valor médio das deflexões de cada segmento.

Como parâmetros de entrada foram utilizados: a) Com relação às cargas: quantidade, valor, coordenadas (x, y) e pressão dos pneus, b) Com relação às camadas e seus materiais constituintes: quantidade, espessuras, Coeficientes de Poisson e Módulos de Elasticidade, e c) Com relação aos pontos de análise: coordenadas (x, y) e profundidade (z). Os dados de saída do programa se constituem: a) Tensões normais, b) Tensões cisalhantes, c) Tensões principais atuantes). Deslocamentos normais; e) Deformações normais; f) Deformações cisalhantes; e g) Deformações principais.

Com relação às cargas e pressão dos pneus foram usados os padrões definidos para o ensaio com a viga Benkelman explicitados na norma ME 133 (DNIT, 2010a). Os valores de coeficientes de Poisson utilizados foram de 0,35 para revestimentos de CBUQ, 0,40 para base e sub-base e de 0,45 para o subleito, baseados na literatura técnica (COSTA, 2013). No KENLAYER é aplicado a um meio-espaço homogêneo, assumindo que toda a camada possui o mesmo módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, já que o seu efeito é pequeno.

Como base de análise no programa foram utilizados os pontos de leitura do ensaio com a viga Benkelman e foram estimados os módulos de elasticidade necessários para as camadas que constituem o pavimento, o que irá possibilitar o delineamento da bacia de deformação teórica.

A espessura das camadas e a quantidade devem ser informadas no programa. Optou-se por utilizar os resultados da estratigrafia do pavimento encontrados por meio do ensaio de DCP, utilizando o valor médio das espessuras das camadas de cada segmento homogêneo.

Na ferramenta de retroanálises KENLAYER, como critério de semelhança entre as bacias reais e encontradas, procurou-se aproximar o primeiro ponto de ambas as bacias, já que a deflexão máxima é o principal parâmetro de análise.

Quando o revestimento é composto e Tratamentos Superficiais e Microrrevestimento resultam numa espessura final pequena, pode-se constatar que não há função estrutural dessa camada. Por esse motivo, na retroanálise não se determina valores de módulo de elasticidade para esse tipo de revestimento.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados em laboratório com as amostras coletadas de base reciclada e resultados dos ensaios de campo executados nos trechos de oito quilômetros selecionados para cada rodovia.

4.1 ENSAIOS DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO “IN SITU”

Para cada uma das rodovias foram executados ensaios de campo após a compactação da base reciclada para controle de compactação.

4.1.1 Determinação da Umidade e do Peso Específico Aparente Seco “in situ”

Na Tabela 4.1 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios para controle de compactação.

Tabela 4.1 - Resultados do controle de compactação nas bases recicladas estudadas “in situ”.

GO-156				
Estaca	w <i>Speedy</i> (%)	Δw (%)	γ_d <i>in situ</i> (kN/m³)	GC (%)
575	6,6	-0,4	22,80	116
580	8,3	+1,3	23,40	107
585	6,6	-0,4	22,10	110
GO-215				
Estaca	w <i>Speedy</i> (%)	Δw (%)	γ_d <i>in situ</i> (kN/m³)	GC (%)
710	7,9	+1,7	24,01	109
720	7,4	+1,2	22,71	103
730	8,3	+2,1	23,43	110
GO-413				
Estaca	w <i>Speedy</i> (%)	Δw (%)	γ_d <i>in situ</i> (kN/m³)	GC (%)
370	7,9	-0,5	21,89	111
380	6,9	-1,5	22,25	114
390	9,6	+1,2	21,25	106

Obs.: w *Speedy* = umidade in situ determinada com o *Speedy*, Δw = desvio da umidade em relação à umidade ótima, γ_d *in situ* = peso específico aparente seco *in situ*, GC = Grau de Compactação.

A tabela apresenta os teores de umidade da base compactada determinados com o “Speedy”, os pesos específicos aparentes secos “in situ” com o Frasco de Areia e os valores calculados para o Grau de Compactação (GC) encontrados para as bases recicladas das rodovias GO-156, GO-215 e GO-413. Alguns pontos ensaiados apresentaram teores de umidade com variação de mais de 1,0% respeito da ótima, mas mesmo assim com GC acima de 100%. No entanto, ao avaliar esses valores de umidade em relação às curvas de compactação apresentadas na Figura 3.4, observa-se que para a GO-413, onde o pico da curva é menos achatado, essa variação de umidade pode comprometer a compactação.

4.1.2 Correlação entre DN e CBR em laboratório

Na Figura 4.1 são apresentados os resultados dos ensaios de CBR e DCP realizados em laboratório em amostras coletadas nas três rodovias avaliadas. Observa-se que o modelo que apresentou maior coeficiente de determinação (R^2) foi o polinomial, ao invés do logarítmico proposto por Abitante (2009). Portanto, neste trabalho será utilizado o modelo da Equação 4.1 para estimar os valores de CBR a partir dos valores médios de DN encontrados nos ensaios realizados em campo.

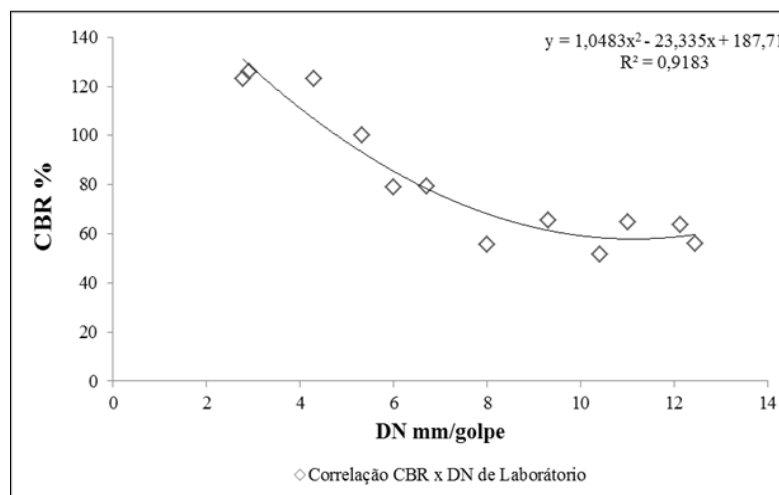
$$CBR = 1,05DN^2 - 23,34 DN + 187,71 \quad (4.1)$$

Onde:

CBR = “California Bearing Ratio” (%);

DN = Índice de Penetração (mm/golpe).

Figura 4.1 - Correlação obtida entre CBR x DN



4.2 ENSAIOS DE CAMPO

Foram executados ensaios de campo nas mesmas rodovias em que foram coletadas as amostras de base reciclada, visando que os trechos em que essas foram coletadas estiveram inseridos nos oito quilômetros para cada ensaio.

4.2.1 Levantamento Visual e determinação da Trilha de Roda

De acordo com o mencionado no item 3.4.1, foi realizado o inventário superficial de defeitos em trechos de oito quilômetros na GO-156, GO-215 e GO-413 para a determinação de ocorrência ou não de defeitos, mas sem ter em consideração a área de pista que ele ocupa. Foram realizados também os levantamentos dos Afundamentos na Trilha de Roda (ATR), com o auxílio da treliça para as bordas internas e externas de cada faixa de tráfego dos segmentos apresentados na Tabela 3.3.

Nas Tabelas 4.2 a 4.4 são apresentados os resultados do cálculo do Índice de Gravidade Individual (IGI) para cada um dos defeitos inventariados, o qual é dado pela multiplicação da frequência relativa dos defeitos encontrados pelo coeficiente de ponderação. Para a média aritmética das médias das flechas e para a média aritmética das variâncias das flechas, o fator de ponderação a utilizar depende do valor das médias aritméticas, conforme o critério na norma PRO 006 (DNIT, 2003a). A partir desses dados foi possível calcular o Índice de Gravidade Global (IGG) da GO-156, GO-215 e GO-413 apresentados nas Tabelas 4.2 a Tabela 4.4, respectivamente.

Tabela 4.2 – Planilha de Cálculo do IGG da GO-156

CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (I.G.G)					DATA : 05/2014	
RODOVIA : GO-156		TRECHO BR - 060 / PALMEIRAS DE GOIÁS		REVESTIMENTO: TSD		ESTACA
PISTA: DIREITA/ESQUERDA		SEGMENTO: Km 8,00 a Km 16,00				ESTACA
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO NO PAVIMENTO RÍGIDO OU SEMIRÍGIDO	NI	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL (%)	OBSERVAÇÕES
1	(FC -1) FI, TIC, TTL, TLC, TLL, TRR	1	0,2	0,2	0,0	
2	(FC -2) J, TB	2	0,5	0,5	0,2	
3	(FC -3) JE, TBE	0	0,0	0,8	0,0	
4	ALP, ATP	9	2,2	0,9	2,0	
5	O e P	0	0,0	1,0	0,0	
6	Ex	204	50,9	0,5	25,4	
7	D	107	26,7	0,3	8,0	
8	R	15	3,7	0,6	2,2	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	1,58		4,3 (1)	2,1	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em mm nas trilhas	3,81		1,0 (2)	3,8	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		401	Σ ÍNDICE GRAVIDADE GLOBAL =		44	Pavimento em estado regular

Tabela 4.3 – Planilha de Cálculo do IGG da GO-215

CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (I.G.G)						DATA : 05/2014	
RODOVIA : GO-215		TRECHO EDEIA/EDEALINA		REVESTIMENTO: CBUQ		ESTACA	ESTACA
PISTA: DIREITA/ESQUERDA		SEGMENTO: km 12,00 a km 20,00				600+0.00	1.000+0.00
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO NO PAVIMENTO RÍGIDO OU SEMIRÍGIDO	NI	FREQÜÊNCIA RELATIVA (%)	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL (%)	OBSERVAÇÕES	
1	(FC -1) FL, ITC, TTL, TLC, TLL, TRR	1	0,2	0,2	0,0		
2	(FC -2) J, TB	3	0,7	0,5	0,4		
3	(FC -3) JE, TBE	0	0,0	0,8	0,0		
4	ALP, ATP	2	0,5	0,9	0,4		
5	O e P	13	3,2	1,0	3,2		
6	Ex	73	18,2	0,5	9,1		
7	D	76	19,0	0,3	5,7		
8	R	1	0,2	0,6	0,1		
9	Média aritmética dos valores médios das feixas medidas em mm nas TRI e TRE	0,14		4,9 (1)	0,2		
10	Média aritmética das variâncias das feixas medidas em mm nas trilhas	0,21		1,0 (2)	0,2		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		401	Σ ÍNDICE GRAVIDADE GLOBAL = I.G.G		19	Pavimento em ótimo estado	

Tabela 4.4 – Planilha de Cálculo do IGG da GO-413

CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (I.G.G)						DATA : 05/2014	
RODOVIA : GO-413		TRECHO VARJÃO / BR - 060		REVESTIMENTO: TSD		ESTACA	ESTACA
PISTA: DIREITA / ESQUERDA		SEGMENTO: km 1,00 a km 9,00				50+0.00	450+0.00
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO NO PAVIMENTO RÍGIDO OU SEMIRÍGIDO	NI	FREQÜÊNCIA RELATIVA (%)	COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL (%)	OBSERVAÇÕES	
1	(FC -1) FL, ITC, TTL, TLC, TLL, TRR	1	0,2	0,2	0,0		
2	(FC -2) J, TB	2	0,5	0,5	0,2		
3	(FC -3) JE, TBE	0	0,0	0,8	0,0		
4	ALP, ATP	12	3,0	0,9	2,7		
5	O e P	23	5,7	1,0	5,7		
6	Ex	90	22,4	0,5	11,2		
7	D	112	27,9	0,3	8,4		
8	R	7	1,7	0,6	1,0		
9	Média aritmética dos valores médios das feixas medidas em mm nas TRI e TRE	1,09		4,9 (1)	1,5		
10	Média aritmética das variâncias das feixas medidas em mm nas trilhas	3,06		1,0 (2)	3,1		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		401	Σ ÍNDICE GRAVIDADE GLOBAL = I.G.G		34	Pavimento em bom estado	

Para as rodovias GO-156 e GO-413, a solução adotada para sua reconstrução foi a reciclagem profunda com acréscimo de 25% de brita na base e como revestimento foi executado Tratamento Superficial Duplo (TSD) coberto por uma camada de microrrevestimento. Já para a rodovia GO-215, foi utilizada a mesma técnica de reciclagem, mas o revestimento foi composto por uma camada de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com espessura de cinco centímetros. O levantamento visual foi feito após a entrega da obra e era esperado encontrar pavimentos em ótimo estado, conforme classificação do procedimento PRO 006 (DNIT, 2003a) apresentada na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Para a GO-156 foi determinado um IGG dentro dos limites $40 < \text{IGG} \leq 80$ o que indica que o pavimento encontra-se em estado regular. Na GO-215, com um IGG de 19, o pavimento é classificado como ótimo. Já para a GO-413 foi determinado um IGG dentro dos limites $20 < \text{IGG} \leq 40$ o que indica que o pavimento encontra-se em bom estado.

Conforme apresentado nas Figuras 4.2 a 4.4, as ocorrências mais comuns observadas nessas rodovias foram o desgaste (D) e a exsudação (Ex), ou seja, problemas relacionados ao revestimento utilizado nas obras. Segundo Bernucci et al. (2010), algumas causas prováveis para o aparecimento desses defeitos são: falhas do bico durante a execução de tratamentos superficiais, problemas executivos ou de projeto de misturas – segregação de massa asfáltica, falhas de adesividade ligante-agregado, presença de água aprisionada e sobre pressão nos vazios da camada de revestimento gerando descolamento de ligante, problemas de dosagem – deficiência no teor de ligante. Além disso, pode-se acrescentar que quando é feita a seleção deficiente de agregados, problemas de adesividade somados à potencialidade de polimento das superfícies dos agregados pela ação dos pneus de veículos geram o desgaste.

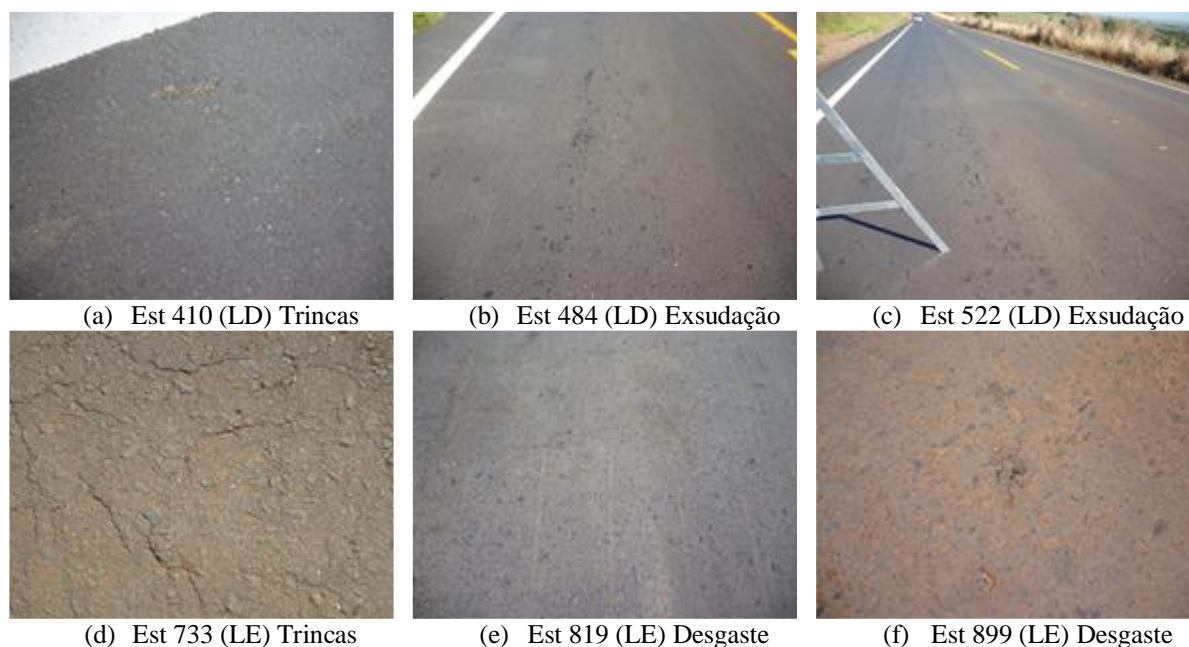
No caso específico das rodovias GO-156 e GO-413, pode-se observar que devido ao fato dos pavimentos estudados terem sido restaurados recentemente, o desgaste observado pode estar vinculado mais ao tipo de mistura asfáltica utilizada e a falhas nos processos executivos. Assim, para evitar esse tipo de situação, antes da execução é recomendado realizar um estudo adequado do microrrevestimento que será utilizado e de sua aplicação.

Figura 4.2 - Aspectos da superfície do pavimento de algumas estacas avaliadas para obtenção do IGG na GO-156



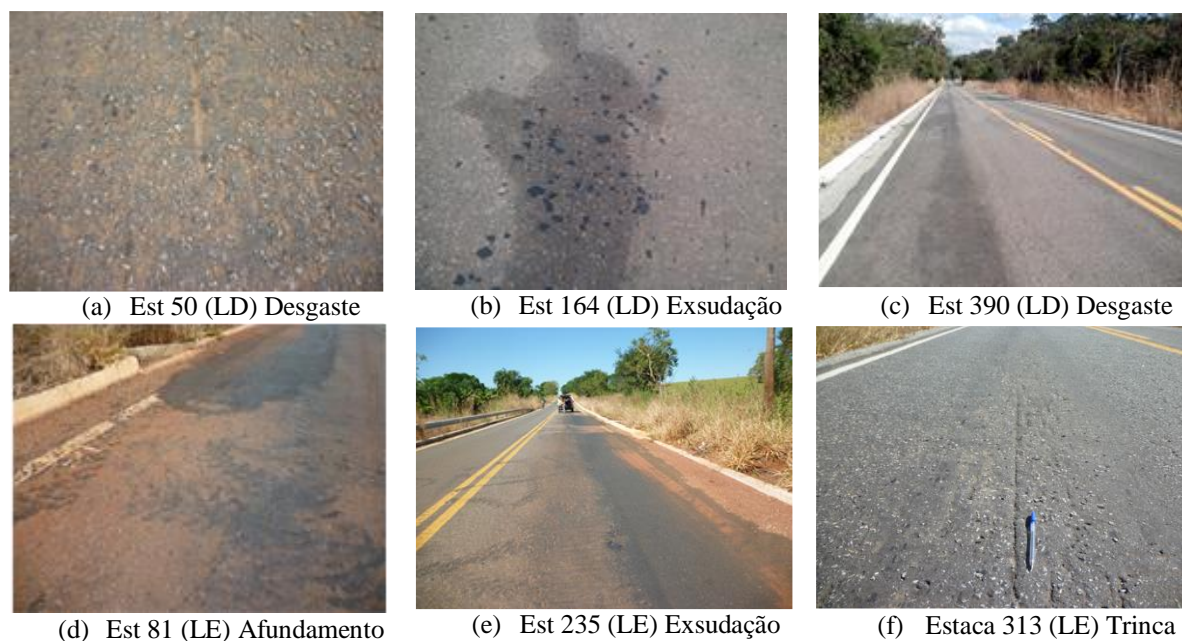
OBS.: LD = Lado Direito da rodovia, LE = Lado Esquerdo da rodovia.

Figura 4.3 - Aspectos da superfície do pavimento de algumas estacas avaliadas para obtenção do IGG na GO-215



OBS.: LD = Lado Direito da rodovia, LE = Lado Esquerdo da rodovia.

Figura 4.4 - Aspectos da superfície do pavimento de algumas estacas avaliadas para obtenção do IGG na GO-413



OBS.: LD = Lado Direito da rodovia, LE = Lado Esquerdo da rodovia.

Na GO-156 foi encontrado o maior número de ocorrências relacionadas com a má dosagem do revestimento como exsudação (Ex) e desgaste (D). Isso pode estar relacionado ao fato de que no segmento estudado nessa rodovia foram aplicadas diferentes soluções além da reciclagem profunda, como reparos localizados superficiais e profundos, conforme apresentado no Anexo B (AGETOP, 2011). E só depois de realizada a reciclagem da base ou reparo no revestimento antigo é que foi aplicada uma camada de revestimento novo em todo o segmento.

Apesar do Anexo B (AGETOP, 2011) apresentar diferentes soluções para a restauração da GO-215, posteriormente a AGETOP modificou tal solução e aplicou a reciclagem de base do pavimento em todo o trecho restaurado.

É importante reforçar a ideia que dá um bom diagnóstico dos defeitos, identificando as causas que levaram às patologias e com observações globais pode contribuir para um adequado controle tecnológico do pavimento, o valor de IGG é considerado um critério complementar. Embora o IGG reflita as condições do estado superficial dos pavimentos, a atribuição de um conceito serve para distinguir casos, subdividindo-os em poucas classes, mas o conceito não

deve substituir a referência ao valor calculado, visto que segmentos de mesmo conceito podem ter diferentes valores de IGG.

4.2.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone

Na execução do ensaio com o Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) os dados coletados foram anotados em uma planilha onde se indica para cada série de golpes aplicados a profundidade alcançada pela ponta cônica. Em seguida, é plotado um gráfico para cada ponto em que fora executado o ensaio nos trechos das rodovias, onde o eixo (x) representa a quantidade de golpes aplicados e o eixo (y) a profundidade atingida no pavimento, formando uma função direta e proporcional (golpes versus profundidade). Nesse gráfico é possível determinar as tendências de variação da inclinação de retas, fato que representa a variação da resistência das camadas do pavimento e, portanto, em cada ponto de variação pode-se definir a estratigrafia do mesmo.

Em termos de estratigrafia das seções dos pavimentos estudados, na maioria dos casos foi identificada a existência de três camadas base, sub-base e subleito. Os principais resultados obtidos nos ensaios realizados com o DCP são apresentados nas Tabelas 4.6 a 4.8 para as rodovias GO-156, GO-215 e GO-413, respectivamente. No Apêndice A são apresentados todos os gráficos de cada ponto ensaiado nas rodovias estudadas. O índice de penetração (DN em mm/golpe) é representado pela variação na inclinação das retas, o qual foi obtido através da razão entre a profundidade e o número de golpes necessário para penetrar cada camada.

Tabela 4.6 - Resultados Gerais do Ensaio DCP da GO-156

Estaca	Lado	Espessura das camadas (cm)			DN(mm/golpe)		
		Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
400	D	17,00	17,10	28,10	2	4	9
410	E	21,10	19,80	20,80	3	7	7
420	D	19,40	22,20	20,40	2	5	5
430	E	19,40	14,40	26,80	3	4	7
440	D	18,60	15,00	29,70	2	3	7
450	E	19,50	16,10	25,90	3	4	8
460	D	19,80	15,70	27,80	2	5	8
470	E	20,00	17,00	25,90	3	5	9
480	D	20,00	14,10	27,80	2	3	8
490	E	19,80	17,10	26,80	3	4	8
500	D	16,60	14,40	32,20	2	3	7
510	E	19,80	16,40	25,90	1	3	5

Tabela 4.6 - Continuação

520	D	18,10	13,60	30,20	2	4	7
530	E	21,40	15,30	28,70	3	6	6
540	D	22,00	11,80	31,90	2	5	12
550	E	20,20	14,10	27,50	2	4	8
560	D	24,50	23,90	14,00	3	4	3
570	E	20,30	15,00	27,30	2	4	5
580	D	20,20	14,90	27,70	3	3	8
590	E	33,00	16,90	11,80	3	6	4
600	D	37,00		27,50	4		8
610	E	23,10	25,90	13,00	2	5	4
620	D	29,80	10,10	21,,70	3	3	6
630	E	21,30	15,70	24,90	2	2	6
640	D	23,30	13,40	25,00	3	4	10
650	E	25,40	14,00	22,40	3	4	4
660	D	20,40	15,40	24,90	2	3	6
670	E	21,30	18,00	22,20	3	3	5
680	D	30,80	13,90	16,40	3	3	4
690	E	40,00		20,00	3		4
700	D	18,60	18,80	24,90	2	2	6
710	E	20,80	16,40	23,00	3	3	8
720	D	19,50	13,60	28,90	2	3	10
730	E	22,50		40,40	3		8
740	D	32,20		29,80	4		8
750	E	20,30	17,30	23,90	2	3	5
760	D	20,30	12,50	29,10	2	4	6
770	E	20,30	11,70	28,80	1	2	4
780	D	20,30	23,10	17,90	2	5	4
790	E	20,60	15,30	25,10	2	3	6
800	D	21,60	25,20	13,20	2	4	4

Tabela 4.7 - Resultados Gerais do Ensaio DCP da GO-215

Estaca	Lado	Espessura das camadas (cm)			DN(mm/golpe)		
		Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
600	D	21,70	24,80	14,10	2	8	5
610	E	23,40	20,40	16,50	3	14	9
620	D	23,20		37,70	3		7
630	E	22,10	21,40	16,60	4	12	6
640	D	26,90	15,70	20,20	2	5	7
650	E	24,40	18,00	18,60	2	4	6
660	D	12,50	22,80	26,10	3	4	9
670	E	18,70	17,50	24,60	2	3	5

Tabela 4.7 - Continuação

680	D	22,60	11,90	26,30	2	4	7
690	E	32,50	22,00	7,80	2	2	5
700	D	16,00	18,90	26,50	2	2	7
710	E	25,00		33,50	3		8
720	D	15,80	19,50	26,60	2	4	9
730	E	20,90	22,10	18,00	3	4	5
740	D	11,90	26,70	22,80	1	2	6
750	E	12,90	19,20	31,90	2	4	9
760	D	13,80	15,10	32,80	2	3	9
770	E	30,40		30,70	3		9
780	D	13,70	16,70	29,90	2	3	6
790	E	16,20	19,20	25,20	2	3	5
800	D	16,40	21,40	22,20	2	3	2
810	E	17,90	19,40	23,80	2	3	6
820	D	17,20	12,70	32,10	2	2	6
830	E	11,10	18,20	31,40	2	4	8
840	D	15,60	14,00	30,80	1	3	7
850	E	24,00		38,10	3		9
860	D	24,60	10,50	26,50	2	3	7
870	E	28,80	9,30	21,90	2	2	5
880	D	14,40	17,40	28,90	2	3	5
890	E	14,80	17,70	28,00	2	4	9
900	D	38,40		22,30	5		4
910	E	10,10		50,80	1		4
920	D	22,30		39,30	2		6
930	E	32,80		28,30	3		4
940	D	27,50		33,20	2		4
950	E	14,30	10,30	36,10	1	5	4
960	D	20,70	20,90	18,40	4	4	6
970	E	20,90		39,10	2		5
980	D	15,20	19,30	25,80	2	3	6
990	E	11,10	27,40	21,90	1	4	4
1000	D	24,10		35,90	3		5

Tabela 4.8 - Resultados Gerais do ensaio DCP da GO-413

Estaca	Lado	Espessura das camadas (cm)			DN(mm/golpe)		
		Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
50	D	21,30	8,30	30,80	5	2	9
60	E	26,60	13,10	22,00	4	5	9
70	D	28,10	14,30	19,70	3	4	7
80	E	18,30		43,20	4		7

Tabela 4.8 - Continuação

90	D	29,80		30,20	3		14
100	E	19,10		42,70	3		6
110	D	16,20	14,30	30,20	4	5	7
120	E	20,00		40,00	3		6
130	D	22,10	17,50	20,80	4	7	9
140	E	20,80		39,50	3		6
150	D	23,30	29,70	7,10	3	5	2
160	E	28,10	20,90	12,10	5	10	4
170	D	35,20		25,70	4		7
180	E	28,10		32,40	4		6
190	D	23,90		38,20	3		7
200	E	19,50		42,90	3		7
210	D	12,00	23,50	24,70	4	6	7
220	E	8,70	21,30	32,70	2	4	9
230	D	25,60		37,60	5		11
240	E	25,00	20,70	36,00	4	8	8
250	D	25,40		36,00	3		6
260	E	17,60	23,50	19,30	3	6	4
270	D	20,90	21,10	18,20	3	4	6
280	E	14,50	23,10	23,40	2	4	10
290	D	13,60	14,30	33,00	3	2	5
300	E	28,80	15,00	16,20	4	3	8
310	D	22,10		43,10	2		8
320	E	14,70	34,20	11,70	2	10	6
330	D	23,60	22,60	14,50	3	4	5
340	E	19,70	26,20	14,80	3	3	3
350	D	17,30		43,60	3		4
360	E	19,30		41,30	3		9
370	D	18,90	14,50	30,80	3	3	9
380	E	11,80	17,40	31,60	3	7	8
390	D	21,70	26,90	12,90	3	7	8
400	E	16,30	19,10	24,60	2	3	9
410	D	27,40	11,60	23,30	4	6	5
420	E	19,20		43,60	4		10
430	D	18,80		42,60	3		7
440	E	20,30		41,50	3		7
450	D	19,10		43,20	2		7

Na Tabela 4.9 é apresentado o resumo das variações estratigráficas dos pavimentos, sendo possível estabelecer as variações nas espessuras das camadas e determinando-se as espessuras médias, máximas e mínimas.

Para as três rodovias foi possível verificar a existência de duas camadas estruturais além do subleito, sendo uma com uma espessura média de 20 cm, que seria a base reciclada e outra com espessura variando entre 16 e 20 cm que seria a sub-base existente. A partir das análises foram identificadas as estacas em que o trecho pode ter apenas duas camadas (base reciclada e subleito).

Tabela 4.9 - Variações Estratigráficas dos Pavimentos

Rodovia	GO-156			GO-215			GO-413		
	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
Espessura (cm)									
Média	22	16	25	20	18	27	21	20	29
Máxima	40	26	40	38	27	51	35	34	43
Mínima	16	10	12	10	9	8	9	8	7
Nº de estacas com duas camadas		4			15			18	
Nº de estacas com três camadas		37			26			23	

Nas Figuras 4.5 a 4.7 são apresentadas as espessuras de bases recicladas nas três rodovias avaliadas determinadas a partir da análise de resultados do ensaio de DCP. Observa-se que para a GO-156 as espessuras obtidas estão próximas ao valor especificado pelo projeto (18 cm). No entanto, nas GO-215 e GO-413 a variação obtida foi maior, sendo que em alguns locais a espessura mínima não foi atingida. Esse fato mostra a importância de se controlar a espessura da camada reciclada durante o processo executivo, caso contrário, essa variação pode interferir no futuro desempenho do pavimento.

