

PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE SOLO E DOSAGEM DE
ANTIPÓ COM EMULSÃO DE XISTO

Francisco da Silva Duque Neto

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof^a Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.

Prof. Jacques de Medina, L.D

Dr^a. Leni Mathias Figueiredo Leite, D.Sc.

Prof^a Liedi Bariani Bernucci, D.Sc.

Dr^a. Prepredigna Delmiro Elga Almeida da Silva, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2004

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DUQUE NETO, FRANCISCO DA SILVA

Proposição de metodologia para escolha
de solo e dosagem de antipó com emulsão
de xisto [Rio de Janeiro] 2004

XIV, 293 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,M.Sc.,
Engenharia Civil, 2004)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1.Tratamento Antipó 2. Emulsão à base de
óleo de xisto 3. Solos Tropicais 4. Ensaio
de laboratório

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A Deus

Por estar sempre ao meu lado me dando forças.

Aos meus pais: Francisco e Marilda

Por acreditarem em mim e construírem um exemplo de família.

Aos meus irmãos: João Carlos e César Augusto

Pela forte amizade, companheirismo e compreensão.

Agradecimentos

À Professora Laura Maria Goretti da Motta pelo incentivo, apoio, compreensão, paciência, dedicação e sugestões, sempre pertinentes.

Aos meus pais, irmãos e familiares, que sempre acreditaram em mim.

Aos colegas do corpo técnico do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, pela contribuição durante as atividades de laboratório.

Aos colegas de curso: César Augusto, Cinconegui, Sidclei, Raphael, Pacheco, André, Saulo, Eduardo, Adriana, Nicolle, Viviane, Marcos e Rodrigo pela amizade e companheirismo em todas as atividades que realizamos juntos.

Aos colegas do MST (Moneró Sem T...): Eduardo, Luciano, Cris Anderson, José Márcio, Petrônio e Antônio pelo companheirismo, paciência e amizade.

Ao Professor Márcio Marangon, colega, amigo e professor, pelos conselhos de vida e convívio no laboratório.

Às engenheiras Prepredigna, Liédi e Leni, pelas sugestões e conselhos na pesquisa.

À PETROBRAS CENPES por permitir meu aprimoramento técnico.

À USP pela disposição do laboratório para aprendizado da metodologia MCT.

Ao IPR pela realização dos ensaios das emulsões estudadas

À CAPES pela bolsa de estudos, a COPPETEC e PETROBRAS/SIX pelo apoio financeiro e diversas facilidades concedidas e indispensáveis à realização deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram na realização deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE SOLO E DOSAGEM DE ANTIPÓ COM EMULSÃO DE XISTO

Francisco da Silva Duque Neto

Março / 2004

Orientadora: Laura Maria Goretti da Motta

Programa: Engenharia Civil

A pesquisa consistiu em verificar o comportamento da técnica de aplicação de emulsão antipó em 28 amostras de solos e misturas de solos, determinando parâmetros relacionados à durabilidade. Utilizou-se a metodologia MCT (miniatura-compactado-tropical) para classificação dos solos e adaptou-se os ensaios de desgaste usualmente aplicados a microrrevestimento. Além da emulsão à base de xisto, apresenta-se um estudo de duas outras emulsões desenvolvidas pela Petrobras e uma emulsão asfáltica RM-1C para aplicação da técnica tratamento antipó. A PETROBRAS/SIX (Superintendência da Industrialização do Xisto), em São Mateus do Sul, Paraná, desenvolveu uma emulsão à base de óleo de xisto como uma solução de baixo custo para tratamento antipó de vias de baixo tráfego que ainda não receberam revestimento. Esta solução garante melhor qualidade de vida da população lindeira à via e melhora as condições de rolamento durante os períodos de chuva. A emulsão de óleo de xisto possui boas propriedades adesivas e melhor penetração do ligante sobre a base imprimada quando comparada com as emulsões convencionais estudadas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PROPOSITION OF METHODOLOGY FOR CHOICE OF SOIL AND DOSAGEM OF
ANTIDUST WITH EMULSION OF SHALE

Francisco da Silva Duque Neto

March / 2004

Advisor: Laura Maria Goretti da Motta

Department: Civil Engineering

The research consisted to verify the effects anti-dust emulsion applied to 28 soils, determining parameters related to the durability of the treatment. The MCT (miniature-compact-tropical) for classification of the soils was used and test of microsurface as the than durability of was applied. Two other emulsions developed by the Petrobras and an emulsion asfáltica RM-1C for the applications of the technique treatment anti-dust were also studied. PETROBRAS/SIX (Superintendence of the Industrialization of the Shale), in São Mateus of the South, Paraná, developed of schist oil emulsion for low cost anti-dust treatments of compacted roads of low traffic that they didn't still receive coating. This solution also improves the surface conditions during the rain periods and it guarantees a better quality of life to population near by the road. The emulsion of shale oil possesses adhesive properties, besides better penetration of the binder on the primed base when compared to the conventional emulsions.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	8
2.1 - Tratamento Antipó	8
2.1.1 - Breve Histórico e definições.....	8
2.1.2 - A experiência baiana: DER-BA – 1985 e DERBA-ES-P-23/00	10
2.1.3 - Experiência da SIX	12
2.2 - Métodos de dimensionamento.....	14
2.2.1 - Método do DNER	15
2.2.2 - Método da AASHTO para rodovias de baixo volume de tráfego	19
2.2.3 - Método do CEBTP	22
2.2.4 - Método de Morin e Todor (1975).....	26
2.2.5 - Método de Alvarez Neto (1997).....	30
2.2.6 - Método Mecânico (1991).....	35
2.2.7 - Considerações Finais	40
2.3 - O microrrevestimento asfáltico	41
2.4 - Ensaio de classificação para solos tropicais: MCT e pastilhas.....	43
2.4.1 - Conceitos básicos associados.....	43
2.4.2 - A Metodologia MCT.....	46
2.4.3 - A Classificação MCT-M.....	47
2.4.4 - Ensaio de Pastilha.....	48
2.5 - Módulo de Resiliência.....	53
2.6 - Pêndulo Britânico.....	56
Capítulo 3 - Materiais e Métodos de ensaios	60
3.1 - Comentários iniciais.....	60
3.2 - Emulsões utilizadas	63
3.3 - Solos utilizados	64
3.4 - Ensaio de caracterização realizados em laboratório.....	65
3.5 - Ensaio de desgaste	69

3.5.1 - Loaded Wheel Test (LWT)	70
3.5.2 - Wet Track Abrasion Test (WTAT).....	74
3.6 - Pêndulo Britânico.....	79
Capítulo 4 - Resultados e Análise	81
4.1 - Ensaio de caracterização segundo metodologia MCT e pastilha.....	81
4.2 - Ensaio de compactação Proctor e Módulo de Resiliência.....	81
4.3 - Ensaio de imprimação.....	89
4.4 - Ensaio de desgaste.....	93
4.5 - Ensaio de Pêndulo Britânico.....	102
Capítulo 5 - Um Trecho observado.....	104
5.1 - Introdução.....	104
5.2 - Clima e Temperatura	104
5.3 - Ensaio de Laboratório.....	105
5.4 - Características do trecho observado.....	108
5.5 - Método de execução	109
5.6 - Modo de Escolha de Solos e Dosagem da Técnica Tratamento Antipó.....	110
5.7 - Modo de Aplicação da Técnica Tratamento Antipó.....	111
5.8 - Considerações finais.....	113
Capítulo 6 - Análise de Custos e Aplicação.....	114
6.1 - Análise de Custos.....	114
6.2 - Aplicação sobre pavimento de baixo custo.....	121
6.2.1 - Dimensionamento pelo método Alvarez Neto.....	123
6.2.2 - Dimensionamento pelo método AASHTO.....	124
6.2.3 - Dimensionamento pelo método Mecanístico (MOTTA, 1991).....	124
Capítulo 7 - Conclusões e Sugestões de pesquisas futuras.....	126
Referências Bibliográficas.....	129
Bibliografias Consultadas	135
Anexos	

Lista de Tabelas

Tabela 1.01: Malha rodoviária pavimentada de alguns países do mundo (GEIPOT 2000).....	01
Tabela 2.01: Tipos de granulometrias de material para base do pavimento para tratamento antipó (DERBA-ES-P-23/00).....	11
Tabela 2.02: Valores admissíveis de IP para os solos a serem usados como base em tratamento antipó em função do Índice Pluviométrico da região (DERBA-ES-P-23/00).....	11
Tabela 2.03: Faixas granulométricas dos agregados constituintes da capa selante do tratamento antipó (CASTRO, 2003).....	12
Tabela 2.04: Frequência de controle do ligante a ser usado no tratamento antipó (COSTA, 1986).....	13
Tabela 2.05: Valores de ISC e expansão exigidos para as camadas do pavimento pelo método do DNER (DNER, 1996).....	16
Tabela 2.06: Espessuras mínimas de revestimento betuminoso adotadas pelo método do DNER (DNER, 1996).....	17
Tabela 2.07: Faixas granulométricas para materiais de base (DNER, 1996).....	18
Tabela 2.08: Coeficientes de equivalência estrutural dos materiais empregados nos pavimentos asfálticos pelo método DNER (DNER, 1996).....	19
Tabela 2.09: Número de repetições do eixo equivalente para diferentes níveis de tráfego usado no método da AASHTO (AASHTO, 1986).....	20
Tabela 2.10: Porcentagem de tráfego na faixa de projeto em função do número de faixas considerado no método AASHTO (AASHTO, 1986).....	20
Tabela 2.11: Sugestão de valores de módulo de resiliência do subleito para diferentes regiões climáticas norte-americanas (AASHTO, 1986).....	21
Tabela 2.12: Valores recomendados de número estrutural para níveis de confiança de 75% (AASHTO, 1986).....	22
Tabela 2.13: Classes de tráfego para cada modo de determinação do tráfego do método CEBTP(1980).....	24
Tabela 2.14: Classes de subleito propostas pelo CEBTP (1980).....	25
Tabela 2.15: Exemplo de espessuras das camadas propostas pelo CEBTP (1980).....	25
Tabela 2.16: Intervalos de tempo de recapeamento sugeridos por CEBTP (1980).....	26

Tabela 2.17: Umidades recomendadas para avaliação dos valores de CBR de projeto pelo método Morin e Todor (DNER, 1979).....	27
Tabela 2.18: Especificações de coeficientes estruturais para serem empregados nas diferentes camadas do pavimento segundo Morin e Todor (DNER, 1979).....	28
Tabela 2.19: Tipo e espessura recomendadas para revestimentos pelo método Morin e Todor (DNER, 1979).....	30
Tabela 2.20: Escolha do número “N” a partir do tráfego em vias de baixo volume de tráfego (ALVAREZ NETO, 1997).....	32
Tabela 2.21: Tabela de aptidão dos módulos de resiliência e dos coeficientes estruturais propostos por ALVAREZ NETO (1997).....	32
Tabela 2.22: Tabela de dimensionamento da Espessura Efetiva do pavimento em função do módulo de resiliência do subleito e do tráfego para 50% e 75% de confiança proposto por ALVAREZ NETO (1997).....	34
Tabela 2.23: Coeficientes Estruturais das camadas betuminosas e granulares sugeridos por ALVAREZ NETO (1997).....	35
Tabela 2.24: Valores sugeridos para a tensão vertical admissível no subleito.....	37
Tabela 2.25: Cálculo dos parâmetros observados na pastilha no método expedito de classificação de solos.....	51
Tabela 2.26: Atribuições qualitativas para o ensaio de pastilhas do método expedito de classificação de solos.....	52
Tabela 2.27: Classificação dos solos a partir do ensaio das pastilhas, proposta por GODOY (2000).....	52
Tabela 2.28: Avaliação das Condições de Segurança ou Aderência Pneu Pavimento ou Resistência à Derrapagem (ABPv, 1999).....	59
Tabela 3.01: Caracterização das emulsões aplicadas na pesquisa antipó deste trabalho.....	63
Tabela 3.02: Composição das amostras 19 a 27 utilizadas neste estudo.....	65
Tabela 3.03: Informações gerais das amostras coletadas no campo para este estudo...66	66
Tabela 3.04: Ensaio de caracterização convencionais e classificações geotécnicas tradicionais dos solos e misturas de solos usadas nesta pesquisa.....	67
Tabela 3.05: Frações granulométricas dos solos e misturas de solos usados nesta pesquisa	68

Tabela 3.06: Atribuições para desempenho do ensaio LWT – base imprimada, propostas neste estudo.....	74
Tabela 3.07: Atribuições para desempenho do ensaio LWT – camada antipó, propostas neste estudo.....	74
Tabela 3.08: Conceitos para qualificação do ensaio LWT, propostas neste estudo.....	74
Tabela 3.09: Atribuições para desempenho do ensaio WTAT – base imprimada, propostas neste estudo.....	79
Tabela 3.10: Atribuições para desempenho do ensaio WTAT – camada antipó, propostas neste estudo.....	79
Tabela 3.11: Conceitos para qualificação do ensaio WTAT, propostas neste estudo.....	79
Tabela 4.01: Ensaios de caracterização segundo metodologia MCT e pastilha.....	82
Tabela 4.02: Tabela comparativa entre os resultados das classificações dos solos e misturas de solo deste estudo.....	83
Tabela 4.03: Ensaio de compactação Proctor e unidades utilizadas para ensaio de MR para as amostras estudadas neste trabalho.....	84
Tabela 4.04: Módulo de resiliência (MR) dos solos estudados nesta pesquisa.....	85
Tabela 4.05: Módulos de resiliência nas unidades MPa e kgf/cm ²	87
Tabela 4.06: Penetrações em obtidas na umidade ótima da energia intermediária para cada solo em relação a cada emulsão estudada.....	92
Tabela 4.07: Comparação entre as penetrações da emulsão antipó EM 3 quando aplicada sobre o corpo de prova moldado no mini C.P. e no cilindro Marshall, dos solos e misturas de solos considerados satisfatórios para aplicação da camada antipó pelos ensaios de desgaste.....	93
Tabela 4.08: Resultados dos ensaios de desgaste WTAT adaptado utilizando as emulsões EM3 e EM4 nos solos e misturas de solos desta pesquisa.....	96
Tabela 4.09: Resultados dos ensaios de desgaste WTAT utilizando as 4 emulsões e algumas amostras desta pesquisa.....	97
Tabela 4.10: Resultados dos ensaios de desgaste LWT utilizando as emulsões EM3 e EM4 nos solos e misturas de solos desta pesquisa.....	98
Tabela 4.11: Resultados dos ensaios de desgaste LWT utilizando as 4 emulsões e algumas amostras desta pesquisa.....	99