Figura 4.5 - Espessuras da base obtidas por médio do DCP na GO-156

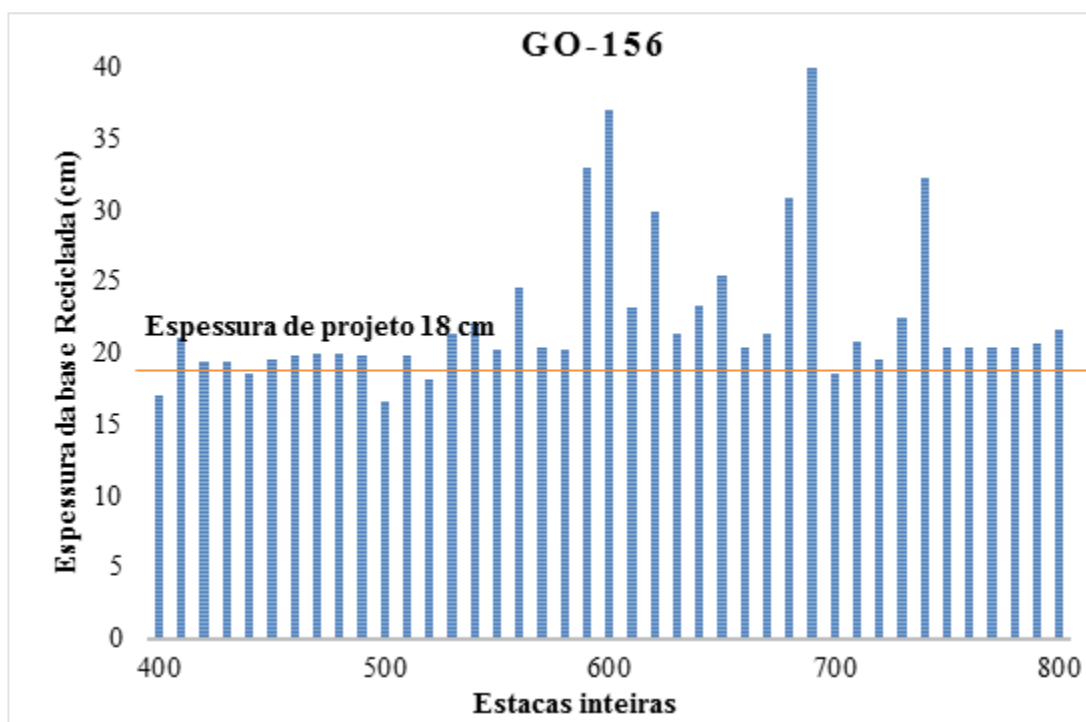


Figura 4.6 - Espessuras da base obtidas por médio do DCP na GO-215

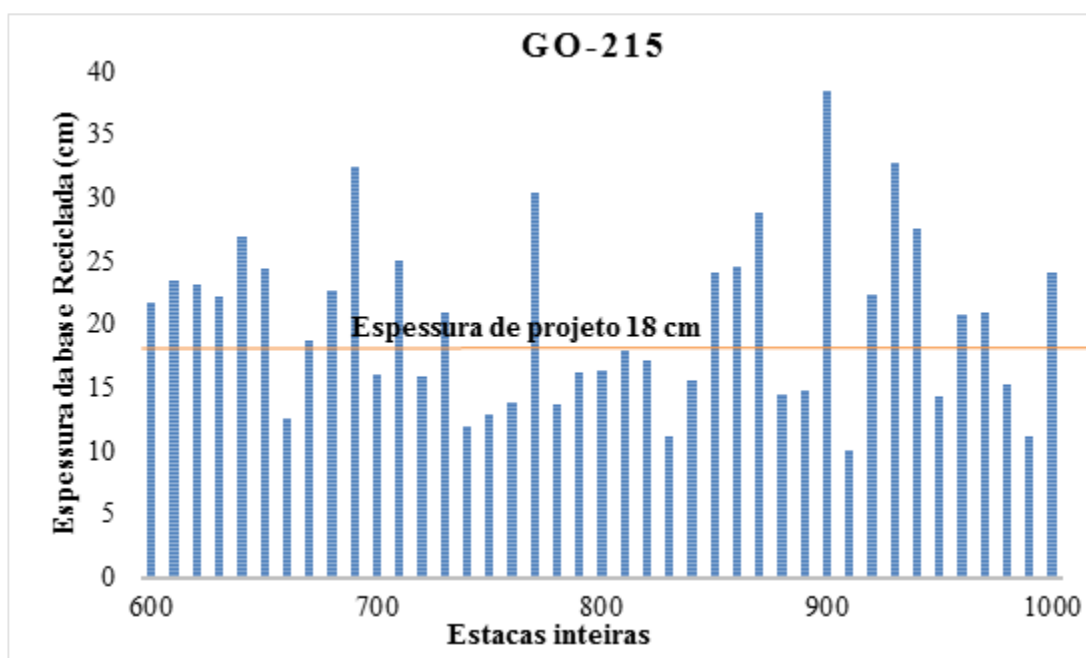
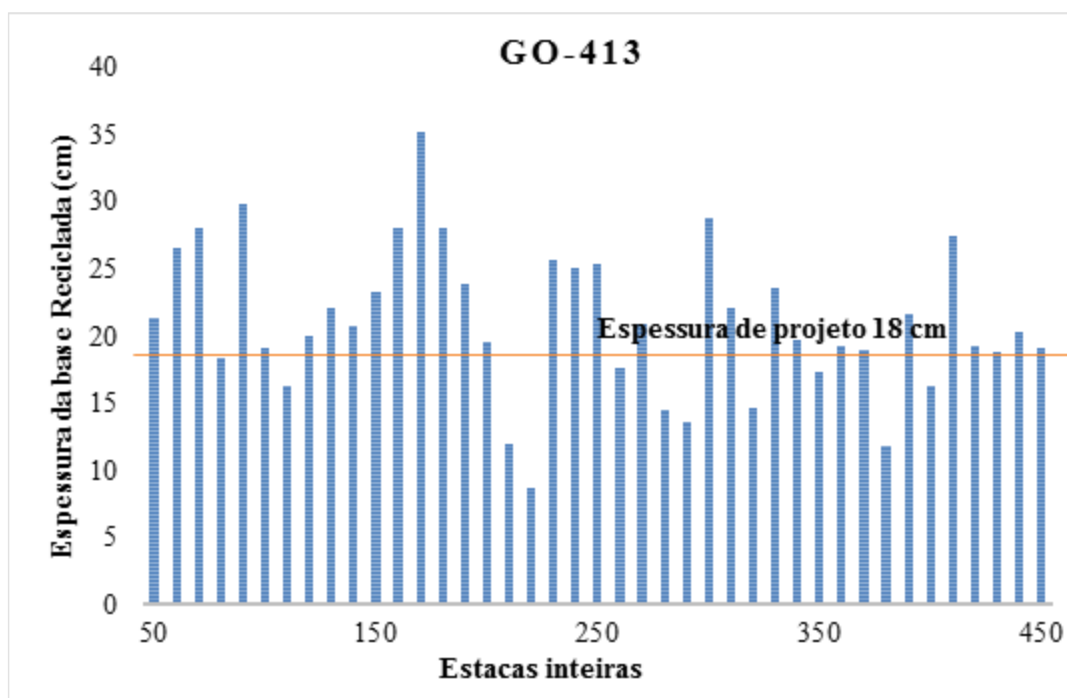


Figura 4.7 - Espessuras da base obtidas por médio do DCP na GO-413



Nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 foram apresentados os resultados médios dos ensaios de DCP em campo, em termos de DN de cada camada. Na Tabela 4.10 têm-se também valores de mediana, desvio padrão, erro padrão da média e coeficiente de variação para os valores de DN de cada rodovia. Com os dados obtidos verifica-se que:

- ◆ Com relação à resistência das bases recicladas, as da GO-156 e GO-215 apresentaram valores de DN médio semelhantes, ligeiramente superiores a 2. Já para a base reciclada da GO-413 foi obtido um DN médio de 3. Todos são considerados valores bons, que possivelmente implicarão em camadas com boa resistência. No entanto, em termos de coeficiente de variação (CV), observa-se que para a base da GO-215, o valor obtido se aproximou de 0,40 (40%). Considera-se que valores de CV superiores a 25% são representativos de amostras heterogêneas; portanto, pode-se considerar que a resistência da base reciclada dessa rodovia é heterogênea, sendo que isso é avaliado como um aspecto negativo no comportamento da estrutura;
- ◆ Em termos de sub-base, foi encontrado um valor de DN médio maior na GO-413 em relação às demais rodovias. Esse fato pode gerar um comportamento estrutural inferior da mesma. Analisando os valores de CV, observa-se que eles são superiores a 0,40 para a GO-215 e

para a GO-413, o que pode implicar em significativa heterogeneidade da resistência das sub-bases nessas rodovias. Esse fato deve ser destacado, pois se essa informação não for considerada no projeto de restauração, a solução adotada pode ser satisfatória em alguns pontos da rodovia e em outros não;

- ◆ Em termos de subleito, os valores de DN médio foram semelhantes e as análises estatísticas podem indicar que eles não apresentam heterogeneidade significativa.

Tabela 4.10 - Dados estatísticos dos valores de DN

Rodovia	GO-156			GO 215			GO-413		
	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
DN Médio	2,32	3,70	6,38	2,24	4,06	6,19	3,27	5,10	7,11
Mediana	2,30	3,86	6,24	2,10	3,20	6,10	3,26	4,50	6,86
Desvio Padrão	0,57	0,96	1,99	0,77	2,65	1,80	0,71	2,23	2,24
Erro Padrão da Meia	0,09	0,16	0,31	0,12	0,48	0,28	0,11	0,46	0,35
Coefficiente de variação	0,25	0,26	0,31	0,34	0,65	0,29	0,22	0,44	0,32

Como não existe no Brasil uma norma para o ensaio DCP, em termos resistência não há definição de valores limites para DN. A lógica é quanto menor o valor de DN, maior é a capacidade de suporte do material ensaiado.

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores de CBR obtidos para a base reciclada das três rodovias a partir da correlação com o DN definido no modelo da Equação 4.1. Em termos de CBR, observa-se que todos os valores obtidos podem ser considerados elevados. No entanto, observa-se um resultado menor para a base reciclada da GO-413 em relação às demais.

Tabela 4.11 - Valores de CBR (%) obtidos a partir do DN (m/golpe) empregando-se o modelo de equação 3.1

Rodovia	DN _{médio} (mm/golpe)	CBR _{correlação} (%)
GO-156	2	145
GO-215	2	145
GO-413	3	127

As Figuras 4.8 a Figura 4.10 mostram os valores de DN obtidos para as bases, sub-bases e subleitos das GO-156, GO-215 e GO-413 ao longo da extensão analisada, respectivamente. Foi

possível perceber em alguns pontos que o DN da sub-base foi inferior ao DN da base, o que indica que a base reciclada é menos resistente que a sub-base consolidada no local desde a sua implantação. Na GO-413 esse fato aconteceu apenas em 3 dos 41 pontos ensaiados (estacas: 50, 290 e 300). Na GO-215 aconteceu na estaca 700. Já na GO-156 esse fato não aconteceu em nenhuma das estacas ensaiadas, indicando que a base reciclada ao longo do trecho tem uma resistência maior do que a sub-base consolidada.

Em outras estacas, as sub-bases existentes apresentaram valores de DN superiores aos das bases, mas ainda podem ser considerados satisfatórios. O problema dessas camadas é a sua heterogeneidade ao longo dos 8 km avaliados em cada trecho. Para os subleitos, os valores de DN obtidos foram maiores, sendo que poucos superaram os 10 mm/golpes o que pode ser interpretado como um material com boa resistência.

Figura 4.8 - Variação do DN para GO-156

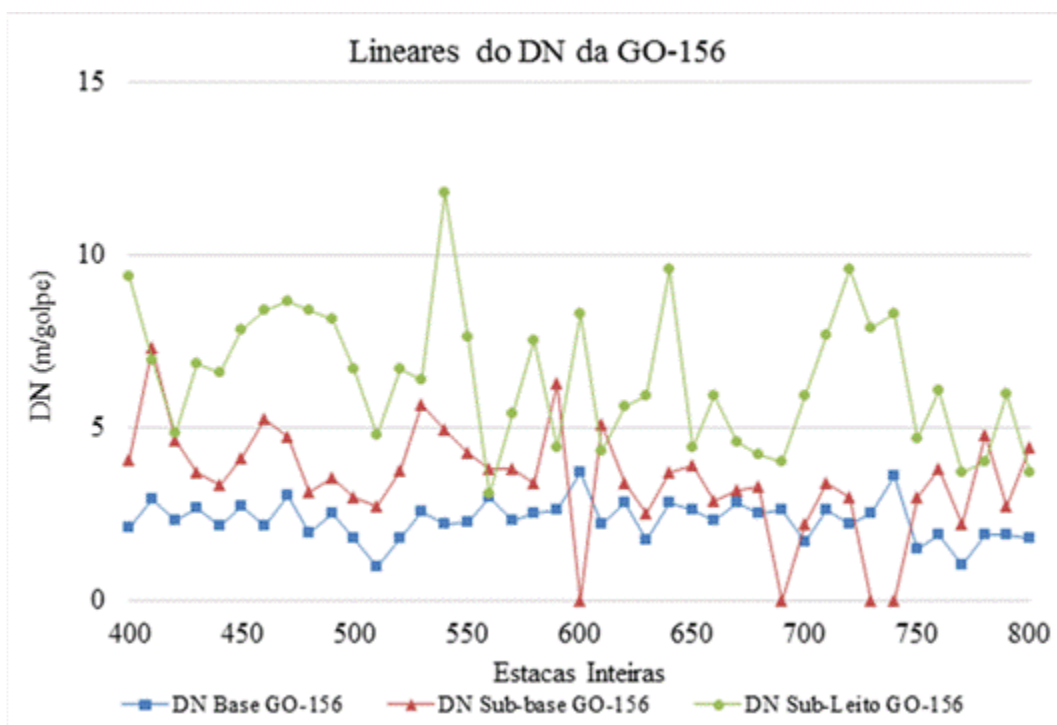


Figura 4.9 - Variação do DN para GO-215

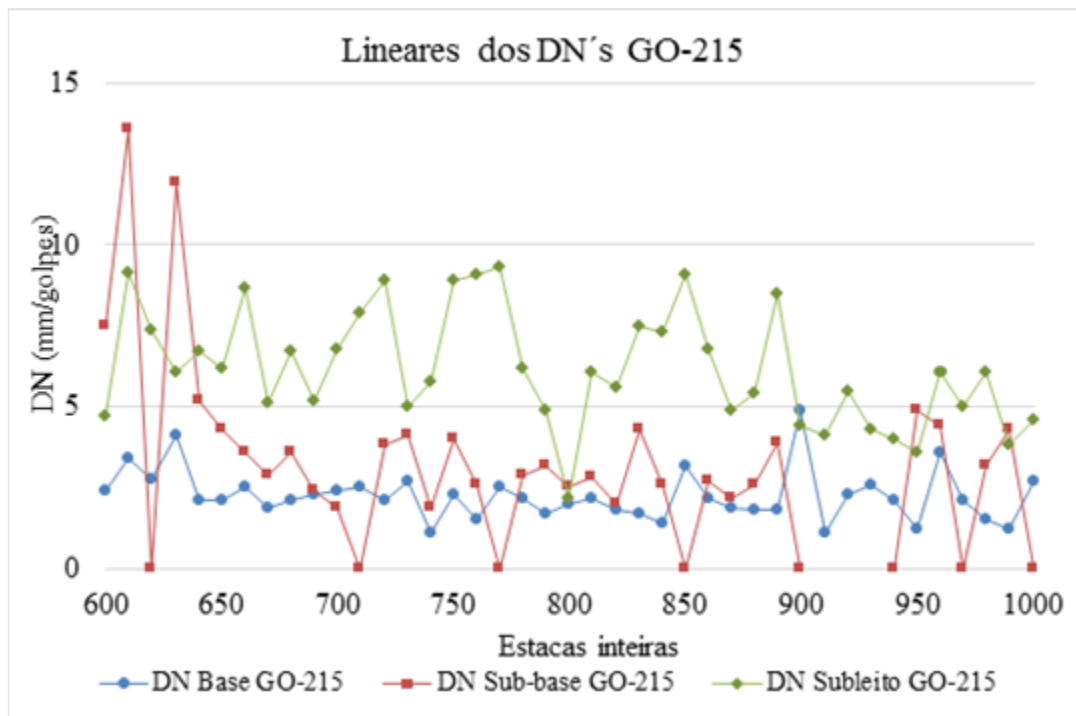
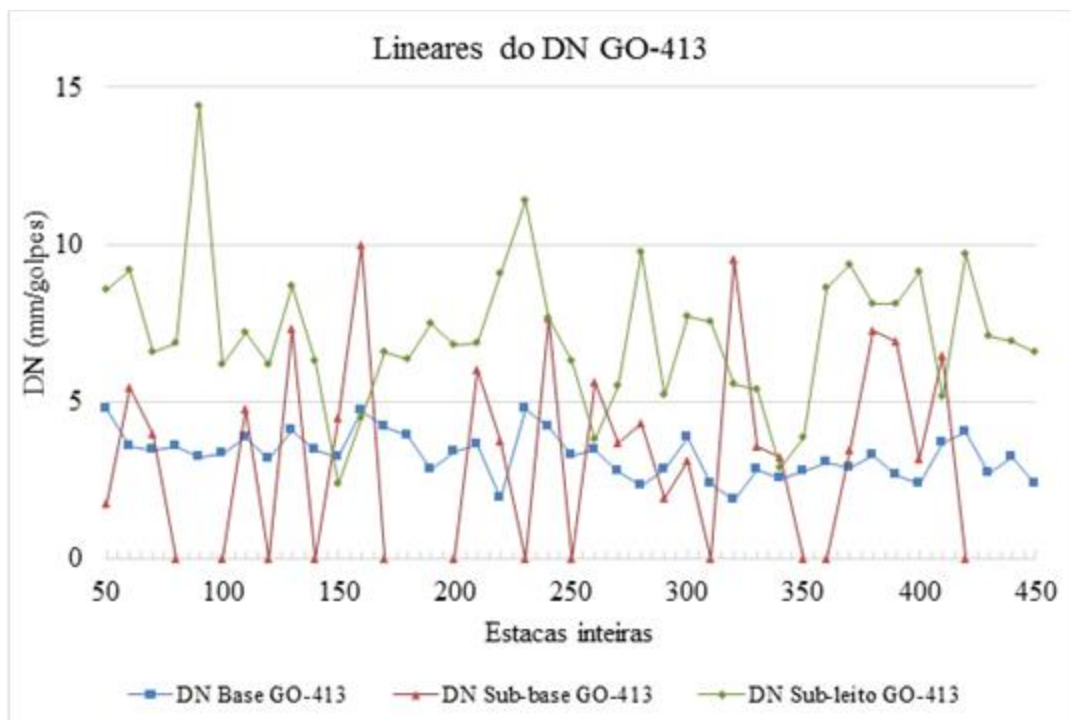


Figura 4.10 - Variação do DN GO-413



Outra maneira de representar os dados obtidos é através do gráfico Box-plot, que é uma análise gráfica que utiliza cinco medidas estatísticas, sendo elas o valor mínimo, o valor máximo, a mediana e o primeiro e terceiro quartil de um conjunto de valores.

Tal conjunto de medidas oferece uma noção sobre posição, dispersão, assimetria e dados discrepantes de uma amostra. As Figuras 4.11 a 4.13 são apresentados os “Box-plots” dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito das rodovias estudadas.

Analisando os “Box-Plots” da Figura 4.11 a Figura 4.13, verifica que nas três rodovias os dados referentes às camadas de base têm menor dispersão entre os valores maiores e menores, sendo mais consistentes. Já nas camadas de sub-bases, em todas as rodovias houve valores maiores que nas outras camadas, mas sem apresentar valores discrepantes acima do “outlier” superior em relação aos resultados obtidos.

Em relação ao subleito, nas GO-413 e GO-156 é observada coincidência nos dados registrados já que os gráficos mostram uma dispersão predominante do DN, sendo menor para as camadas de base e sub-base e aumentando para as camadas de subleito. Caso contrário é observado na GO-215 em que os valores de DN no subleito têm valores discrepantes ficando fora do esperado.

Figura 4.11 - Box-plot dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito da GO-156

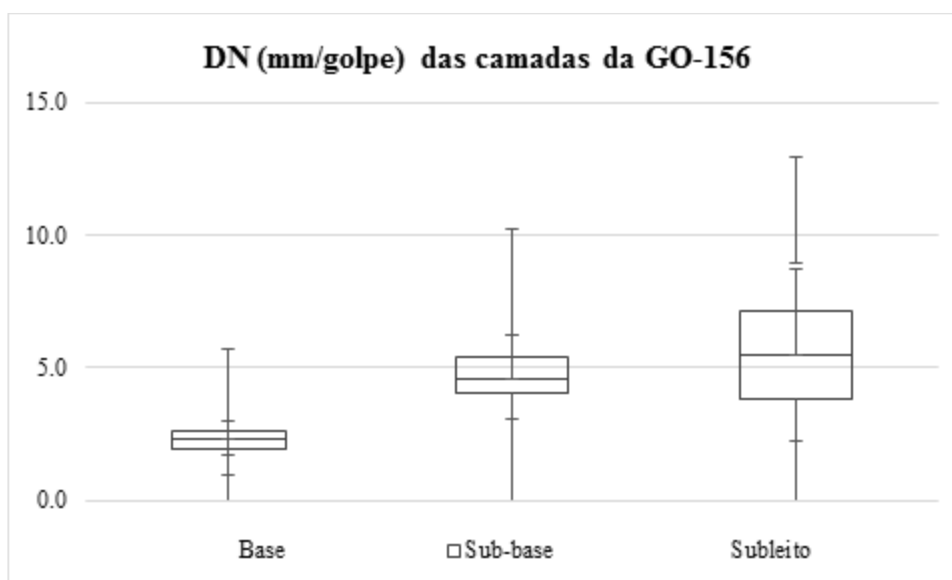


Figura 4.12 - Box-plot dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito da GO-050

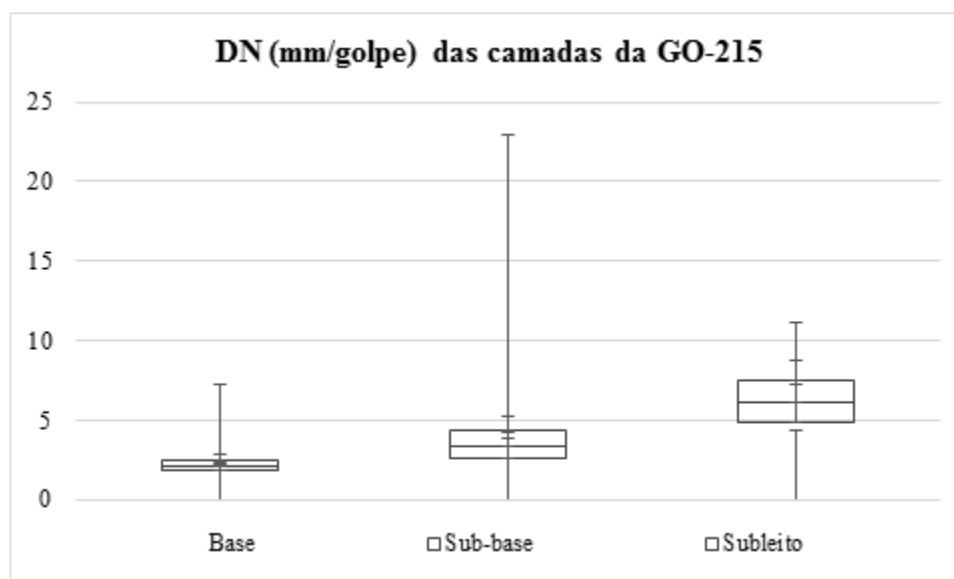
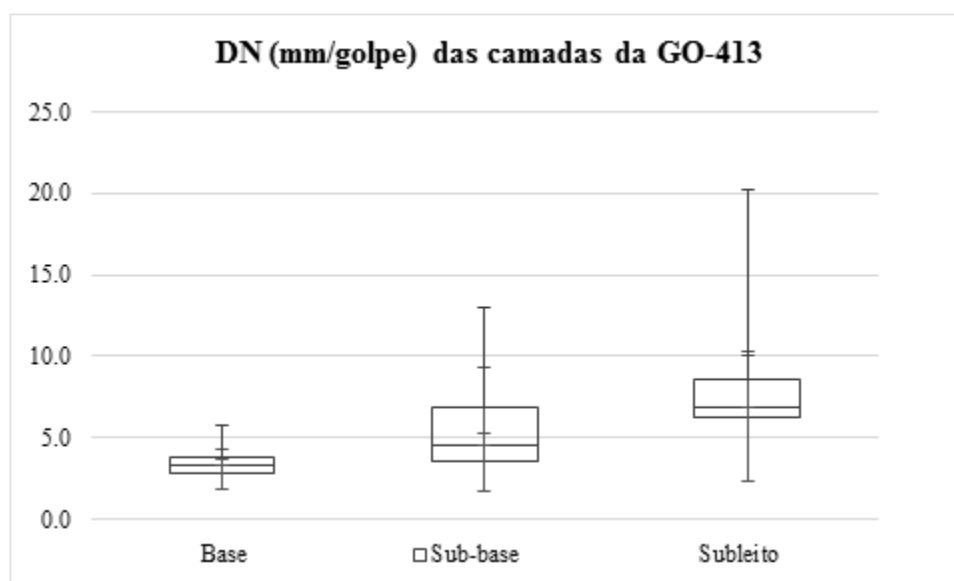


Figura 4.13 - Box-plot dos índices de penetração das camadas do pavimento e subleito da GO-413



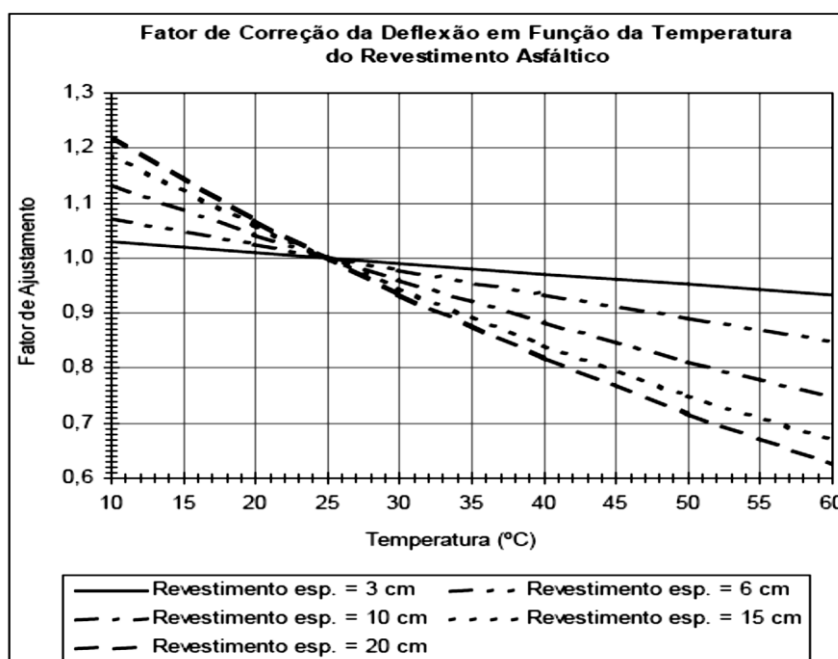
4.2.3 Viga Benkelman

A avaliação das condições estruturais ocorreu por meio do levantamento das medidas deflectométricas realizadas com o auxílio da viga Benkelman.

Os valores medidos na GO-215, que teve como revestimento o CBUQ com espessura de 5 cm, foram corrigidos pela temperatura e espessura do pavimento, conforme Figura 4.14 obtida na instrução de projeto IP-DE-P00/003 (DER-SP, 2003), que considera necessário corrigir a temperatura de acordo com o fator de correção das deflexões em função da temperatura do revestimento asfáltico, com o intuito de padronizar as medidas de deflexão para a temperatura padrão.

Dentre os resultados obtidos pela viga Benkelman, tem-se a deflexão em centésimos de milímetros no ponto de prova inicial, que é a flecha máxima da linha de influência longitudinal da bacia de deformação ou a deflexão recuperável máxima, designado como D_0 . O D_0 é um parâmetro importante para a compreensão do comportamento da estrutura o pavimento. Geralmente, quanto maior o seu valor, mais elástica ou resiliente é a estrutura, e maior o seu comprometimento estrutural.

Figura 4.14 - Gráfico de Fator de Correção da Deflexão em Função da Temperatura do Revestimento Asfáltico (DER, SP, 2003)



No entanto, existem valores limites para o pavimento estar em boa condição estrutural. Segundo Bernucci et al. (2010), a ordem das deflexões dos pavimentos asfálticos varia muito com as características da estrutura, o tipo de revestimento, o nível de trincamento, as condições

climáticas etc. Mas como valor típico pode-se indicar de 30 a 50 ($\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de CBUQ e base granular em boa condição estrutural, e da ordem de 80 ($\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de tratamento superficial.

As medidas de D_0 realizadas são apresentadas nas Figuras 4.15 a 4.17. Pode-se observar a heterogeneidade das bacias de deslocamento obtidas, bem como algumas estacas com valores preocupantes de D_0 (acima de 100×10^{-2} mm), mas pontuais. Na GO-156 a região com piores valores de D_0 estão localizados entre as estacas 500 e 550, na GO-256 entre as estacas 600 e 650 e na GO-413 entre as estacas 200 e 250 e entre 350 e 400.

Figura 4.15 - Medidas deflectométricas máximas (D_0) do segmento da GO-156

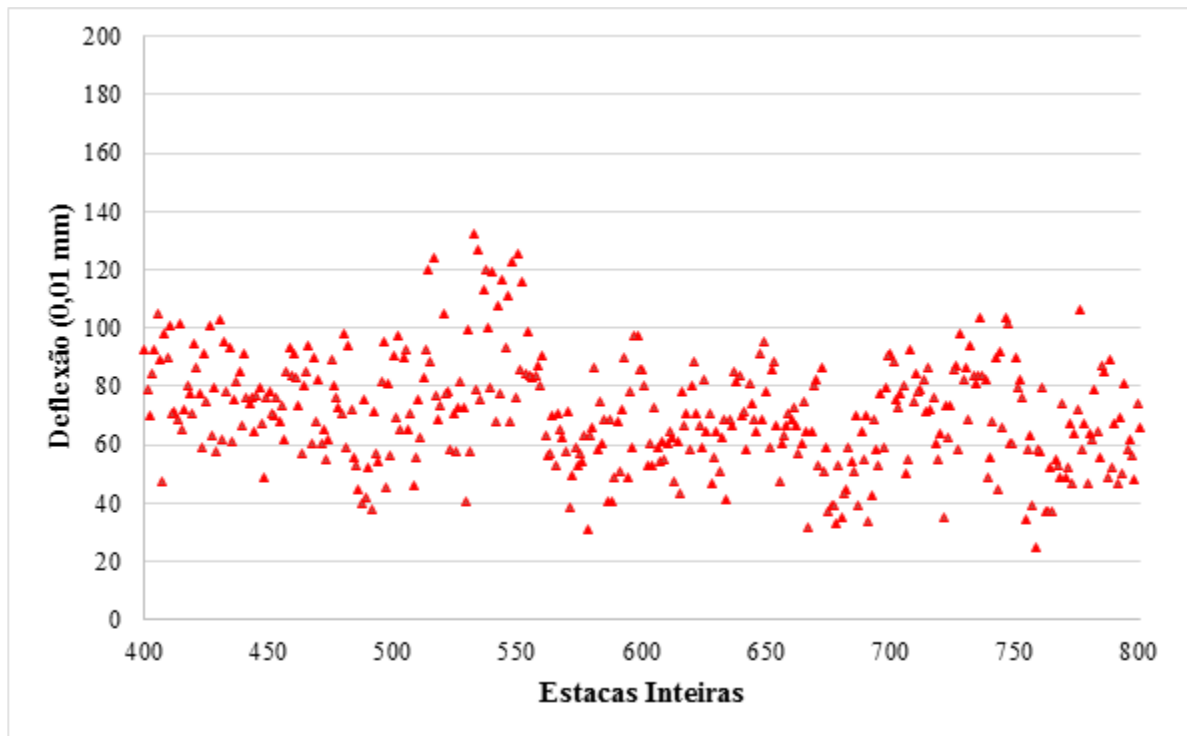
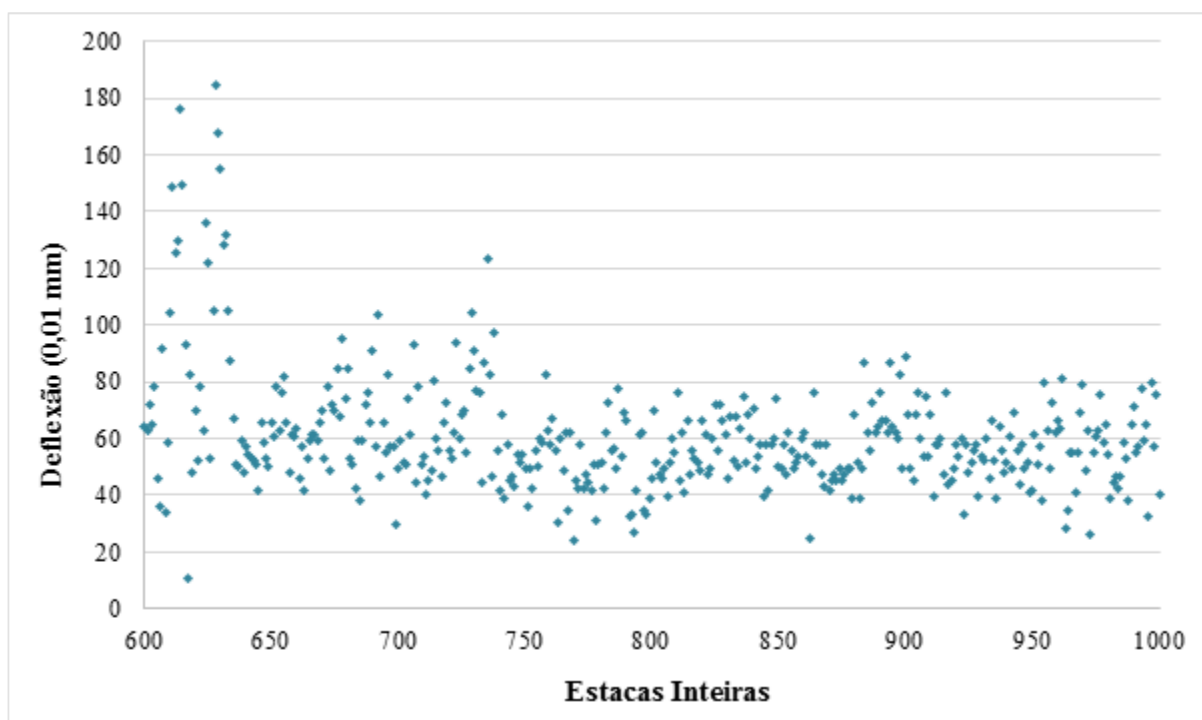
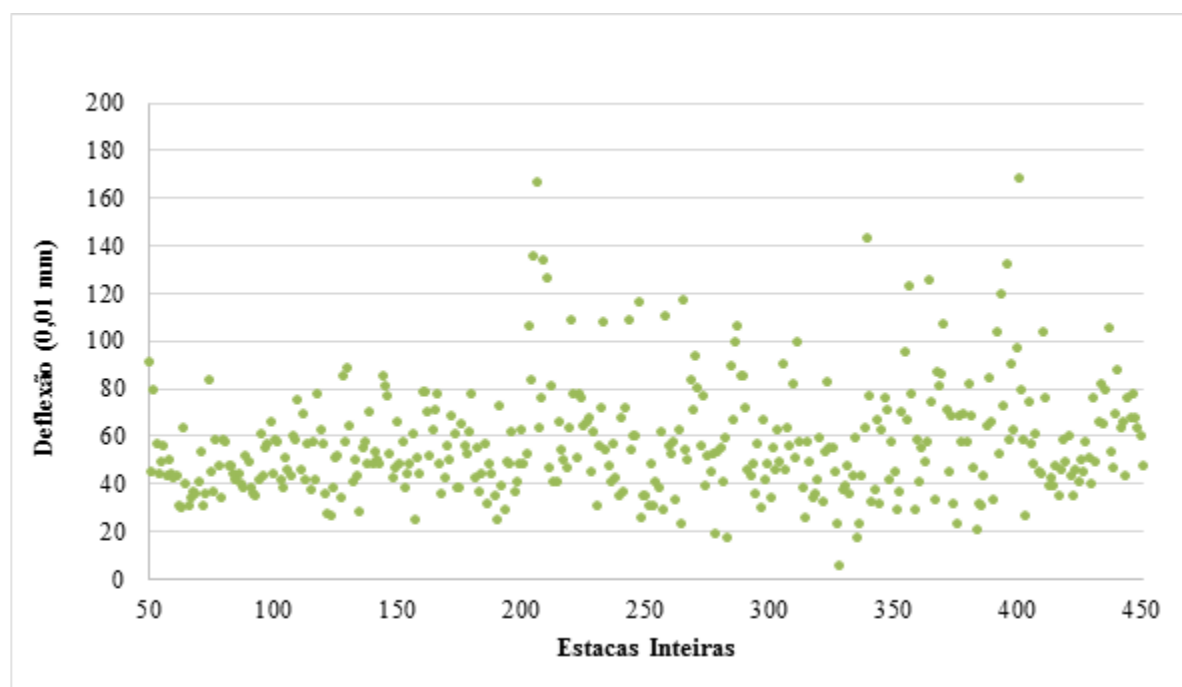


Figura 4.16 - Medidas deflectométricas máximas (D_0) do segmento da GO-215Figura 4.17 - Medidas deflectométricas máximas (D_0) do segmento da GO-413

Nas Figuras 4.18a 4.20 são apresentadas a proporção de faixas de deflexão medidas nas rodovias avaliadas.

Verifica-se que 71% dos valores de deflexão calculados para a GO-215 variam de 40 a 70×10^{-2} mm. Na GO-413, 58% dos valores variam entre 40 a 70×10^{-2} mm e na GO-156 encontraram-se valores preocupantes com porcentagens de apenas 44% dentro dessa faixa. Com tais resultados é possível concluir que os trechos que apresentaram apenas 50% dos valores considerados coerentes para rodovias recém-restauradas não é um bom indicador, o que pode caracterizar a existência de falhas construtivas ou da adoção de projetos inadequados.

Os resultados obtidos coincidem com os resultados apresentados no Levantamento Visual Contínuo, onde pelo IGG a GO-156 apresentava comportamento não satisfatório para uma rodovia recém restaurada.

No caso da GO-413 uma explicação para a estrutura não ter apresentado um desempenho ideal nessa análise pode estar relacionada com a não utilização da recicladora durante o processo construtivo e sim uma solução alternativa que pode ser considerada inadequada e contribuir para a existência de uma camada mais heterogênea.

Figura 4.18 - Proporção de faixas de deflexão no segmento da GO-156

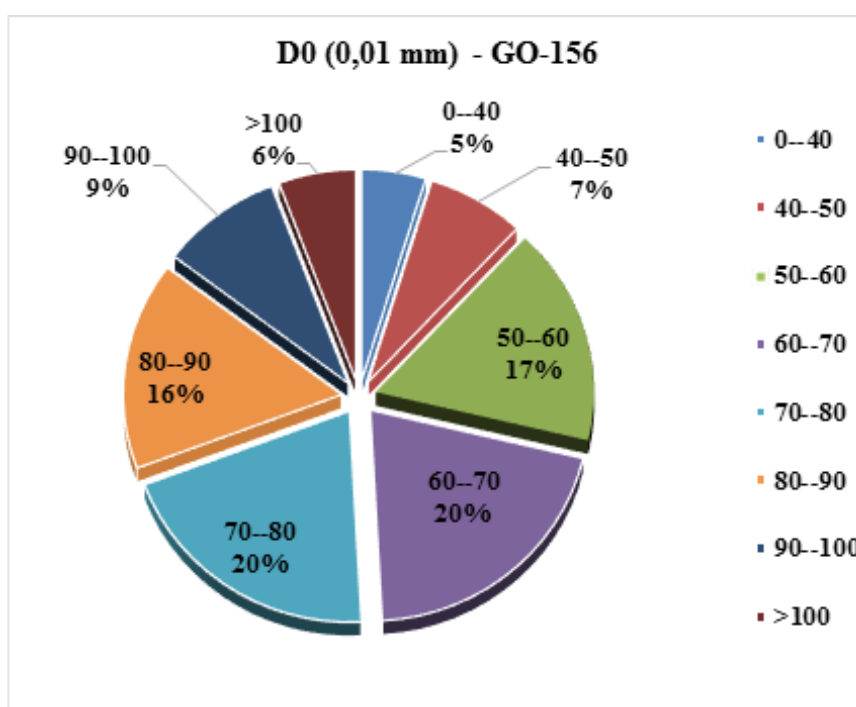


Figura 4.19 - Proporção de faixas de deflexão no segmento da GO-215

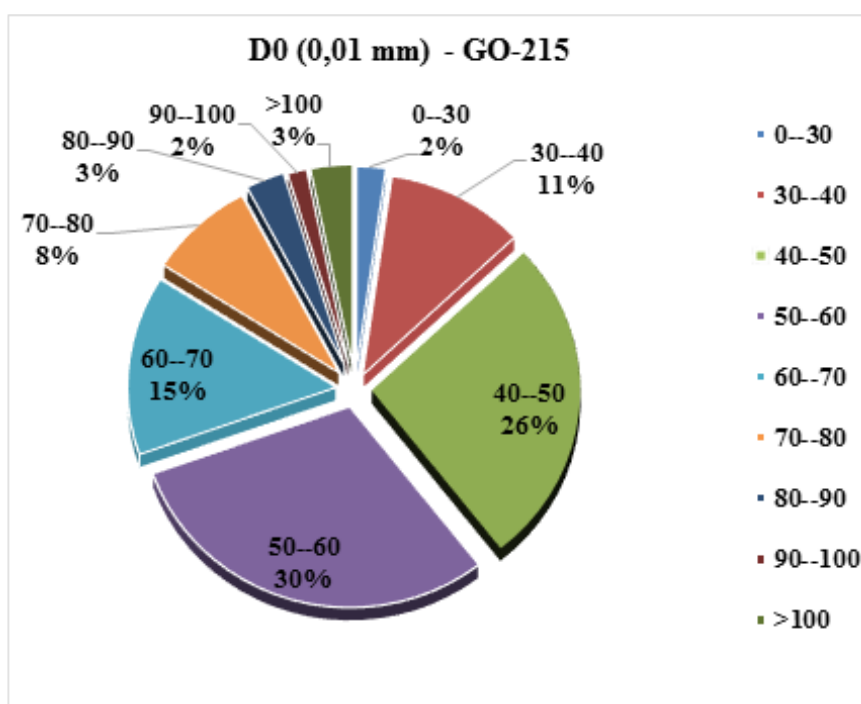
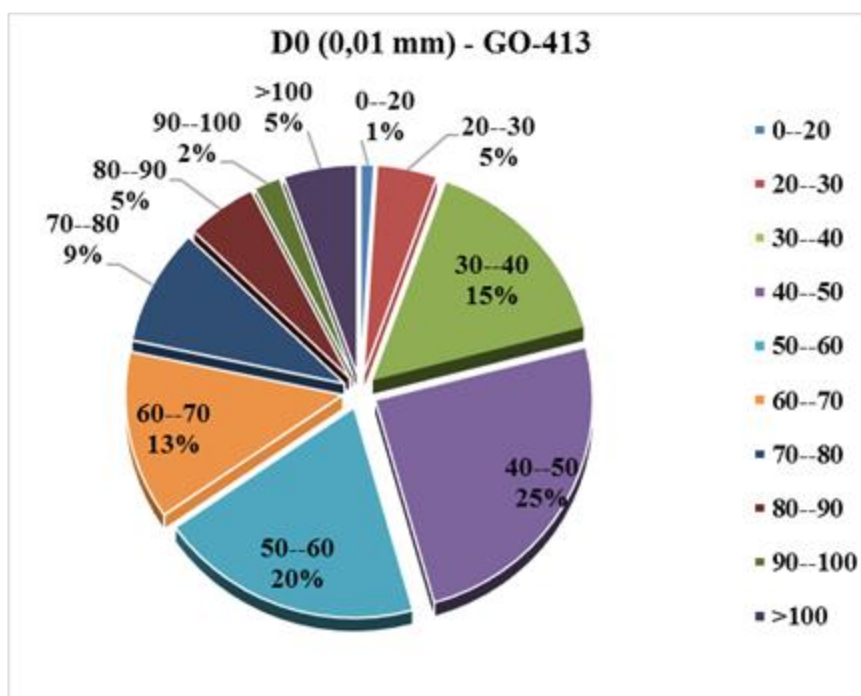


Figura 4.20 - Proporção de faixas de deflexão no segmento da GO-413



Na Tabela 4.12 são apresentados os valores da média, mediana, do desvio padrão e do coeficiente de variação das medidas de deflexão máxima (D_0) de cada segmento das rodovias

estudadas. Foi observado que a GO-413 apresentou valores de Coeficiente de Variação CV próximo do limite aceitável (0,40).

Tabela 4.12 - Resumo estatístico das medidas de deflexão máxima

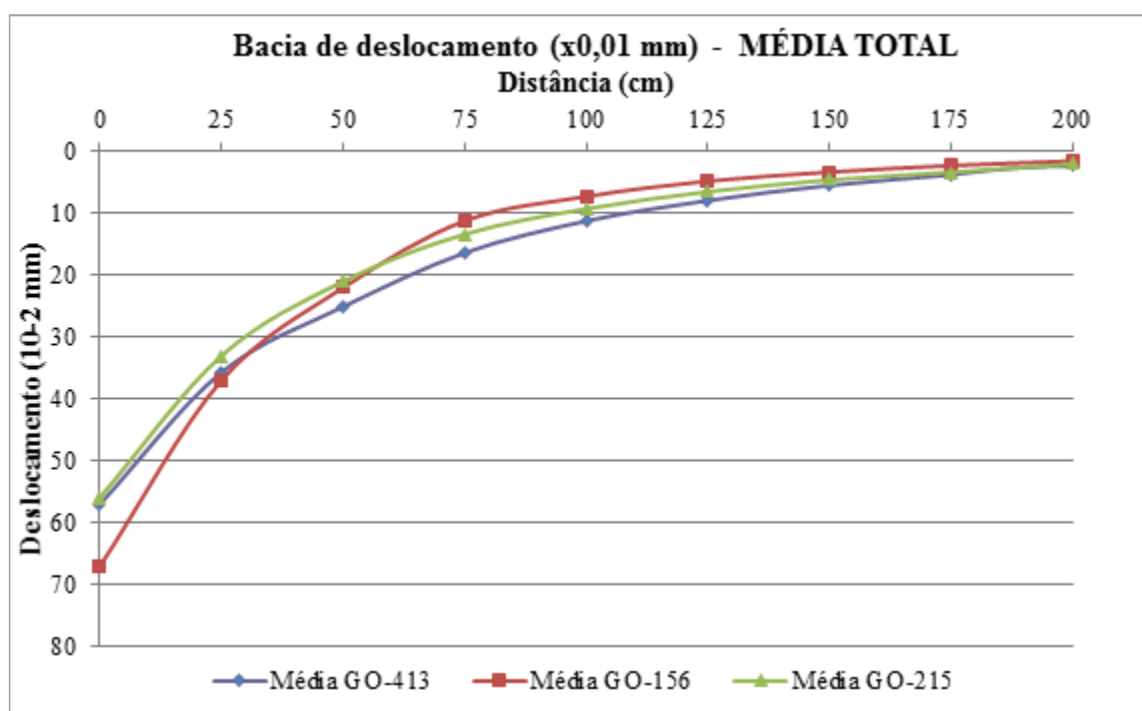
D₀ (0,01 mm)	GO-156	GO-215	GO-413
Média	71,05	56,93	57,16
Mediana	70,37	53,78	52,54
Desvio Padrão	18,48	20,06	23,56
Erro padrão da média	0,92	1,00	1,18
Coeficiente de Variação	0,26	0,35	0,41

Com os resultados obtidos do levantamento com viga Benkelman é possível também delinear a bacia de deformação ou linha de influência longitudinal inerente à parcela transitória de deformação ocasionada pela carga estática aplicada à superfície do pavimento.

As bacias de deformação foram levantadas de 100 em 100 m alternados em todos os segmentos estudados. A Figura 4.21 apresenta as bacias de deformação médias obtidas para todos os trechos de 8 km estudados. É observada uma semelhança na forma das bacias de deformação médias obtidas para as GO-413 e GO-215. Já para a GO-156, a média das deflexões máximas é maior que a média das outras rodovias, sendo que esse fato pode estar relacionado ao fato de que nessa rodovia não foi executada reciclagem profunda em toda a extensão avaliada.

Levando-se em consideração os valores das deflexões obtidas através do levantamento com a viga Benkelman, na sequência os trechos de oito quilômetros foram subdivididos em segmentos homogêneos de modo que cada um estivesse no mesmo nível de deflexões. A deflexão representativa de um determinado segmento homogêneo é considerada em diversos métodos de dimensionamento de reforços como o principal fator a influenciar no cálculo da espessura de um suposto reforço necessário.

Figura 4.21 - Bacia média de deslocamento obtida para todos os trechos de 8 km das GO-156, GO-215 e GO-413



Para fazer a delimitação dos segmentos homogêneos, foi empregado o método PRO 011 (DNER, 1979b). É importante ressaltar que é inevitável a subjetividade da delimitação dos segmentos homogêneos ditada pela natureza do problema e que os mesmos devem ter a extensão mínima de 200m e máxima de 2000m. Para análise da vida remanescente da estrutura foi empregado o conjunto de equações propostas por Lopes (2012) para cada segmento homogêneo determinado.

4.2.3.1 Avaliação pelo Procedimento PRO 011 (DNER, 1979b)

O levantamento da condição estrutural do pavimento fornece informações valiosas quanto à sua adequação estrutural. Quanto à aplicação dos parâmetros defletométricos na avaliação estrutural, geralmente, analisa-se o emprego da deflexão máxima (D_0) e do raio de curvatura (R).

Para o cálculo do raio de curvatura (R), uma das expressões de cálculo utilizadas que corresponde ao ajuste de um arco parabólico que passa por um determinado ponto, e levando-se em consideração a distância do ponto de aplicação de carga a 25 cm é obtido pela Equação (4.2):

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \quad (4.2)$$

Onde:

R : raio de curvatura (m);

D_0 : deflexão máxima (0,01 mm);

D_{25} : deflexão medida a 25 cm do ponto de aplicação da carga (0,01 mm).

Um raio de curvatura baixo é indicativo de um severo arqueamento da deformada, denotando uma condição estrutural crítica. No entanto, a análise isolada de seu valor pode não esclarecer completamente a questão, já que estruturas de pavimentos distintas podem apresentar a mesma deflexão máxima, porém com arqueamentos diferenciados na deformada. Conclui-se que a forma da deformada é um fator a ser levado em consideração na avaliação estrutural.

A análise conjunta de deflexão máxima e raio de curvatura em conjunto permite uma melhor compreensão do complexo comportamento das estruturas de pavimentos. É possível tentar uma associação entre esses parâmetros, o que pode ser feito pelo chamado produto $R \times D_0$.

A seguir, têm-se as etapas análise estatística das deflexões recuperáveis e a avaliação das deflexões recuperáveis adotadas conforme a norma PRO 011 (DNER, 1979b):

- i. Foi calculada a média aritmética dos valores individuais do D_0 para os segmentos homogêneos de cada rodovia estudada;
- ii. Determinou-se o desvio padrão das amostras dos segmentos homogêneos;
- iii. Estabeleceu-se o intervalo de aceitação definindo-o através dos limites $D \pm z\sigma$, onde z é estimado em função do n (número de amostras por segmento homogêneo) segundo Tabela 4.13;

Tabela 4.13 - Valores de z em função de n , (DNER, 1979b).

n	z
3	1
4	1,5
5 - 6	2
7 - 19	2,5
≥ 20	3

- iv. Eliminou os valores individuais da distribuição situados fora do intervalo anteriormente definido para o enquadramento de todos os valores individuais remanescentes no intervalo $D \pm z\sigma$ determinado;
- v. Foi determinado o coeficiente de variação (CV) para cada uma das distribuições e o valor da deflexão característica (D_c) que é determinado através da Equação 4.3:

$$D_c = D + \sigma \quad (4.3)$$

- vi. É indicado na norma, um fator de correção sazonal (F_s) como correção das medidas de deflexão conforme a Tabela 4.14. Neste estudo, o valor adotado foi de $F_s = 1,00$ (ensaio realizado ao final da estação chuvosa – meses de Março, Abril e Maio de 2014, sendo todos os subleitos argilosos);

Tabela 4.14 - Valores do fator de correção sazonal, (DNER, 1979b).

Natureza do Subleito	Fator de Correção Sazonal - F_s	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 - 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 - 1,40	1,00

- vii. A deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto (D_p) é calculada pela Equação 4.4:

$$D_p = D_c + F_s \quad (4.4)$$

- viii. É determinada a deflexão admissível do pavimento. A deflexão admissível (D_{adm}) em 0,01 mm para pavimentos flexíveis, constituídos de revestimento betuminoso executado sobre base granular é dado pela Equação 4.5, correspondente a deflexões medidas com a carga padrão 8,2 t por eixo.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (4.5)$$

Segundo a PRO 011 (DNER, 1979b), para a avaliação de pavimento com revestimento do tipo tratamento superficial, executados sobre base granular, deve ser adotada como deflexão admissível o dobro do valor obtido pela Equação 4.5.

Os resultados são apresentados nas Tabela 4.15 a 4.17 para as rodovias GO-156, GO-215e GO-413, respectivamente.

Tabela 4.15 - Resumo dos resultados de deflexões dos segmentos homogêneos da GO-156

SEGMENTO N°	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	RAIO MÉDIO	DEFLEXÃO MÉDIA (10 ⁻² mm)	DESVIO PADRÃO	N° DE ESTACAS	INTERVALO DE ACEITAÇÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO	FATOR SAZONAL	DEFLEXÕES (0,01 mm)				
											DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA	ADMISSÍVEIS (x2)			
												(x2) PARA N = 10 5	(x2) PARA N = 10 6	(x2) PARA N = 10 7	
1	400	498	1960	109,97	74,88	15,40	98	121,08	28,68	0,21	1,0	90,28	269,79	179,90	119,96
2	499	560	1220	114,89	86,16	21,69	61	140,38	31,94	0,25	1,0	107,85	269,79	179,90	119,96
3	561	654	1860	114,64	65,81	13,87	93	107,41	24,21	0,21	1,0	79,68	269,79	179,90	119,96
4	655	738	1660	125,78	66,96	17,15	83	118,41	15,51	0,26	1,0	84,11	269,79	179,90	119,96
5	739	800	1220	123,40	63,32	17,70	61	107,57	10,23	0,28	1,0	81,02	269,79	179,90	119,96

Tabela 4.16 - Resumo dos resultados de deflexões dos segmentos homogêneos da GO-215

SEGMENTO N°	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	RAIO MÉDIO	DEFLEXÃO MÉDIA (10 ⁻² mm)	DESVIO PADRÃO	N° DE ESTACAS	INTERVALO DE ACEITAÇÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO	FATOR SAZONAL	DEFLEXÕES (0,01 mm)				
											DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA	ADMISSÍVEIS			
												PARA N = 10 5	PARA N = 10 6	PARA N = 10 7	
1	600	692	1840	137,07	74,49	32,92	92	173,24	0,44	1,0	107,41	134,90	89,95	59,98	
2	693	740	940	133,07	64,78	19,17	47	112,70	16,87	0,30	1,0	83,95	134,90	89,95	59,98
3	741	840	1980	161,73	53,39	12,06	99	89,57	17,21	0,23	1,0	65,45	134,90	89,95	59,98
4	841	917	1520	137,97	57,16	12,34	76	94,17	20,15	0,22	1,0	69,50	134,90	89,95	59,98
5	918	1000	1640	110,53	54,93	12,12	82	85,23	18,56	0,22	1,0	67,05	134,90	89,95	59,98

Pelo fato de não existirem dados sobre estudos da projeção do Volume Médio Diário Anual de tráfego para os cálculos da deflexão admissível, foram definidas três estimativas de N para tráfego leve (N = 10⁵), médio (N = 10⁶) e pesado (N = 10⁷).

Tabela 4.17 - Resumo dos resultados de deflexões dos segmentos homogêneos da GO-413

SEGMENTO N°	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	RAIO MÉDIO	DEFLEXÃO MÉDIA (10^{-2} mm)	DESVIO PADRÃO	N° DE ESTACAS	INTERVALO DE ACEITAÇÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO	FATOR SAZONAL	DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA	DEFLEXÕES (0,001 mm)			
												ADMISSÍVEIS (x2)			
												(x2) PARA N = 10^5	(x2) PARA N = 10^6	(x2) PARA N = 10^7	
1	50	124	1480	185,34	48,40	13,26	74	88,18	8,61	0,27	1,0	61,66	269,79	179,90	119,96
2	125	202	1540	189,22	53,29	14,75	77	90,17	16,41	0,28	1,0	68,04	269,79	179,90	119,96
3	203	301	1960	182,82	62,70	27,96	98	146,59		0,45	1,0	90,66	269,79	179,90	119,96
4	302	402	2000	203,60	60,45	28,33	100	145,45		0,47	1,0	88,78	269,79	179,90	119,96
5	403	450	940	159,60	57,97	17,36	47	101,39	5,88	0,30	1,0	75,34	269,79	179,90	119,96

Nas Figuras 4.22 a 4.24 estão apresentadas as bacias de deflexão médias obtidas para cada um dos segmentos homogêneos.

Figura 4.22 - Bacias média de deslocamento obtidas para todos os segmentos homogêneos da GO-156

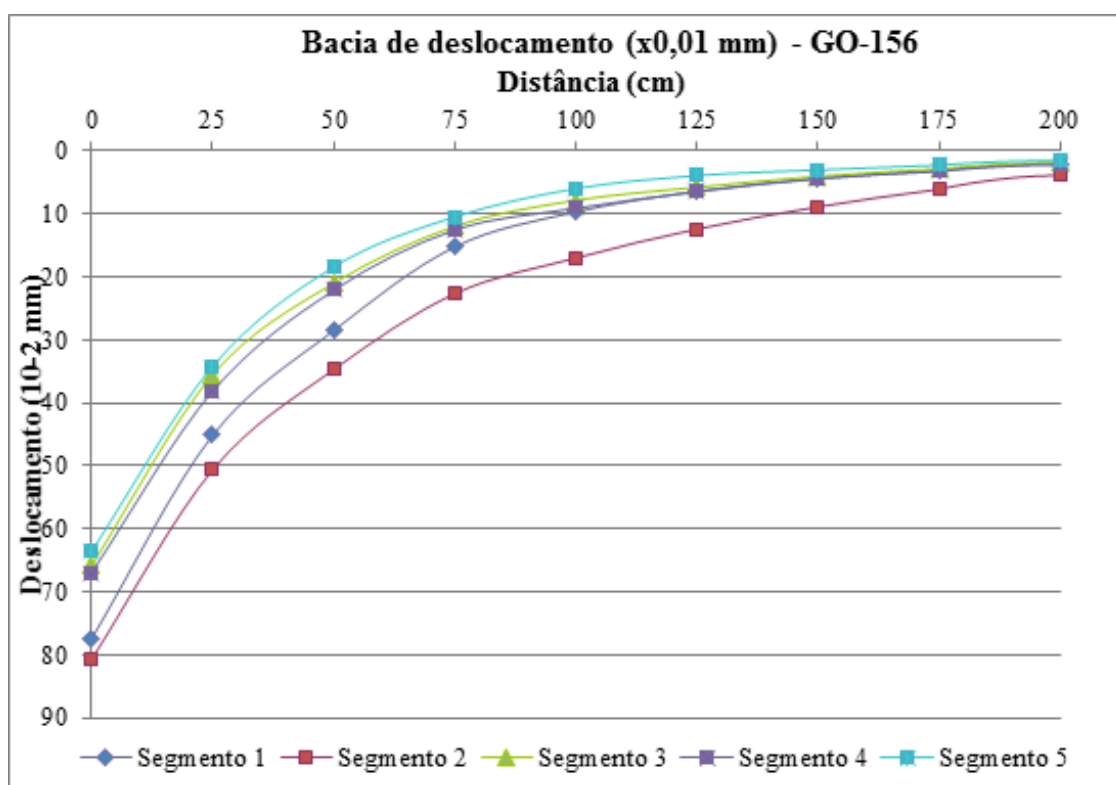


Figura 4.23 - Bacias média de deslocamento obtidas para todos os Segmentos Homogêneos da GO-215

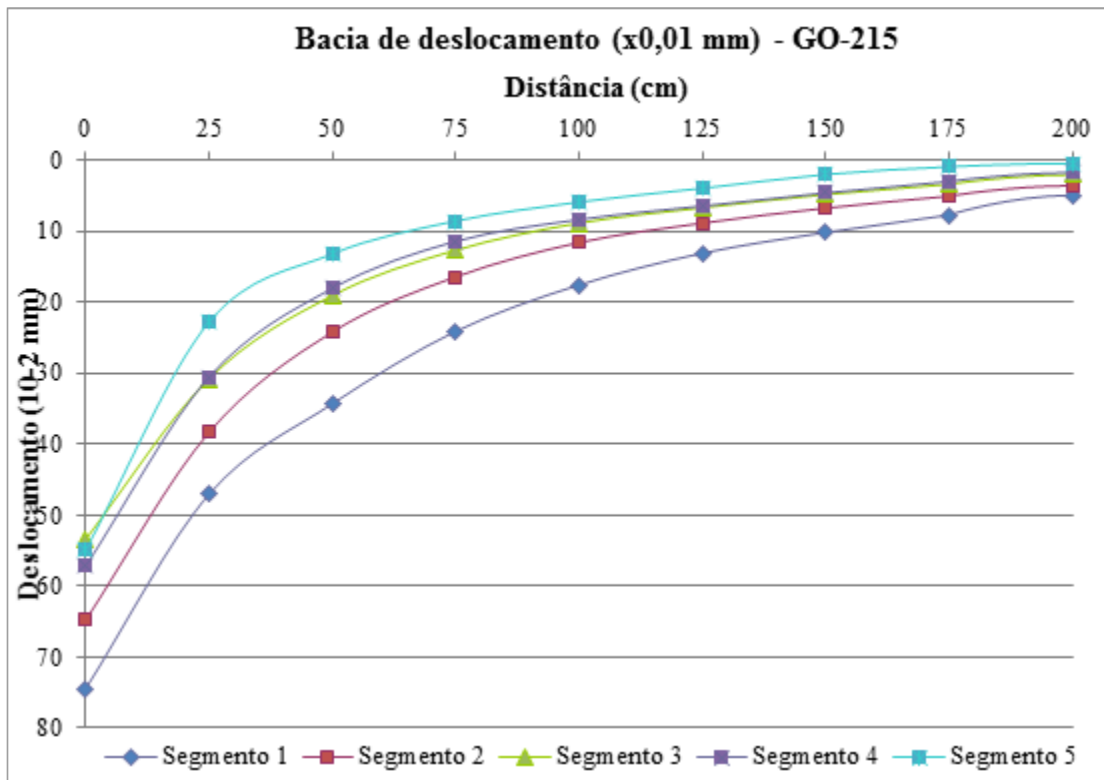
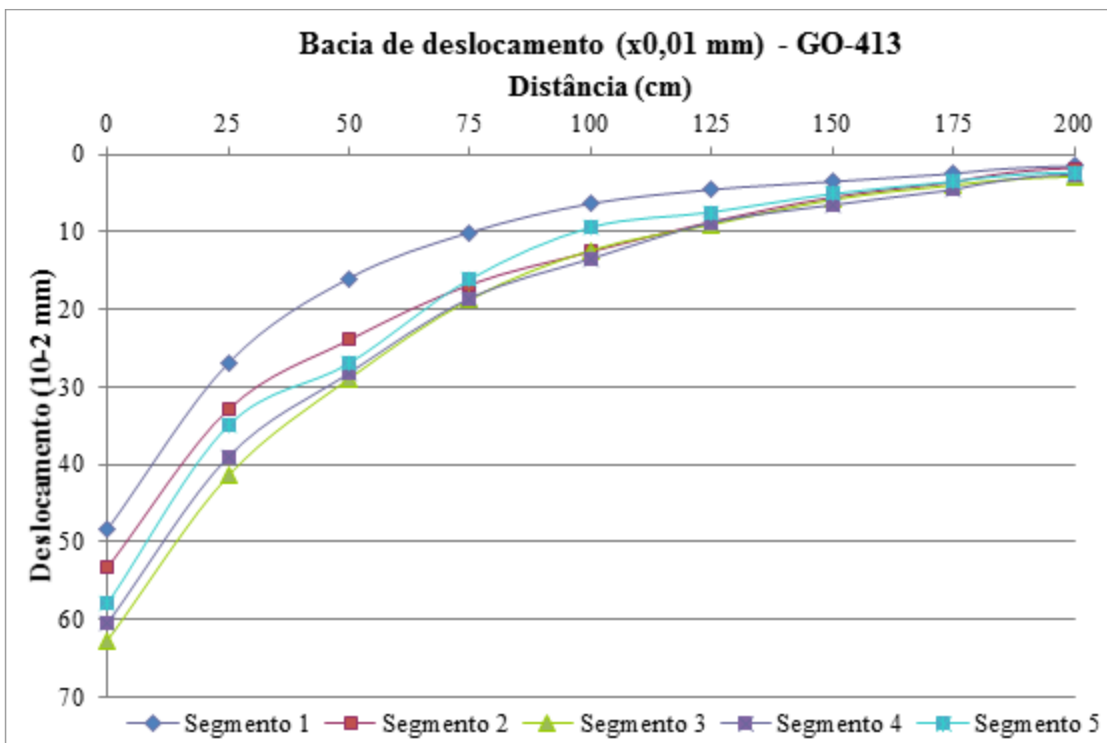


Figura 4.24 - Bacias média de deslocamento obtidas para todos os Segmentos Homogêneos da GO-413



Comparando a deflexão característica obtida diretamente da análise em cada segmento com a deflexão admissível calculada para diferentes níveis de tráfego, observa-se que:

- ◆ Para $N = 10^5$ (tráfego baixo), todos os segmentos nas três rodovias estudadas apresentaram deflexões características dentro dos valores admissíveis;
- ◆ Para $N = 10^6$ (tráfego médio), as rodovias onde foi executado revestimento do tipo TSD com microrrevestimento apresentaram deflexões características muito abaixo dos valores admissíveis. No entanto, o segmento 1 da GO-215 apresentou valores acima do admissível e o valor de deflexão característica do segmento 2 ficou próximo do valor admissível.
- ◆ Para $N = 10^7$ (tráfego elevado), as GO-156 e GO-413 apresentaram deflexões abaixo do valor admissível. No entanto, todos os segmentos da GO-215 apresentaram deflexões acima do valor admissível;
- ◆ Em termos da média dos raios de curvatura, não foram obtidos valores abaixo de 100m que poderiam indicar a existência de algum problema estrutural na via;
- ◆ Outra maneira de se realizar a análise estrutural do pavimento é por meio do produto $R \times D_0$ (PAIVA; CAUSIM, 2000). Em que valores menores que 5500 indicariam provável existência de problemas estruturais. Entretanto, todos os valores médios encontrados do produto $R \times D_0$ foram acima de 5500, e são apresentados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Resultados $R \times D_0$ para as rodovias avaliadas.

Segmento	GO-156			GO-215			GO-413		
	R	D_0	$R \times D_0$	R	D_0	$R \times D_0$	R	D_0	$R \times D_0$
1	109,97	74,88	8234,36	137,07	74,49	10210,93	185,34	48,40	8970,41
2	114,89	86,16	9899,01	133,07	64,78	8621,14	189,22	53,29	10083,50
3	114,64	65,81	7544,18	161,73	53,39	8635,23	182,82	62,70	11462,83
4	125,78	66,96	8422,22	137,97	57,16	7886,68	203,60	60,45	12307,17
5	123,40	63,32	7813,90	110,53	54,93	6071,19	159,60	57,97	9252,41

Na norma ainda é mostrado um quadro (Figura 4.25) onde são apresentados cinco casos típicos, na suposição de que a maioria das situações que ocorrem nos subtrechos homogêneos possa se enquadrar em uma das hipóteses formuladas. Para os trechos analisados, em função do tráfego (baixo, médio ou alto), nas Tabelas 4.19 a 4.21 são apresentadas as hipóteses em que cada segmento foi enquadrado.

Figura 4.25 – Quadro de critérios para avaliação estrutural, (DNER, 1979b)

Hipótese	Dados Deflectométricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO		Apenas correções de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	-	MÁ O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas (IGG>180).	SIM	Resistência	Reconstrução

Tabela 4.19 - Avaliação da qualidade estrutural dos segmentos para tráfego baixo, médio e alto na GO-156

Segmento	D_p	R (m)	$N = 10^5$			$N = 10^6$			$N = 10^7$		
			D_{adm}	Hipótese	Qualidade estrutural	D_{adm}	Hipótese	Qualidade estrutural	D_{adm}	Hipótese	Qualidade estrutural
1	90,28	109,97	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
2	107,85	114,89	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
3	79,68	114,64	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
4	84,11	125,78	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
5	81,02	123,40	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa

Tabela 4.20 - Avaliação da qualidade estrutural dos segmentos para tráfego baixo, médio e alto na GO-215

Segmento	D _p	R (m)	N = 10 ⁵			N = 10 ⁶			N = 10 ⁷		
			Dadm	Hipótese	Qualidade estrutural	Dadm	Hipótese	Qualidade estrutural	Dadm	Hipótese	Qualidade estrutural
1	107,41	137,07	134,9	I	Boa	89,95	II	Regular	59,98	II	Regular
2	83,95	133,07	134,9	I	Boa	89,95	II	Boa	59,98	II	Regular
3	65,45	161,73	134,9	I	Boa	89,95	I	Boa	59,98	II	Regular
4	69,50	137,97	134,9	I	Boa	89,95	II	Boa	59,98	II	Regular
5	67,05	110,53	134,9	I	Boa	89,95	I	Boa	59,98	II	Regular

Tabela 4.21 - Avaliação da qualidade estrutural dos segmentos para tráfego baixo, médio e alto na GO-413

Segmento	D _p	R (m)	N = 10 ⁵			N = 10 ⁶			N = 10 ⁷		
			Dadm	Hipótese	Qualidade estrutural	Dadm	Hipótese	Qualidade estrutural	Dadm	Hipótese	Qualidade estrutural
1	61,66	185,34	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
2	68,04	189,22	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
3	90,66	182,82	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
4	88,78	203,60	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa
5	75,34	159,60	269,79	I	Boa	179,90	I	Boa	119,96	I	Boa

Fazendo uma análise de acordo com a norma PRO 011 (DNER, 1979b), de maneira geral as estruturas das GO-413 e GO-156 suportariam tráfegos elevados. Já a rodovia GO-215 teria capacidade de suportar tráfego variando de baixo a médio.

4.2.3.2 Estimativa da vida remanescente do pavimento

Nas Tabelas 4.22 a 4.24 são apresentados os resultados obtidos do cálculo da vida remanescente do pavimento asfáltico a partir da aplicação das formulas propostas por Lopes (2012), que correlacionam os Parâmetros da Bacia Deflectométrica (PBDs).