Tabela 4.12:	Resultados dos ensaios de desgaste WTAT utilizando a emulsão EM3 e amostra 04 e alternando o material para salgamento.....	100
Tabela 4.13:	Resultados dos ensaios de desgaste LWT utilizando a emulsão EM3 e amostra 04 e alternando o material para salgamento.....	100
Tabela 4.14:	Resultados dos ensaios LWT e WTAT dos solos considerados satisfatórios para a aplicação da camada antipó.....	101
Tabela 4.15:	Ensaio de resistência a derrapagem realizados com o pêndulo britânico.....	102
Tabela 5.01:	Ensaio de caracterização convencional das amostras estudadas para o trecho observado.....	106
Tabela 5.02:	Ensaio de caracterização segundo metodologia MCT das amostras estudadas para o trecho observado.....	106
Tabela 5.03:	Ensaio de imprimação das amostras estudadas para o trecho observado.....	106
Tabela 5.04:	Resumo dos resultados do ensaio WTAT das amostras estudadas para o trecho observado.....	107
Tabela 5.05:	Resumo dos resultados do ensaio LWT das amostras estudadas para o trecho observado.....	107
Tabela 5.06:	Ensaio de desgaste (LWT e WTAT) das amostras estudadas para o trecho observado.....	108
Tabela 6.01:	Custo de materiais e serviços que compõem a infraestrutura de pavimentos (fevereiro 2004).....	114
Tabela 6.02:	Composição de custos de construção da técnica Tratamento Antipó proposta.....	118
Tabela 6.03:	Composição de custos de construção de estruturas analisadas.....	119
Tabela 6.04:	Alternativas de base para o exemplo de dimensionamento.....	122
Tabela 6.05:	Alternativas de revestimentos para o exemplo de dimensionamento....	122
Tabela 6.06:	Espessuras das camadas de base segundo o método de dimensionamento de ALVAREZ NETO (1997).....	124
Tabela 6.07:	Espessuras das camadas de base e tensão vertical do subleito (FEPAVE2).....	125

Lista de Figuras

Figura 2.01:	Ábaco de dimensionamento de pavimentos asfálticos (DNER, 1996)....	18
Figura 2.02:	Croquis da seção tipo do pavimento asfáltico para $N < 10^6$ (DNER, 1996).....	19
Figura 2.03:	Relação Geral entre Número Diário Total de Veículos e Número de Aplicações do Eixo-Padrão Equivalente de 8,2 toneladas, com base na distribuição de veículos e de cargas obtidas no Brasil em 1970 (DNER, 1979).....	27
Figura 2.04:	Curvas de projeto estrutural para determinação do Índice Estrutural requerido pela seção de pavimento-padrão segundo o método Morin e Todor (DNER, 1979).....	29
Figura 2.05:	Determinação da espessura mínima de projeto no método Morin e Todor (DNER, 1979).....	31
Figura 2.06:	Ábaco de dimensionamento para níveis de confiança de 50% e 75% proposto por ALVAREZ NETO (1997).....	33
Figura 2.07:	Fluxograma do método de dimensionamento proposto por MOTTA (1991).....	36
Figura 2.08:	Malha e condições de fronteira para o programa FEPAVE (MOTTA, 1991).....	39
Figura 2.09:	Modelos de comportamento σ x ϵ dos materiais disponíveis no programa FEPAVE2 (FERREIRA, 2002).....	39
Figura 2.10:	Ábaco de classificação MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1995 e DNER CLA 259/96).....	47
Figura 2.11:	Ábaco de classificação MCT-M, VERTAMATTI (1988).....	48
Figura 2.12:	Alguns modelos de comportamento resiliente de solos (BENEVIDES, 2000).....	57
Figura 4.01:	Gráfico dos grupos de solos MCT x Módulo de Resiliência (MPa) (ALVAREZ NETO, 1997 e ensaios desta pesquisa).....	88
Figura 6.01:	Gráfico da composição de custos de construção do Tratamento Antipó proposto.....	119
Figura 6.02:	Composição relativa de custo das estruturas analisadas por camadas...	120
Figura 6.03:	Comparação de custo por m^2 das estruturas analisadas.....	121

Anexos

- Anexo I:** Quadro de Fotos
- Quadro 1:** Ensaio MCT (compactação mini-MCV e perda de massa por imersão).
- Quadro 2:** Ensaio de pastilhas (GODOY, 2000).
- Quadro 3:** Ensaio de imprimação (VILLIBOR, 1981 e CASTRO, 2003).
- Quadro 4:** Ensaio de desgaste LWT modificado para antipó (Loaded Wheel Test).
- Quadro 5:** Ensaio de desgaste WTAT modificado para antipó (Wet Track Abrasion Test).
- Quadro 6:** Ensaio Triaxial Dinâmico para solos.
- Quadro 7:** Ensaio de atrito – Pêndulo Britânico.
- Quadro 8:** Trecho experimental.
- Quadro 9:** Amostras coletadas.
- Anexo II:** Ensaio de Imprimação
- Anexo III** Planilhas dos Ensaio de Pastilha
- Anexo IV:** Planilhas dos Ensaio de Módulo de Resiliência
- Anexo V:** Planilhas dos Ensaio de Desgaste – LWT
- Anexo VI:** Planilhas dos Ensaio de Desgaste – WTAT
- Anexo VII:** Planilhas dos Ensaio de Pêndulo Britânico
- Anexo VIII:** Planilhas dos Ensaio Realizados no Trecho experimental
- Anexo IX:** Curriculum Vitae do autor da pesquisa

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Brasil possui dimensões continentais e adota como principal modo de transporte o sistema rodoviário para escoamento da produção e transporte de pessoas. No entanto, a rede total pavimentada representa uma densidade de 0,0187 km / km² (GEIPOT 2000), muito aquém das necessidades e dos valores registrados em estados e países mais adiantados economicamente, conforme pode ser verificado na tabela 1.01.

Tabela 1.01 – Malha rodoviária pavimentada de alguns países do mundo (GEIPOT 2000).

País	Área (km²)	Malha rodoviária (km)	Densidade (km/km²)	Consumo de asfalto (mil t/ano)
Estados Unidos	9.629.081	1.750.000	0,1817	31,0
Brasil	8.537.840	160.000	0,0187	1,5
Índia	3.166.414	750.000	0,2369	3,5
México	1.372.550	321.586	0,2343	1,2
França	543.965	650.000	1,1949	3,2
Alemanha	356.945	570.000	1,5969	3,7

Segundo a Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT (2000), o Brasil tem aproximadamente 1.559.941 km de estradas não pavimentadas, proporcionando um atraso econômico e social para as populações lindeiras e um alto custo de transporte rodoviário de cargas e passageiros.

Ainda, o Brasil tem utilizado grande parte de seus recursos rodoviários na manutenção rotineira das estradas não pavimentadas com a repetição do patrolamento a cada novo período de chuva. Estes gastos poderão ser minimizados caso se opte pela construção de um pavimento de baixo custo, ao invés de ficar esperando por elevados recursos necessários para implantação de pavimento tradicional, que nem sempre é a necessidade da via em questão.

Cerca de 92% da malha rodoviária não pavimentada encontra-se sob responsabilidade do poder público municipal, que normalmente não dispõe de grandes recursos para atuar sobre a mesma. Além do mais, estas vias são responsáveis pela maior parte do escoamento da produção agrícola e industrial de pequeno porte, que às vezes são inviabilizados devido a precariedade do sistema de transporte. Este descaso com as vias municipais gera desânimo nos usuários das mesmas quanto à expectativa de melhoria de qualidade de vida na região, levando à migração em busca de regiões onde estes recursos não sejam um entrave ao seu crescimento.

Sabe-se que, no país, as técnicas que visam a elaboração de projetos e dimensionamento de pavimentação são baseados na normalização específica criada pelos americanos tais como AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) e ASTM (American Society for Testing and Materials) e países europeus. Estes países possuem condições climáticas características de clima temperado a frio, necessitando de materiais granulares e de melhor qualidade para suportarem as condições de degelo e absorver a expansibilidade da água quando do congelamento no inverno. Por conseguinte, eles criaram métodos rigorosos para escolha dos materiais a serem usados nas camadas e devem garantir uma drenagem adequada do pavimento.

Entretanto, a realidade brasileira é bem diferente. Nosso país possui, quase em sua totalidade, condições climáticas características de clima tropical. Em grande parte, nossos solos possuem peculiaridades de comportamento mecânico e hídrico diferentes daquelas dos solos de regiões de clima temperado, permitindo estabelecer segundo sua gênese duas classes principais de solo: os solos de comportamento laterítico e os não-lateríticos. Os solos de comportamento lateríticos, abundantes em nosso território, apresentam ótimas propriedades geotécnicas, ressaltando-se a característica de que, em estado natural, são menos susceptíveis à erosão que os demais, e quando adequadamente compactados adquirem elevada capacidade de suporte e resistência. Portanto, foi adequada a criação de um método de classificação que evidencie as características peculiares aos solos de clima tropical, como é a metodologia MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1981).

Objetivando minimizar os custos da pavimentação de rodovias e vias urbanas, vem se intensificando no Brasil, nos últimos anos, os esforços de pesquisa neste sentido. Especial atenção tem sido dada à utilização de materiais naturais em estruturas viárias, destacando-se o emprego de solos de comportamento lateríticos de textura fina e os concrecionados.

As primeiras experiências com pavimento de baixo custo surgiram da necessidade de melhorar a trafegabilidade das estradas em revestimento primário, da dificuldade de localizar materiais para a manutenção deste tipo de rodovias e da dificuldade de recursos para a execução de um pavimento tradicional, para que tivesse um atendimento de maior amplitude da malha deficiente de tais tipos de serviços (SANTANA, 1978).

Também é necessária uma nova abordagem para o dimensionamento dos pavimentos segundo características de clima e tráfego, além de novas soluções, visando o máximo aproveitamento dos recursos disponíveis. Buscando solucionar os problemas utilizando esta ótica, a metodologia MCT associada ao estudo do comportamento resiliente dos solos tem-se mostrado eficiente e contempla as principais variáveis que envolvem o pavimento, apesar de ainda haver muito que estudar e pesquisar a respeito.

Dentro desta linha de pensamento, não se pode ficar restrito a fazer o que já se conhece, mas é preciso pesquisar novos materiais de construção e novas soluções, aprender novas técnicas e algumas vezes ousar se isto significar economia, conscientes de que é possível obter sucessos, mesmo com eventuais insucessos durante o aprendizado.

A metodologia MCT proposta por NOGAMI e VILLIBOR (1981, 1995), fundamentada na constatação de peculiaridades de comportamento observados em camadas de pavimentos construídas com solos finos lateríticos, possibilitou a implantação de mais de 8.000 km de rodovias de baixo volume de tráfego e de mais de 10.000.000 m² de pavimentos urbanos, com a utilização na estrutura de solos lateríticos naturais locais encontrados ao longo da via, considerando só o estado de São Paulo. Atualmente, a extrapolação da metodologia para a maior parte do território brasileiro vem acontecendo graças ao sucesso obtido no estado de origem.

Paralelamente aos trabalhos desenvolvidos no estado de São Paulo, vem sendo desenvolvido na COPPE/UFRJ, um grande banco de dados sobre o estudo, concepção e análise do desempenho estrutural de pavimentos através de métodos de análise de deformações, tensões e deslocamentos atuantes nos materiais que compõem sua estrutura. Esta abordagem mecanística, facilitada pelos avanços tecnológicos havidos a partir do processamento de dados via microcomputadores, tem permitido a aplicação de materiais não convencionais em camadas de pavimentos, que antes não eram contemplados pelos métodos de dimensionamento existentes (MEDINA, 1997).

Portanto, tendo em mãos estas duas ferramentas, metodologia MCT e a mecânica dos pavimentos, é possível selecionar materiais de forma mais adequada, para pavimentos de baixo ou alto volume de tráfego.

Vale lembrar que o desenvolvimento de tecnologias regionais é de grande importância, devido à extensão territorial brasileira com grandes variações de ocorrência dos tipos de solos, assim como as variações das condições climáticas típicas de ambientes tropicais. A utilização de algumas soluções pode ser específica para cada região do país.

Soluções técnicas ainda pouco estudadas como o tratamento antipó, solo-betume, base de material reciclado da construção civil ou solo estabilizado com escória de alto-forno, por exemplo, podem agora serem pesquisados de forma objetiva e implantados conforme as necessidades sócio-econômicas da região.

A técnica denominada Tratamento Antipó, pode ser considerada como uma das técnicas de tratamentos de superfície para as rodovias de baixo volume de tráfego. Consiste na aplicação de um ligante betuminoso sobre uma base imprimada, e sobre este por penetração inversa agrega materiais naturais (areia) ou artificiais (pó de pedra), formando um revestimento asfáltico delgado que permite impermeabilizar a base, melhorar as condições de rolamento, reduzir custo de patrolamento e eliminar a lama e a poeira.

O Tratamento Antipó é uma técnica que pode ter um bom desempenho por vários anos, dependendo das condições de alguns elementos básicos a saber:

- Volume e tipo de tráfego da via;
- Tipo de solo da base;
- Condições climáticas;
- Condições geométricas e de drenagem;
- Tipo e dosagem de emulsão;
- Modo de execução da técnica.

Neste trabalho serão abordadas as peculiaridades dos elementos que influenciam a durabilidade da técnica, de modo a verificar a influência de cada característica e a condição ideal para otimizar a técnica.

Com objetivo de estudar a técnica do Tratamento Antipó para rodovias de baixo volume de tráfego desenvolve-se esta pesquisa, dentro do Programa CTPETRO denominada Projeto Antipó, que tem como parceiros a COPPE-UFRJ, a USP e o CENPES. Esta tese se insere dentro deste Projeto, dando continuidade a tese desenvolvida por Castro (2003).

Os objetivos deste trabalho são:

- 1) Estudar a técnica do Tratamento Antipó com utilização de ligante desenvolvido pela PETROBRAS/SIX, que é uma emulsão à base de óleo de xisto (denominada Antipó) que tem como principais características boa adesividade e boa penetração no solo, comparando este ligante com uma emulsão convencional (RM-1C) e com outras duas emulsões antipó com menores quantidades de óleo de xisto, como uma tentativa de redução de custos do produto original.
- 2) Fazer um estudo do comportamento do Antipó com diferentes classes de solos, utilizando o procedimento do ensaio de Imprimação (VILLIBOR, 1981) e compará-lo com a imprimação em molde Marshall (CASTRO, 2003).
- 3) Buscar novos métodos de verificação em laboratório das características de adequação da técnica aos vários tipos de solo.