Tabela 4.22 - Resultados de estimativa do número N para a GO-156

Parâmetro	Número N Remanescente					
	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4	Segmento 5	MEDIA DO TRECHO
D0 (10 ⁻² mm)	1,56E+06	1,32E+06	3,03E+06	2,82E+06	3,48E+06	2,44E+06
R (m)	3,32E+05	1,07E+06	1,03E+06	1,39E+06	1,29E+06	1,02E+06
SCI (10 ⁻² mm)	9,85E+05	7,81E+05	7,75E+05	8,43E+05	7,93E+05	8,35E+05
BDI (10 ⁻² mm)	2,87E+05	1,08E+06	1,75E+06	1,36E+06	1,36E+06	1,17E+06
BCI (10 ⁻² mm)	7,74E+05	4,76E+05	2,42E+06	2,42E+06	1,05E+07	3,32E+06

Tabela 4.23 - Resultados de estimativa do número N para a GO-215

Número N Remanescente						
Parâmetro	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4	Segmento 5	MEDIA DO TRECHO
D0 (10 ⁻² mm)	1,83E+06	3,23E+06	7,07E+06	5,36E+06	6,30E+06	4,76E+06
R (m)	1,83E+06	1,66E+06	3,12E+06	1,87E+06	9,15E+05	1,88E+06
SCI (10 ⁻² mm)	8,83E+05	1,18E+06	1,86E+06	1,13E+06	6,34E+05	1,14E+06
BDI (10 ⁻² mm)	3,03E+06	1,75E+06	1,83E+05	4,12E+06	1,96E+07	5,73E+06
BCI (10 ⁻² mm)	1,33E+06	4,78E+06	1,05E+07	2,66E+07	3,61E+08	8,09E+07

Tabela 4.24 - Resultados de estimativa do número N para a GO-413

Número N Remanescente						
Parâmetro	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4	Segmento 5	MEDIA DO TRECHO
D0 (10 ⁻² mm)	1,06E+07	7,13E+06	3,69E+06	4,26E+06	5,08E+06	6,14E+06
R (m)	4,81E+06	5,18E+06	4,65E+06	6,52E+06	2,93E+06	4,82E+06
SCI (10 ⁻² mm)	2,28E+06	3,06E+06	2,18E+06	2,24E+06	1,86E+06	2,32E+06
BDI (10 ⁻² mm)	5,75E+06	1,24E+07	2,28E+06	4,12E+06	8,30E+06	6,58E+06
BCI (10 ⁻² mm)	4,76E+05	2,42E+06	1,33E+06	2,42E+06	7,74E+05	1,48E+06

Com esses resultados, avaliando os valores críticos, observa-se que a GO-156 irá suportar um N de 8,35E+05, a GO-215 um N de 1,14E+06 e a GO-413 suportará um N 1,48E+06. Verifica-se um comportamento inferior na GO-156 em relação às demais. Provavelmente, se tivesse sido adotada a solução de reciclagem profunda para todo o trecho seu desempenho poderia ser satisfatório.

Comparando os resultados determinados da GO-215 e da GO-413, observa-se alguma semelhança no comportamento das estruturas. Esse fato não seria esperado pelo fato da GO-215 ter como revestimento uma camada de CBUQ. Assim, pode-se verificar que as camadas subjacentes ao revestimento poderão influenciar de maneira distinta os desempenhos das rodovias.

Com os resultados determinados para vida remanescente através da aplicação dos procedimentos descritos na norma PRO 11 (DNER, 1979), pode-se observar que devido à antiguidade dela existem algumas limitações, não sendo possível avaliar todas os problemas existentes nos pavimentos. Quanto o método descrito por Lopes (2012), tem-se a incorporação de mais parâmetros que podem refletir melhor as patologias mais comuns nos pavimentos, como são a deformação permanente ou a fadiga.

4.3 Retroanálise das bacias de deformação

Para estimar os módulos de elasticidade de cada camada dos pavimentos estudados foi realizada a retroanálise iterativa através do programa computacional KENLAYER (HUANG, 2004) utilizando as bacias de deformação médias obtidas para os trechos.

O programa utiliza como dados de entrada as espessuras, os coeficientes de Poisson e os módulos de elasticidade das camadas do pavimento. Os valores de coeficientes de Poisson utilizados foram de 0,35 para o revestimento; 0,40 para base e sub-base e 0,45 para o subleito. Foi utilizada a média das espessuras das camadas de cada segmento homogêneo obtido a partir dos dados de estratigrafia encontrados através do ensaio de DCP, conforme Tabela 4.7 a Tabela 4.9. Como critério de semelhança entre as bacias reais e encontradas a partir do programa KENLAYER, procurou-se aproximar o primeiro ponto de ambas as bacias, já que a deflexão máxima é o principal parâmetro de análise.

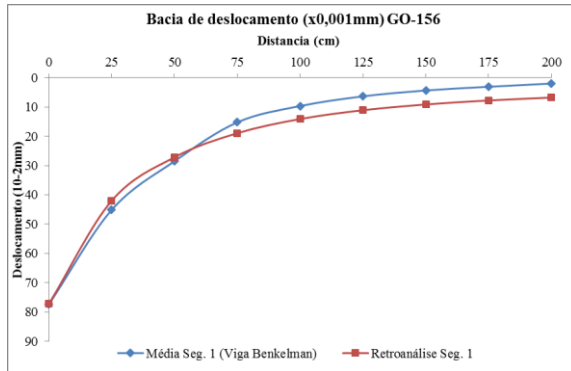
A Figura 4.26 a Figura 4.28 correlacionam as bacias de deslocamento médias de campo dos segmentos homogêneos determinadas para as rodovias e as bacias de deslocamento teóricas obtidas a partir da retroanálise dos dados de campo.

Nas Tabelas 4.25 a 4.27 são apresentados os módulos de elasticidade estimados a partir da retroanálise para as diferentes camadas dos trechos avaliados.

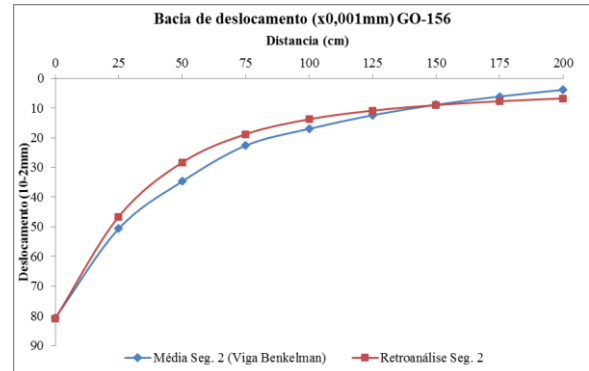
Ressalta-se que nas GO-156 e GO-413 o revestimento é composto de TSD e microrrevestimento e seu objetivo é apenas de impermeabilizar a camada de base e garantir atrito entre os pneus e o pavimento. Assim, tem-se uma espessura final pequena, para a qual pode-se constatar que não há função estrutural dessa camada para o processo de retroanálises. Já para a GO-215 constata-se que há função estrutural pelo fato do revestimento ser composto de CBUQ.

Em termos de subleito e sub-base, verifica-se que os valores de módulo obtidos nas três rodovias são próximos. Isso pode ser um indicativo da semelhança de comportamento estrutural dos materiais existentes nessas camadas desde a construção dessas obras. Somente no Segmento 2 da GO-156 foram observados baixos valores de módulo para o subleito e para a sub-base. Nesse caso, talvez a reciclagem da base não seja suficiente para melhorar a serventia desse trecho do pavimento.

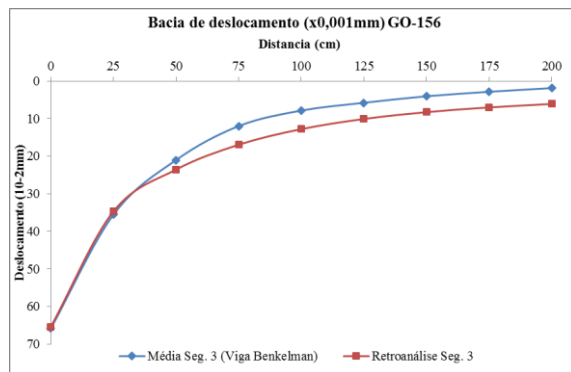
Figura 4.26 - Bacias de deslocamento médias de campo e as bacias teóricas retroanalisadas dos segmentos homogêneos da GO-156



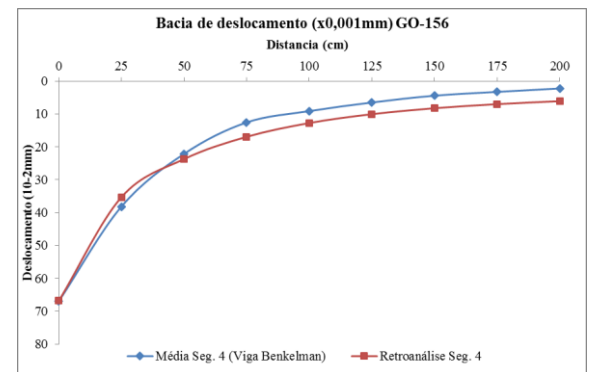
(a) Segmento homogêneo 1



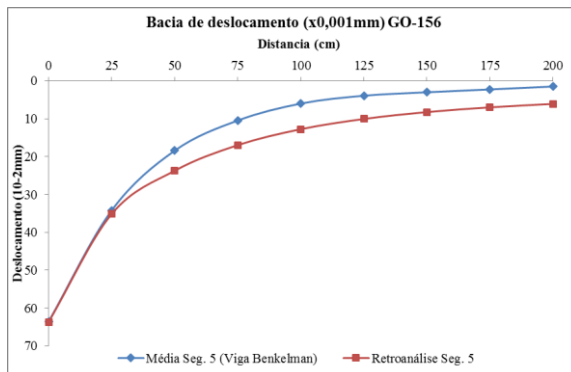
(b) Segmento homogêneo 2



(c) Segmento homogêneo 3

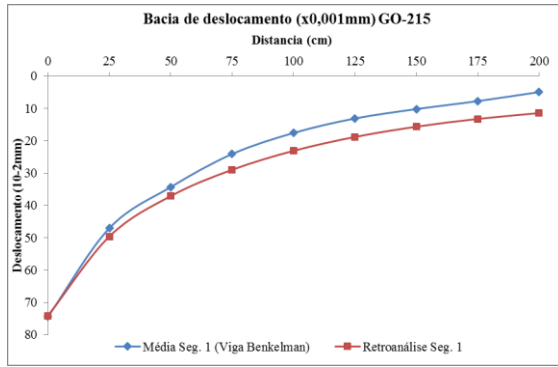


(d) Segmento homogêneo 4

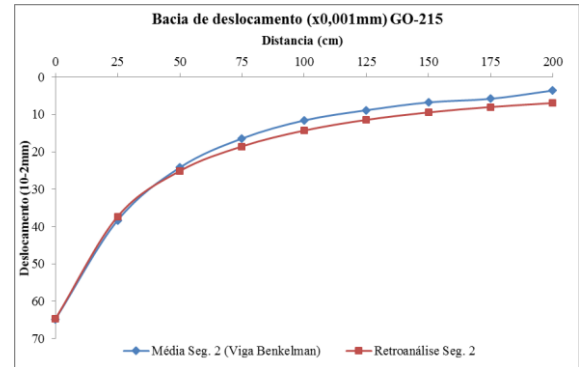


(e) Segmento homogêneo 5

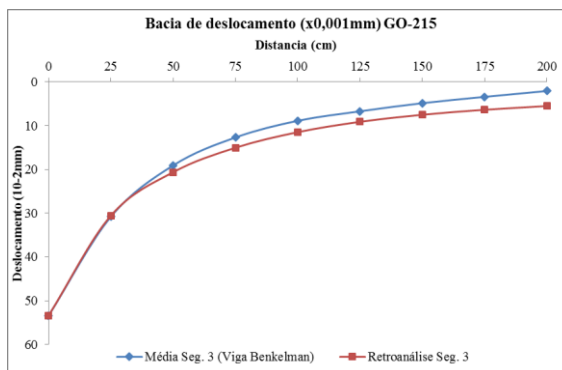
Figura 4.27 - Bacias de deslocamento médias de campo e as bacias teóricas retroanalisadas dos segmentos homogêneos da GO-215



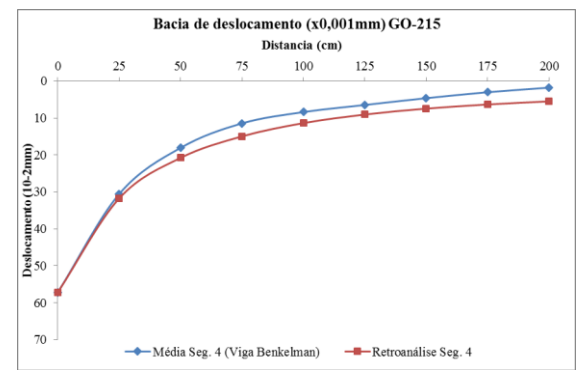
a) Segmento homogêneo 1



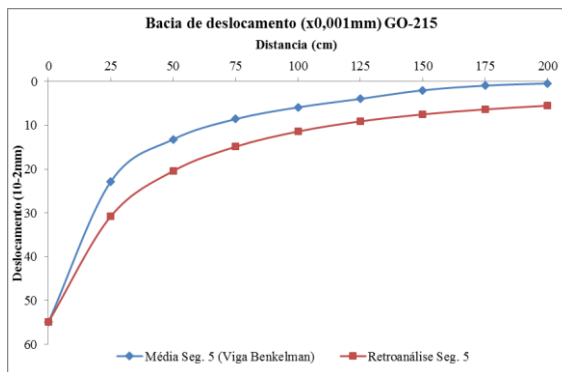
b) Segmento homogêneo 2



c) Segmento homogêneo 3

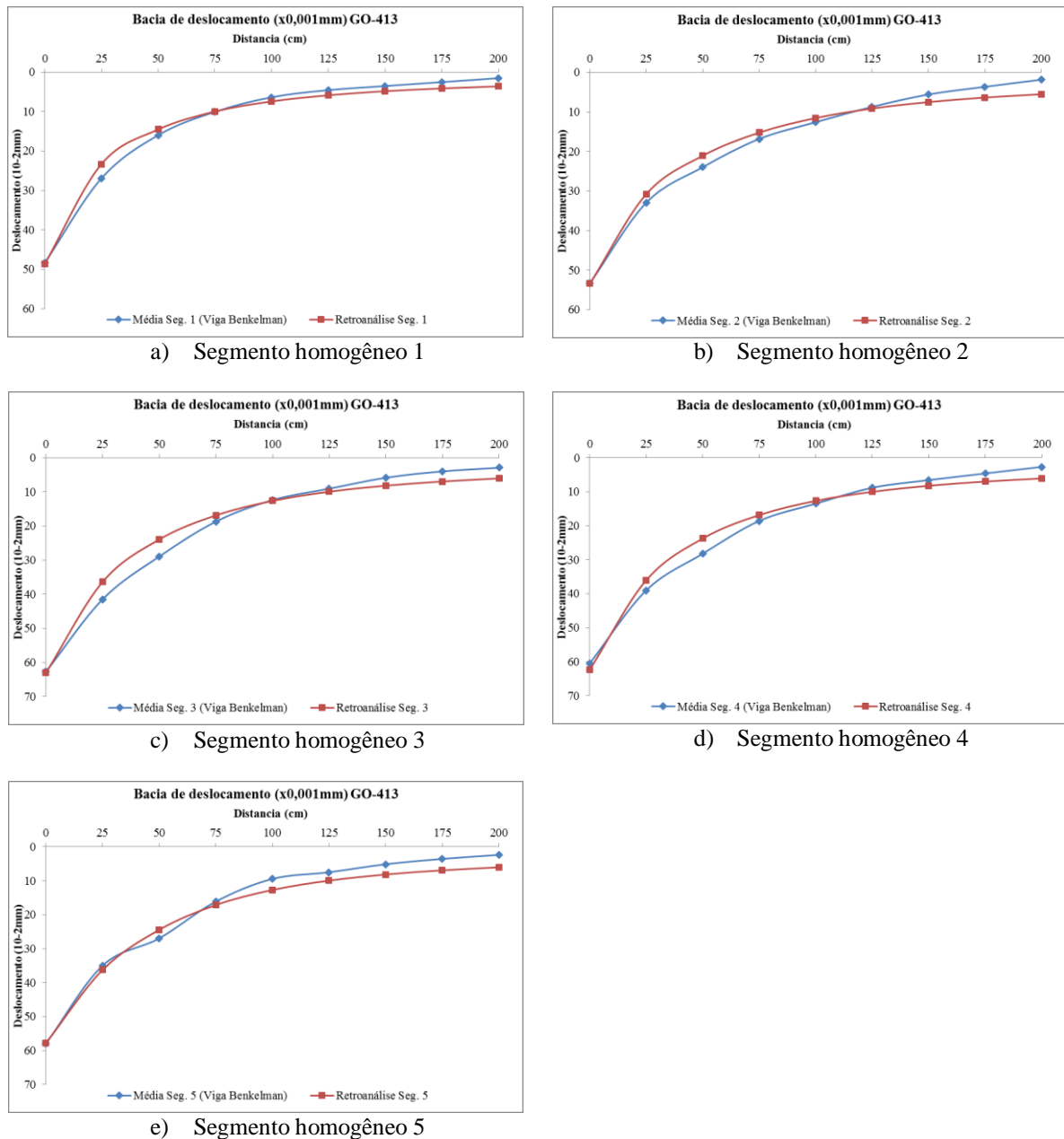


d) Segmento homogêneo 4



e) Segmento homogêneo 5

Figura 4.28 - Bacias de deslocamento médias de campo e as bacias teóricas retroanalisadas dos segmentos homogêneos da GO-413



Quanto às bases recicladas, observa-se que os menores valores de módulo foram obtidos para a GO-215. Nesse caso, recomenda-se uma investigação para tentar identificar se o problema está relacionado com os materiais utilizados ou com algum erro no processo executivo. Como nessa rodovia foi executado revestimento em concreto asfáltico, pode ser que o menor desempenho dessa base não apareça em curto prazo. De qualquer forma, esses resultados coincidem com os obtidos nas análises realizadas de acordo com a PRO-011 (DNIT, 1979), onde o trecho estudado da GO-215 foi classificado como regular. As bases da GO-156 e da GO-413 apresentaram valores de módulo satisfatórios.

Tabela 4.25 - Espessura média e módulo de elasticidade das camadas para cada segmento homogêneo da GO-156

SEGMENTO N°	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA MR (MPa)		
				BASE	SUB-BASE	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO
1	400	498	1960	19	17	315	150	90
2	499	560	1220	20	16	360	80	80
3	561	654	1860	26	16	310	200	90
4	655	738	1660	24	16	305	200	90
5	739	800	1220	22	18	350	210	90

Tabela 4.26 - Espessura média e módulo de elasticidade das camadas para cada segmento homogêneo da GO-215

SEGMENTO N°	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA - MR (MPa)			
				BASE	SUB-BASE 1	REVESTIMENTO	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO
1	600	692	1840	23	19	2000	240	190	80
2	693	740	940	18	22	2000	240	190	80
3	741	840	1980	17	17	2000	300	280	100
4	841	917	1520	22	17	2000	260	200	100
5	918	1000	1640	21	19	2000	280	200	100

Tabela 4.27 - Espessura média e módulo de elasticidade das camadas para cada segmento homogêneo da GO-413

SEGMENTO N°	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	EXTENSÃO (m)	ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA - MR (MPa)		
				BASE	SUB-BASE	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO
1	50	124	1480	22	13	350	250	150
2	125	202	1540	25	23	450	180	100
3	203	301	1960	19	20	420	180	90
4	302	402	2000	19	23	430	180	90
5	403	450	940	21	12	540	220	90

4.4 Comparação dos resultados obtidos com os resultados de Costa 2013

Conforme o item 1.1 esta pesquisa foi elaborada com a justificativa da continuidade do convênio realizado entre a Universidade Federal de Goiás (UFG) e a Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO) no ano de 2011. No qual foi gerada a dissertação de mestrado de Costa (2013).

A continuação será apresentado um comparativo dos principais resultados obtidos nos ensaios de campo desta pesquisa nas rodovias que tiveram soluções de restauração similares e espera-se alguma similitude nos resultados obtidos com os resultados obtidos por Costa (2013). Para esse fim serão comparados os resultados obtidos das rodovias GO-156 e GO-413 com os resultados dos ensaios realizados nas GO-050 e GO-154, conforme a Tabela 4.28.

Tabela 4.28 - Rodovias selecionadas para comparação e análise de resultados.

RODOVIA	EXTENSÃO AVALIADA (km)	TRECHO	BASE	TIPO DE REVESTIMENTO
GO-156	8	BR-060 / Palmeiras de Goiás	Reciclagem de base 18 cm + adição de 25% de brita	TSD + Microrrevestimento 8 mm
GO-413	8	Varjão / BR-060		
GO-050	8	Trindade / Campestre	Reciclagem de base + adição de 20% de brita 18cm.	TSD + Microrrevestimento
GO-154	8	Itaguari / Itaguaru		

A Tabela 4.29 apresenta a comparação dos resultados obtidos através do ensaio de Levantamento Visual Contínuo os quais indicam valores mais baixos de Índice de Gravidade Global (IGG), os quais se enquadraram na faixa $0 < IGG \leq 20$ indicando que as superfícies avaliadas estavam em ótimo estado no momento da avaliação para as rodovias que foram restauradas no ano 2012. Em quanto às rodovias avaliadas nesta pesquisa foram determinados valores de IGG que estão dentro do intervalo $20 < IGG \leq 40$ indicando que as superfícies desses pavimentos foram encontradas em estado bom.

Essas discrepâncias nos valores de IGG podem ser relativas, já que a determinação visual dos defeitos pode variar entre um avaliador e outro e podem depender da experiência dos mesmos neste tipo de avaliação.

Tabela 4.29 - Comparativo de resultados finais do ensaio LVC.

Rodovia:	GO-156	GO-413	GO-050	GO-154
IGG	44	34	2,20	3,30
LIMITE	$20 < \text{IGG} \leq 40$	$20 < \text{IGG} \leq 40$	$0 < \text{IGG} \leq 20$	$0 < \text{IGG} \leq 20$
CONCEITO	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo

Na Tabela 4.30 é apresentado o comparativo do resumo de resultados obtidos dos ensaios realizados como o DCP, referentes às variações estratigráficas das camadas das rodovias restauradas.

Desses resultados é possível indicar que em comparação dos resultados de estratigrafia determinados através do ensaio DCP é possível indicar que nas rodovias GO-156 e GO-413 restauradas no ano 2013 e a GO-154 restaurada no ano 2012 foram determinados valores de espessura media da base mais próximos do valor estimado no projeto de reciclagem o qual era de 18cm, em quanto o valor de espessura media da base reciclada para a GO-154 foi apenas de 14cm, muito abaixo do valor projetado. Isso pode indicar falhas no processo executivo ou falta de fiscalização à profundidade de penetração da máquina recicladora para a mesma atingir ela.

Tabela 4.30 - Principais variações estratigráficas das rodovias restauradas pela AGETOP nos anos 2012 e 2013.

Rodovia	GO-156			GO-413			GO-050			GO-154		
Espessura (cm)	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
Média	22	16	25	21	20	29	20	18	11	14	16	25
Máxima	40	26	40	35	34	43	50	39	14	24	33	30
Mínima	16	10	12	9	8	7	6	5	9	8	4	21
Nº de estacas com duas camadas	4			18			5			0		
Nº de estacas com três camadas	37			23			36			41		

Na Tabela 4.31 são apresentados os resultados estatísticos e de resistência à penetração determinados com o DCP para as rodovias.

Respeito aos valores obtidos por Costa (2013) podem ser identificados valores de DN mais baixos quando comparados com os resultados obtidos nesta pesquisa, também é possível

indicar que os coeficientes de variação CV acima de 0,25 o que indica maior heterogeneidade na resistência das camadas do pavimento nas rodovias GO-050 e GO-154 restauradas em 2012 e avaliadas na pesquisa anteriormente descrita. Para os resultados obtidos nesta pesquisa foi possível identificar camadas com resistência mais homogêneas e camadas mais resistentes, isso pode ser devido a que nestas rodovias (GO-156 e GO-413) foram reforçadas com 5% mais de brita que as outras rodovias.

Tabela 4.31 - Valores estatísticos e valores de DN para as rodovias restauradas pela AGETOP nos anos 2012 e 2013.

Rodovia	GO-156			GO-413			GO-050			GO-154		
	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
DN (mm/golpes)												
Média	2,32	3,70	6,38	3,27	5,10	7,11	2,15	3,21	7,76	1,92	3,75	6,86
Mediana	2,30	3,86	6,24	3,26	4,50	6,86	2,11	3,38	6,75	1,89	3,56	6,50
Desvio Padrão	0,57	0,96	1,99	0,71	2,23	2,24	0,61	1,54	4,60	0,56	1,64	2,07
Erro padrão da média	0,09	0,16	0,31	0,11	0,46	0,35	0,10	0,24	0,73	0,09	0,26	0,32
Coeficiente de Variação	0,25	0,26	0,31	0,22	0,44	0,32	0,28	0,48	0,59	0,29	0,44	0,30

A Tabela 4.32 apresenta o resumo dos valores estatísticos das medidas de deflexão máxima correspondentes às rodovias GO-156 e GO-413 restauradas no ano 2013 e avaliadas nesta pesquisa, comparados com os resultados estatísticos das rodovias restauradas em 2012 e avaliadas por Costa.

Nos resultados é possível observar que os valores de deflexão média máxima calculadas por Costa para as rodovias GO-050 e GO-154 tiveram resultados parecidos entre eles e quando comparando os Coeficientes de Variação é identificado que o valor é igual nas duas rodovias, indicando certa homogeneidade nos valores médios de deflexão. Em quanto aos valores calculados nesta pesquisa para as rodovias GO-156 e GO-413 ficaram distantes um do outro e os valores de Coeficientes de variação indicaram que os valores obtidos para a GO-156 são mais homogêneos que os valores de deflexão calculados para a GO-413 sendo considerados como heterogêneos.

Tabela 4.32 - Resumo estatístico das medidas de deflexão máxima nas rodovias restauradas nos anos 2012 e 2013.

D₀ (0,01 mm)	GO-156	GO-413	GO-050	GO-154
Média	71,05	57,16	61,63	63,21
Mediana	70,37	52,54	60,00	60,00
Desvio Padrão	18,48	23,56	20,80	21,18
Erro padrão da média	0,92	1,18	1,04	1,07
Coefficiente de Variação	0,26	0,41	0,34	0,34

Nas Tabelas 4.33 e 4.34 são apresentados os resultados das retroanálise das bacias de deslocamento obtidas pelos ensaios de viga Benkelman para a determinação dos módulos de resiliência das camadas do pavimento em cada um dos segmentos homogêneos em que foram subdivididas as rodovias avaliadas nesta pesquisa, assim como nas rodovias avaliadas por Costa.

Para as rodovias restauradas no ano 2013 com o método de reciclagem profunda e acréscimo de 25% de brita para reconstrução das bases, foram determinados pelo processo de retroanálise módulos com valores entre 305 e 360 (MPa), para a GO-156 e módulos de resiliência com valores entre 350 e 540 (MPa), para a GO-413.

Tabela 4.33 - Módulos de resiliência das camadas do pavimento obtidas através da retroanálise das bacias de deslocamento para as rodovias GO-156 e GO-413 restauradas no ano 2013

SEGMENTO N°	GO-156					GO-413				
	ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA MR (MPa)			ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA MR (MPa)		
	BASE	SUB-BASE	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	BASE	SUB-BASE	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO
1	19	17	315	150	90	22	13	350	250	150
2	20	16	360	80	80	25	23	450	180	100
3	26	16	310	200	90	19	20	420	180	90
4	24	16	305	200	90	19	23	430	180	90
5	22	18	350	210	90	21	12	540	220	90

Para as rodovias avaliadas por Costa (2013), restauradas no ano 2012 com o método de reciclagem profunda e acréscimo de 20% de brita para reconstrução das bases, foram determinados pelo processo de retroanálise módulos com valores entre 310 e 600 (MPa), para a GO-050 e módulos de resiliência com valores entre 380 e 550 (MPa), para a GO-154.

Comparando os resultados obtidos nas duas pesquisas é notória a diferença de valores determinados pela retroanálise nos quais apresentaram valores de MR maiores para as rodovias GO-050 e GO-154 do que os MR determinados para os pavimentos das GO-156 e GO-413 que foram avaliados nesta pesquisa.

Com esses resultados é possível indicar que os módulos de resiliência obtidos pelo processo de retroanálise, podem ser influenciados pela diferença dos materiais que constituem as camadas, a aplicação das quantidades estabelecidas como reforço, assim como pelos valores de deflexão média obtidas pela avaliação estrutural realizada com a viga Benkelman.

Tabela 4.34 - Módulos de resiliência das camadas do pavimento obtidas através da retroanálise das bacias de deslocamento para as rodovias GO-050 e GO-154 restauradas no ano 2012

SEGMENTO N°	GO-050					GO-154				
	ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA MR (MPa)			ESPESSURA MÉDIA (cm)		MÓDULO DE RESILIÊNCIA MR (MPa)		
	BASE	SUB-BASE	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	BASE	SUB-BASE	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO
1	19,54	16,68	500	300	80	15,16	16,32	420	280	100
2	25,55	14,30	310	220	135	14,50	20,20	380	280	80
3	23,88	12,84	420	300	110	14,78	17,19	450	300	110
4	11,03	15,73	600	550	115	14,53	15,23	380	280	120
5	15,43	25,04	370	260	140	11,73	15,27	550	430	140
6	22,51	21,45	500	250	80	15,01	16,81	500	300	120

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo são apresentadas as conclusões e consideradas para esta pesquisa após avaliação funcional e estrutural de trechos de rodovias restauradas com a técnica de reciclagem profunda a frio “in situ”. Os tópicos são abordados de acordo com o desenvolvimento do trabalho destacando os resultados mais relevantes das análises realizadas às rodovias estudadas. São também apresentadas algumas sugestões para pesquisas futuras.

5.1 CONCLUSÕES

No desenvolvimento desta pesquisa foram avaliadas três rodovias restauradas no ano 2013 em que foi adotada a técnica de reciclagem com profundidade de reciclagem de 18 cm e acréscimo de 25% de brita com a finalidade de melhorar sua resistência estrutural.

Junto com a Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO) foram escolhidas as três rodovias que fizeram parte desta pesquisa e determinados os estágios para o desenvolvimento das atividades de campo como coleta de amostras, monitoramento do processo de reciclagem e compactação da base.

No controle de compactação, o peso específico aparente seco atingido em campo foi satisfatório, mas em termos de umidade verificou-se significativa variação em torno da ótima, especialmente no ramo úmido.

Foi possível obter uma correlação única entre o índice de penetração (DN) e a capacidade de suporte (CBR) para bases de cascalho laterítico recicladas a frio “in situ” com a incorporação de brita. Em termos de CBR, as bases das três rodovias estudadas apresentaram valores superiores a 100%. No entanto, sabe-se que esse parâmetro não é suficiente para avaliar a qualidade da estrutura executada.

Em termos de avaliação da superfície, foi obtida a pior classificação em termos de Índice de Gravidade Global (IGG) para a GO-156, apresentando muitos defeitos vinculados ao revestimento. Esse fato serve de alerta para que haja maior controle na execução dos revestimentos e maior critério para a adoção de solução de restauração, pois não é esperada essa situação para uma rodovia recém-restaurada.

Com os resultados obtidos nos ensaios de penetração (DCP) verificou-se que:

- ◆ Em termos de espessura da camada reciclada, as maiores variações foram obtidas para as GO-215 e GO-413, mostrando a necessidade de ser realizado um controle desse parâmetro durante a execução;
- ◆ Em termos de DN da base reciclada, a GO-215 apresentou maior variabilidade de resultado, o que pode estar relacionado com falta de controle executivo. Em termos de DN das camadas existentes abaixo da base reciclada (sub-base e subleito), foi observada maior heterogeneidade nas GO-215 e GO-413, sendo que esse fato pode gerar comportamentos estruturais distintos num mesmo trecho;
- ◆ Assim, constata-se que o DCP é uma importante ferramenta para subsidiar e complementar as demais análises estruturais, mostrando alguns sinais de alerta para as rodovias estudadas.

Com os resultados dos ensaios de viga Benkelman observou-se que:

- ◆ Em termos de deflexão máxima (D_0), as três rodovias apresentaram algumas regiões com valores elevados, sendo que as GO-156 e GO-413 apresentaram menos valores dentro de uma faixa de variação considerada satisfatória. Além disso, a GO-413 apresentou maior variabilidade desse parâmetro;
- ◆ Ao analisar as bacias de deflexão, a GO-156 apresentou a bacia média com os maiores valores. No entanto, ao analisar os dados em termos da especificação PRO 11/79, foram obtidos cinco segmentos homogêneos para cada rodovia, confirmando a heterogeneidade observada em análises anteriores. Ao verificar a questão do tráfego, a GO-215 apresentou limitações. Já com base na metodologia de Lopes (2012), o comportamento inferior foi obtido para a GO-156.

Com os resultados do processo de retroanálise, foi identificado um segmento da GO-156 com valores ruins de módulo para a sub-base e para o subleito, e valores baixos para o módulo da base reciclada da GO-215. No caso da GO-215, talvez os problemas demorem um pouco mais para aparecer pelo fato de ter sido a única em que foi utilizado o concreto asfáltico como revestimento.

Em todas as análises observou-se algum tipo de heterogeneidade nas três rodovias estudadas. Na GO-156 essa variação pode estar relacionada com o fato de terem sido adotadas várias soluções de restauração no trecho analisado. Na GO-215 a heterogeneidade pode ser explicada por diferenças observadas nas camadas de base, sub-base e subleito. Já na GO-413 esse fato pode estar vinculado ao processo executivo alternativo utilizado na reciclagem da base.

Assim, mesmo sendo usada técnica de reciclagem semelhante nas três rodovias estudadas, as análises realizadas mostram comportamentos bastante distintos. A técnica de reciclagem profunda “in situ” com a incorporação de brita mostra-se como uma boa opção, mas se não forem pensadas soluções de projeto consistentes e realizados controles executivos na implantação das soluções adotadas, a durabilidade dessas obras pode ficar comprometida.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com a finalidade de complementar os trabalhos desenvolvidos nesta pesquisa, são listadas algumas sugestões:

- ◆ Investigar as camadas localizadas abaixo da base reciclada;
- ◆ Controlar as espessuras atingidas pelas máquinas utilizadas durante os processos de reciclagem, com a finalidade de se obter maior homogeneidade no perfil estratigráfico ao longo do trecho avaliado;
- ◆ Executar ensaios complementares periodicamente com a finalidade de avaliar o desempenho das rodovias restauradas e determinar se as mesmas estão suportando os volumes de tráfego atuais;
- ◆ Propor a criação de normas ou especificações de serviço regionais que possam controlar em campo a execução dos procedimentos, através de processos padronizados para

reciclagem de base, assim como da quantidade de materiais a serem incorporados em função dos materiais encontrados nos pavimentos.