4) Apresentar um método de dosagem desta técnica em laboratório, especificando ensaios, taxas e procedimento de execução, adaptados para a emulsão com óleo de xisto.

Esta tese está organizada em 7 (sete) capítulos, assim distribuídos:

- O capítulo 1 é esta introdução que relaciona a pavimentação de baixo custo no Brasil com os objetivos deste trabalho.
- O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica focando temas que estão correlacionados de alguma forma ao estudo. É feito um breve histórico da técnica Tratamento Antipó (TAP) até a pesquisa realizada por Castro (2003), apresentando a sua evolução, materiais e produtos utilizados e locais de aplicação. A experiência baiana apresentada a partir da norma DER-BA-1985 e DERBA-ES-P-23/00 e a experiência da PETROBRAS-SIX. São estudados os ensaios da Metodologia MCT e o ensaio de resiliência. Buscou-se ainda, na literatura internacional, como é a escolha de material para revestimento primário assim como apresentar alguns métodos de dimensionamento para pavimentos de baixo volume de tráfego. São apresentadas também algumas peculiaridades da técnica de microrrevestimento visto que alguns ensaios desenvolvidos para o estudo deste produto em laboratório foram adaptados para o estudo do antipó. Portanto, este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica bastante ampla, focalizando diversos assuntos relacionados a pavimentação, visto a necessidade de criar uma base teórica para as discussões apresentadas nos demais capítulos.
- O capítulo 3 apresenta os materiais usados nesta pesquisa e métodos utilizados na caracterização dos solos e emulsões estudados, além dos ensaios de imprimação e de desgaste superficial (LWT e WTAT) adaptados para antipó, e do ensaio de módulo de resiliência.
- O capítulo 4 apresenta os resultados e análises dos ensaios realizados durante este estudo. No final do mesmo, é proposto um método de dosagem assim como valores sugeridos como satisfatórios para cada ensaio que compõe o conjunto necessário para a escolha do material de base e das taxas de aplicação do antipó.

- O capítulo 5 apresenta as características básicas de um trecho de antipó realizado durante esta pesquisa e os ensaios utilizados para a dosagem e escolha de materiais locais. O método construtivo sugerido pelo autor é o apresentado junto à descrição do trecho experimental.
- O capítulo 6 apresenta um estudo comparativo de custos entre soluções tradicionais utilizadas para pavimentos de baixo custo e a técnica do tratamento antipó.
- O capítulo 7 apresenta as conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

Este volume é composto ainda por Anexos onde são apresentadas as planilhas dos resultados dos ensaios de laboratório e quadros de fotos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - TRATAMENTO ANTIPÓ

2.1.1 – Breve Histórico e definições

A tentativa de associar um ligante asfáltico a um revestimento primário, com finalidade de utilização em pavimentos de baixo volume de tráfego, não é recente. Em 1959, na BR-135/MA, foi construído o primeiro trecho da técnica antipó encontrado na bibliografia (SANTANA, 1978). Foram 8 km construídos a partir de uma base de solo compactado sobre o revestimento primário da antiga rodovia. O ligante asfáltico utilizado na imprimação foi um asfalto diluído RC-250 aplicada em dois banhos nas taxas de 1,2 e 0,6 l/m². Após o segundo banho, espalhou-se manualmente areia grossa a uma taxa de 6,0 l/m² e liberou-se ao tráfego. SANTANA (1978), relata que visitou o trecho 7 anos após a construção e verificou o excelente estado do mesmo apesar de não ter sido feita nenhuma manutenção e da atuação de um tráfego diário médio nas duas direções de 228 veículos, sendo 75% comerciais.

Em 1968, o DER da Bahia realizou sua primeira experiência com a técnica antipó. Foram construídos 43 km da rodovia BA-046, na qual aproveitou-se o revestimento primário existente e aplicou-se uma imprimação de asfalto diluído CR-250. O agregado utilizado sobre o CR-250 foi uma areia lavada de rio.

No ano de 1969 o DER da Bahia (DER-BA) construiu um trecho de 80 km na BR-235, Rodovia Petrolina – Casa Nova, utilizando uma emulsão RM-1C sobre 15 cm de espessura de material granular (SANTANA, 1978). Uma contagem de tráfego efetuada naquela época registrou um volume diário de 210 veículos, sendo 67% carros de passeio. Devido ao grande sucesso obtido, o DER-BA construiu inúmeros trechos com diferentes características quanto ao volume de tráfego e quanto ao índice de

pluviosidade, gerando as normas DER-BA-1985 e DERBA-ES-P-23/00. Segundo o DER-BA o estado já construiu cerca de 5000 km de tratamento antipó utilizando ligantes asfálticos na forma de emulsões convencionais e asfaltos diluídos.

COSTA (1986) relata que em 1971, na Rodovia Belém-Brasília, foram construídos cerca de 60 km de tratamento antipó, utilizando-se revestimento primário e asfalto diluído CR-250.

COSTA (1986) previa que a técnica iria necessitar um novo reforço de capa selante mais agregado após mais ou menos 3 anos de serviço. Entretanto, com a seqüência de serviços realizados observou-se, principalmente nas áreas de alta pluviosidade, que a execução do primeiro reforço era necessário em tempo inferior ao previsto. Portanto, foi criada a técnica do antipó duplo, que consiste na execução da primeira camada de antipó seguida da abertura ao tráfego por um prazo de 1 a 6 meses, efetuando as correções dos defeitos existentes, seguida da aplicação de uma nova camada de capa selante com agregado. O DER-BA recomenda o tratamento antipó duplo para regiões de índices pluviométricos elevados (a partir de 1500 mm/ano) e em regiões de menores pluviosidades quando houver um aumento do tráfego ou o custo de manutenção se elevar muito.

COSTA (1986) conceitua Tratamento Antipó como um revestimento asfáltico delgado de espessura aproximadamente de 4,0 mm por camada, de elevado efeito impermeabilizante, aplicado sobre uma base imprimada e que agrega materiais naturais (areias) de jazida ou de rio por penetração inversa.

Segundo ABEDA (2001), “o Tratamento Antipó consiste no espalhamento de emulsão asfáltica catiônica, com posterior aplicação de agregado mineral, sobre uma superfície não pavimentada, com a finalidade de evitar a propagação do pó”.

Segundo CASTRO (2003), “denomina-se Tratamento Antipó (TAP), a execução de Tratamentos Superficiais com a utilização de emulsões asfálticas ou emulsões à base de óleo de Xisto e agregado miúdo, na construção de pavimentos de baixo custo”.

O conceito estabelecido pelo autor do presente trabalho de Tratamento Antipó (TAP) é de que consiste de uma esbelta camada de rolamento obtida a partir da aplicação de uma imprimação sobre uma base compactada, seguida de uma outra pintura com a finalidade de aderir uma camada de areia grossa ou pó de pedra, formando uma capa selante. Esta camada de rolamento tem como principais finalidades impermeabilizar a base e evitar a geração de poeira e da lama. A técnica deve ser utilizada somente quando constatado baixo volume de tráfego.

O tratamento antipó suprime a poeira e a lama, reduz o desgaste superficial e, quando comparado com o revestimento primário, proporciona uma economia de manutenção e recuperação do investimento inicial em um curto período de tempo. No capítulo referente a custos apresentado mais adiante, pode-se verificar com detalhes esta afirmação ao se comparar o fluxo de caixa das duas técnicas. É importante lembrar ainda da economia de combustível dos veículos e do tempo de viagem dos usuários, além da melhoria do conforto e da segurança.

A abordagem tradicional da pavimentação tem se tornado inviável para as vias de pequena intensidade de tráfego tais como bairros periféricos, conjuntos habitacionais, pequenas comunidades e vias vicinais. Surge portanto, a necessidade de estudar soluções de pavimento de baixo custo, caracterizados pela utilização de solos locais e revestimentos betuminosos esbeltos, além de tráfego urbano muito leve a leve ou rodoviário com VDM inferior a 1000 veículos com no máximo 30% de veículos comerciais. A técnica do tratamento antipó pode ser enquadrada nesta última solução, visto que o mesmo é projetados para suportar uma demanda de tráfego médio de 200 a 300 veículos/dia por 3 a 5 anos.

2.1.2 – A experiência baiana: DER-BA-1985 e DERBA-ES-P-23/00

Com o objetivo de definir os critérios que orientam a execução de Tratamento antipó em obras rodoviárias na Bahia, o DER-BA elaborou a norma 23/00 de especificação de serviço baseada nos critérios tradicionais de escolha de materiais e é constituída exclusivamente de parâmetros definidos a partir da experiência local aliada aos critérios tradicionais.

Para compor a base é definida uma camada granular que atenda as condições de suporte, de granulometria (tabela 2.01) e os índices seguintes: o Índice de Suporte Califórnia (ISC) deverá ser igual ou superior a 20%, e expansão máxima de 1% (no caso de solos lateríticos, a expansão máxima deve ser de 0,5%), determinados com a energia de compactação do Proctor Intermediário. Os Índices Físicos exigidos pelo DER-BA (1985) para material de base são limitados pelo limite de liquidez inferior a 35% e índice de plasticidade compreendido entre os limites de 4% e 12%, sendo esta variação correlacionada com a precipitação média anual da região conforme tabela 2.02.

Tabela 2.01 – Tipos de granulometrias de material para base do pavimento para tratamento antipó (DERBA-ES-P-23/00).

PENEIRAS		% PASSANDO EM PESO			
ASTM	mm	I	II	III	IV
1"	25,4	100	100	-	-
3/8"	9,5	50-85	60-100	100	100
Nº 4	4,8	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	2,0	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	0,42	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	0,074	5-15	10-25	6-20	8-25

Tabela 2.02 – Valores admissíveis de IP para os solos a serem usados como base em tratamento antipó em função do Índice Pluviométrico da região (DERBA-ES-P-23/00).

Índice Pluviométrico (mm)	IP (máximo)
Até 800	12%
800 até 1500	9%
Acima de 1500	6%

Segundo a experiência baiana, (COSTA 1986) os agregados utilizados na capa selante devem ser aplicados em uma taxa de 7,0 a 10,0 kg/m² e podem compor-se de areias ou pó de pedra, sendo a areia mais recomendável. Esta areia poderá ser de rio ou jazida natural, mas deverá ser lavada, peneirada na malha de 4,8 mm para eliminar os seixos graúdos e/ou grumos argilosos e possuir boa adesividade com a emulsão asfáltica utilizada na camada selante. As granulometrias recomendadas podem ser verificadas na

tabela 2.03, onde são mostradas as faixas experimentadas por COSTA (1986) e por VOGT (1982), organizado por CASTRO (2003).

Tabela 2.03 – Faixas granulométricas dos agregados constituintes da capa selante do tratamento antipó (CASTRO, 2003).

PENEIRAS		% PASSANDO	
ASTM	mm	SPT / DER-BA	J.C. VOGT
3/8"	9,5	100	-
Nº 4	4,8	95-100	100
Nº 10	2,0	65-90	90-100
Nº 40	0,40	0-45	0-65
Nº 80	0,20	0-25	0-45
Nº 200	0,074	0-5	0-2

Quanto ao ligante asfáltico, é recomendado que na imprimação das bases argilosas se utilize asfalto diluído CM-30 e em bases arenosas se utilize asfalto diluído CM-70. Na camada selante, a experiência local aponta a emulsão asfáltica RM-1C como aquela mais adequada de segurar o agregado junto da capa selante. Estas recomendações quanto ao ligante asfáltico são basicamente funções da granulometria do material granular, visando proporcionar um melhor preenchimento dos vazios entre os grãos. Verifica-se que o bom aproveitamento da técnica depende da viscosidade de aplicação do ligante asfáltico, que deve ser controlada no canteiro de obras segundo a tabela 2.04.

2.1.3 – Experiência da SIX

A partir de 1995 a Petrobras desenvolveu uma nova emulsão à base de óleo de xisto denominada ANTIPÓ. A técnica denominada tratamento antipó foi aplicada em inúmeros trechos no PR (S. J. dos Pinhais(500.000m²), Ponta Grossa, Guarapuava, Campo Largo, São Mateus do Sul), ES (Cariacica), RS (Porto Alegre – RS040 Viamão), MS (Miranda, Sidrolândia), MT (Cuiabá), RJ (Vassouras), SP, GO, DF e SC.

CASTRO (2003) verificou elementos e condições necessárias para o bom desempenho da mesma, além de desenvolver uma tentativa de correlação do ensaio de imprimação de laboratório com o campo.

O folhelho pirobetuminoso, denominado de óleo de xisto, possui cerca de 9% da sua massa de óleo. No Brasil, a extração é realizada em São Mateus do Sul e é feita em duas camadas geológicas de cerca de 6 m de espessura. A capacidade instalada da SIX (Superintendência de Industrialização de Xisto) permite uma produção de 7800 t de óleo/dia, 120 t de gás combustível, 45 t de GLP (gás liquefeito de petróleo) e 75 t de S₂ (enxofre).

A emulsão antipó é constituída de 40% de fase aquosa e 60% de fase oleosa, sendo o insumo antipó (fração oriunda do óleo de xisto) responsável por 25% da composição da fase oleosa.

CASTRO (2003) verificou que a melhor técnica do tratamento antipó com emulsão de óleo de xisto, segundo a experiência iniciada em 1995, é a aplicação de duas camadas de emulsão à taxa de 1,5 l/m² a 1,0 l/m² (caso de solos finos), seguidas de aplicação de pó-de-pedra à taxa de 6,0 kg/m² na primeira e de 8,0 a 10,0 kg/m² na segunda camada. O tempo para liberação ao tráfego pode ser em torno de 4 horas; o próprio tráfego se encarrega de retirar o excesso de agregado da superfície do revestimento.

Tabela 2.04 – Frequência de controle do ligante a ser usado no tratamento antipó (COSTA, 1986).

ENSAIOS	FREQUÊNCIA	
	ASFALTO DILUIDO	EMULSÃO
Viscosidade Saybolt- Furol	1 x carregamento	1 x carregamento
Ponto de Fulgor	1 x carregamento	-----
Relação Viscosidade x Temperatura	1x 6 carregamento	1 x 6 carregamento
Destilação	1 x 6 carregamento	-----
Resíduo por evaporação	-----	1 x carregamento
Peneiramento	-----	1 x carregamento
Carga da partícula	-----	1 x carregamento
Sedimentação	-----	1 x 6 carregamento
Taxa de distribuição	1 x 1000m ²	1 x 1000m ²

CASTRO (2003) constatou que a emulsão à base de óleo de xisto penetra mais no solo do que a convencional RM-1C (de ruptura média, catiônica, viscosidade a 50 °C de 20 a 200 poise) usada em pintura de ligação, pré-misturado a frio e areia asfáltica a frio.