REFERÊNCIAS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação, Rio de Janeiro, 1986, 10p.

_____. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1987, 14p.

ABITANTE, E.; TRICHÊS, G.; STRIANI, C. S. **Controle de Compactação de solos com o uso do DCP**. Florianópolis: [s.n.], 2009, 93 p.

AGETOP – AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS. **Edital de Concorrência nº. 110/12-GEGEL**. Goiânia, 2012. CD ROM.

ALBERNAZ, C. A. V. **Método Simplificado de Retroanálise de Módulos de Resiliência de Pavimentos Flexíveis a partir da Bacia de Deflexão**. 1997. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimentos para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. 2007. 303 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2007.

ARAUJO, L. M. D. **Estudo do comportamento de material fresado de revestimento asfáltico visando sua aplicação em reciclagem de pavimentos**. Tese de doutorado submetida ao departamento de engenharia civil e ambiental da universidade de Brasília. Brasília, 2004.

ARRA: ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. **Manual Basic Asphalt Recycling**. United States: [s.n.], 2001. 122 p.

ASTM: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 6951 – 03**: Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications West Conshohocken. United States, 2003, 7p.

AZEVEDO A. M. **Considerações sobre a drenagem subsuperficial na vida útil dos pavimentos rodoviários**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: Materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 558 p.

BARBER, P. A. & SCHEROCMAN, J. A. (1987). **Fresagem a Frio e Reciclagem - Uma Tecnologia Econômica de Manutenção de Pavimentos**. 22a Reunião Anual de Pavimentação, Volume 2, Maceió, AL, pp. 259-274 (texto traduzido).

BATISTA, L. C. M. **Determinação de parâmetros de deformabilidade de camadas de um pavimento a partir de ensaios de campo**. 2007. 182p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BAUS R. L.; STIRES, N. R., **Mechanistic-Empirical pavement design guide implementation**. Submitted to The South Carolina Department of Transportation and The Federal Highway Administration, Columbia: [s.n.], 2010, 104 p.

BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Perspectiva de investimentos em infraestrutura 2011-2014. **Visão do Desenvolvimento**, nº 92, 25 de fevereiro de 2011. 7 p.

BENEVIDES, S. A. S **Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos: empírico do DNER e da Resiliência da COPPE/UFRJ em rodovias do estado do Ceará**. 2000. 176 p. Tese (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

BERTI, C; PAIVA. C. E. L. Correlações entre índices de penetração DCP e CBR disponíveis na literatura. *In: V JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS: POLITICAS E TECNOLOGIAS*. Recife, Pernambuco. Trabalho V-31, 12 p. 2006.

BERNUCCI, L.B.; CERATTI, J. A. P.; MOTTA, L. M. G.; SOARES, J, B, **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**, Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 3ª Reimpressão, 2010. 504 p.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2009: relatório gerencial**. CNT: SEST: SENAT, 273 p. Brasília, 2009.

_____ **Pesquisa CNT de Rodovias 2010: relatório gerencial**. CNT: SEST: SENAT, 273 p. Brasília, 2010.

_____ **Pesquisa CNT de Rodovias de Goiás 2012: Estado de Goiás**. Brasília 2012.

_____ **Plano CNT de Transporte e Logística 2012**. CNT: SEST: SENAT. Brasília, 2011.

COSTA, L. C. S. **Avaliação do comportamento de trechos de rodovias restauradas com base reciclada “in situ”**. 2013, 234 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre**. 2004. 151 p. Trabalho de Conclusão do Curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DELLABIANCA, L. M. A. **Estudo do comportamento de material fresado de revestimento asfáltico visando sua aplicação em reciclagem de pavimentos**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004

DER-SP: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. **IP-DE-P00/003**: Avaliação funcional e estrutural de pavimento – Instrução de Projeto. São Paulo, 2003, 29 p.

DNER: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 024**: Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994a, 6 p.

_____ **ME 049**: Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994c, 14 p.

_____ **ME 052**: Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy” – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994b, 5 p.

_____ **ME 092**: Solos – determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994a, 14 p.

_____ **PRO 010**: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Volume 1 – Procedimento A. Rio de Janeiro, 1979a, 31 p.

_____ **PRO 011**: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Volume 1 – Procedimento B. Rio de Janeiro, 1979b, 16 p.

_____ **PRO 164**: Calibração e controle de sistemas de medidores de irregularidade de superfície do pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter) – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994i, 18 p.

_____ **PRO 175**: Aferição de viga Benkelman – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994j, 11 p.

_____ **PRO 269**: Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – TECNAPAV – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994k, 17 p.

DNIT: DEPARTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **ES 033**: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico reciclado a quente na usina– Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2005a, 13 p.

_____ **ES 034**: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico reciclado a quente no local – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2005b, 13 p.

_____ **ES 098**: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2007, 7 p.

_____ **IPR 710**: Manual de Conservação Rodoviária, 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005c, 564 p.

_____ **IPR 720**: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2006, 310 p.

_____ **IPR 745**: Manual de gerência de pavimentos, 1ª Edição. Rio de Janeiro, 2011, 189 p.

_____ **ME 133:** Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010a, 8 p.

_____ **PRO 006:** Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003a, 10 p.

_____ **PRO 007:** Levantamento para avaliação da condição de superfície de sub-trecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos- Procedimento. Rio de Janeiro, 2003b, 11 p.

_____ **PRO 008:** Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003c, 11 p.

_____ **TER 005:** Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2003d, 12 p.

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. **REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA**, 1988, Florianópolis. Anais... Rio de Janeiro: ABPv, 1988

FONSECA, P. **RECICLAGEM DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**. RECIPAV – Engenharia e Pavimentos, Ltda., 2009. Disponível em: <<http://www.recipav.pt>>. Acesso em: 17/07/2013.

FRESAR, Homogeneização e estabilização de solos: **Dados técnicos**. Belo Horizonte, [2012], 2p.

GARCIA F. H. **Modelagem matemática dos efeitos do carregamento na degradação de pavimentos flexíveis**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2010.

GARCIA F. H; GRANICH A; SPECHT L. P, **Avaliação do excesso de carga no desempenho a fadiga de pavimentos flexíveis considerando duas formas de modelagem**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul 2009

HUANG Y. H. **Pavement Analysis and Design**. 2. ed. Kentucky: Pearson Education, Inc ., Upper Saddle River, NJ 0745 8, 2004, 775 p.

IBGE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 1994. 2ª Edição, 2007, 316 p.

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Gargalos e demandas da infraestrutura rodoviária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras rodoviárias. **Texto para discussão**, Brasília: Livraria do IPEA, n. 1592, 62 p, 2011.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Rodovias brasileiras: Investimentos, concessões e tarifas de pedágio**. Brasília: Livraria do IPEA, n. 144, 20 p, 2012.

KARUNAPREMA, K. A. K; EDIRISINGHE, A. G. H. J. A Laboratory study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer. In: University Peradenya, Sri Lanka. EJGE, 2002.

LOPES, F. M. **Pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico - avaliação estrutural a partir dos parâmetros de curvatura da bacia de deformação.** 2012. 339 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos.** 2ª Edição, Rio de Janeiro: [s.n.], 2005, 574 p.

MORIAN, D. A.; SOLAIMANIAN M.; SCHEETZ, B.; JAHANGIRNEJAD, S. **Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation.** 2012. 49 p. Technical Report Documentation Page. Report n° FHWA-PA-2012-004-090107, The Pennsylvania Department of Transportation. Harrisburg, 2012.

MOTA, M. V. F., **Pavimento de baixo volume de tráfego: estudo comparativo da vida útil estimada e após abertura ao tráfego.** 2009. 251 p. Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia Geotécnica) – Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

MOTTA, L. M. G. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis; critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas.** 1991. 366 p. Tese (Doutorado em ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

NCHRP: NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. **GA Manual for Design of hot mix Asphalt with Commentary.** Report. n 673. Transportation Research Board National Committee, Washington D.C, 2011, 285 p.

NCHRP: NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. **Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures.** Part 1. Introduction. Transportation Research Board National Research, Council, 2004, 31 p.

NÓBREGA. E.S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos.** 2003. 365 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

PEREIRA, P. A. A; PAIS, J. C; FREITAS, E. F; SILVA, H. M. D; OLIVEIRA, J. R. M. **A reabilitação da rede rodoviária no século XXI. A Contribuição da Inovação para uma Visão Global da Reabilitação Rodoviária.** n 28. 18 p. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 2007.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação de pavimentos.** Tese (Doutorado em ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

RTA: REDE TEMÁTICA DE ASFALTO. **Manual de execução de trechos monitorados.** 2010, 102 p.

SACHET, T; GONÇALVES, P. Reciclagem “in situ” de bases granulares de pavimentos asfálticos. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**: n.11, p.31-42, Abril 2008.

SHRP: STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. **SHRP-P-394** – Evaluation of the AASHTO Design Equations and Recommended Improvements. National Research Council, Washington, DC, 1994, 219 p.

SILVA, A. H. M. **Avaliação do Comportamento de pavimentos com camada reciclada de revestimentos asfálticos a frio com emulsão modificada por polímero**. 2011. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes II, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SEPLAN-GO. **Perfil competitivo das regiões de planejamento do estado de Goiás**. Gerencia de Contas Regionais. 1. ed. Goiânia, 2010. 109 p.

SERAFIM, M. C. S. **Análise das políticas públicas para infraestrutura de transporte no Brasil a partir da década de 90**. 2009. 62 p. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009

SONCIM, S.P. **Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho de pavimentos asfálticos com base em dados da rede de rodovias do Estado da Bahia**. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, São Carlos, 2011. 241p.

TOLEDO, G. A. B; HERMOSILLA, M. S. **Estudio del cono de penetración dinámica y correlación con el CBR, aplicado a los suelos del sur de Chile**. 2008. 3 p. Universidad De La Frontera Departamento De Ingeniería De Obras Civiles Carrera De Ingeniería En Construcción, Temuco, 2008.

TRICHÊS, G; SANTOS, A. Avaliação do desempenho da reciclagem do pavimento da rodovia SC 303. *In*: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS & CONCESSÕES, 2011, 15p, Foz do Iguaçu.

VALDÉS, G; PÉREZ-JIMÉNEZ, F. MIRÓ, R; MARTÍNEZ, A; BOTELLA, R. Experimental Study of Recycled Asphalt Mixtures with High Percentages of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) **Construction and Building Materials**, v 25, p. 1289–1297, 2010

VIEIRA, C. S. **Desempenho de um pavimento flexível solicitado por simulador de tráfego**. Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002

WIRTGEN. **Manual de reciclagem a frio**. Wirtgen GmbH. Alemanha. 2ª ed. 2004.

WIRTGEN. **Wirtgen Cold Recycling Technology**. Wirtgen GmbH. Alemanha. 1ª ed. 2012, 367 p.

APÊNDICE A – GRÁFICOS DOS PONTOS ENSAIADOS COM O DCP

Nas Figuras A.1, A.2 e A.3 são apresentados os gráficos das curvas dos pontos de DCP ensaiados das respectivas GO-156, GO-215 e GO-413.

Figura A.1 - Curvas de penetração obtidas na GO-156

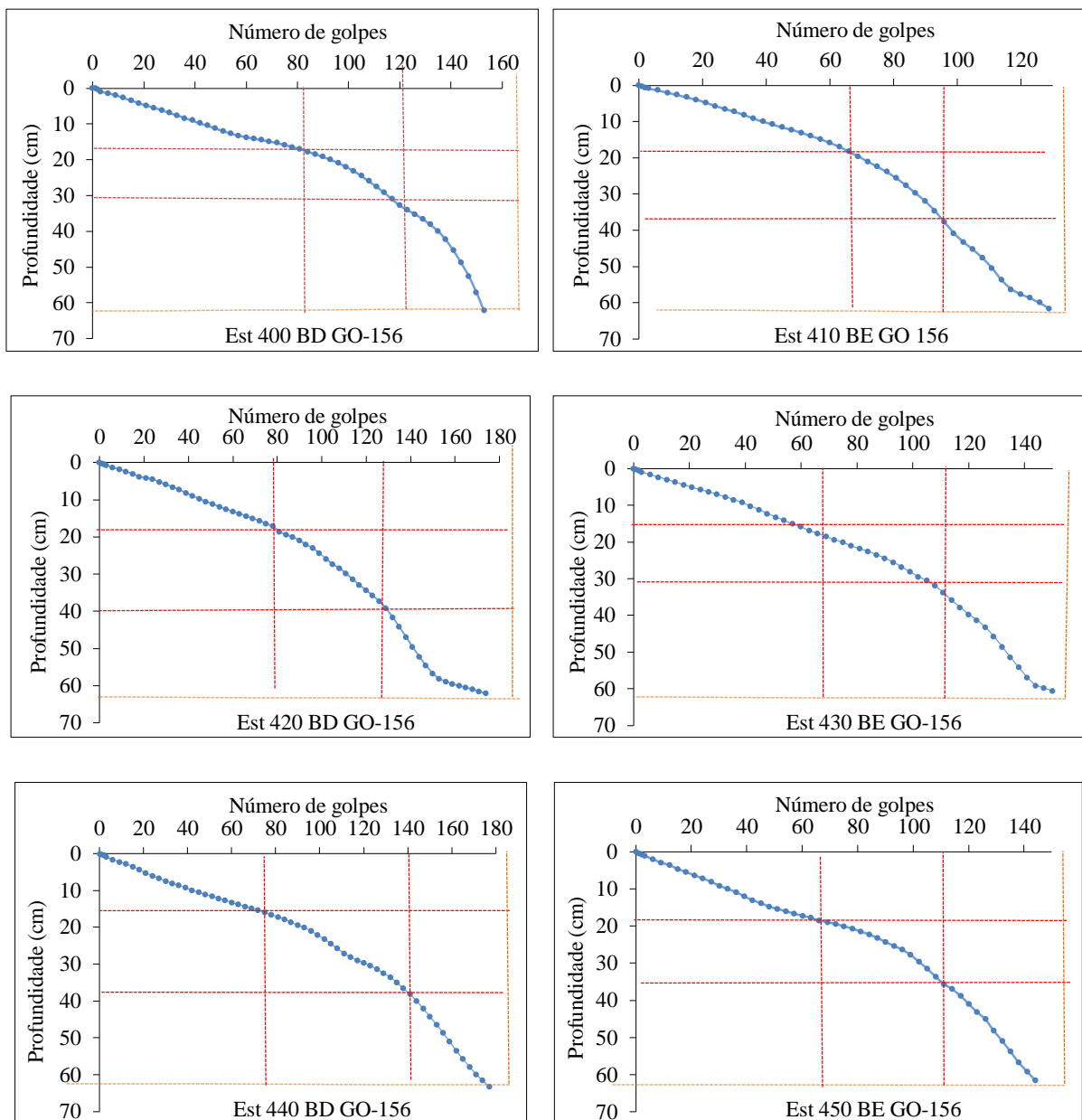


Figura A.1 - Continuação

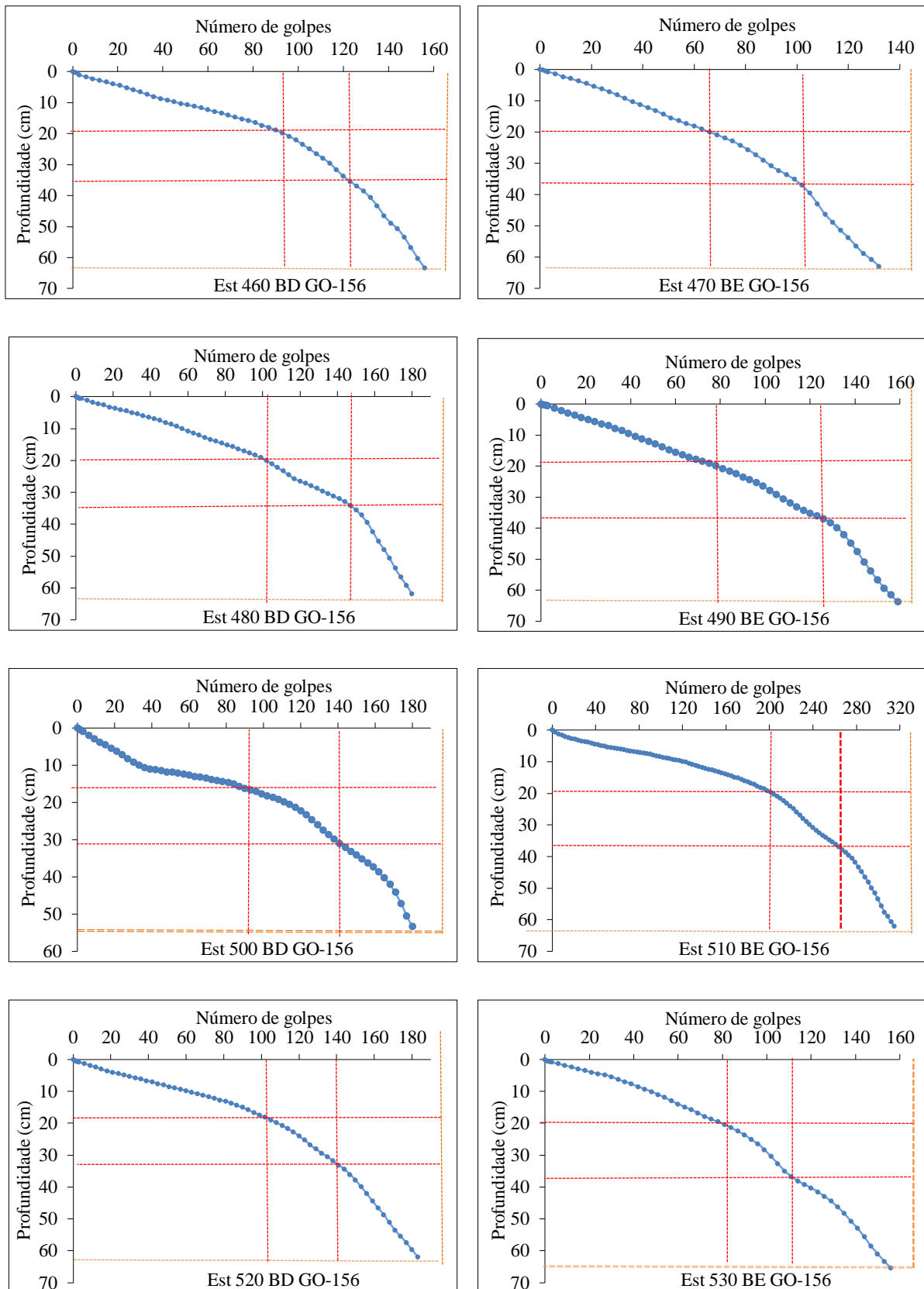


Figura A.1 - Continuação

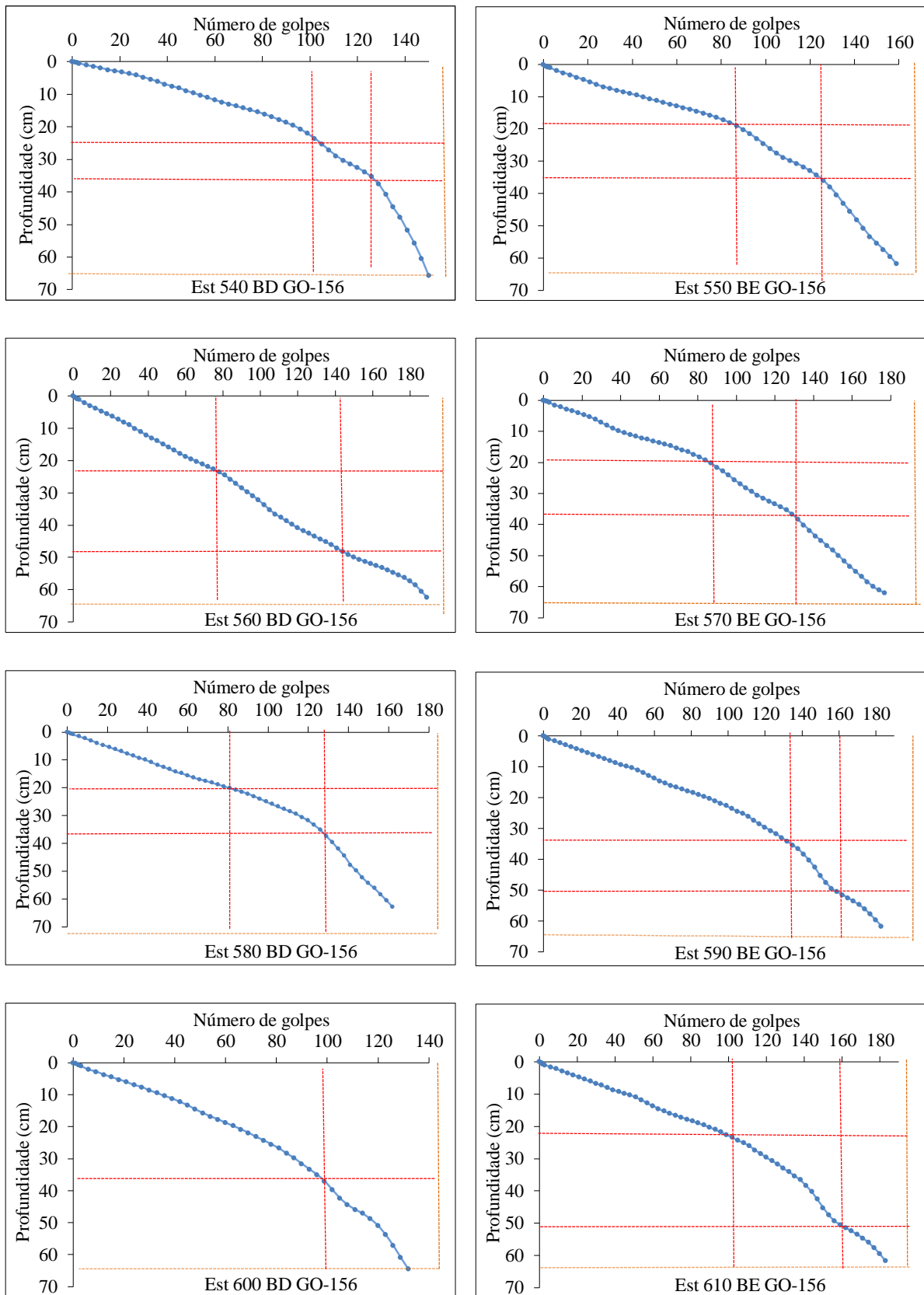


Figura A.1 - Continuação

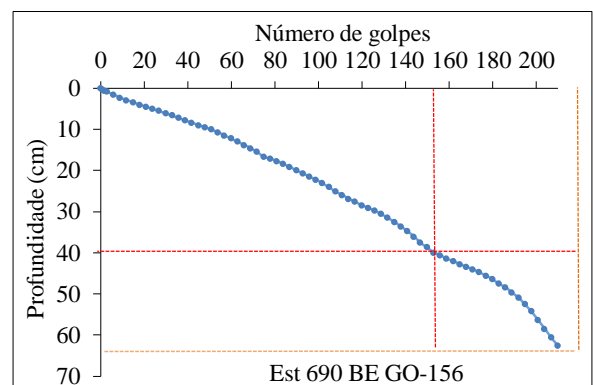
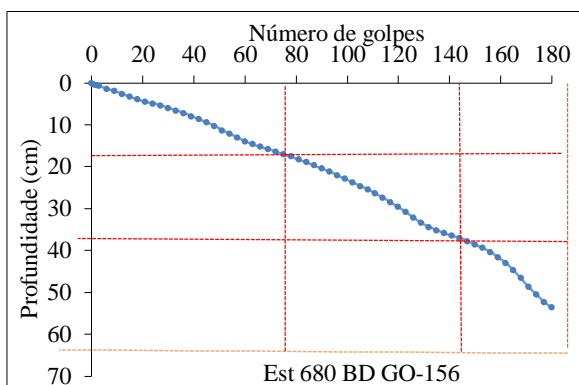
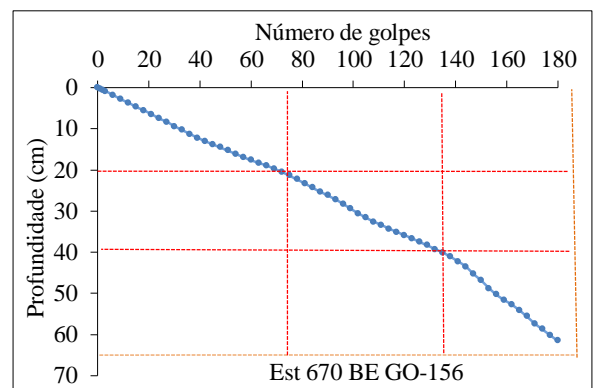
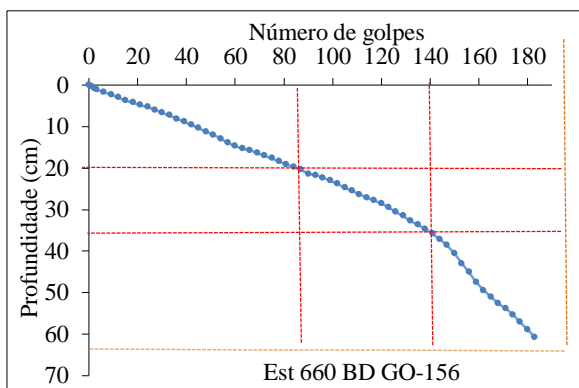
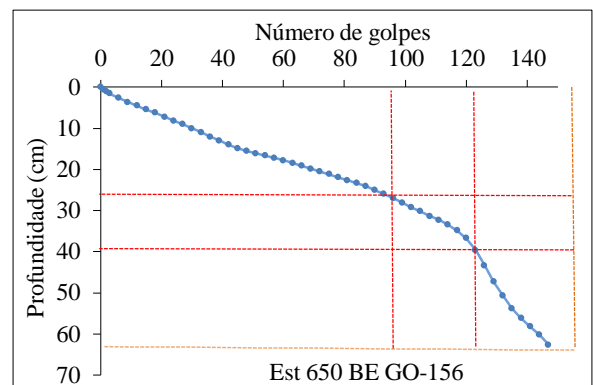
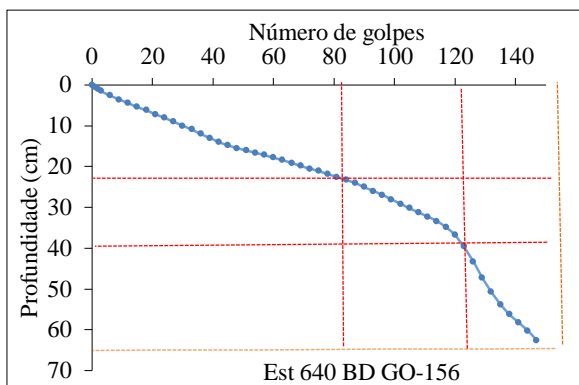
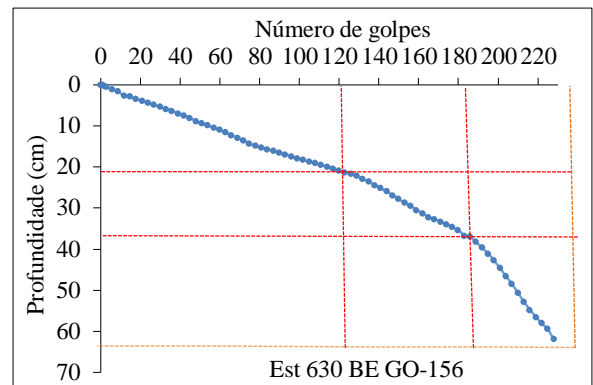
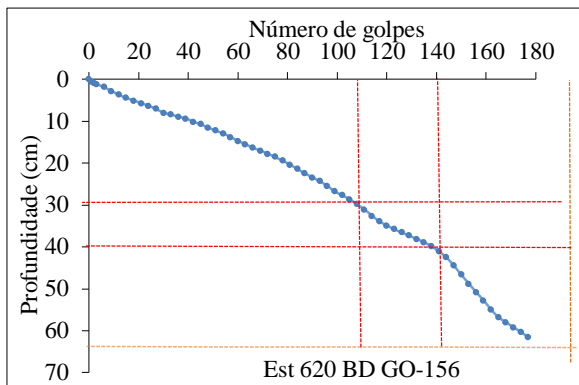


Figura A.1 - Continuação

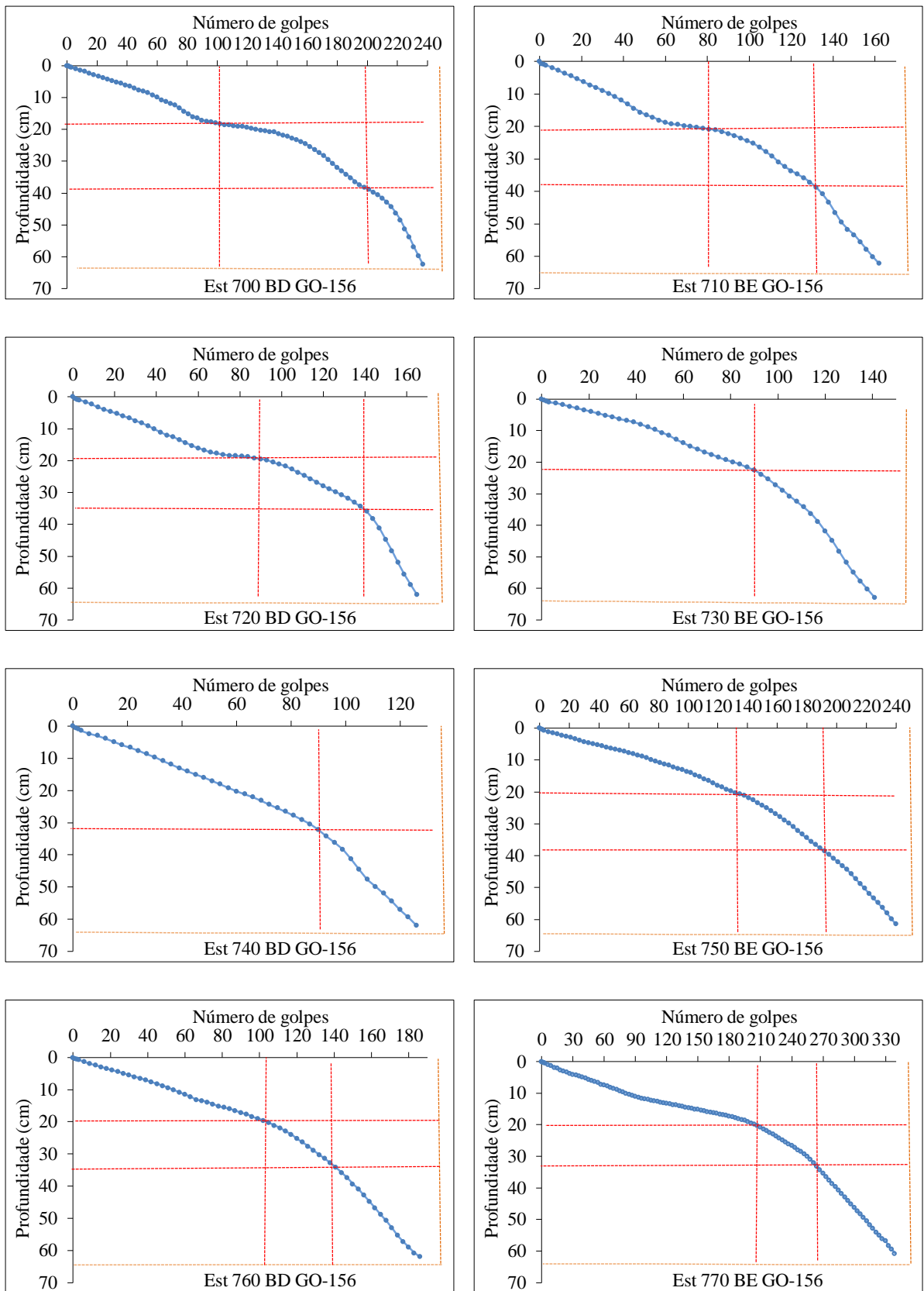


Figura A.1 - Continuação

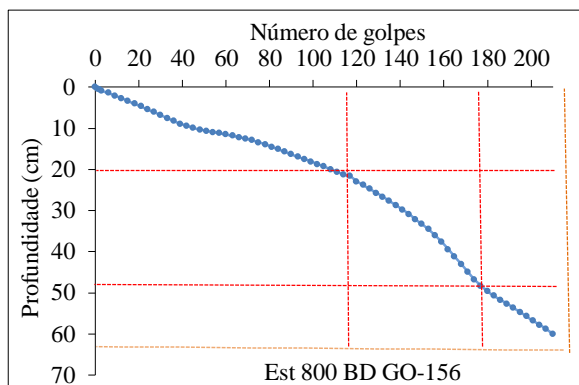
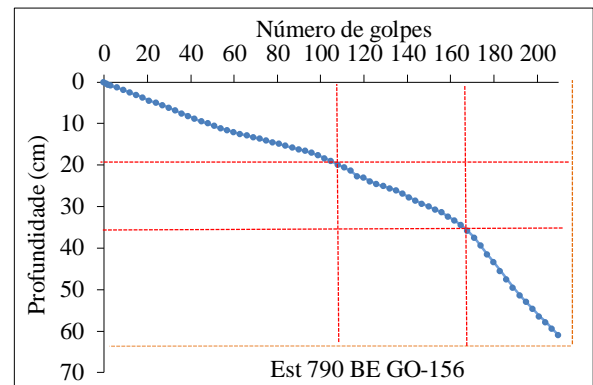
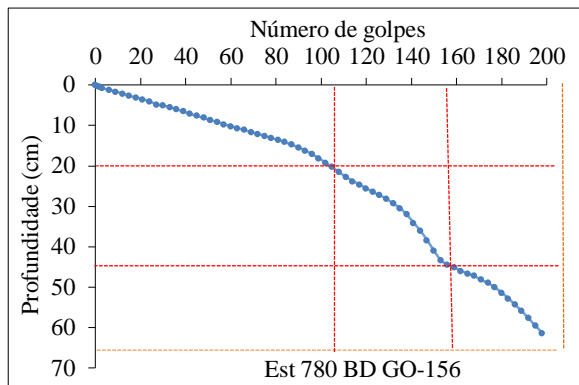


Figura A.2 - Curvas de penetração obtidas na GO-215

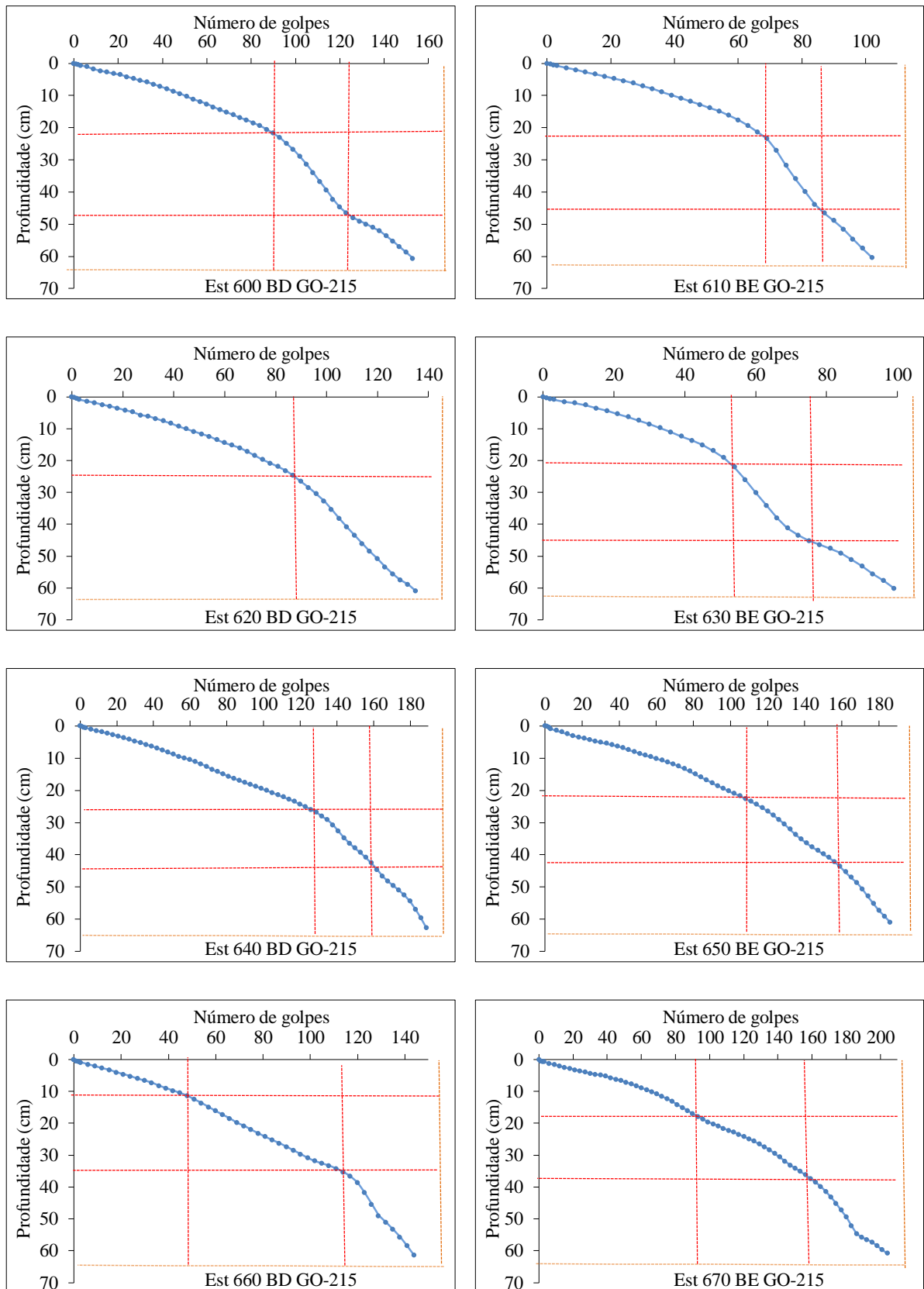


Figura A.2 - Continuação

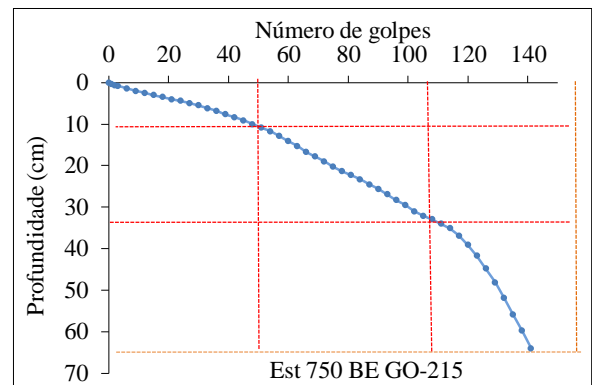
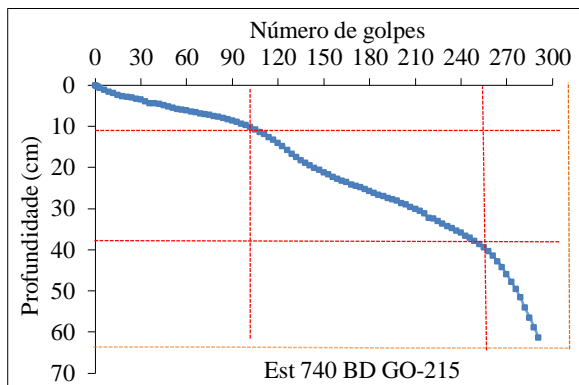
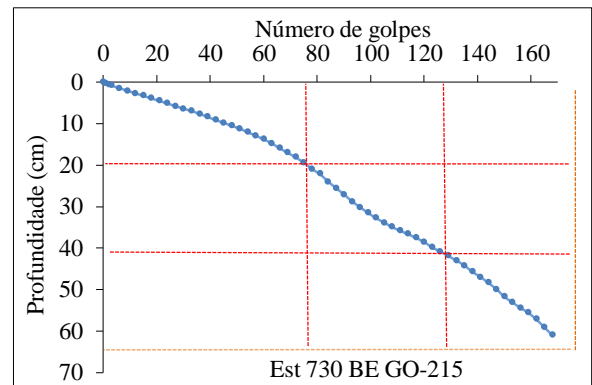
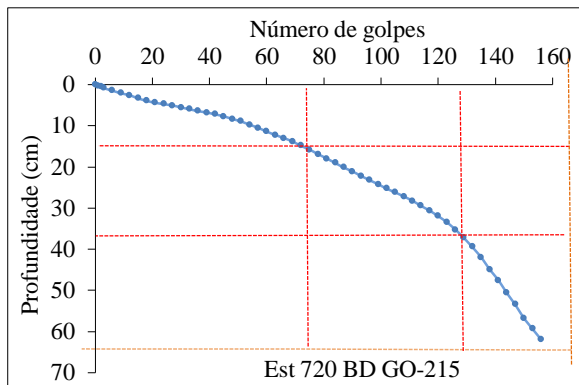
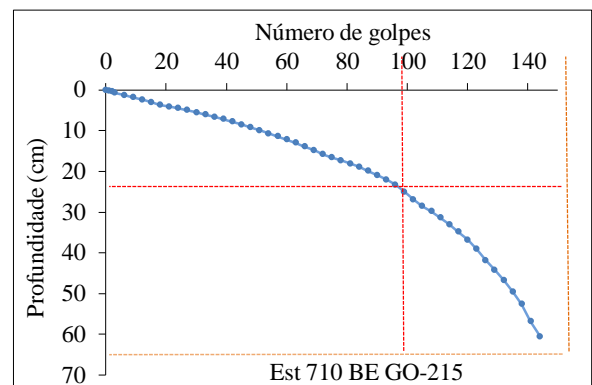
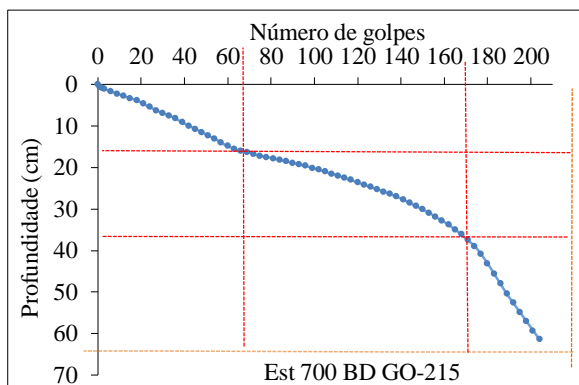
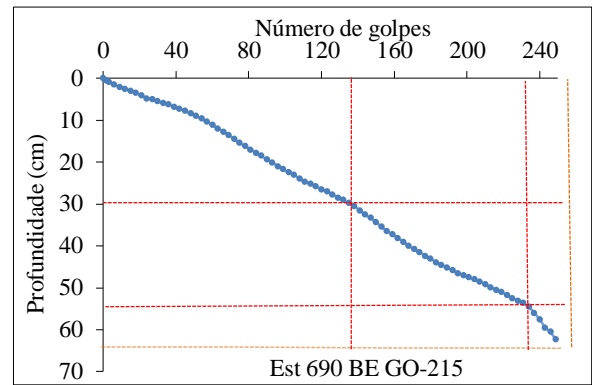
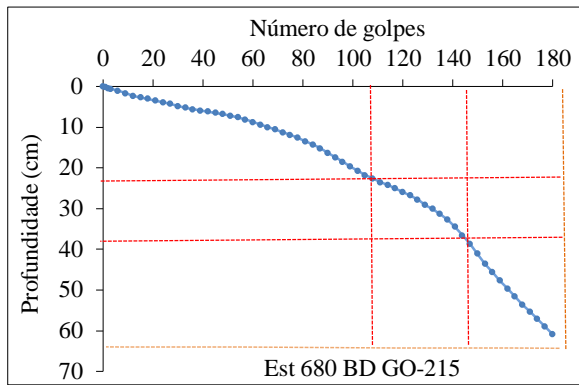


Figura A.2 - Continuação

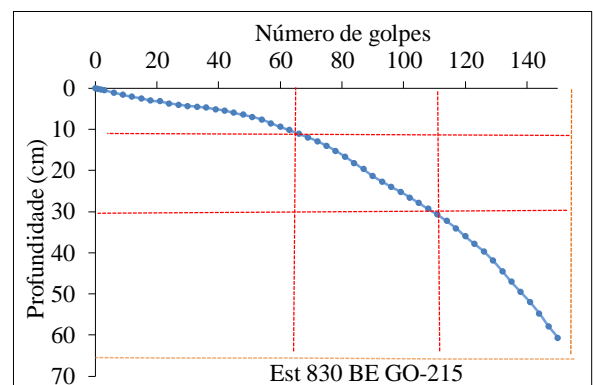
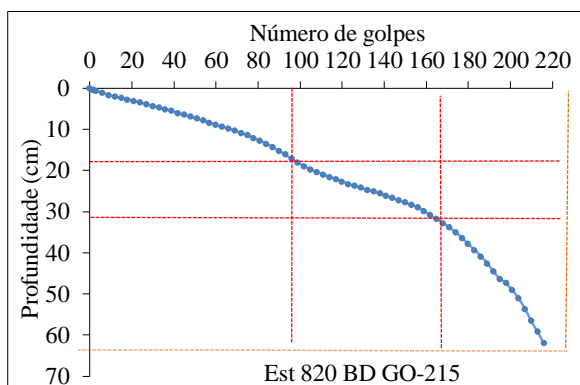
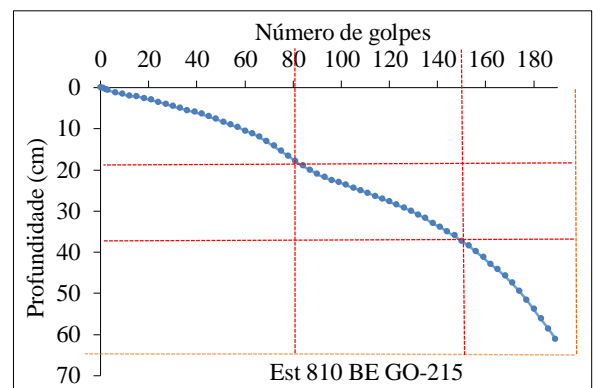
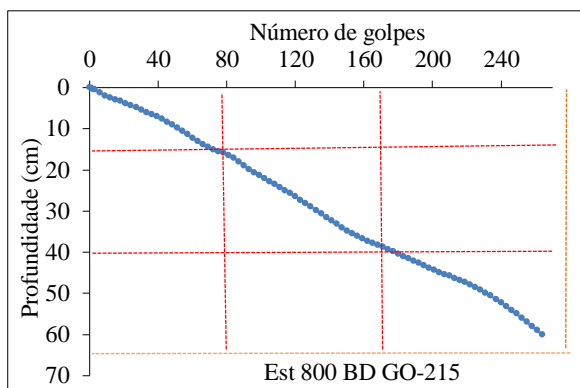
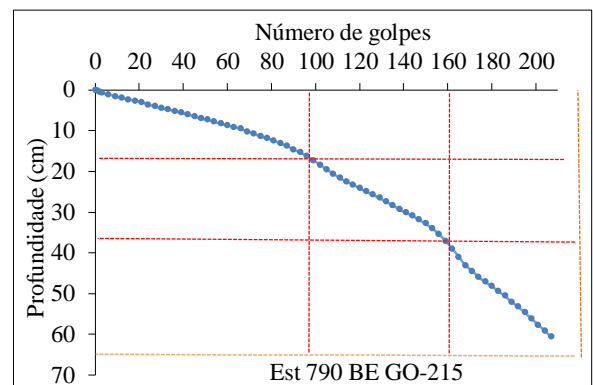
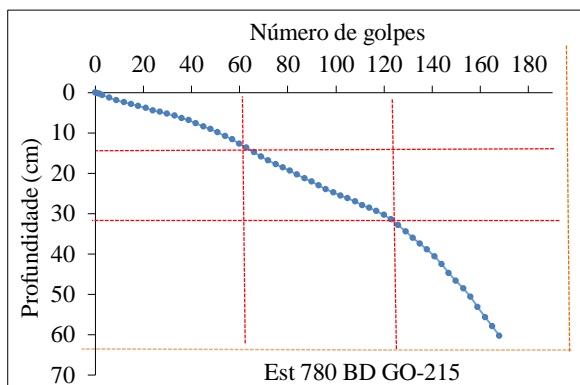
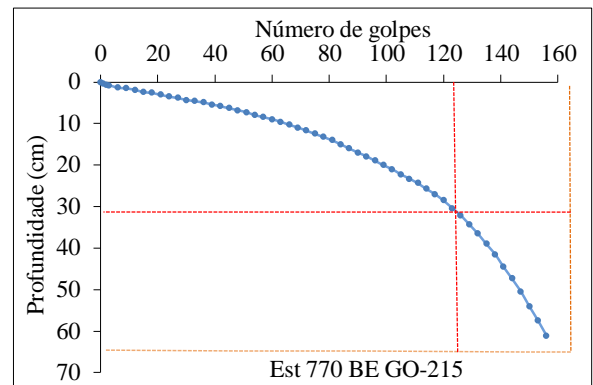
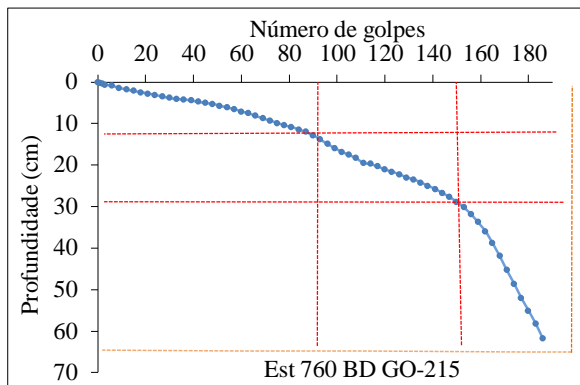


Figura A.2 - Continuação

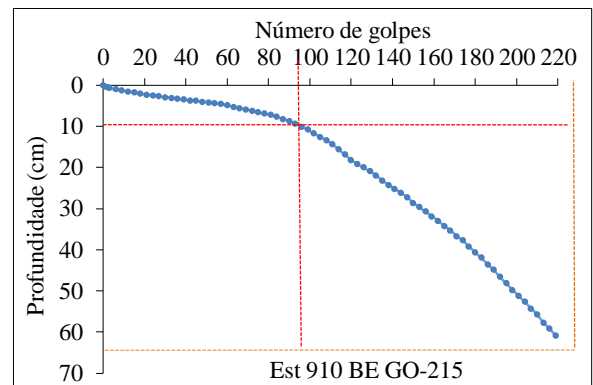
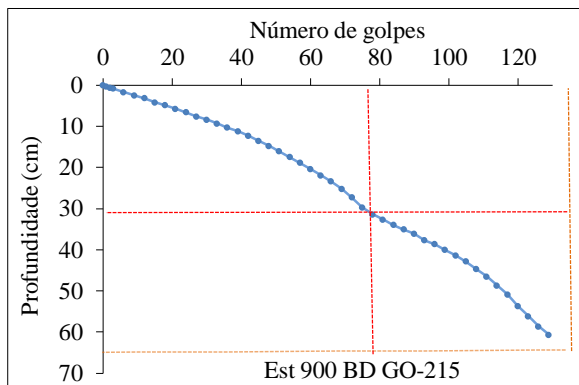
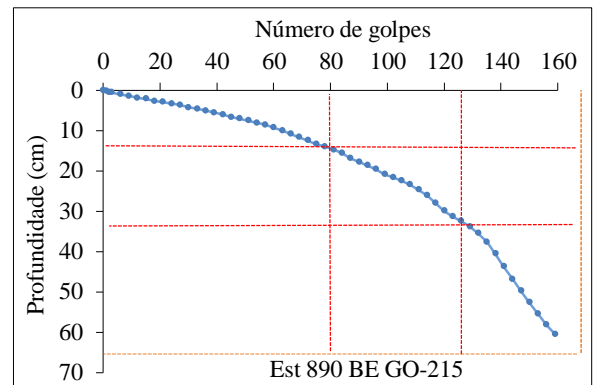
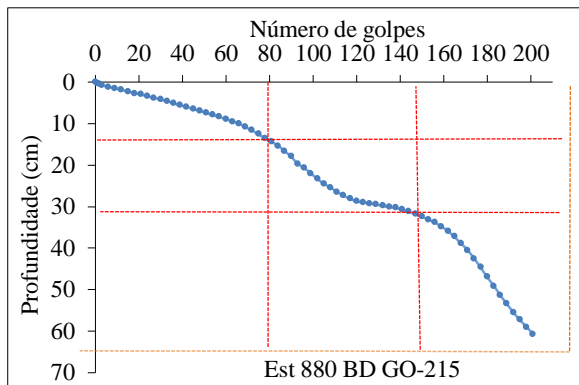
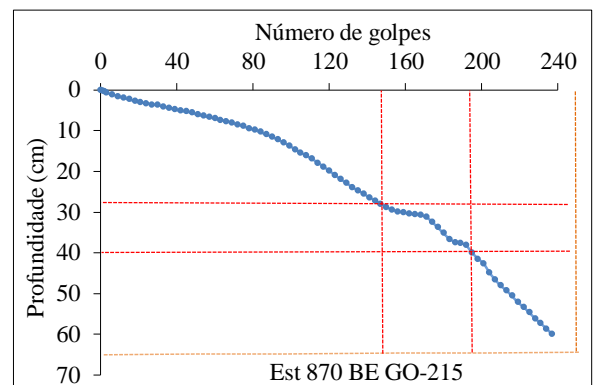
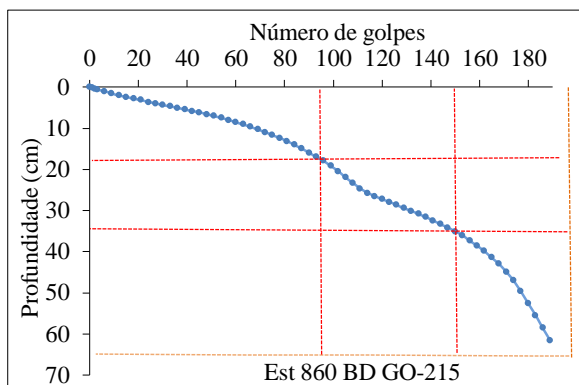
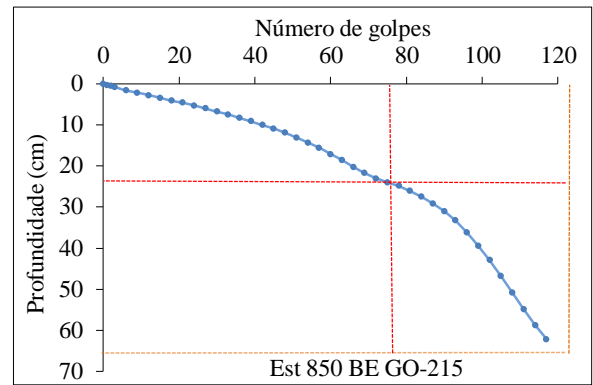
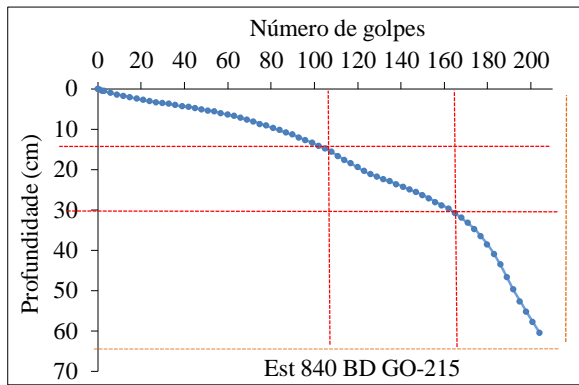


Figura A.2 - Continuação

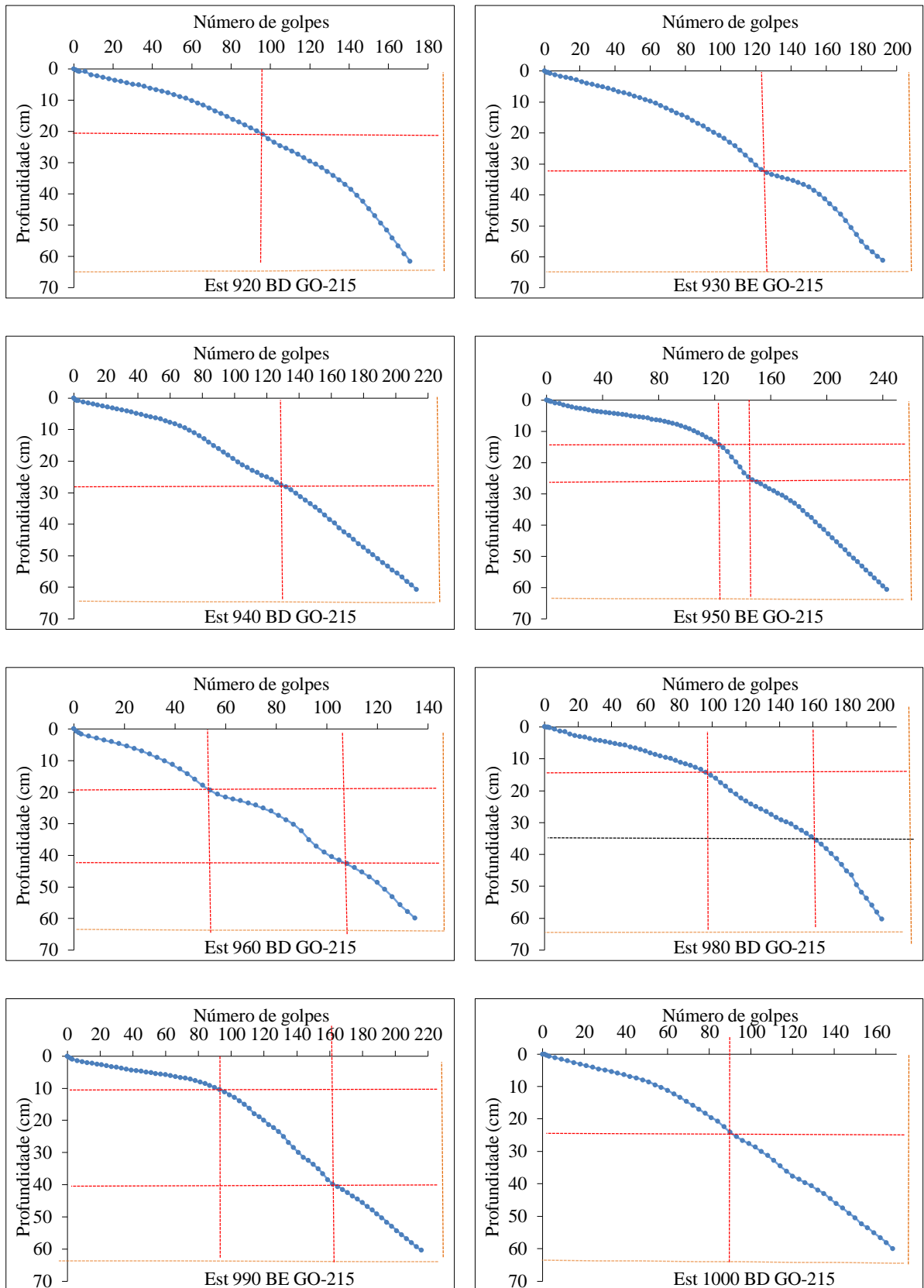


Figura A.3 - Curvas de penetração obtidas na GO-413

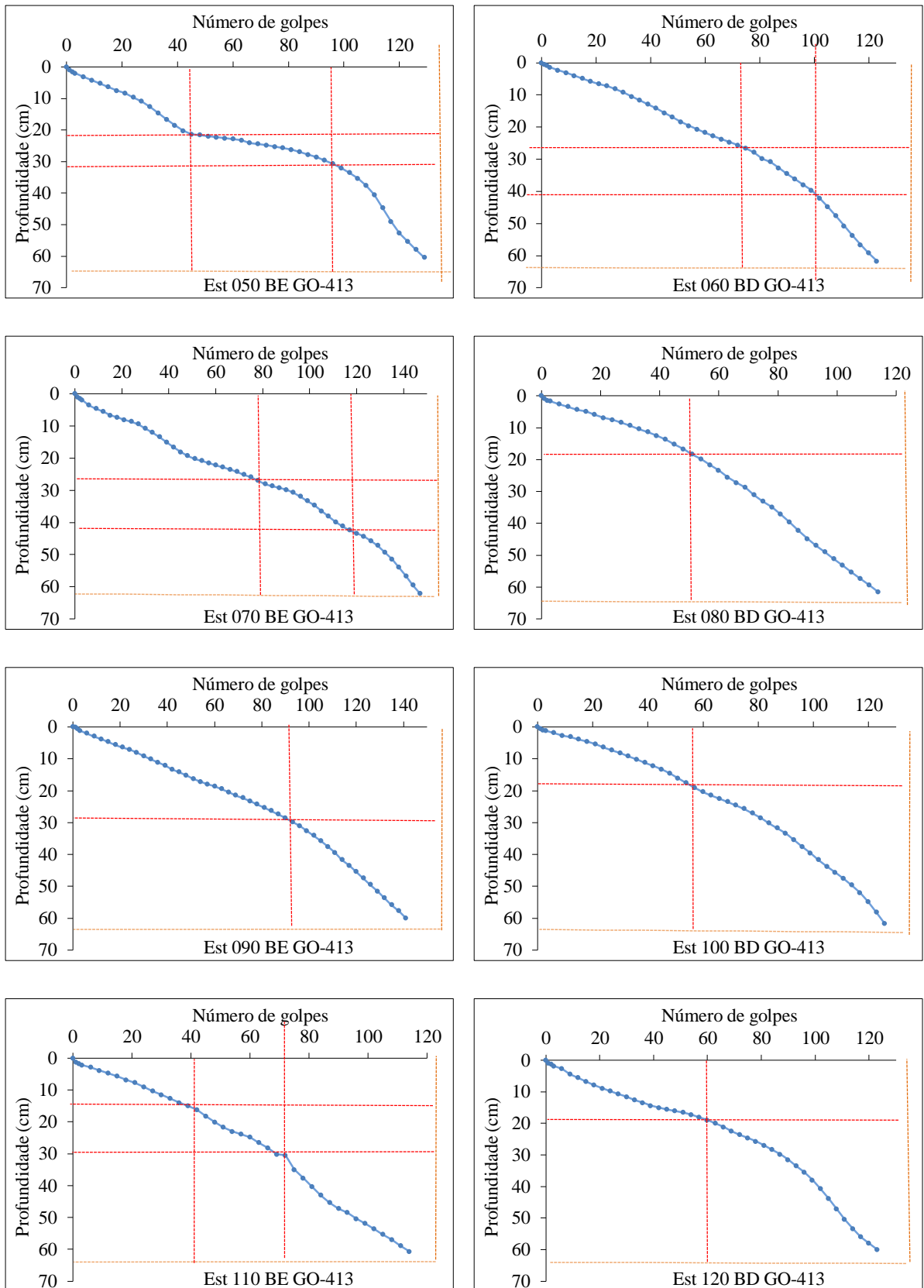


Figura A.3 - Continuação

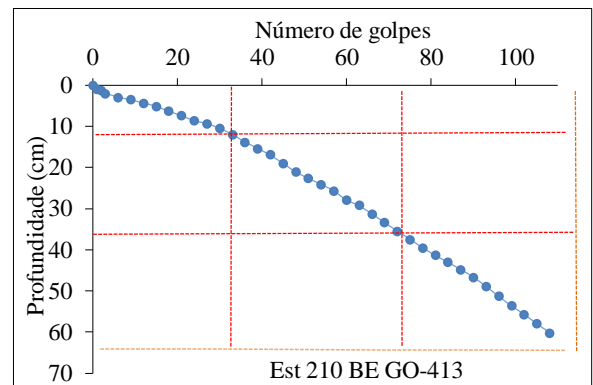
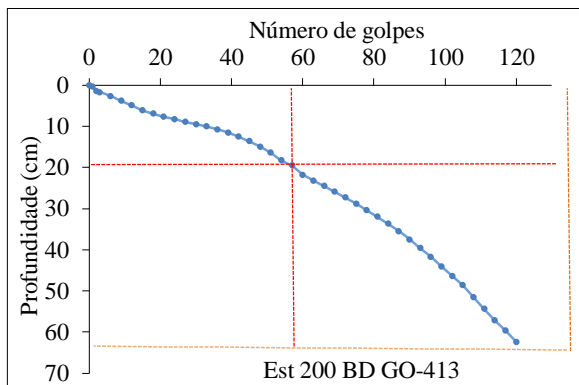
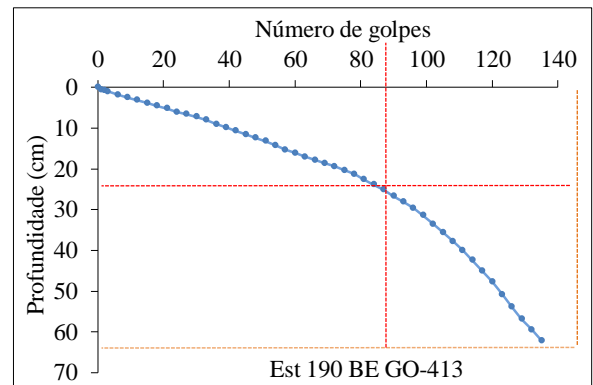
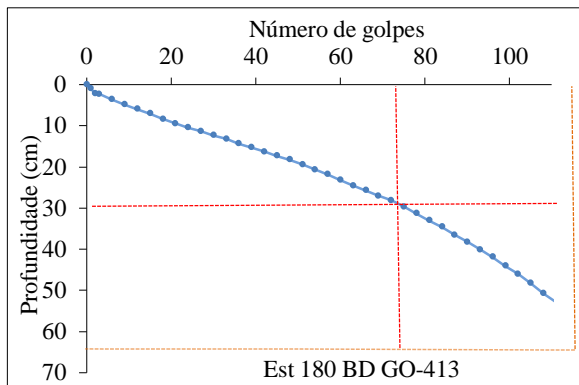
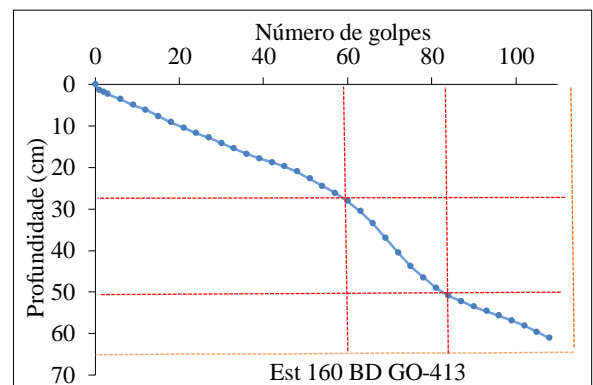
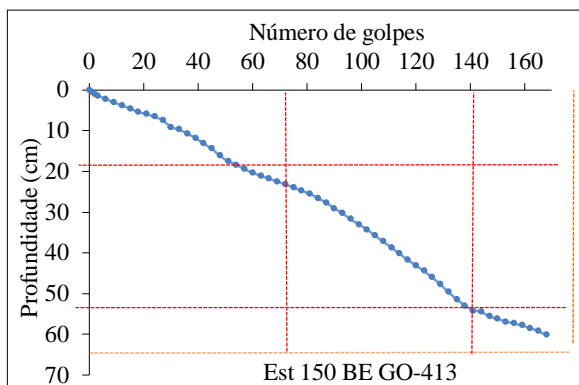
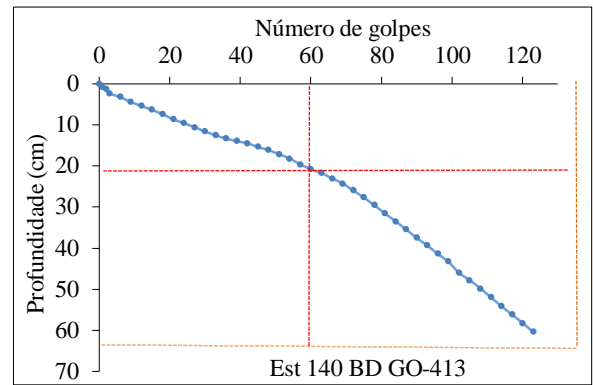
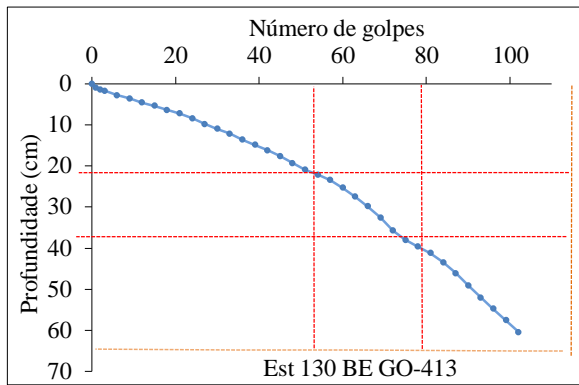