A SIX já realizou mais de 1000 km da técnica tratamento antipó (de 6 milhões de m²), sendo que cerca de 70% está localizado no estado do Paraná, onde está a usina de óleo de xisto.

Apresenta-se no quadro 10 do anexo I fotos referentes ao processo de extração e industrialização do óleo de xisto.

2.2 – Métodos de dimensionamento

Apesar do antipó ser uma técnica construtiva utilizada a mais de 40 anos, não existe um método de dimensionamento e de dosagem próprios e específicos da mesma que compatibilize taxas e espessuras mínimas com tráfego e condições do subleito local. A técnica tratamento antipó pode ser enquadrada como uma solução para pavimentos de baixo custo. Portanto, achou-se necessário retratar os principais métodos de dimensionamento de pavimentos de baixo custo utilizados no Brasil e alguns do exterior.

Sabe-se que o dimensionamento consiste em compatibilizar duas variáveis independentes principais que são as solicitações, caracterizadas pelo tráfego, e a resistência dos materiais do subleito, com as características dos materiais e as espessuras das camadas que receberão os esforços do tráfego e passarão ao subleito, de maneira que o sistema utilize o potencial máximo de suas características.

A forma de caracterizar e quantificar os elementos do tráfego (cargas máximas admissíveis e previsões de crescimento), da gênese do solo e do clima nos diferentes métodos, é de acordo com as necessidades existentes na região onde o método se aplica. Portanto, não se pode utilizar métodos que consideram elementos que não condizem com a nossa realidade.

Um fato curioso quanto ao problema é o de países como a Inglaterra e a França estudarem a aplicação de métodos de dimensionamento para pavimentos situados em regiões de clima tropical, devido possuírem colônias no continente africano.

Segundo YODER (apud MEDINA E MOTTA, 1997) é consenso que é mais fácil projetar uma via de alto volume de tráfego, em geral de elevado padrão técnico, onde os coeficientes de segurança são maiores, os materiais utilizados são necessariamente de boa qualidade e os projetos são elaborados a partir de dados mais precisos dos elementos considerados, do que vias de baixo volume de tráfego que são caracterizadas pela busca do custo mínimo, utilizando camadas com espessuras esbeltas e materiais locais com qualidade, às vezes, inferiores aos utilizadas em vias de elevado padrão técnico e o projeto geométrico deve tirar partido dos perfis do terreno.

Mostra-se a seguir, os principais métodos de dimensionamento aplicados a pavimentos de baixo custo, e ao final capítulo 6 faz-se uma comparação de alguns destes métodos.

2.2.1 – Método do DNER

O método de dimensionamento de pavimentos do DNER tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO. Ele foi proposto no Brasil pelo Eng. Murillo Lopes de Souza em 1966 e publicado em 1981 com suas últimas modificações.

O tráfego é considerado em função do número equivalente de operações do eixo padrão N , durante um período de projeto determinando. O eixo padrão considerado é do tipo simples de roda dupla com carga de 8,2 toneladas (18000 libras).

O valor de N é determinado multiplicando-se o volume total de tráfego na faixa mais solicitada da via, ao longo do período de projeto, pelo fator de veículo (FV) que transforma o volume de tráfego total em número de aplicações equivalentes ao eixo padrão e pelo fator climático regional (FR), responsável pela correção do efeito do tráfego sobre a estrutura do pavimento em função da precipitação pluviométrica, sendo:

$FV = FE \times FC$ onde:

FE é o fator de eixo, responsável por transformar o número de veículos em número de eixos que é função da composição percentual do tráfego.

FC é o fator de carga, responsável por transformar o número de eixos em número de eixos equivalentes ao eixo padrão e é função da composição percentual do tráfego e do efeito que cada carga por eixo tem no pavimento em relação ao efeito destrutivo do eixo padrão considerado.

Nas primeiras edições do método, o fator climático regional (FR) apresentava seus parâmetros em função da pluviometria anual. No entanto, na última edição (SOUZA, 1981) o autor mudou o enfoque visto que estes parâmetros teriam sentido se o valor do índice de suporte Califórnia (ISC) adotado no dimensionamento fosse correspondente à umidade de equilíbrio, que é a realidade. Porém, no Brasil optou-se em dimensionar para ISC do solo embebido, condição onde o FR pode ser admitido igual a 1.

A resistência das camadas do pavimento é determinada através do ISC com corpos de provas embebidos durante quatro dias e os valores mínimos exigidos para cada camada são mostrados na tabela 2.05. Outro parâmetro que o método julga importante é a expansão do material quando na presença de água durante a embebição de 4 dias dentro de molde, com sobrecarga.

Tabela 2.05 – Valores de ISC e expansão exigidos para as camadas do pavimento pelo método do DNER (DNER, 1996).

Camada	ISC mínimo (%)	Expansão máxima (%)
Base para $N > 5 \times 10^6$	80	0,5
Base para $N \leq 5 \times 10^6$	60	0,5
Sub-base	20	1
Reforço do subleito	> Subleito	2
Subleito	m	2

Para a determinação das espessuras das camadas, o método apresenta um gráfico de espessuras em função do número N e do ISC do subleito. Inicialmente fixa-se a espessura do revestimento em função do tráfego conforme tabela 2.06 e determina-se a espessura equivalente de base mais revestimento, na figura 2.01.

Tabela 2.06 – Espessuras mínimas de revestimento betuminoso adotadas pelo método do DNER (DNER, 1996).

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Após determinadas as espessuras equivalentes H_m , H_n , H_{20} , pelo gráfico da Figura 2.01, e a espessura mínima do revestimento betuminoso R pela tabela 2.06, as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$R K_R + B K_B \geq H_{20}$$

$$R K_R + B K_B + h_{20} K_S \geq H_n$$

$$R K_R + B K_B + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m$$

A tabela 2.07 apresenta as faixas granulométricas exigidas para os materiais para utilização na base do pavimento, sendo as faixas E e F recomendadas para bases quando $N \leq 5 \times 10^6$.

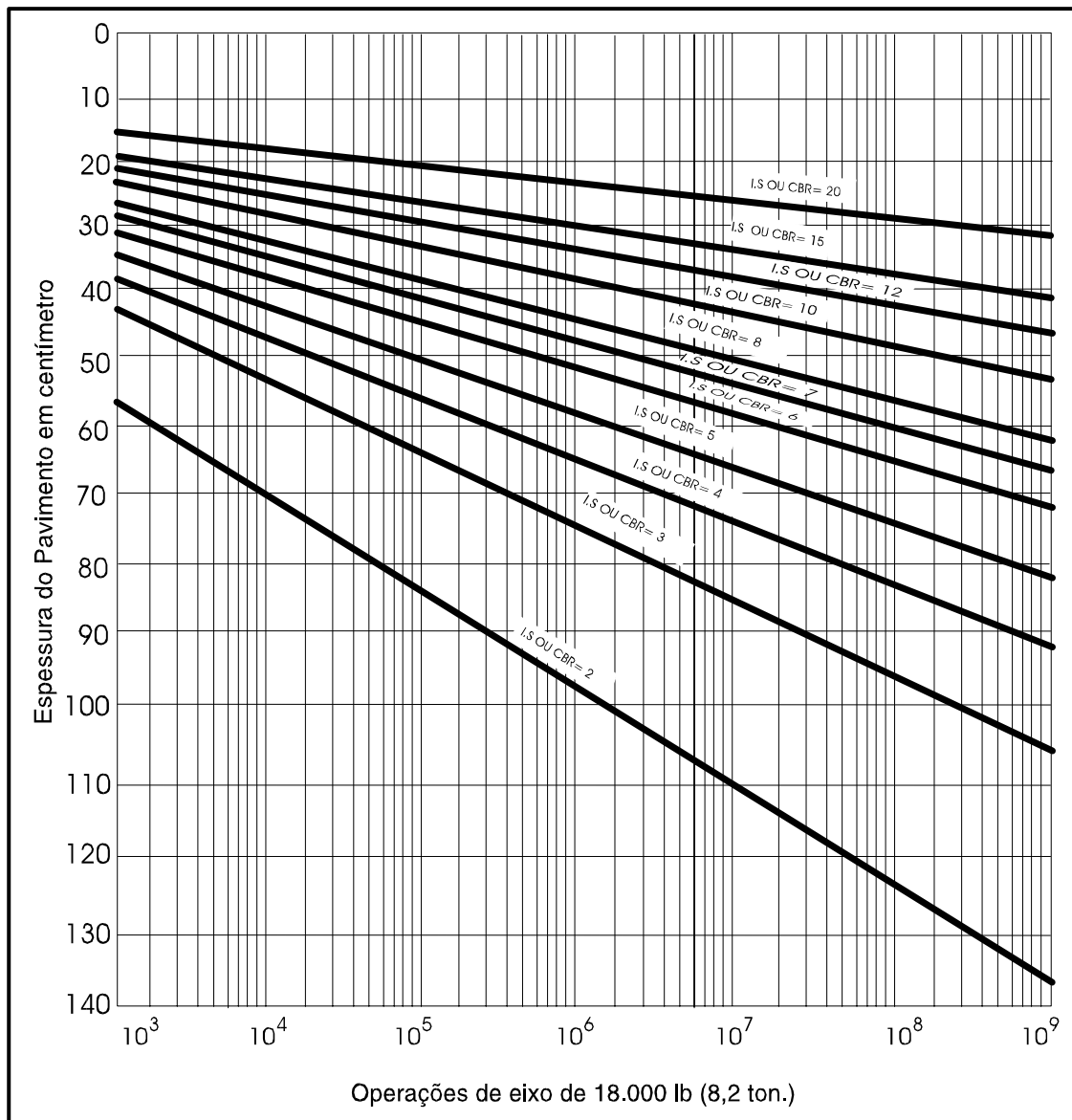


Figura 2.01 – Ábaco de dimensionamento de pavimentos asfálticos (DNER, 1996).

Tabela 2.07 – Faixas granulométricas para materiais de base (DNER, 1996).

TIPOS	I				II	
	A	B	C	D	E	F
PENEIRAS						
	% em peso passando					
2"	100	100	—	—	—	—
1"	—	75-90	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	—	—
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25

A figura 2.02 apresenta um croquis da seção tipo do pavimento de baixo custo (CBR da base ≥ 60) e o significado de alguns símbolos usados nas inequações.

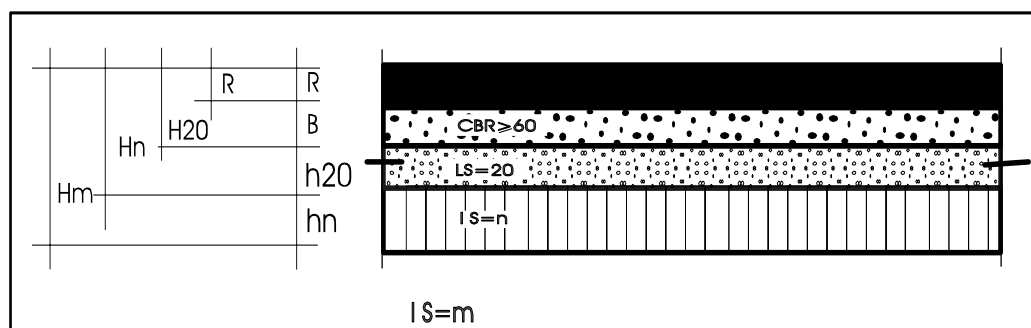


Figura 2.02 – Croquis da seção tipo do pavimento asfáltico para $N < 10^6$ (DNER, 1996).

A tabela 2.08 apresenta os valores de coeficiente de equivalência estrutural utilizados para cada tipo de material.

Tabela 2.08 – Coeficientes de equivalência estrutural dos materiais empregados nos pavimentos asfálticos pelo método DNER (DNER, 1996).

Componentes do pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,0
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo cimento com resist. à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm^2	1,7
Solo cimento com resist. à compressão a 7 dias, entre 45 e 28 kg/cm^2	1,4
Solo cimento com resist. à compressão a 7 dias, entre 28 e 21 kg/cm^2	1,2

2.2.2 – Método da AASHTO para Rodovias de baixo volume de tráfego

Em 1986 foi publicado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) e reeditado em 1993, um guia para dimensionamento com um capítulo específico sobre projeto de rodovias de baixo volume de tráfego.

Semelhante ao método do DNER, o tráfego estimado é transformado em tráfego equivalente (w18), porém utilizando-se outros fatores de carga. Portanto, o tráfego é considerado a partir do volume acumulado de repetições do eixo equivalente de 8,2 toneladas (18.000 libras) no período de projeto (W18), sendo enquadrado em níveis descritos na tabela 2.09.

Tabela 2.09 – Número de repetições do eixo equivalente para diferentes níveis de tráfego usado no método da AASHTO (AASHTO, 1986).

Níveis de tráfego	Número de repetições
Alto	700.000 – 1.000.000
Médio	400.000 – 700.000
Baixo	50.000 – 400.000

O método utiliza fatores de distribuição do tráfego total para a obtenção do tráfego na faixa de maior carregamento. Isto é feito a partir do número de faixas (DL) conforme pode ser visto na tabela 2.10, e do volume direcional (Dd), que varia entre 0,3 e 0,7, sendo usual a utilização deste fator igual a 0,5.

Tabela 2.10 – Porcentagem de tráfego na faixa de projeto em função do número de faixas considerado no método AASHTO (AASHTO, 1986).

Número de faixas por direção	% do tráfego total na faixa projetada
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

O valor do tráfego é determinado pela expressão:

$$W18 = w18 \times Dd \times DL$$

O método permite ainda uma correção do tráfego a partir de um fator de confiabilidade (Fr) que está correlacionado com as condições do subleito, do clima, da estrutura e condição do pavimento. Este fator é determinado a partir de estudos estatísticos relacionados ao nível de confiança desejado. Assim, uma seção de pavimento projetada

permanecerá aceitável durante o período de projeto nas condições de tráfego e climáticas a que está exposta. Em rodovias rurais locais, o nível de confiança varia entre 50 a 80%.

A caracterização do subleito é feita a partir do módulo de resiliência (MR), sendo este ponderado através de combinações de valores verificados em campo, em função das várias combinações sazonais possíveis. Devido a dificuldade de determinação dos valores de módulo de resiliência em rodovias de baixo volume de tráfego, o método apresenta uma sugestão de valores, conforme pode ser visto na tabela 2.11. No entanto, sendo possível a determinação dos valores de módulo de resiliência e dos períodos em que as condições de umidade são mantidas, pode ser estabelecido o valor do módulo de resiliência médio a partir do dano relativo ocasionado no pavimento em cada condição de umidade ao longo do ano.

Tabela 2.11 – Sugestão de valores de módulo de resiliência do subleito para diferentes regiões climáticas norte-americanas (AASHTO, 1986).

Qualidade do subleito										
Região Climática (USA)	Muito ruim		ruim		médio		bom		Muito bom	
	PSI	MPa	PSI	MPa	PSI	MPa	PSI	MPa	PSI	MPa
I	2800	19,3	3700	25,5	5000	34,5	6800	46,9	9500	65,5
II	2700	18,6	3400	23,4	4500	31,0	5500	37,9	7300	50,3
III	2700	18,6	3000	20,7	4000	27,6	4400	30,3	5700	39,3
IV	3200	22,1	4100	28,3	5600	38,6	7900	54,5	11700	80,7
V	3100	21,4	3700	25,5	5000	34,5	6000	41,4	8200	56,5
VI	2800	19,3	3100	21,4	4100	28,3	4500	31,0	5700	39,3

As espessuras das camadas são determinadas a partir da equação:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 + a_3 \times d_3$$

Onde os termos a_1 , a_2 e a_3 são os coeficientes estruturais das camadas de revestimento, base e sub-base, respectivamente. Os termos d_1 , d_2 e d_3 são as espessuras em polegadas das camadas do revestimento, base e sub-base, respectivamente. Os valores dos coeficientes estruturais para os materiais que compõem o pavimento são obtidos em

função do módulo de resiliência, através de equações e correlações com características físicas dos mesmos.

A tabela 2.12 apresenta os valores sugeridos para o Número Estrutural (SN) em função do nível de tráfego, da qualidade do solo do subleito e da região climática norte-americana considerando um nível de confiança de 75%.

Tabela 2.12 – Valores recomendados de número estrutural para níveis de confiança de 75% (AASHTO, 1986).

Qualidade Relativa do Subleito	Nível de Tráfego	Região Climática dos Estados Unidos da América					
		I	II	III	IV	V	VI
Muito Bom	Alto	2,6 – 2,7	2,8 – 2,9	3,0 – 3,2	2,4 – 2,5	2,7 – 2,8	3,0 – 3,2
	Médio	2,3 – 2,5	2,5 – 2,7	2,7 – 3,0	2,1 – 2,3	2,4 – 2,6	2,7 – 3,0
	Baixo	1,6 – 2,1	1,8 – 2,3	2,0 – 2,6	1,5 – 2,0	1,7 – 2,2	2,0 – 2,6
Bom	Alto	2,9 – 3,0	3,0 – 3,2	3,3 – 3,4	2,7 – 2,8	3,0 – 3,1	3,3 – 3,4
	Médio	2,6 – 2,8	2,7 – 3,0	3,0 – 3,2	2,4 – 2,6	2,6 – 2,9	2,9 – 3,2
	Baixo	1,9 – 2,4	2,0 – 2,6	2,2 – 2,8	1,8 – 2,3	2,0 – 2,5	2,2 – 2,8
Médio	Alto	3,2 – 3,3	3,3 – 3,4	3,4 – 3,5	3,0 – 3,2	3,2 – 3,3	3,4 – 3,5
	Médio	2,8 – 3,1	2,9 – 3,2	2,7 – 3,3	2,7 – 3,0	2,8 – 3,1	3,0 – 3,3
	Baixo	2,1 – 2,7	2,2 – 2,8	2,3 – 2,9	2,0 – 2,6	2,1 – 2,7	2,3 – 2,9
Ruim	Alto	3,5 – 3,6	3,6 – 3,7	3,7 – 3,9	3,4 – 3,5	3,5 – 3,6	3,7 – 3,8
	Médio	3,1 – 3,4	3,2 – 3,5	3,4 – 3,6	3,0 – 3,3	3,1 – 3,4	3,3 – 3,6
	Baixo	2,4 – 3,0	2,4 – 3,0	2,5 – 3,2	2,3 – 2,8	2,3 – 2,9	2,5 – 3,2
Muito Ruim	Alto	3,8 – 3,9	3,8 – 4,0	3,8 – 4,0	3,6 – 3,8	3,7 – 3,8	3,8 – 4,0
	Médio	3,4 – 3,7	3,5 – 3,8	3,5 – 3,7	3,3 – 3,6	3,3 – 3,6	3,4 – 3,7
	Baixo	2,6 – 3,2	2,5 – 3,3	2,6 – 3,3	2,5 – 3,1	2,5 – 3,1	2,6 – 3,3

2.2.3 – Método do CEBTP

Com intuito de resolver os problemas de dimensionamento de pavimentos em suas colônias e ex-colônias, o “Centre Expérimental de Recherches et d’Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics – CEBTP”, órgão do Ministério da Cooperação da França, desenvolveu diversos estudos e trabalhos nos países tropicais da África. Do trabalho de acompanhamento de mais de 7.000 km de rodovias com pavimento betuminoso,

principalmente na África tropical e em Madagascar, foi elaborado em 1972 um manual de dimensionamento de pavimentos para países tropicais (CEBTP, 1980).

Assim como se verifica no Brasil, os técnicos do CEBTP constataram a predominante utilização de métodos norte-americanos em regiões tropicais, sendo que estes métodos não consideram as peculiaridades climáticas e geotécnicas locais. Portanto, os técnicos efetuaram diversos estudos e controles de várias estradas, com objetivo de armazenar informações sobre as características e o comportamento dos solos e dos pavimentos de clima tropicais.

Em 1980 foi publicado pelo CEBTP um guia de dimensionamento de pavimentos para os países tropicais, no qual os franceses indicam a utilização de materiais locais a partir de estudos sobre a aplicabilidade dos mesmos nas melhores condições, visando a minimização dos custos dentro de limites de segurança aceitáveis (CEBTP, 1980).

Os técnicos franceses constataram que o tráfego de países em desenvolvimento é um parâmetro de dimensionamento desconhecido, quase sempre, devido às dificuldades em estimar as taxas de crescimento devido às condições econômicas locais modificarem-se muito rapidamente e dificuldades em prever a duração da via por desconhecimento do tráfego por categoria e peso.

Portanto o método apresenta 3 modos de determinação do tráfego em função do grau de precisão das informações disponíveis, conforme pode ser verificado na tabela 2.13.

No 1º caso o tráfego é definido em função do número de veículos por dia. São definidas 5 classes com seus respectivos volumes médios diários, admitindo-se uma porcentagem média de veículos pesados de 30% do tráfego total e um duração da via de 15 anos.

No 2º caso o tráfego é definido em função do número acumulado de cargas pesadas, estimando-se o número de veículos de peso maior que 3 toneladas. Admite-se também a vida útil da via de 15 anos e uma porcentagem média de veículos pesados de 30%.

No 3º caso o tráfego é definido em função do número de passagens do eixo padrão de 8,2 toneladas. Os eixos tandem são considerados como conjunto de eixos simples.

Tabela 2.13 – Classes de tráfego para cada modo de determinação do tráfego do método CEBTP (1980).

Classe	Valores limites		
	1º Caso (VDM)	2º Caso (P > 3 ton)	3º Caso - Eixo 8,2 ton
T 1	< 300	< 5 x 10 ⁵	< 3 x 10 ⁶
T 2	300 a 1000	5 x 10 ⁵ a 1,5 x 10 ⁶	3 x 10 ⁶ a 10 ⁷
T 3	1000 a 3000	1,5 x 10 ⁶ a 4 x 10 ⁶	10 ⁷ a 2,5 x 10 ⁷
T 4	3000 a 6000	4 x 10 ⁶ a 10 ⁷	2,5 x 10 ⁷ a 6 x 10 ⁷
T 5	6000 a 12000	10 ⁷ a 2 x 10 ⁷	6 x 10 ⁷ a 10 ⁸

No método do CEBTP a qualidade do subleito é de fundamental importância e considera que o CBR ainda é o melhor meio de diferenciar os solos em função de sua resistência. O método admite que o CBR adotado nos 30 cm superiores dos subleitos de regiões climáticas tropicais são favoráveis, devido a ausência de fenômenos como gelo-degelo.

A determinação do CBR é feita nas condições de umidade e densidade mais desfavoráveis a que for submetido o subleito. Nos países tropicais africanos distinguem-se três grandes unidades climáticas e três grandes tipos de solo, a saber:

- Zona 1 – Caracterizada pelo clima desértico, com pluviometria muito baixa (<300 mm/ano) e os solos raramente são saturados.
- Zona 2 – Caracterizada pelo clima tropical com estação seca bem definida (savanas) onde o teor de umidade natural excede a umidade ótima de compactação do proctor modificado na estação úmida.
- Zona 3 – Caracterizada pelo clima equatorial com pluviometria muito alta (>1200 mm/ano) e os solos mantêm-se uma grande parte do ano com teor de umidade muito superior a umidade ótima de compactação do proctor modificado.

Todavia, em função das características da topografia e a eficácia da drenagem, as condições de execução do ensaio CBR podem ser diferentes para as camadas dispostas nas zonas climáticas acima, reduzindo-se o tempo de imersão e a energia de compactação.

Os solos do subleito são divididos em 5 classes em função do CBR, conforme a tabela 2.14. A condição de medição apresentada na tabela 2.14 é após imersão de 4 dias.

Tabela 2.14 – Classes de subleito propostas pelo CEBTP (1980).

	Classes de subleito				
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5
CBR (%)	< 5	5 a 10	10 a 15	15 a 30	> 30

Os materiais que constituem cada camada são especificados pelo método, no intuito de garantir a qualidade da construção. As características dos materiais de cada camada não serão aqui apresentados e podem ser vistos em CEBTP (1980).

A determinação das espessuras é feita em tabelas apresentadas em função dos materiais locais e do tráfego. As estruturas previstas foram dimensionadas considerando a tensão de compressão admissível no subleito e a tensão de tração no revestimento. Um exemplo destas tabelas que funcionam como um catálogo de estruturas, é apresentado na tabela 2.15.

O revestimento para T 1 será tratamento superficial duplo, 3 cm de pré misturado à frio denso ou 3 cm de areia asfalto. O revestimento para T 2 será tratamento superficial triplo, 4 cm de pré misturado denso ou 4 cm de areia asfalto.

Tabela 2.15 – Exemplo de espessuras das camadas propostas pelo CEBTP (1980).

Tráfego T 1 - T 2	Classes de subleito									
	S 1		S 2		S 3		S 4		S 5	
	T 1	T 2	T 1	T 2	T 1	T 2	T 1	T 2	T 1	T 2
Base (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25
Sub-base (cm)	45	45	35	35	25	30	15	20	0	0

O método recomenda o dimensionamento das camadas para um período de 15 anos sem a previsão de reforços. No entanto, caso seja necessário efetuar uma pavimentação em etapas, recomenda-se a previsão do recapeamento, conforme a tabela 2.16.

Tabela 2.16. Intervalos de tempo de recapeamento sugeridos por CEBTP (1980).

	Classes de tráfego				
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
Tempo (anos)	8	7	6	5	2

O método do CEBTP para dimensionamento de pavimentos em países tropicais parece bastante pragmático e de fácil aplicação e entendimento. O método foi elaborado a partir de extensos levantamentos efetuados em colônias francesas de clima tropical e apresenta ordem de grandeza de espessuras das camadas em função do tráfego e do solo do subleito superiores, quando comparadas às espessuras usualmente utilizadas para pavimentos brasileiros de baixo volume de tráfego no Brasil.

2.2.4 – Método de Morin e Todor (1975)

Este método foi elaborado pela empresa Lyon Associates, Inc em 1975, tendo como base um estudo dos solos tropicais. A pesquisa foi patrocinada pela “United States Agency for International Development – USAID” e teve participações de vários órgãos rodoviários de países de clima tropical, inclusive o DNER.

A tecnologia desenvolvida baseia-se nas relações entre deflexão e resistência estrutural de cada camada componente do pavimento.

Da mesma forma que em outros métodos, o tráfego é determinado a partir do número de aplicações do eixo padrão de 8,2 toneladas. A pesquisa daquela época apresentava para as condições brasileiras uma forma simplificada de determinar o número de repetições diárias de carga por eixo padrão, em um sentido, em função do volume médio diário global dos dois sentidos e da percentagem de caminhões, conforme apresentado na figura 2.03 (DNER, 1979).

O subleito é referenciado à camada de material natural entre 50cm e 90cm, admitindo-se CBR mínimo de 2% e uma umidade recomendada para avaliação do CBR em função da precipitação anual conforme tabela 2.17.

Tabela 2.17 – Umidades recomendadas para avaliação dos valores de CBR de projeto pelo método Morin e Todor (DNER, 1979).

Camada Estrutural	Precipitação Anual		
	< 800 mm	800mm à 1500mm	> 1500mm
Base	H_{ot}	$H_{ot} - 1,25 \times H_{ot}$	4 dias de embebição
Sub-base	H_{ot}	$H_{ot} - 1,5 \times H_{ot}$	4 dias de embebição
Subleito	0,4 – 0,6 LP	0,7 – 1,2 LP	0,9 – 1,5 LP

Condições: Nível de água a pelo menos 1m abaixo da superfície do pavimento e boa drenagem superficial

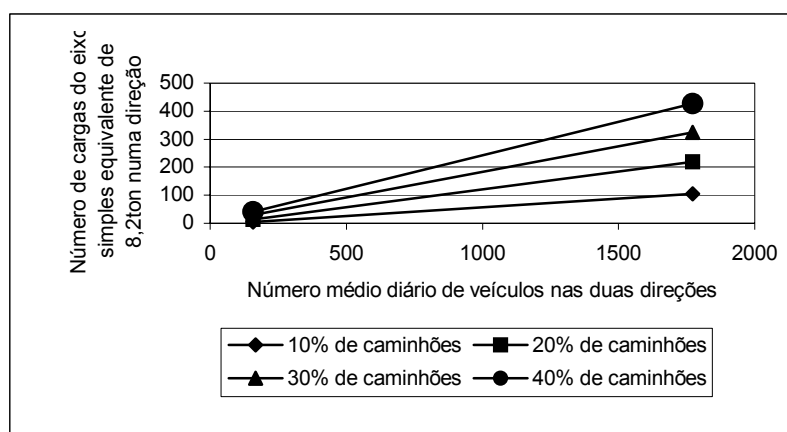


Figura 2.03 – Relação Geral entre Número Diário Total de Veículos e Número de Aplicações do Eixo-Padrão Equivalente de 8,2 toneladas, com base na distribuição de veículos e de cargas obtidas no Brasil em 1970 (DNER, 1979).