Figura A.3 - Continuação

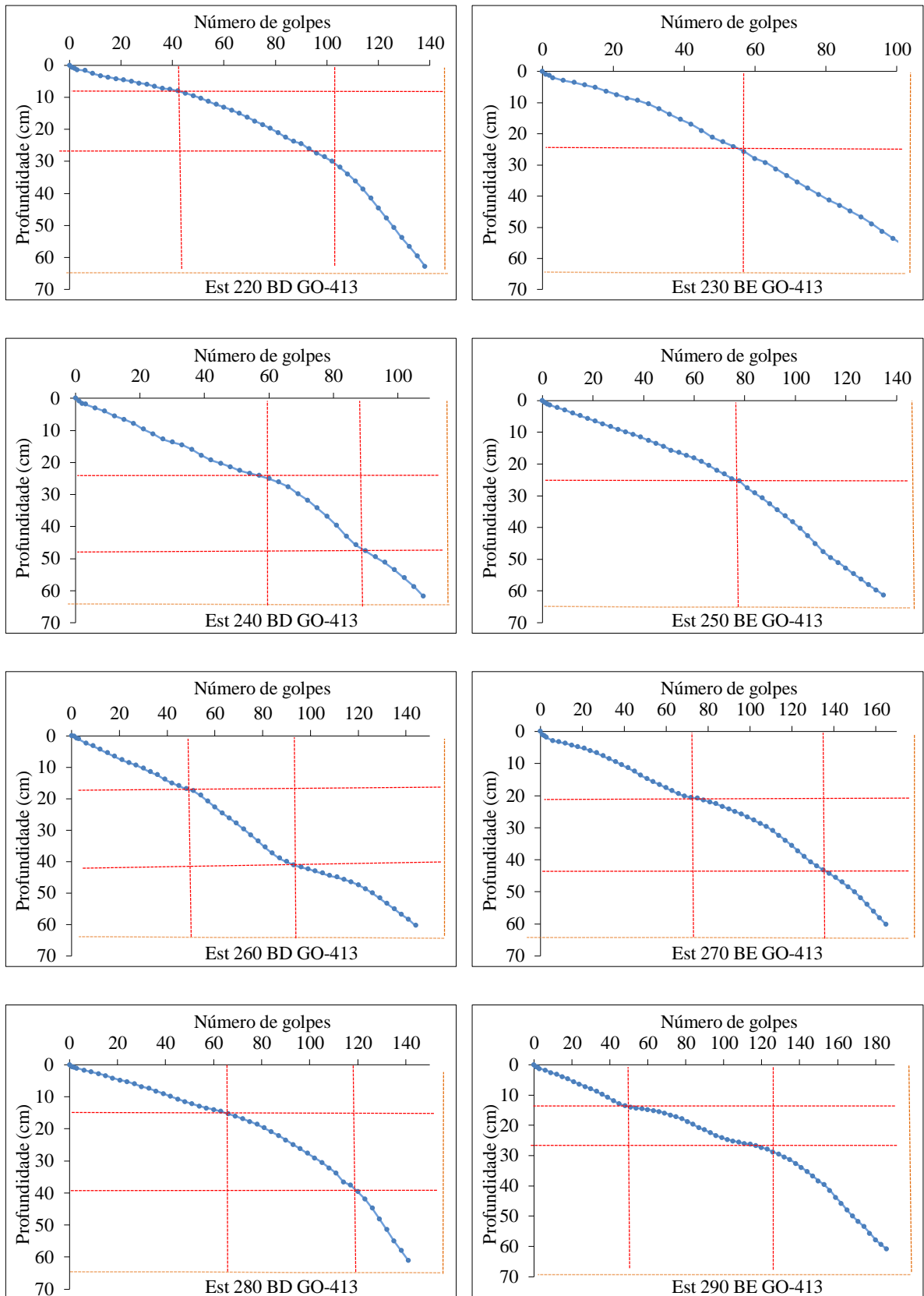


Figura A.3 - Continuação

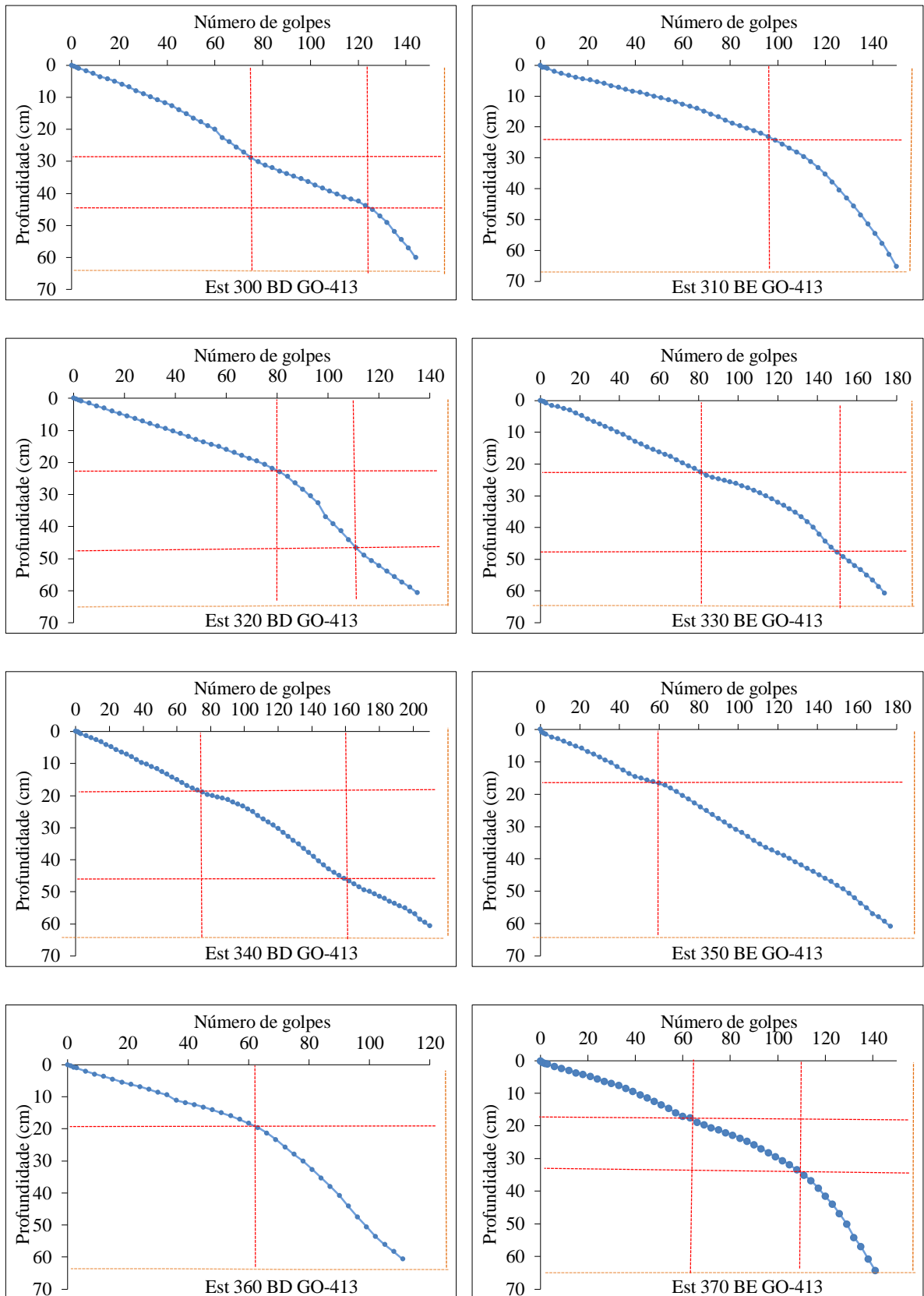
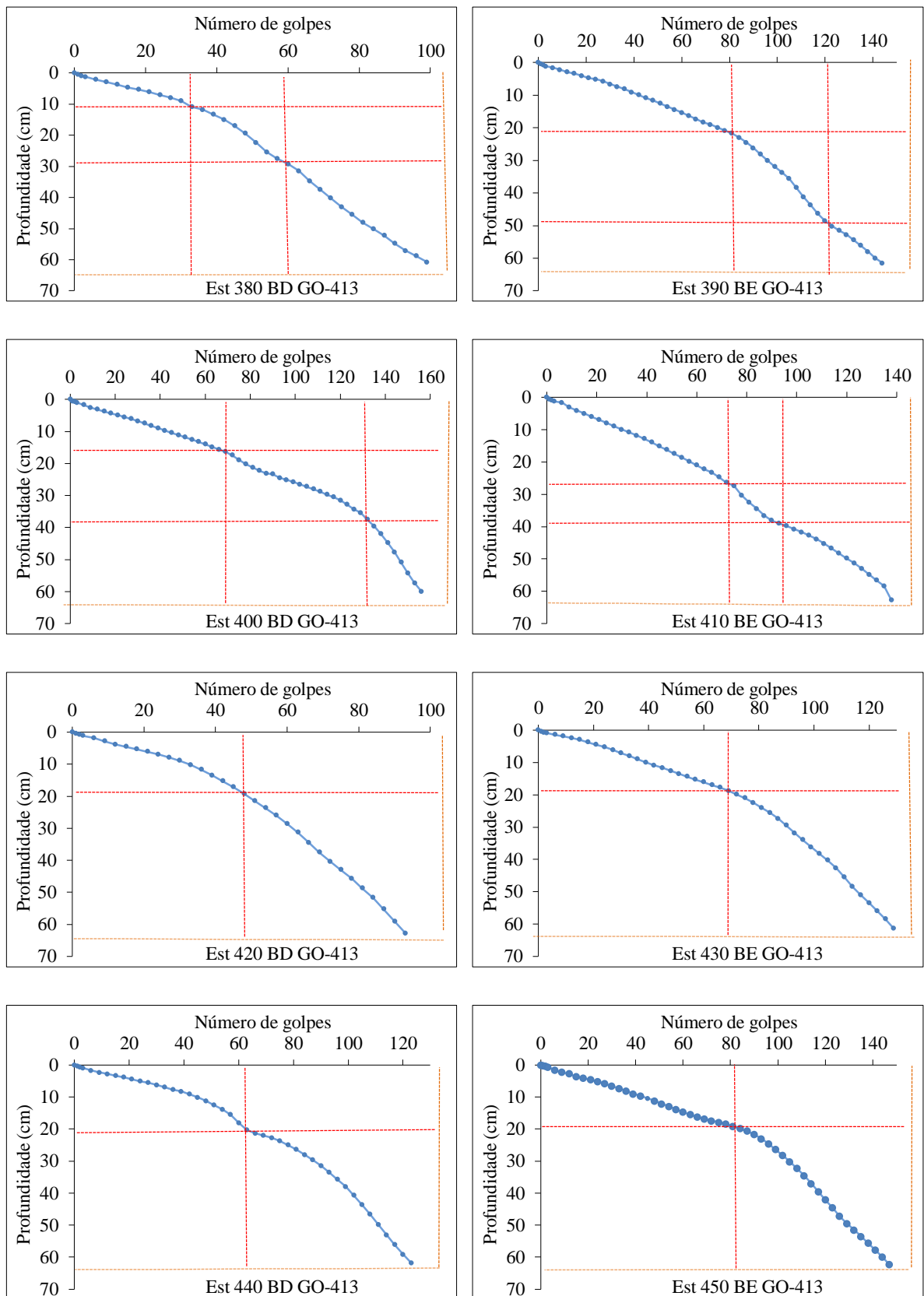


Figura A.3 - Continuação



ANEXO A – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO (AGETOP, 2011)

Nas Figuras A.1, A.2 e A.3 são apresentados os mapas confeccionados pela Agetop (2011) com a localização dos trechos estudados.

Figura A.1 - Mapa de localização da GO-156 (AGETOP, 2012)

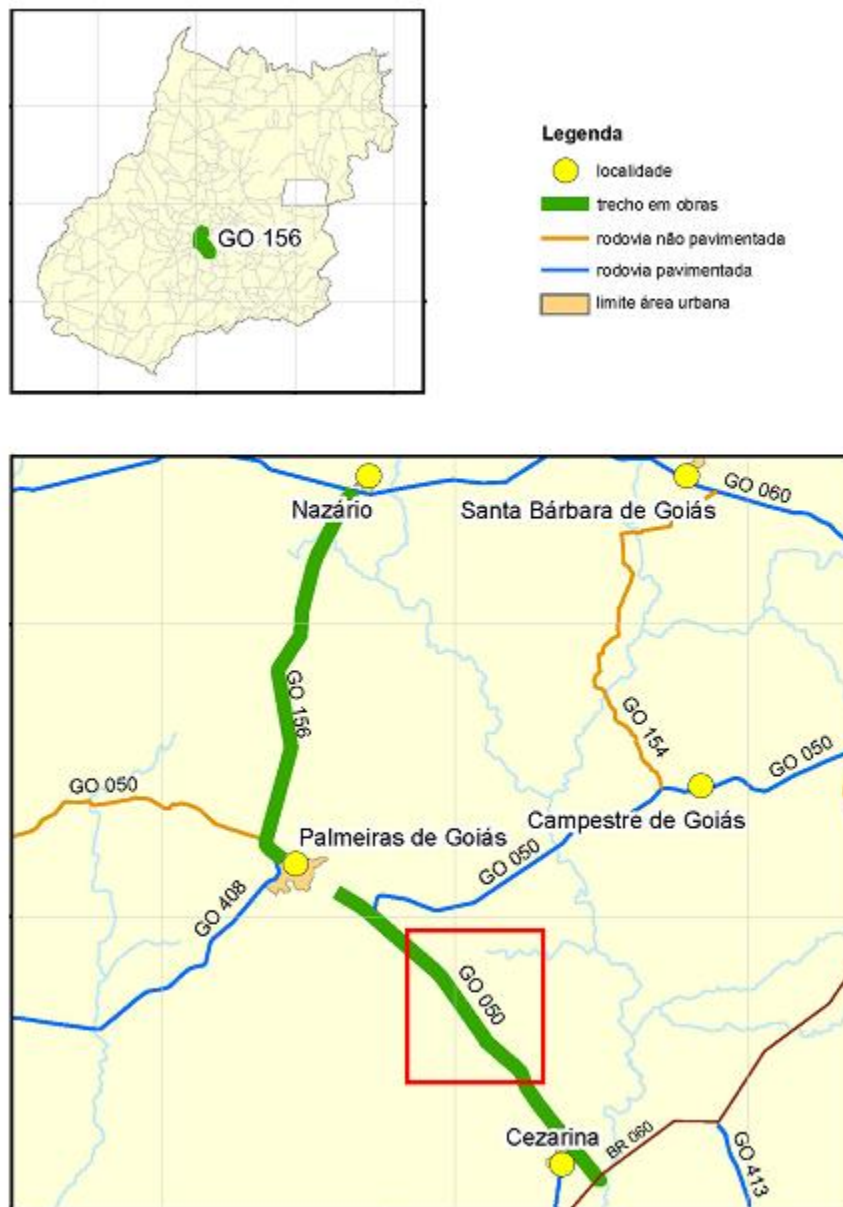


Figura A.2 - Mapa de localização da GO-215 (AGETOP, 2012)

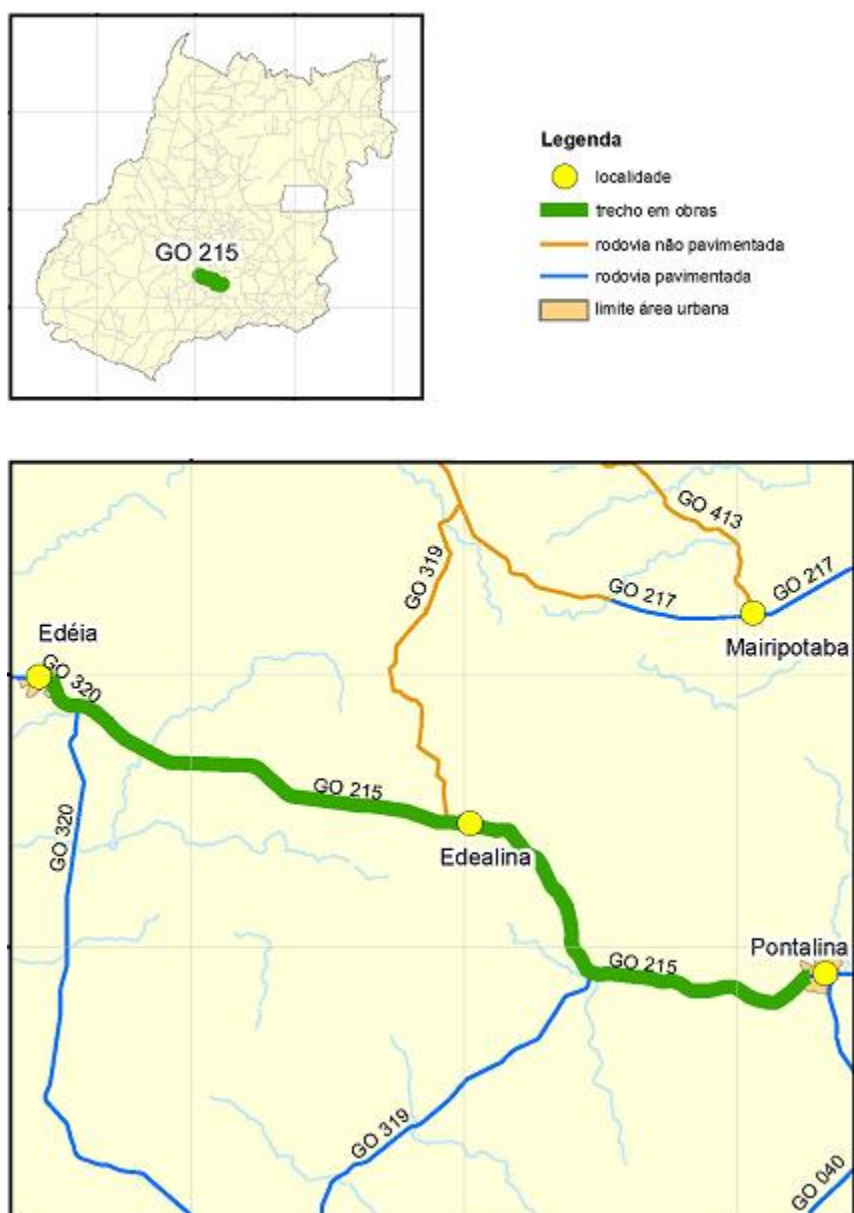
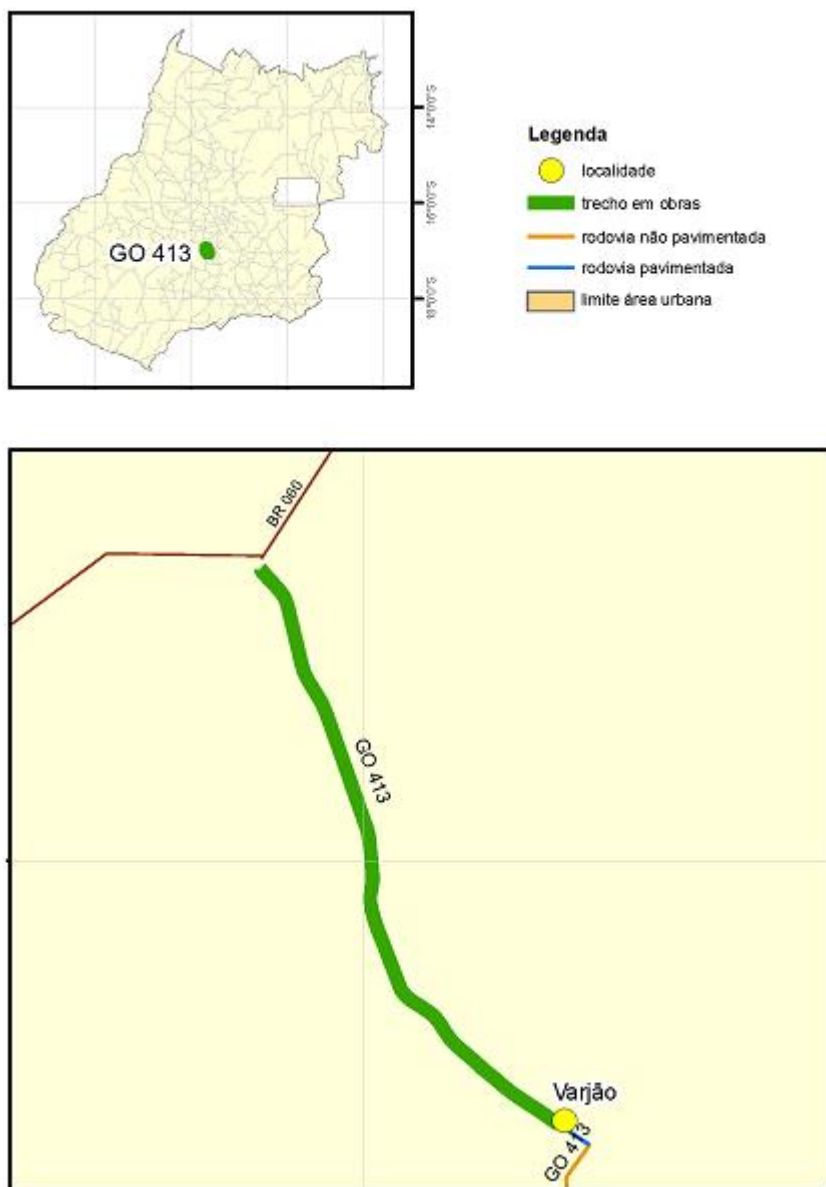


Figura A.3 - Mapa de localização da GO-413 (AGETOP, 2012)



ANEXO B – DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO (AGETOP, 2012)

Na Figura Nas Figuras B.1 a B.3 são apresentadas as soluções de projeto definidas pela AGETOP (2011) para as rodovias estudadas.

Figura B.1 - Soluções definidas para a GO-156 (AGETOP, 2012)

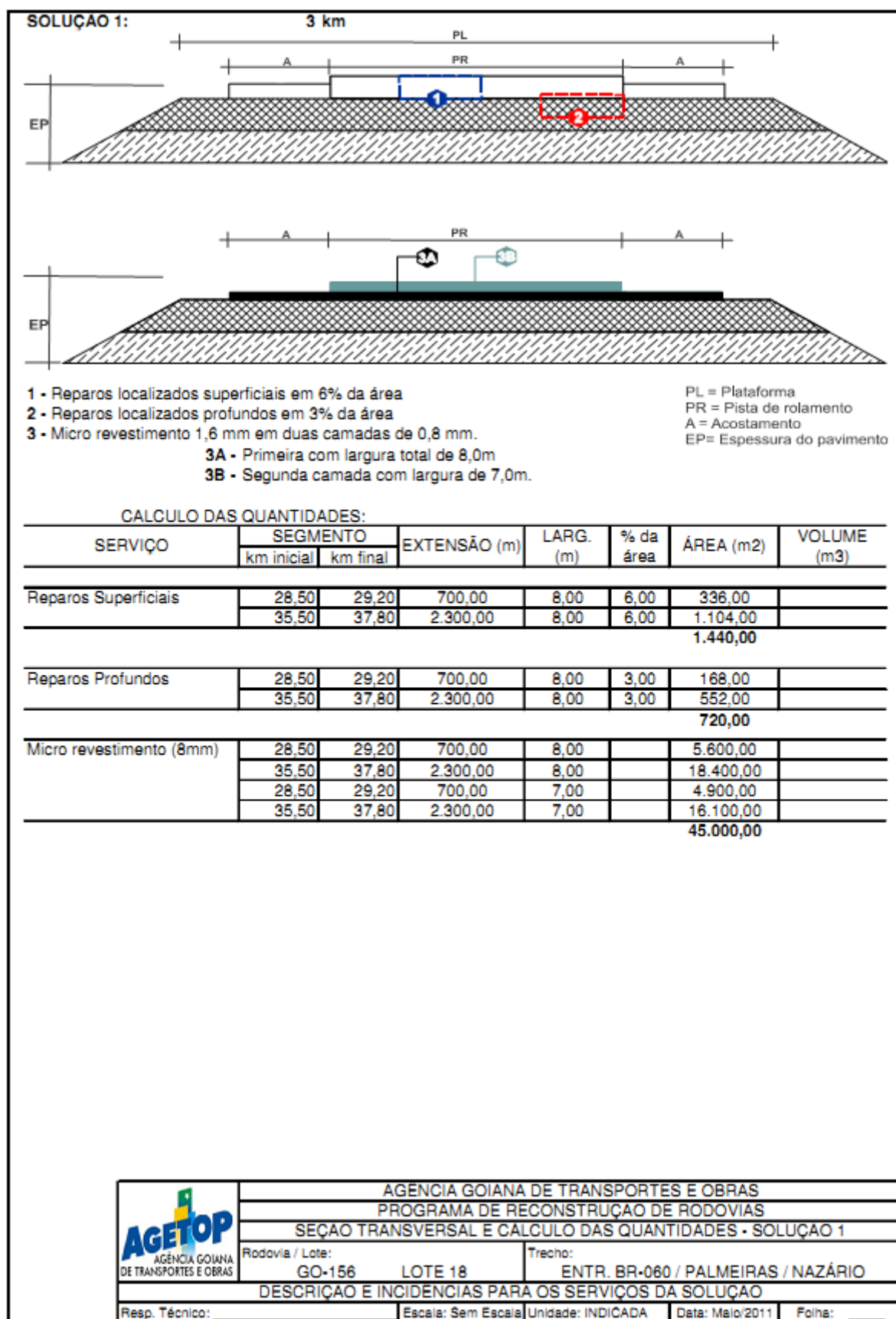


Figura B. 1 - Continuação

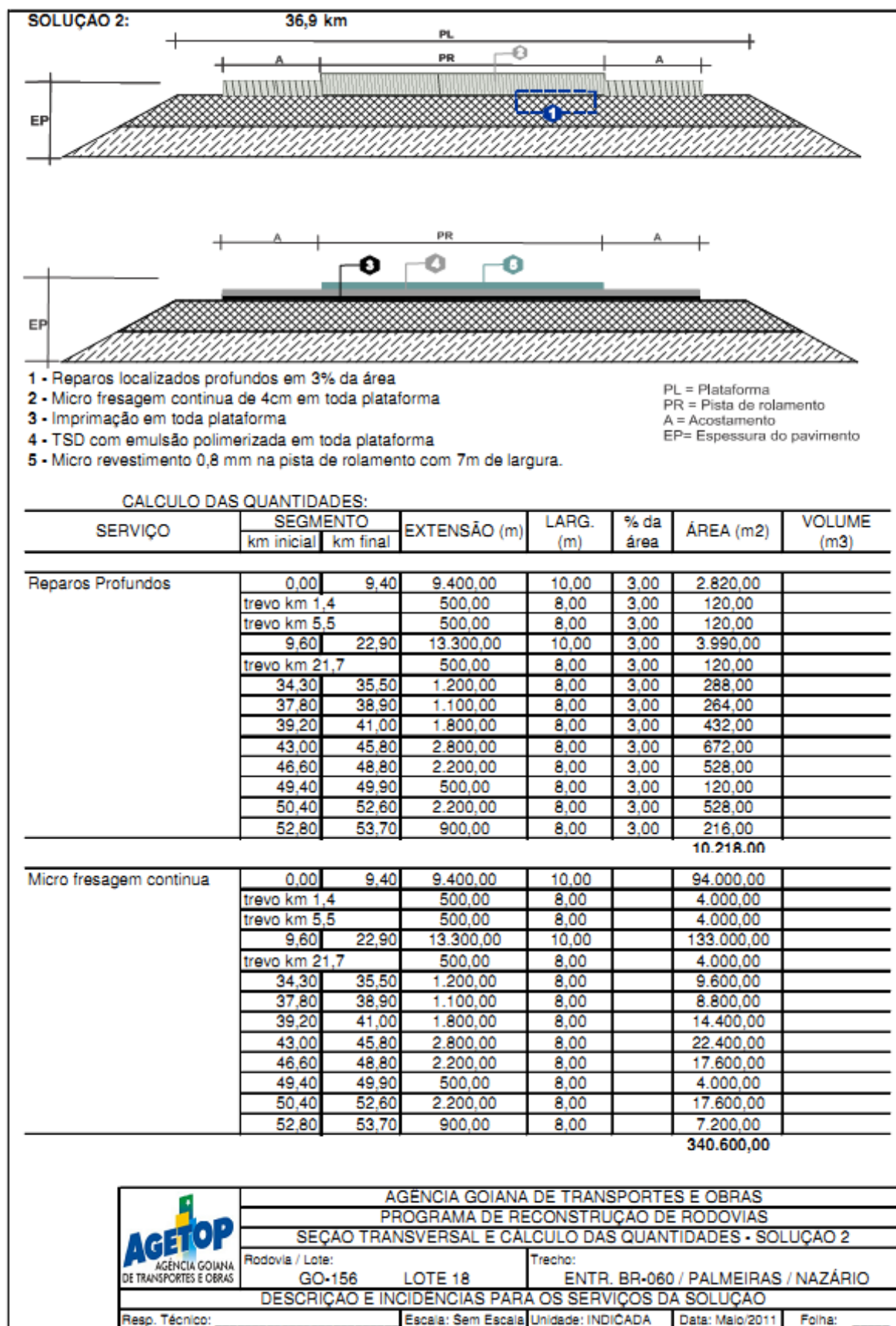


Figura B. 1 - Continuação


SOLUÇÃO 2: (Continuação)							
Imprimação	0,00	9,40	9.400,00	10,00		94.000,00	
	trevo km 1,4		500,00	8,00		4.000,00	
	trevo km 5,5		500,00	8,00		4.000,00	
	9,60	22,90	13.300,00	10,00		133.000,00	
	trevo km 21,7		500,00	8,00		4.000,00	
	34,30	35,50	1.200,00	8,00		9.600,00	
	37,80	38,90	1.100,00	8,00		8.800,00	
	39,20	41,00	1.800,00	8,00		14.400,00	
	43,00	45,80	2.800,00	8,00		22.400,00	
	46,60	48,80	2.200,00	8,00		17.600,00	
	49,40	49,90	500,00	8,00		4.000,00	
	50,40	52,60	2.200,00	8,00		17.600,00	
	52,80	53,70	900,00	8,00		7.200,00	
						340.600,00	
TSD	0,00	9,40	9.400,00	10,00		94.000,00	
	trevo km 1,4		500,00	8,00		4.000,00	
	trevo km 5,5		500,00	8,00		4.000,00	
	9,60	22,90	13.300,00	10,00		133.000,00	
	trevo km 21,7		500,00	8,00		4.000,00	
	34,30	35,50	1.200,00	8,00		9.600,00	
	37,80	38,90	1.100,00	8,00		8.800,00	
	39,20	41,00	1.800,00	8,00		14.400,00	
	43,00	45,80	2.800,00	8,00		22.400,00	
	46,60	48,80	2.200,00	8,00		17.600,00	
	49,40	49,90	500,00	8,00		4.000,00	
	50,40	52,60	2.200,00	8,00		17.600,00	
	52,80	53,70	900,00	8,00		7.200,00	
						340.600,00	
							
AGENCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 2							
Rodovia / Lote:				Trecho:			
GO-156 LOTE 18				ENTR. BR-060 / PALMEIRAS / NAZÁRIO			
DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO							
Resp. Técnico:		Escala: Sem Escala		Unidade: INDICADA		Data: Maio/2011	Folha: _____

Figura B. 1 - Continuação

SOLUÇÃO 2: (Continuação)						
Micro revestimento (8mm)	0,00	9,40	9.400,00	7,00		65.800,00
trevo km 1,4			500,00	8,00		4.000,00
trevo km 5,5			500,00	8,00		4.000,00
9,60	22,90	13.300,00	7,00			93.100,00
trevo km 21,7			500,00	8,00		4.000,00
34,30	35,50	1.200,00	7,00			8.400,00
37,80	38,90	1.100,00	7,00			7.700,00
39,20	41,00	1.800,00	7,00			12.600,00
43,00	45,80	2.800,00	7,00			19.600,00
46,60	48,80	2.200,00	7,00			15.400,00
49,40	49,90	500,00	7,00			3.500,00
50,40	52,60	2.200,00	7,00			15.400,00
52,80	53,70	900,00	7,00			6.300,00
						259.800,00


	AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS	
	PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS	
	SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 2	
Rodovia / Lote:	GO-156 LOTE 18	Trecho:
		ENTR. BR-060 / PALMEIRAS / NAZÁRIO
DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO		
Resp. Técnico:	Escala: Sem Escala	Unidade: INDICADA
		Data: Maio/2011
		Folha: _____