Para cada camada são recomendados valores limites para os coeficientes estruturais de projeto, mostrados na tabela 2.18.

Como camada de revestimento, os autores recomendam a utilização de tratamento superficial duplo ou triplo, areia asfalto e concreto asfáltico, com características similares àquelas especificadas pelo DNER à época. Ainda, o método considera que o revestimento em tratamento superficial não confere qualquer resistência ao pavimento.

Tabela 2.18 – Especificações de coeficientes estruturais para serem empregados nas diferentes camadas do pavimento segundo Morin e Todor (DNER, 1979).

Camada	Material	Coefficiente de projeto
Base	Pedra britada – graduação aberta	1,037
	Pedra britada bem graduada	1,394
	Cascalho concrecionado CBRproj > 100	1,394
	Cascalho concrecionado CBRproj > 90	1,232
	Cascalho concrecionado CBRproj > 85	1,167
	Cascalho concrecionado CBRproj > 80	1,102
	Cascalho concrecionado CBRproj > 75	1,037
	Cascalho concrecionado CBRproj > 70	0,940
	Cascalho concrecionado CBRproj > 60	0,552
	Cascalho concrecionado CBRproj > 50	0,383
Sub-base	CBR de projeto > 40	0,576
	CBR de projeto > 35	0,290
	CBR de projeto > 30	0,205
	CBR de projeto > 25	0,075
Subleito	CBR de projeto > 20	0,481
	CBR de projeto > 15	0,357
	CBR de projeto > 10	0,212
	CBR de projeto > 9	0,183
	CBR de projeto > 8	0,133
	CBR de projeto > 7	0,084
	CBR de projeto > 6	0,053
	CBR de projeto > 5	0,033
	CBR de projeto > 4	0,020
	CBR de projeto > 3	0,015
CBR de projeto > 2	0,010	

A determinação das espessuras é feita a partir do CBR do subleito, do tráfego e das características das camadas do pavimento. O método define um índice estrutural (IE) de uma seção do pavimento, semelhante ao número estrutural do método da AASHTO, numa estrutura padrão de 90 cm, somando-se os índices estruturais de cada camada:

$$IE = a_1 \times t_1 + a_2 \times t_2 + \dots + a_n \times t_n; \quad e \quad t_1 + t_2 + \dots + t_n = 90 \text{ cm.}$$

Os termos $a_1, a_2 \dots a_n$ são os coeficientes estruturais dos materiais de cada camada e os termos $t_1, t_2 \dots t_n$ as espessuras em centímetros de cada uma das camadas sucessivas até uma espessura padrão de 90 cm.

O método de dimensionamento inicia-se pela determinação do índice estrutural requerido, que é obtido da figura 2.04 em função da tolerância admitida e do tráfego que o pavimento submeter-se-á. Esta tolerância pode ser definida como o quociente entre o desvio padrão pela deflexão média das estradas na vizinhança da que se quer projetar.

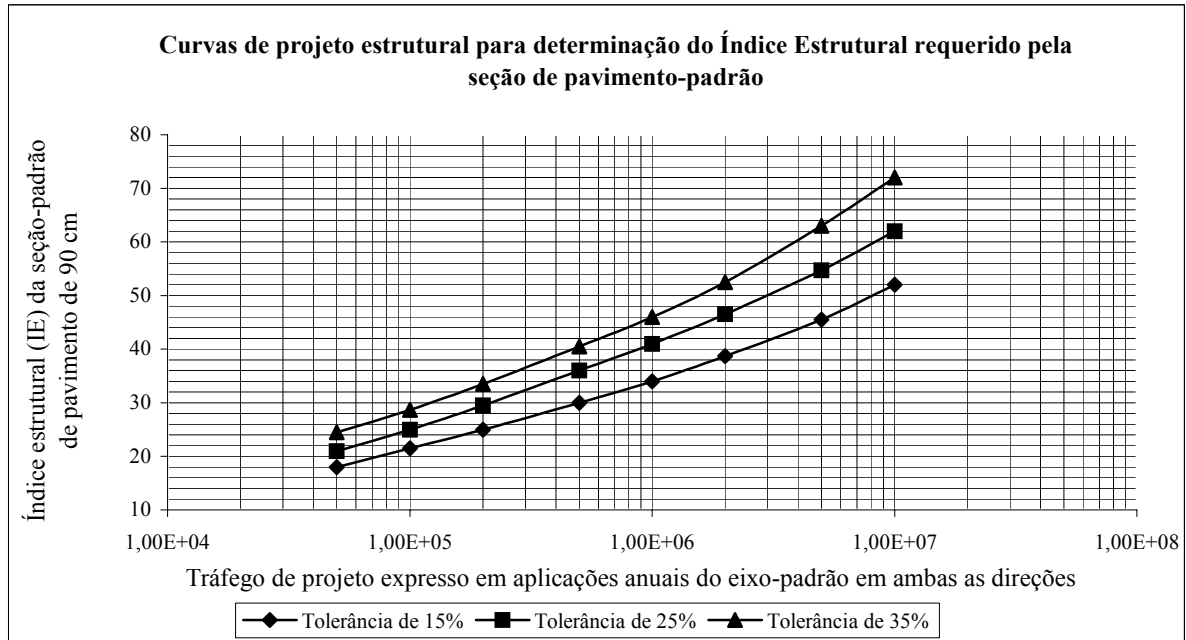


Figura 2.04 - Curvas de projeto estrutural para determinação do Índice Estrutural requerido pela seção de pavimento-padrão segundo o método Morin e Todor (DNER, 1979).

O passo seguinte é a determinação do tipo de revestimento e espessura a ser adotado, segundo a tabela 2.19. Esta escolha é feita em função do CBR da base e do número de aplicações do eixo padrão nas duas direções.

Para a verificação do índice estrutural, o valor do suporte do subleito a ser adotado, na ausência de ensaios, deve ser obtido na figura 2.05.

Tabela 2.19 – Tipo e espessura recomendadas para revestimentos pelo método Morin e Todor (DNER, 1979).

Total de aplic. da carga do eixo padrão equival.	Resistência da camada de base - CBR							
	+ 100	90	85	80	75	70	60	50
1×10^5	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD
2×10^5	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	10
3×10^5	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	15	15
4×10^5	TSD	TSD	TSD	TSD	TSD	10	15	15
5×10^5	TSD	TSD	TSD	TSD	10	10	15	15
6×10^5	TSD	TSD	TSD	10	10	10	15	15
7×10^5	TSD	TSD	5	10	10	10	20	20
8×10^5	TSD	5	5	10	10	10	20	20
9×10^5	TSD	5	5	10	10	10	20	20
1×10^6	TSD	5	5	10	10	10	20	20
2×10^6	5	5	5	10	10	10	20	20
3×10^6	5	5	5	15	15	15	20	20
4×10^6	5	5	5	15	15	15	20	20
5×10^6	10	10	10	15	15	15	20	20
6×10^6	10	10	10	15	15	15	20	20
7×10^6	10	10	10	15	15	15	20	20
8×10^6	10	10	10	15	15	15	20	20
9×10^6	10	10	10	15	15	15	20	20
1×10^7	10	10	10	20	20	20	25	25

Notas: TSD = tratamento superficial betuminoso duplo.
Os números indicam a espessura do concreto asfáltico, em cm.

2.2.5 – Método de Alvarez Neto (1997)

Em sua tese de doutorado, ALVAREZ NETO (1997) propõe um método de dimensionamento de estruturas de pavimentos flexíveis para baixo volume de tráfego. O método consiste em simplificações e adaptações do método da AASHTO, publicado em 1986 e reeditado em 1993, para as condições dos solos do Estado de São Paulo.

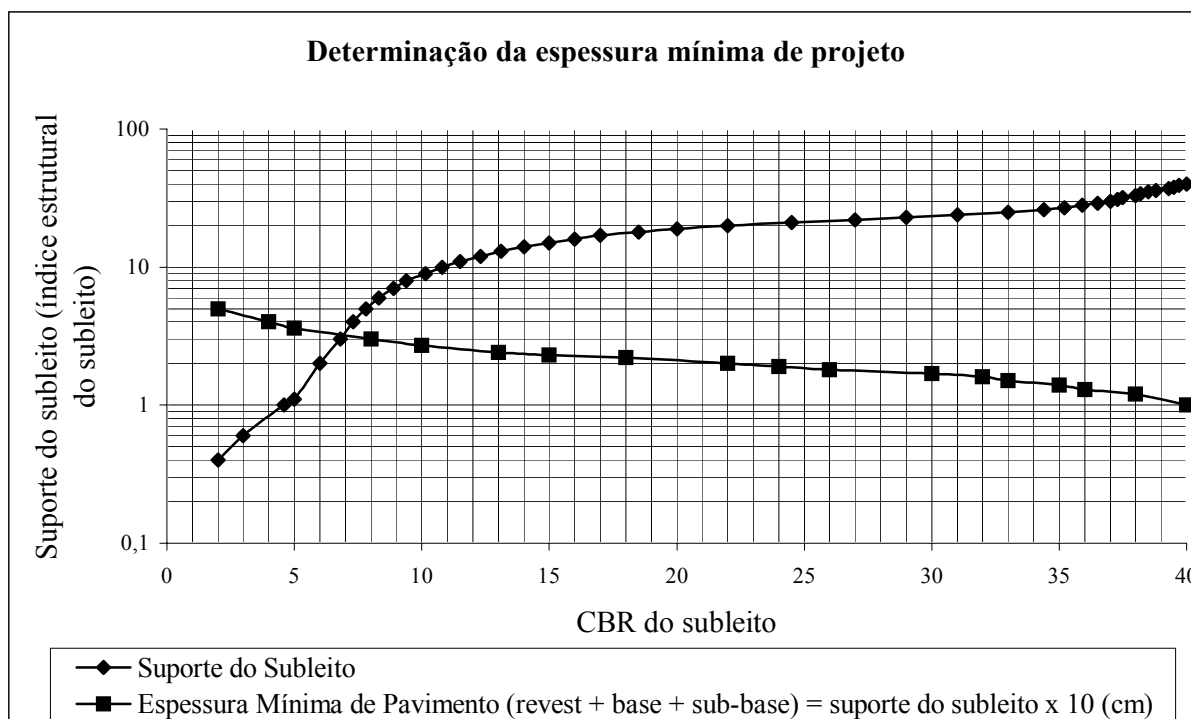


Figura 2.05 – Determinação da espessura mínima de projeto no método Morin e Todor (DNER, 1979).

O método de dimensionamento é composto pela caracterização do solo a partir da metodologia MCT e a utilização do módulo de resiliência. Os coeficientes estruturais são determinados a partir do módulo de resiliência das camadas utilizadas, os quais podem sofrer variações para um mesmo material conforme as condições tecnológicas de utilização, a espessura da camada e a função exercida pelo material no sistema de camadas que constitui o pavimento (ALVAREZ NETO, 1997).

O método é regido pela Mecânica dos Pavimentos onde o pavimento é um sistema constituído de uma ou mais camadas e o dimensionamento da estrutura consiste na escolha dos materiais das diversas camadas e suas espessuras, além dos parâmetros tecnológicos de projeto e desempenho do pavimento.

Alvarez elaborou o método utilizando os resultados de 1787 medidas em campo de bacias de deflexão de estruturas de pavimento, em conjunto com estudos geotécnicos dos solos utilizados nestas estruturas e o levantamento histórico (ALVAREZ NETO, 1997).

A determinação do tráfego é feita segundo a quantidade e as características dos veículos (veículos leves e veículos comerciais) considerando os dois sentidos da via, conforme pode ser verificado na tabela 2.20.

Tabela 2.20 – Escolha do número “N” a partir do tráfego em vias de baixo volume de tráfego (ALVAREZ NETO, 1997).

Tipo de	Estimativa do nº de veículos comerciais	Período de Projeto (anos)	Repetições de Eixos Padrão
Muito Leve	até 10	10	1×10^4
Leve	de 10 a 20	10	5×10^4
Médio	de 20 a 50	10	10^5
Médio	de 50 a 200	10	5×10^5
Pesado	de 200 a 400	10	10^6

A caracterização do subleito ou da melhoria do subleito é obtida segundo a classificação MCT do solo e a utilização de uma “tabela de aptidão” para adoção do módulo de resiliência da fundação do pavimento ou a determinação do mesmo através da bacia de deflexão de pavimentos, medida do tipo não-destrutivo *in situ* (DNER-PRO 273/96) ou realizar ensaio de módulo de resiliência em laboratório (DNER-ME131/94). A tabela de aptidão é apresentada na tabela 2.21.

Tabela 2.21 – Tabela de aptidão dos módulos de resiliência e dos coeficientes estruturais propostos por ALVAREZ NETO (1997).

Solo		Módulo de Resiliência (MPa) e Coeficiente Estrutural		
Classificação MCT		Base (100% PI)		Subleito (100% PN)
Grupo	Tipo	MR _{BASE}	K _{BASE}	MR _{SUBLEITO}
LG'	---	130	0,85	100 – 180
LG'	I	130	0,85	130 – 140
LA'	I	180 – 330	0,95 – 1,16	130 – 320
LA'	II	270 – 330	1,08 – 1,16	140 – 200
LA'	III	190 – 330	0,96 – 1,16	---
LA	IV	280	1,10	---

Com os valores do módulo de resiliência médio da fundação do pavimento e do tráfego, obtém-se a espessura efetiva do pavimento a partir do ábaco apresentado na figura 2.06 ou pela tabela 2.22.

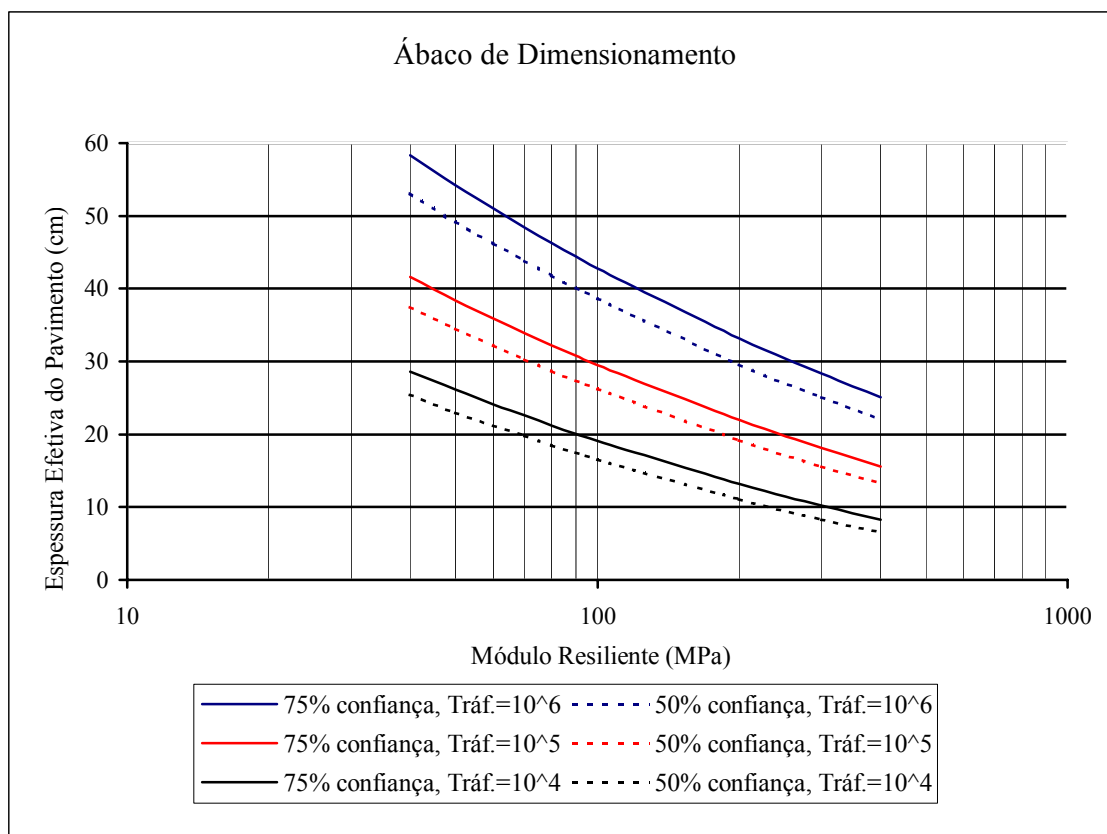


Figura 2.06 – Ábaco de dimensionamento para níveis de confiança de 50% e 75% proposto por ALVAREZ NETO (1997).

A seleção dos materiais e a definição daqueles que serão utilizados na camada de base e de revestimento dependem do conhecimento dos materiais disponíveis, das práticas e condições locais, e dos preços dos materiais e serviços.

Contudo, a escolha do material da base deve estar correlacionada à definição do módulo de resiliência deste material. O método sugere adotar módulos de solo para base conforme a tabela de aptidão em função da classificação MCT. No entanto, como já foi comentado, o método adverte que o módulo de resiliência varia em função do tipo de material, da condição de compactação, da espessura da camada, do subleito e da estrutura projetada (ALVAREZ NETO, 1997).

Convém, na falta de ensaios, adotar os coeficientes estruturais das camadas betuminosas e granulares conforme apresentado na tabela 2.23. Indica-se a utilização da tabela de aptidão 2.21 para os coeficientes estruturais e módulos de resiliência para as bases de solos lateríticos conforme a classificação MCT.

Tabela 2.22 – Tabela de dimensionamento da Espessura Efetiva do pavimento em função do módulo de resiliência do subleito e do tráfego para 50% e 75% de confiança proposto por ALVAREZ NETO (1997).

Tabela de Dimensionamento – Espessura efetiva em cm						
MR _{SUBLEITO} MPa	Nível de confiança de 50%			Nível de confiança de 75%		
	N = 10 ⁴	N = 10 ⁵	N = 10 ⁶	N = 10 ⁴	N = 10 ⁵	N = 10 ⁶
40	25,4	37,5	53,1	28,6	41,6	58,3
50	23,0	34,5	49,2	26,1	38,4	54,2
60	21,2	32,2	46,2	24,1	35,9	51,0
70	19,8	30,3	43,8	22,6	33,9	48,4
80	18,5	28,7	41,8	21,2	32,2	46,3
90	17,5	27,4	40,1	20,1	30,8	44,4
100	16,5	26,2	38,6	19,1	29,5	42,8
110	15,7	25,2	37,3	18,2	28,4	41,4
120	15,0	24,3	36,1	17,5	27,4	40,1
130	14,4	23,4	35,0	16,8	26,5	39,0
140	13,8	22,7	34,1	16,1	25,7	37,9
150	13,2	22,0	33,2	15,5	24,9	37,0
160	12,7	21,3	32,4	15,0	24,3	36,1
170	12,3	20,8	31,6	14,5	23,6	35,3
180	11,8	20,2	30,9	14,1	23,0	34,5
190	11,4	19,7	30,2	13,6	22,5	33,8
200	11,1	19,2	29,6	13,2	22,0	33,2
250	9,5	17,2	27,1	11,5	19,8	30,4
300	8,3	15,6	25,1	10,2	18,1	28,3
350	7,3	14,4	23,4	9,2	16,8	26,5
400	6,5	13,3	22,1	8,3	15,6	25,1

Em pavimentos de baixo custo, o revestimento possui as funções de revestimento e proteção da base. Após definir a espessura mínima do revestimento, o cálculo da espessura real da base é determinado pela inequação abaixo:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq P$$

Sendo:

R = espessura do revestimento;

K_R = coeficiente estrutural do revestimento;

B = espessura da base;

K_B = coeficiente estrutural da base;

P = espessura total do pavimento.

Tabela 2.23 – Coeficientes Estruturais das camadas betuminosas e granulares sugeridos por ALVAREZ NETO (1997).

Camada de rolamento	Coeficiente Estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso.	2,00
Base ou revestimento de concreto magro.	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,80
Base ou revestimento betuminoso por penetração.	1,20
Paralelepípedos.	1,00
Camada de isolamento ou bloqueio.	1,00
Base de brita graduada, macadame hidráulico e estabilização granulométrica	1,00
Sub-bases granulares ou estabilizadas com aditivos.	variável

Na prática, considera-se que as bases de solos lateríticos podem possuir espessuras variando de 12 a 20 cm. O revestimento em concreto betuminoso usinado a quente e o pré-misturado a quente deve ter espessura maior que 3 cm. O método considera que os tratamentos superficiais e tratamento antipó trabalharão como capa selante e não possuem capacidade estrutural, não sendo considerada a espessura do revestimento nestes casos.

2.2.6 – Método Mecanístico (1991)

Em sua tese de doutorado, MOTTA (1991) apresenta um método de dimensionamento mecanístico que permite uma análise de novos materiais, diferentes estruturas de pavimento e uma análise da confiabilidade do pavimento considerado como um sistema em camadas. Portanto, o método permite a utilização de materiais locais e com espessuras mínimas necessárias para o bom desempenho do pavimento, caracterizando um pavimento de baixo custo.

Apresenta-se na figura 2.07 o fluxograma do método de dimensionamento proposto por MOTTA e os parâmetros considerados em sua análise.

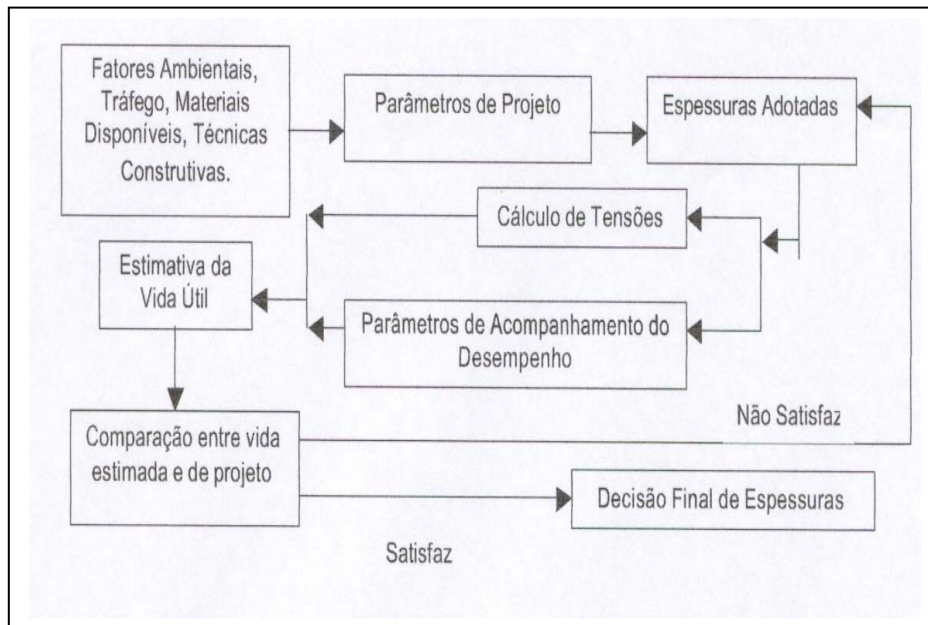


Figura 2.07 – Fluxograma do método de dimensionamento proposto por MOTTA (1991).

Os parâmetros de acompanhamento dos projetos referem-se aos modos possíveis de ruptura. Para os pavimentos asfálticos utilizados em altos volumes de tráfego, as condições de ruptura a serem verificadas são a fadiga do revestimento ou da camada estabilizada quimicamente, se houver, e a limitação do afundamento de trilha de roda e a possibilidade de ruptura por cisalhamento ou deformação permanente excessiva do subleito.

A metodologia apresentada por MOTTA (1991) para a análise da confiabilidade dos parâmetros de projeto foi adaptada ao programa FEPAVE2, o qual será detalhado mais adiante e será utilizado neste trabalho.

Quando se trata de pavimentos de baixo custo, em geral com revestimento muito delgado e construído na pista (TSS, TSD ou Antipó) a questão da fadiga não se aplica, e a possibilidade de ruptura do subleito por acúmulo de deformação permanente vai comandar o dimensionamento. Para impedir esta ruptura é necessário satisfazer o valor

limite para a tensão vertical no subleito. Uma expressão bastante utilizada por projetistas é a sugerida por HEUKELOM e KLOMP (1962) ainda usada no Brasil, mesmo sabendo que ela foi obtida de resultados de correlações de solos de clima temperado, conforme a equação seguinte:

$$\sigma_{\text{vadm}} = \frac{0,006 \times E}{1 + 0,7 \times \log N} \quad \text{onde:}$$

σ_{vadm} é a tensão vertical admissível no subleito em Kgf/cm²;

N é o número de repetições do eixo padrão de 8,2 t;

E é o Módulo Dinâmico do subleito em Kgf/cm²;

MOTTA (1991) sugere as tensões verticais limites no subleito segundo esta equação, conforme apresentado na tabela 2.24.

Tabela 2.24 - Valores sugeridos para a tensão vertical admissível no subleito.

Módulo Resiliente (MPa)	Tensão vertical no subleito (MPa)			
	N = 10 ⁵	N = 10 ⁶	N = 10 ⁷	N = 10 ⁸
25	0,029	0,025	0,023	0,021
50	0,058	0,051	0,045	0,041
75	0,087	0,076	0,068	0,062
100	0,115	0,102	0,091	0,082
200	0,231	0,203	0,182	0,164
300	0,346	0,305	0,273	0,247
500	0,577	0,508	0,455	0,411

Segundo MOTTA (1991), é necessário projetar o pavimento para um nível de confiabilidade e estimar a vida útil do mesmo a partir da otimização da estrutura, considerando a variabilidade dos parâmetros de projeto e dos materiais, além de uma análise econômica dos custos de construção e das técnicas construtivas.

2.2.6.1 – O programa FEPAVE2

No dimensionamento racional de uma estrutura é necessário determinar parâmetros como a tensão vertical no subleito e a deformação específica de tração na camada

inferior ao revestimento, responsáveis pela deformação permanente e de fadiga, respectivamente. Deve-se comparar os resultados com valores admissíveis de projeto e caso as espessuras adotadas não satisfaçam aos critérios deve-se redimensionar as espessuras ou mudar as características mecânicas dos materiais das camadas.

Este processo pode envolver várias análises da estrutura e torna-se um processo repetitivo que pode ser resolvido por uma rotina de computador. O programa computacional FEPAVE2 é capaz de analisar o comportamento elástico não-linear dos materiais das camadas granulares e coesivas dos pavimentos. Ainda, é possível analisar a variação do módulo dos materiais asfálticos ao longo da espessura da camada em função do perfil de temperatura.

O FEPAVE2 é um programa na linguagem Fortran desenvolvido na Universidade de Berkeley em 1965. Ele foi doado a COPPE em 1973 e tem sido utilizado para estudos de estruturas reais e fictícias em várias teses de mestrado e doutorado, contribuindo nos cálculos necessários a Mecânica dos Pavimentos.

Segundo SILVA (1995), o FEPAVE2 calcula os deslocamentos, deformações e tensões a partir da técnica de elementos finitos em estruturas de pavimentos idealizadas como assimétricas. Apresenta-se um esquema da malha e das condições de fronteira do programa FEPAVE2 na figura 2.08.

Neste trabalho, apresentar-se-á estruturas de pavimentos para baixo volume de tráfego, de forma que este será composto somente do subleito natural compactado com no máximo a adição de outra camada. Esta estrutura é próxima da apresentada pela técnica antipó, onde a camada de revestimento não tem função estrutural. Portanto, analisar-se-á somente a tensão vertical do subleito.

A figura 2.09 apresenta os modelos de comportamento $\sigma \times \varepsilon$ dos materiais que estão disponíveis e os códigos ou classes (0 a 7) que identificam os mesmos no programa FEPAVE2.