Figura B. 1 - Continuação

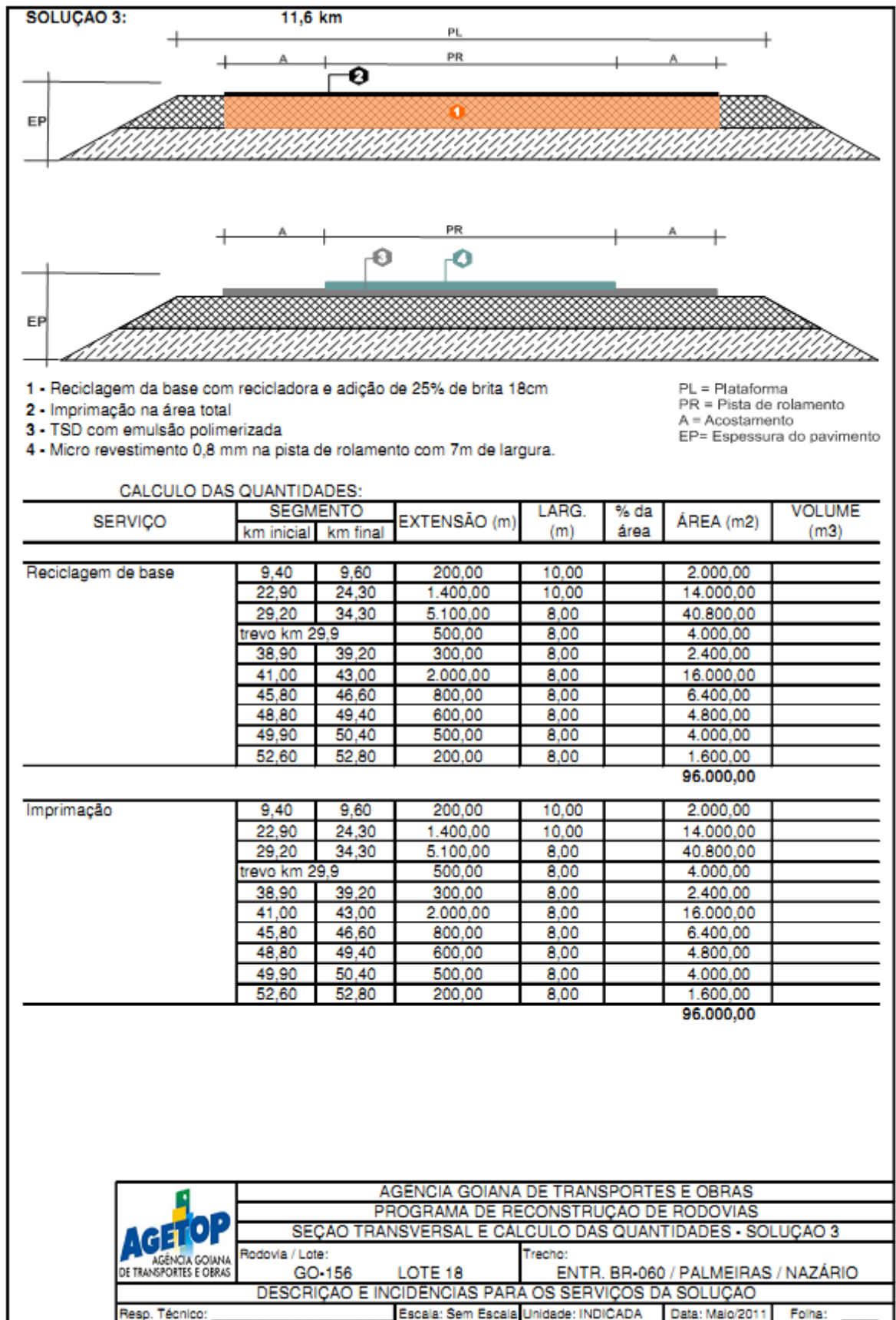


Figura B. 1 - Continuação


SOLUÇÃO 3: (Continuação)							
TSD	9,40	9,60	200,00	10,00		2.000,00	
	22,90	24,30	1.400,00	10,00		14.000,00	
	29,20	34,30	5.100,00	8,00		40.800,00	
	trevo km 29,9		500,00	8,00		4.000,00	
	38,90	39,20	300,00	8,00		2.400,00	
	41,00	43,00	2.000,00	8,00		16.000,00	
	45,80	46,60	800,00	8,00		6.400,00	
	48,80	49,40	600,00	8,00		4.800,00	
	49,90	50,40	500,00	8,00		4.000,00	
	52,60	52,80	200,00	8,00		1.600,00	
						96.000,00	
Micro revestimento (8mm)	9,40	9,60	200,00	7,00		1.400,00	
	22,90	24,30	1.400,00	7,00		9.800,00	
	29,20	34,30	5.100,00	7,00		35.700,00	
	trevo km 29,9		500,00	8,00		4.000,00	
	38,90	39,20	300,00	7,00		2.100,00	
	41,00	43,00	2.000,00	7,00		14.000,00	
	45,80	46,60	800,00	7,00		5.600,00	
	48,80	49,40	600,00	7,00		4.200,00	
	49,90	50,40	500,00	7,00		3.500,00	
	52,60	52,80	200,00	7,00		1.400,00	
						81.700,00	
 AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS	AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS						
	PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS						
	SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 3						
	Rodovia / Lote:			Trecho:			
	GO-156 LOTE 18			ENTR. BR-060 / PALMEIRAS / NAZÁRIO			
DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO							
Resp. Técnico:			Escala: Sem Escala		Unidade: INDICADA	Data: Maio/2011	Folha: ____

Figura B. 1 - Continuação

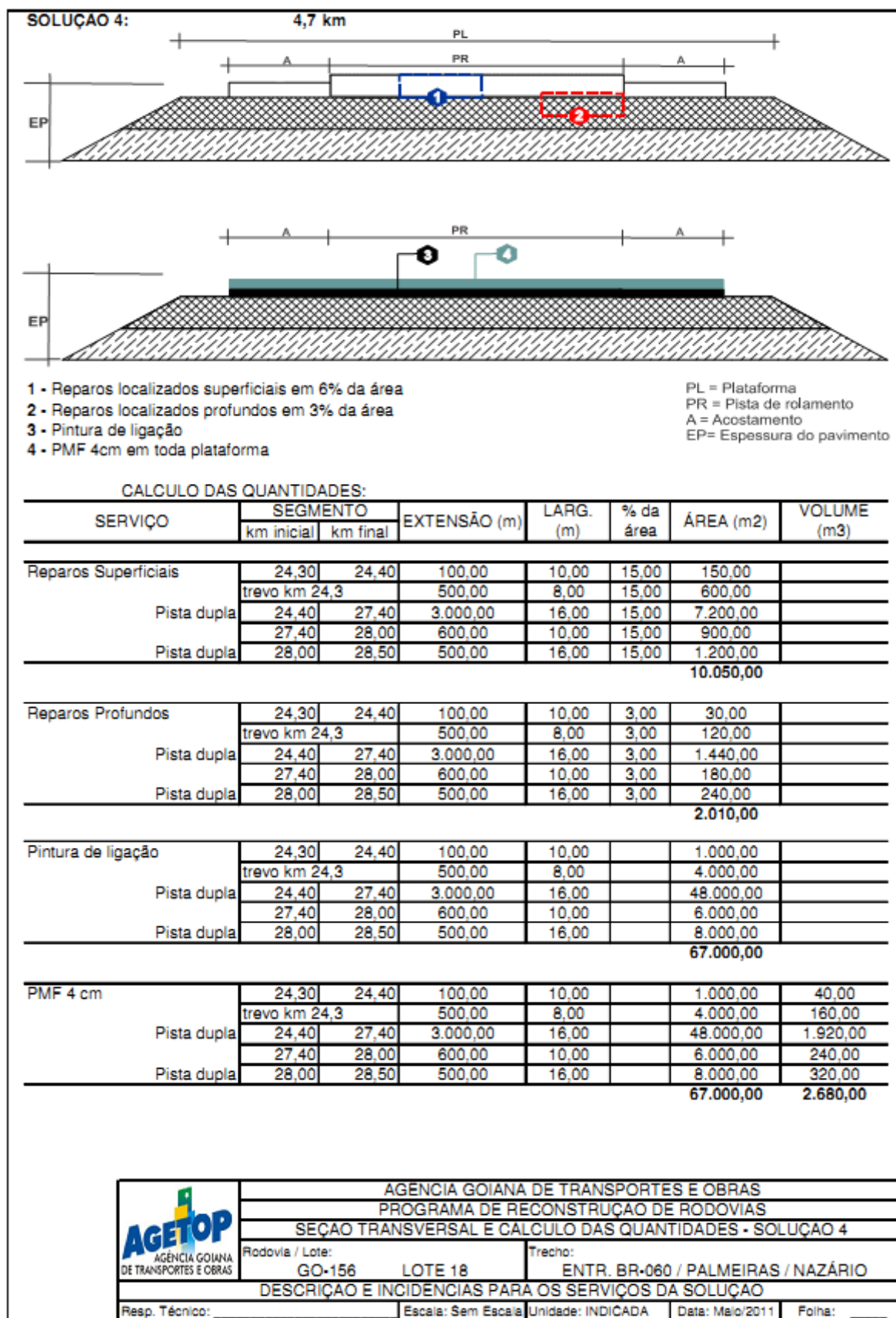


Figura B.2 - Soluções definidas para a GO-215 (AGETOP, 2012)

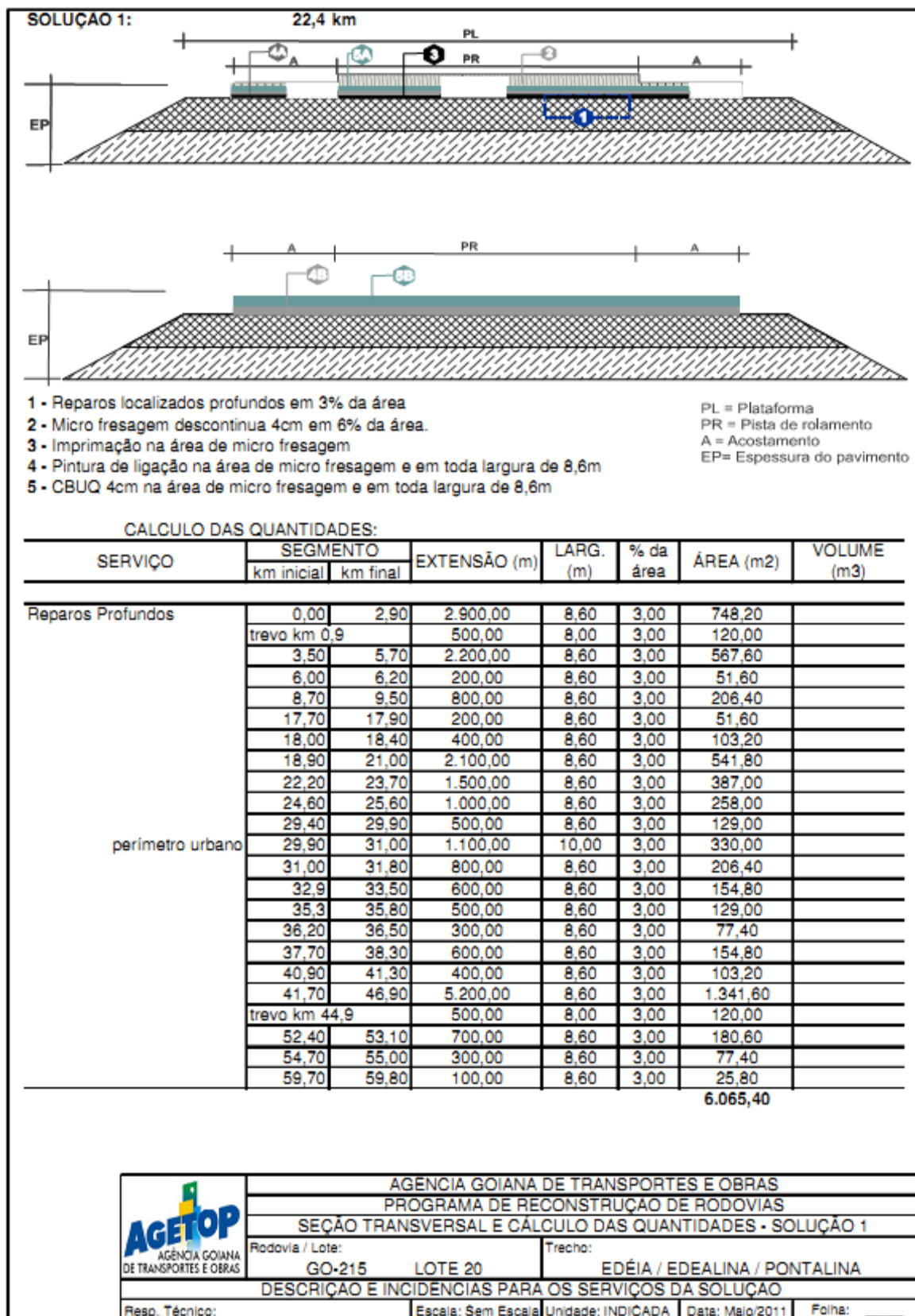


Figura B.2 - Continuação


SOLUÇÃO 1: (Continuação)							
Micro fresagem (4cm)	0,00	2,90	2.900,00	8,60	6,00	1.496,40	
	trevo km 0,9		500,00	8,00	6,00	240,00	
	3,50	5,70	2.200,00	8,60	6,00	1.135,20	
	6,00	6,20	200,00	8,60	6,00	103,20	
	8,70	9,50	800,00	8,60	6,00	412,80	
	17,70	17,90	200,00	8,60	6,00	103,20	
	18,00	18,40	400,00	8,60	6,00	206,40	
	18,90	21,00	2.100,00	8,60	6,00	1.083,60	
	22,20	23,70	1.500,00	8,60	6,00	774,00	
	24,60	25,60	1.000,00	8,60	6,00	516,00	
	29,40	29,90	500,00	8,60	6,00	258,00	
	perímetro urbano	29,90	31,00	1.100,00	10,00	6,00	660,00
	31,00	31,80	800,00	8,60	6,00	412,80	
	32,9	33,50	600,00	8,60	6,00	309,60	
	35,3	35,80	500,00	8,60	6,00	258,00	
	36,20	36,50	300,00	8,60	6,00	154,80	
	37,70	38,30	600,00	8,60	6,00	309,60	
	40,90	41,30	400,00	8,60	6,00	206,40	
	41,70	46,90	5.200,00	8,60	6,00	2.683,20	
	trevo km 44,9		500,00	8,00	6,00	240,00	
	52,40	53,10	700,00	8,60	6,00	361,20	
	54,70	55,00	300,00	8,60	6,00	154,80	
	59,70	59,80	100,00	8,60	6,00	51,60	
						12.130,80	
Imprimação	0,00	2,90	2.900,00	8,60	6,00	1.496,40	
	trevo km 0,9		500,00	8,00	6,00	240,00	
	3,50	5,70	2.200,00	8,60	6,00	1.135,20	
	6,00	6,20	200,00	8,60	6,00	103,20	
	8,70	9,50	800,00	8,60	6,00	412,80	
	17,70	17,90	200,00	8,60	6,00	103,20	
	18,00	18,40	400,00	8,60	6,00	206,40	
	18,90	21,00	2.100,00	8,60	6,00	1.083,60	
	22,20	23,70	1.500,00	8,60	6,00	774,00	
	24,60	25,60	1.000,00	8,60	6,00	516,00	
	29,40	29,90	500,00	8,60	6,00	258,00	
	perímetro urbano	29,90	31,00	1.100,00	10,00	6,00	660,00
	31,00	31,80	800,00	8,60	6,00	412,80	
	32,9	33,50	600,00	8,60	6,00	309,60	
	35,3	35,80	500,00	8,60	6,00	258,00	
	36,20	36,50	300,00	8,60	6,00	154,80	
	37,70	38,30	600,00	8,60	6,00	309,60	
	40,90	41,30	400,00	8,60	6,00	206,40	
	41,70	46,90	5.200,00	8,60	6,00	2.683,20	
	trevo km 44,9		500,00	8,00	6,00	240,00	
	52,40	53,10	700,00	8,60	6,00	361,20	
	54,70	55,00	300,00	8,60	6,00	154,80	
	59,70	59,80	100,00	8,60	6,00	51,60	
						12.130,80	
	AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS						
	PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS						
SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 1							
Rodovia / Lote:	GO-215 LOTE 20		Trecho: EDÉIA / EDEALINA / PONTALINA				
DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO							
Resp. Técnico:	Escala: Sem Escala	Unidade: INDICADA	Data: Maio/2011	Folha: _____			

Figura B.2 – Continuação


SOLUÇÃO 1: (Continuação)							
Pintura de Ligação	0,00	2,90	2.900,00	8,60	24.940,00		
	trevo km 0,9		500,00	8,00	4.000,00		
	3,50	5,70	2.200,00	8,60	18.920,00		
	6,00	6,20	200,00	8,60	1.720,00		
	8,70	9,50	800,00	8,60	6.880,00		
	17,70	17,90	200,00	8,60	1.720,00		
	18,00	18,40	400,00	8,60	3.440,00		
	18,90	21,00	2.100,00	8,60	18.060,00		
	22,20	23,70	1.500,00	8,60	12.900,00		
	24,60	25,60	1.000,00	8,60	8.600,00		
	29,40	29,90	500,00	8,60	4.300,00		
	perímetro urbano	29,90	31,00	1.100,00	10,00	11.000,00	
		31,00	31,80	800,00	8,60	6.880,00	
		32,9	33,50	600,00	8,60	5.160,00	
		35,3	35,80	500,00	8,60	4.300,00	
		36,20	36,50	300,00	8,60	2.580,00	
		37,70	38,30	600,00	8,60	5.160,00	
		40,90	41,30	400,00	8,60	3.440,00	
		41,70	46,90	5.200,00	8,60	44.720,00	
		trevo km 44,9		500,00	8,00	4.000,00	
		52,40	53,10	700,00	8,60	6.020,00	
		54,70	55,00	300,00	8,60	2.580,00	
		59,70	59,80	100,00	8,60	860,00	
	Área de micro fresagem descontínua				12.130,80		
					214.310,80		
CBUQ 4cm	0,00	2,90	2.900,00	8,60	24.940,00	997,60	
	trevo km 0,9		500,00	8,00	4.000,00	160,00	
	3,50	5,70	2.200,00	8,60	18.920,00	756,80	
	6,00	6,20	200,00	8,60	1.720,00	68,80	
	8,70	9,50	800,00	8,60	6.880,00	275,20	
	17,70	17,90	200,00	8,60	1.720,00	68,80	
	18,00	18,40	400,00	8,60	3.440,00	137,60	
	18,90	21,00	2.100,00	8,60	18.060,00	722,40	
	22,20	23,70	1.500,00	8,60	12.900,00	516,00	
	24,60	25,60	1.000,00	8,60	8.600,00	344,00	
	29,40	29,90	500,00	8,60	4.300,00	172,00	
	perímetro urbano	29,90	31,00	1.100,00	10,00	11.000,00	440,00
		31,00	31,80	800,00	8,60	6.880,00	275,20
		32,9	33,50	600,00	8,60	5.160,00	206,40
		35,3	35,80	500,00	8,60	4.300,00	172,00
		36,20	36,50	300,00	8,60	2.580,00	103,20
		37,70	38,30	600,00	8,60	5.160,00	206,40
		40,90	41,30	400,00	8,60	3.440,00	137,60
		41,70	46,90	5.200,00	8,60	44.720,00	1.788,80
		trevo km 44,9		500,00	8,00	4.000,00	160,00
		52,40	53,10	700,00	8,60	6.020,00	240,80
		54,70	55,00	300,00	8,60	2.580,00	103,20
		59,70	59,80	100,00	8,60	860,00	34,40
	Área de micro fresagem descontínua				12.130,80	485,23	
					214.310,80	8.572,43	
	AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS						
	PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS						
	SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 1						
	Rodovia / Lote:	GO-215 LOTE 20			Trecho:	EDÉIA / EDEALINA / PONTALINA	
DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO							
Resp. Técnico:	Escala: Sem Escala		Unidade: INDICADA	Data: Maio/2011	Folha: _____		

Figura B.2 - Continuação

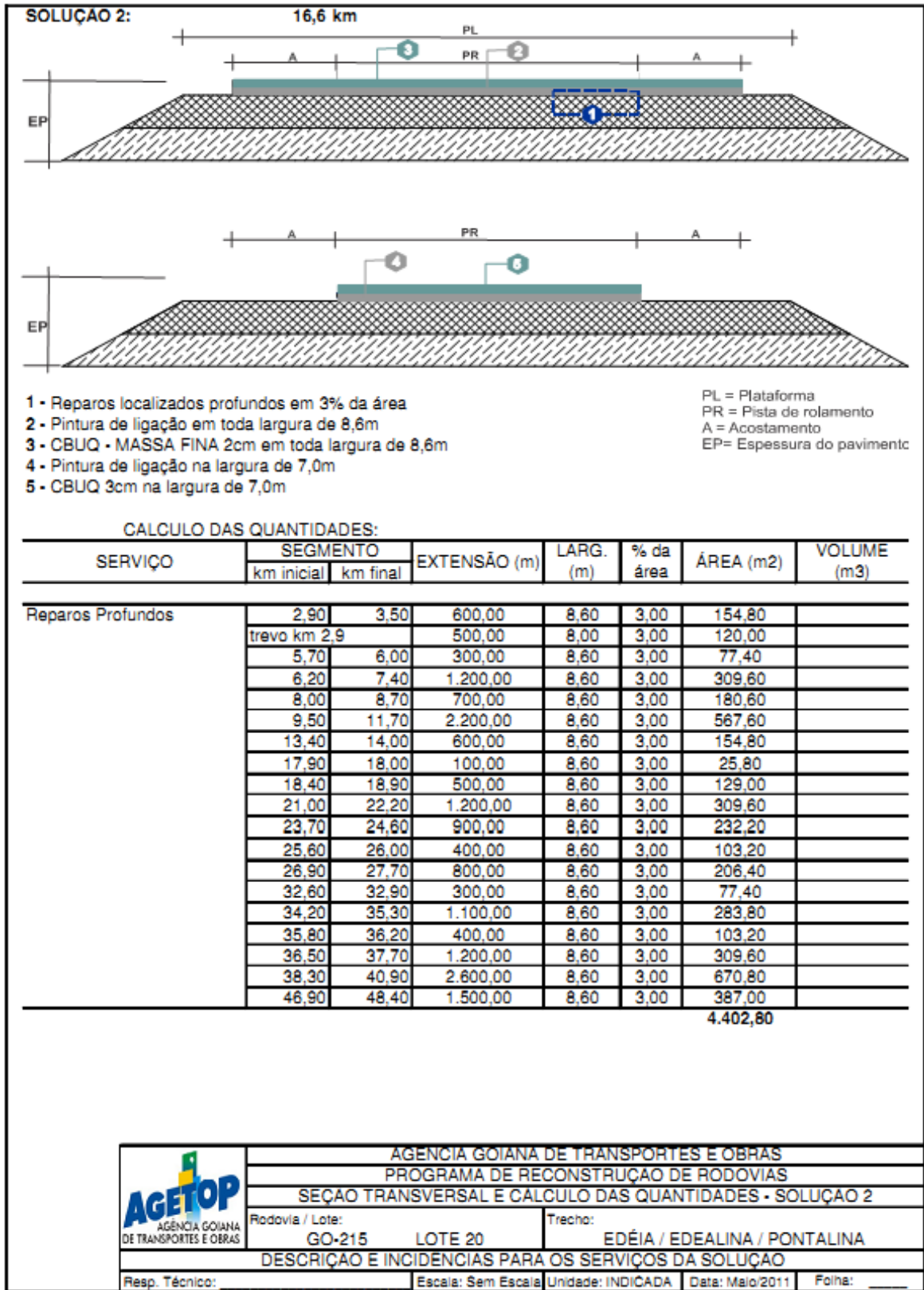


Figura B. 2 – Continuação


SOLUÇÃO 2: (Continuação)							
Pintura de Ligação	2,90	3,50	600,00	8,60		5.160,00	
	trevo km 2,9		500,00	8,00		4.000,00	
	5,70	6,00	300,00	8,60		2.580,00	
	6,20	7,40	1.200,00	8,60		10.320,00	
	8,00	8,70	700,00	8,60		6.020,00	
	9,50	11,70	2.200,00	8,60		18.920,00	
	13,40	14,00	600,00	8,60		5.160,00	
	17,90	18,00	100,00	8,60		860,00	
	18,40	18,90	500,00	8,60		4.300,00	
	21,00	22,20	1.200,00	8,60		10.320,00	
	23,70	24,60	900,00	8,60		7.740,00	
	25,60	26,00	400,00	8,60		3.440,00	
	26,90	27,70	800,00	8,60		6.880,00	
	32,60	32,90	300,00	8,60		2.580,00	
	34,20	35,30	1.100,00	8,60		9.460,00	
	35,80	36,20	400,00	8,60		3.440,00	
	36,50	37,70	1.200,00	8,60		10.320,00	
	38,30	40,90	2.600,00	8,60		22.360,00	
	46,90	48,40	1.500,00	8,60		12.900,00	
	2,90	3,50	600,00	7,00		4.200,00	
	trevo km 2,9		500,00	8,00		4.000,00	
	5,70	6,00	300,00	7,00		2.100,00	
	6,20	7,40	1.200,00	7,00		8.400,00	
	8,00	8,70	700,00	7,00		4.900,00	
	9,50	11,70	2.200,00	7,00		15.400,00	
	13,40	14,00	600,00	7,00		4.200,00	
	17,90	18,00	100,00	7,00		700,00	
	18,40	18,90	500,00	7,00		3.500,00	
	21,00	22,20	1.200,00	7,00		8.400,00	
	23,70	24,60	900,00	7,00		6.300,00	
	25,60	26,00	400,00	7,00		2.800,00	
	26,90	27,70	800,00	7,00		5.600,00	
	32,60	32,90	300,00	7,00		2.100,00	
	34,20	35,30	1.100,00	7,00		7.700,00	
	35,80	36,20	400,00	7,00		2.800,00	
	36,50	37,70	1.200,00	7,00		8.400,00	
	38,30	40,90	2.600,00	7,00		18.200,00	
	46,90	48,40	1.500,00	7,00		10.500,00	
							266.960,00
	AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS						
	PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS						
	SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 2						
	 AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS	Rodovia / Lote:			Trecho:		
		GO-215 LOTE 20			EDÉIA / EDEALINA / PONTALINA		
	DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO						
	Resp. Técnico:			Escala: Sem Escala		Unidade: INDICADA	Data: Maio/2011
						Folha: _____	

Figura B. 2 – Continuação


SOLUÇÃO 2: (Continuação)						
CBUQ MASSA FINA 2cm	2,90	3,50	600,00	8,60	5.160,00	103,20
	trevo km 2,9		500,00	8,00	4.000,00	80,00
	5,70	6,00	300,00	8,60	2.580,00	51,60
	6,20	7,40	1.200,00	8,60	10.320,00	206,40
	8,00	8,70	700,00	8,60	6.020,00	120,40
	9,50	11,70	2.200,00	8,60	18.920,00	378,40
	13,40	14,00	600,00	8,60	5.160,00	103,20
	17,90	18,00	100,00	8,60	860,00	17,20
	18,40	18,90	500,00	8,60	4.300,00	86,00
	21,00	22,20	1.200,00	8,60	10.320,00	206,40
	23,70	24,60	900,00	8,60	7.740,00	154,80
	25,60	26,00	400,00	8,60	3.440,00	68,80
	26,90	27,70	800,00	8,60	6.880,00	137,60
	32,60	32,90	300,00	8,60	2.580,00	51,60
	34,20	35,30	1.100,00	8,60	9.460,00	189,20
	35,80	36,20	400,00	8,60	3.440,00	68,80
	36,50	37,70	1.200,00	8,60	10.320,00	206,40
	38,30	40,90	2.600,00	8,60	22.360,00	447,20
46,90	48,40	1.500,00	8,60	12.900,00	258,00	
					146.760,00	2.935,20
CBUQ 3cm	2,90	3,50	600,00	7,00	4.200,00	126,00
	trevo km 2,9		500,00	8,00	4.000,00	120,00
	5,70	6,00	300,00	7,00	2.100,00	63,00
	6,20	7,40	1.200,00	7,00	8.400,00	252,00
	8,00	8,70	700,00	7,00	4.900,00	147,00
	9,50	11,70	2.200,00	7,00	15.400,00	462,00
	13,40	14,00	600,00	7,00	4.200,00	126,00
	17,90	18,00	100,00	7,00	700,00	21,00
	18,40	18,90	500,00	7,00	3.500,00	105,00
	21,00	22,20	1.200,00	7,00	8.400,00	252,00
	23,70	24,60	900,00	7,00	6.300,00	189,00
	25,60	26,00	400,00	7,00	2.800,00	84,00
	26,90	27,70	800,00	7,00	5.600,00	168,00
	32,60	32,90	300,00	7,00	2.100,00	63,00
	34,20	35,30	1.100,00	7,00	7.700,00	231,00
	35,80	36,20	400,00	7,00	2.800,00	84,00
	36,50	37,70	1.200,00	7,00	8.400,00	252,00
	38,30	40,90	2.600,00	7,00	18.200,00	546,00
46,90	48,40	1.500,00	7,00	10.500,00	315,00	
					120.200,00	3.606,00
 AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 2 Rodovia / Lote: GO-215 LOTE 20 Trecho: EDÉIA / EDEALINA / PONTALINA DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO Resp. Técnico: _____ Escala: Sem Escala Unidade: INDICADA Data: Maio/2011 Folha: _____						

Figura B. 2 - Continuação

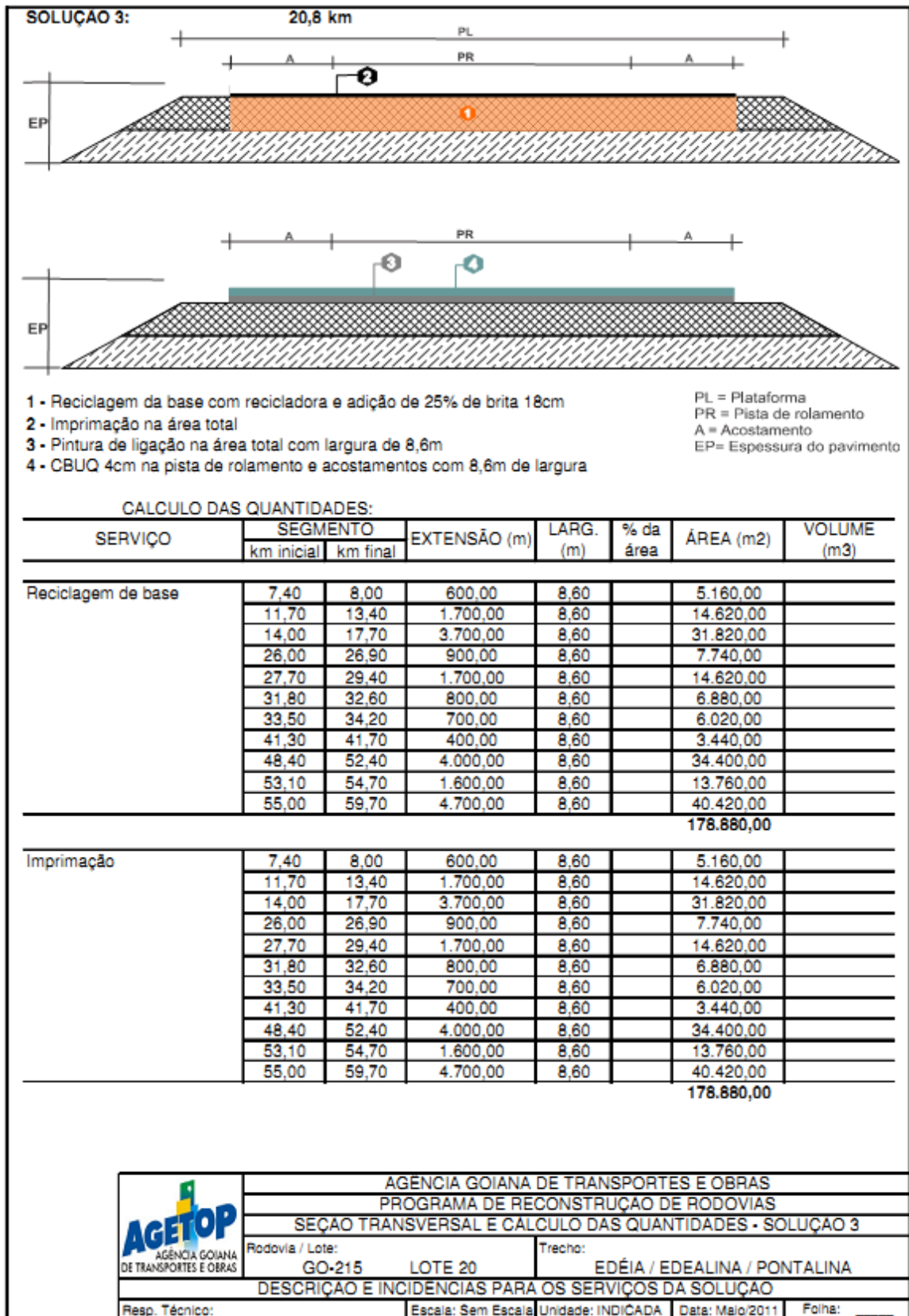


Figura B. 2 - Continuação

SOLUÇÃO 3: (Continuação)							
Pintura de ligação	7,40	8,00	600,00	8,60		5.160,00	
	11,70	13,40	1.700,00	8,60		14.620,00	
	14,00	17,70	3.700,00	8,60		31.820,00	
	26,00	26,90	900,00	8,60		7.740,00	
	27,70	29,40	1.700,00	8,60		14.620,00	
	31,80	32,60	800,00	8,60		6.880,00	
	33,50	34,20	700,00	8,60		6.020,00	
	41,30	41,70	400,00	8,60		3.440,00	
	48,40	52,40	4.000,00	8,60		34.400,00	
	53,10	54,70	1.600,00	8,60		13.760,00	
55,00	59,70	4.700,00	8,60		40.420,00		
						178.880,00	
CBUQ (4cm)	7,40	8,00	600,00	8,60		5.160,00	206,40
	11,70	13,40	1.700,00	8,60		14.620,00	584,80
	14,00	17,70	3.700,00	8,60		31.820,00	1.272,80
	26,00	26,90	900,00	8,60		7.740,00	309,60
	27,70	29,40	1.700,00	8,60		14.620,00	584,80
	31,80	32,60	800,00	8,60		6.880,00	275,20
	33,50	34,20	700,00	8,60		6.020,00	240,80
	41,30	41,70	400,00	8,60		3.440,00	137,60
	48,40	52,40	4.000,00	8,60		34.400,00	1.376,00
	53,10	54,70	1.600,00	8,60		13.760,00	550,40
55,00	59,70	4.700,00	8,60		40.420,00	1.616,80	
					178.880,00	7.155,20	


	AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS		
	PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE RODOVIAS		
	SEÇÃO TRANSVERSAL E CÁLCULO DAS QUANTIDADES - SOLUÇÃO 3		
	Rodovia / Lote:	Trcho:	
	GO-215 LOTE 20	EDÉIA / EDEALINA / PONTALINA	
DESCRIÇÃO E INCIDÊNCIAS PARA OS SERVIÇOS DA SOLUÇÃO			
Resp. Técnico:	Escala: Sem Escala	Unidade: INDICADA	Data: Maio/2011
			Folha:

Figura B. 3 - Soluções definidas para a GO-413 (AGETOP, 2012)