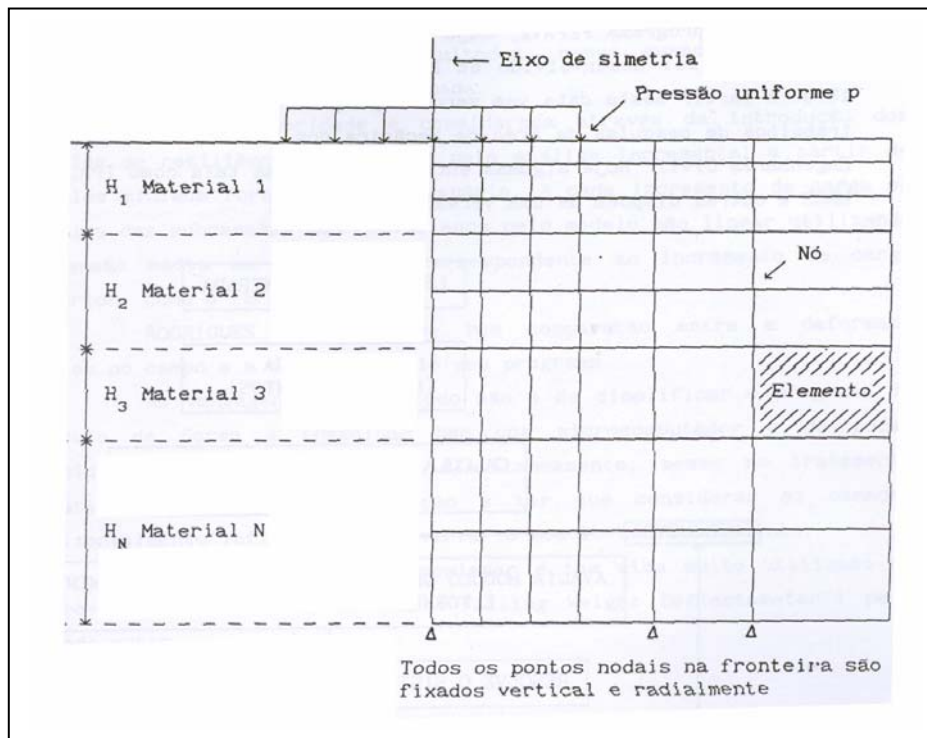


Figura 2.08 - Malha e condições de fronteira para o programa FEPAVE (MOTTA, 1991).

Classe	Modelo	Comportamento
0	$M_R = f(T \text{ } ^\circ\text{C})$	Visco-Elástico
1	$M_R = k_1 \sigma_3^{k_2}$	Granular
2	$M_R = k_2 + k_3 (k_1 - \sigma_d)$, para $\sigma_d < k_1$ $M_R = k_2 + k_4 (\sigma_d - k_1)$, para $\sigma_d > k_1$	Coesivo Bi-Linear
3	$M_R = \text{Constante}$	Elástico Linear
4	$M_R = k_2 + k_3 (k_1 - \sigma_d) \sigma_3^{k_5}$, para $\sigma_d < k_1$ $M_R = k_2 + k_4 (\sigma_d - k_1) \sigma_3^{k_5}$, para $\sigma_d > k_1$	Combinado
5	$M_R = k_1 \theta^{k_2}$	Granular $f(\theta)$
6	$M_R = k_1 \sigma_d^{k_2}$	Coesivo $f(\sigma_d)$
7	$M_R = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$	Composto $f(\sigma_3, \sigma_d)$

Figura 2.09 – Modelos de comportamento $\sigma \times \varepsilon$ dos materiais disponíveis no programa FEPAVE2 (FERREIRA, 2002).

2.2.7 – Considerações finais

O método de dimensionamento tradicional do DNER pode conduzir a espessuras superiores às que vêm sendo utilizadas em pavimentos de baixo custo. Isso ocorre devido o método de dimensionamento ser baseado nas características dos materiais e do clima dos Estados Unidos da América. Mas, uma das questões mais importante ligada a este método quando aplicado a baixo volume de tráfego é o fato das especificações de materiais a serem usados nas camadas serem “severas” quanto aos parâmetros granulométricos e de plasticidade, em relação à prática já consagrada em alguns estados de uso de solo arenoso fino laterítico (SAFL) e até solos mais finos, desde que de comportamento laterítico.

O método da AASHTO considera a resiliência dos materiais, todavia, as espessuras obtidas pelo método são muito grandes quando comparadas com as de pavimentos de baixo custo. O fato ocorre devido os solos americanos serem submetidos a condições mais severas que os solos de clima tropical.

O método CEBTP está baseado em extensos levantamentos em países tropicais africanos e é de fácil aplicação e entendimento. Contudo, estudos elaborados por COSTA (1988) mostraram que o método conduz a espessuras elevadas quando comparado com as estruturas utilizadas em pavimentos de baixo volume de tráfego no Brasil.

O método de Morin e Todor é baseado no ensaio CBR e apresenta espessuras de base e sub-base coerentes com o método do DNER, no entanto, apresenta espessuras de revestimento elevadas. Todavia, aspectos importantes deste método são a lista extensa de coeficientes estruturais e o fato de recomendarem avaliação de CBR em umidades mais condizentes com as umidades de equilíbrio dos pavimentos brasileiros.

O método Alvarez Neto considera a resiliência dos materiais e é apropriado para pavimentos de baixo custo de regiões de clima tropical. As espessuras encontradas são econômicas e o método é de fácil aplicação. Foi desenvolvido a partir de experiências brasileiras, portanto, representam solos e hábitos de carga e tráfego locais.

O método de Alvarez Neto pode ser considerado compatível com o método mecanístico (MOTTA, 1991) em concepção. Um método mecanístico completo envolve o conhecimento dos fatores ambientais, técnicas construtivas, tráfego e materiais utilizados e o cálculo de tensões e deformações em cada caso analisado. Atualmente é fácil a utilização de programas de computadores que analisem o pavimento como uma estrutura em camadas submetida aos fatores mencionados e cada vez mais laboratórios brasileiros adquirem os equipamentos de ensaios dinâmicos que vão permitir obter as características resilientes dos solos em cada obra.

Buscou-se na bibliografia estrangeira encontrar os parâmetros utilizados para escolha dos materiais para utilização como revestimento primário e dimensionamento de pavimento de baixo volume de tráfego. No entanto, não se encontrou técnica de escolha de materiais diferentes das utilizadas no Brasil, que é baseada nos ensaios de limites de Atterberg, granulometria, CBR e módulo de resiliência. Esta afirmação pode ser verificada a partir dos parâmetros utilizados nos métodos de dimensionamento apresentados.

Também não foi encontrada a utilização da técnica tratamento antipó com óleo de xisto em bibliografias estrangeiras, sendo a solução mais próxima da mesma o tratamento superficial simples com ligantes de petróleo.

2.3 – O microrrevestimento asfáltico

Na década de 1970 surgiu na Europa, e posteriormente nos EUA, uma nova proposição de mistura asfáltica para revestimento, que recebeu no Brasil a designação de microrrevestimento asfáltico, que é uma mistura a frio de emulsão modificada por polímeros com agregado mineral feita *in situ* em equipamento próprio e aplicada imediatamente.

O agregado mineral possui granulometria fina e sua função é o enchimento de pequenos defeitos da superfície asfáltica que se deseja rejuvenescer e/ou melhorar as condições de aderência pneu-superfície de rolamento. Portanto, o microrrevestimento asfáltico é

aplicado na manutenção preventiva de pavimentos desgastados em sua superfície e que ainda mantém sua estrutura em estado perfeito de funcionamento.

Todavia, microrrevestimento asfáltico pode ser utilizado abaixo do recapeamento, com a finalidade de reduzir a espessura de reforço a partir da selagem das trincas e impermeabilização do substrato envelhecido (ABEDA, 2001).

O microrrevestimento asfáltico é composto de uma camada delgada, podendo variar de 6 a 15 mm, e não deve ser considerada no projeto como melhoria da capacidade estrutural do pavimento. No entanto, ele é aplicado em vias de tráfego elevado para melhorar a segurança e em vias urbanas devido a facilidade de aplicação e o custo atrativo (ABEDA, 2001).

O dimensionamento é feito a partir de dois ensaios de desgaste normalizados pela ABNT:

- NBR 14746 – Determinação de perda por abrasão úmida – WTAT (Wet Track Abrasion Test, 2001).
- NBR 14841 – Determinação de excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina LWT (Loaded Wheel Test, 2002).

O agregado mineral deve ser oriundo da britagem de rocha de elevada resistência mecânica, de dimensão inferior a 12,5 mm, apresentando uma curva granulométrica bem graduada.

O material de enchimento ou filer tem a função de enchimento e melhoria da coesão da massa asfáltica aplicada, podendo ser constituído de cal hidratada ou cimento Portland.

Segundo ABEDA(2001), o ligante asfáltico escolhido para o serviço de microrrevestimento asfáltico deve ter características específicas em função do tráfego, estrutura da via e do clima. Normalmente, a emulsão utilizada é catiônica e de ruptura

controlada a partir da adição de asfalto modificado por polímeros (elastômero tipo borracha termoplástica – SBS, ou látex de borracha sintética – SBR ou natural).

As principais vantagens da técnica de microrrevestimento asfáltico são (ABEDA, 2001):

- Durabilidade superior à lama asfáltica;
- Apresenta boas condições de drenagem superficial, de aderência e de uniformidade da superfície de rolamento, proporcionando maior segurança e conforto;
- Liberação do tráfego em tempo inferior a uma hora, dependendo das condições do clima e do ligante asfáltico e da superfície específica dos agregados utilizados;
- A mistura é feita em uma usina móvel especificamente preparada para este tipo de aplicação com polímero;
- Correção de defeitos superficiais, selando as trincas e preenchendo as trilhas de roda.

Na norma DNER-ES 389/99 são apresentados parâmetros relevantes para a execução e controle tecnológico da qualidade do microrrevestimento asfáltico.

Os ensaios de desgaste serão usados nesta pesquisa, com algumas adaptações, para a dosagem do tratamento antipó conforme mostrado no capítulo 4.

2.4. – Ensaio de classificação para solos tropicais: MCT e pastilhas

2.4.1 – Conceitos básicos associados

A Pedologia (do grego – pédon: solo; logia: estudo) estuda a formação do solo sem considerar a sua aplicação. Cabe a geotecnia (do grego – geo: terra; tekhe: arte) verificar a aplicação dos solos na engenharia civil, sendo esta aplicação facilitada

quando se utiliza a pedologia como uma ferramenta de apoio para as fases de caracterização e classificação dos mesmos.

Denomina-se solo o material natural superficial da crosta, originado a partir da decomposição das rochas e são caracterizados por possuírem propriedades mineralógicas e estruturais distintas entre si. NOGAMI (1985) definiu solo tropical como aquele formado em regiões de clima tropical quente e úmido e que apresentam comportamentos geotécnicos diferentes dos solos de clima temperado.

Os solos lateríticos apresentam-se no horizonte B de um perfil pedológico bem drenado, sendo a fração argila constituída principalmente de argilominerais do grupo 1:1 (caolinita) e óxidos de ferro e alumínio. No meio geotécnico, esta classe de solo é conhecida como solo maduro. Os solos lateríticos possuem boas qualidades físicas e mecânicas para uso como material de construção.

GODOY (1997) define solo laterítico como aquele que, ao ser devidamente compactado, adquire elevadas resistências e capacidade de suporte. Além disso, quando o mesmo encontra-se na presença de água, perde pouca capacidade de suporte e apresenta baixa permeabilidade e deformabilidade. Outras características importantes dos solos lateríticos são:

- uma macroestrutura homogênea e isotrópica. Os solos arenosos são porosos, isto é, possuem vazios intergranulares. Nos solos argilosos nota-se a ocorrência de aglomeração dos grãos ou surgimento de torrões resistentes à presença de água causados pela cimentação entre os grãos de argila.
- a cor constante e sem ocorrência de manchas ou mosqueamentos em todo horizonte, normalmente vermelha a amarela.
- a presença de reduzido número de minerais primários resistentes à ação do intemperismo na constituição mineralógica. A fração areia é constituída de quartzo, magnetita, concreções ferruginosas ou aluminosas (lateritas). A fração argila é composta de argilominerais de ferro e alumínio.

- classificados pedologicamente como latosol, oxisol, ferralsol, podendo ainda ser da classe dos podzólicos ou hidromórficos, nas quais podem apresentar comportamento geotécnico de solo laterítico mesmo que pedologicamente não tenha ocorrido o processo de laterização.

Os solos saprolíticos apresentam-se nos horizontes B ou C. Possuem as mesmas características estruturais e mineralógicas do material de origem, possibilitando a identificação do mesmo. Normalmente são argilominerais do grupo 2:1 ou 2:2. No meio geotécnico, esta classe de solo é conhecida como solo residual jovem e a qualidade destes solos dependerá do argilomineral predominante em sua estrutura. Outras características importantes dos solos saprolíticos são:

- uma macroestrutura heterogênea herdada da rocha matriz e uma anisotropia acentuada.
- a cor é bem variada (branco, preto, cinza, róseo, roxo, verde, azulado, etc) sendo comum a presença de manchas ou mosqueamento devido às feições herdadas da rocha matriz ou desenvolvidas pelo intemperismo.
- a presença de minerais primários como mica e feldspatos na fração areia. A fração argila é constituída de argilominerais expansivos da família da illita e montmorilonita, além da fração silte composta de minerais muito variados apresentando uma estrutura na forma de “sanfonas”.
- uma constituição mineralógica muito variada quanto ao grau de complexidade em função da rocha de origem e do grau de intemperização.

A metodologia de classificação e escolha de materiais para pavimentação criada por NOGAMI e VILLIBOR (1981), fundamentada na utilização de ensaios mecânicos e hidráulicos de dimensões reduzidas (50mm de diâmetro), busca determinar de forma indireta os parâmetros acima relatados.

2.4.2 – A Metodologia MCT

A metodologia MCT (M – Miniatura, C– Corpos de Prova Compactados e T – solos tropicais) é específica para solos tropicais e tem sua aplicação direcionada para obras rodoviárias. Esta classificação permite determinar o comportamento do solo e não se trata de uma classificação pedogenética.

Na metodologia MCT utiliza-se o ensaio de mini-CBR para determinar a capacidade de suporte e expansão do solo. A metodologia ainda contempla ensaios de contração, infiltrabilidade e permeabilidade. Todavia estes ensaios não foram utilizados nesta pesquisa e não serão detalhados.

Os ensaios utilizados para a classificação MCT de solos são o ensaio de compactação mini-MCV (*Moisture Condition Value*) e o ensaio de perda de massa por imersão, necessários para a obtenção dos parâmetros classificatórios c' (coeficiente angular da curva de deformabilidade mini-MCV na interseção com 2 mm), d' (inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes no ensaio de mini-MCV), e' (equação que correlaciona a perda de massa por imersão e o d') e P_i (perda de massa por imersão). A classificação MCT separa os solos em duas classes de comportamento: lateríticos e não lateríticos. Essas duas classes subdividem-se em 7 grupos: laterítico areia (LA), laterítico arenoso (LA'), laterítico argiloso (LG'), não laterítico areia (NA), não laterítico arenoso (NA'), não laterítico siltoso (NS') e não laterítico argiloso (LG').

Os procedimentos para obter a classificação MCT estão normalizados: Compactação Mini-MCV (DNER-ME258/94) e Perda de Massa por Imersão (DNER-ME256/94). A classificação propriamente dita é feita segundo a norma “Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura” (DNER-CLA259/96), onde esta é obtida a partir do gráfico mostrado na figura 2.10.

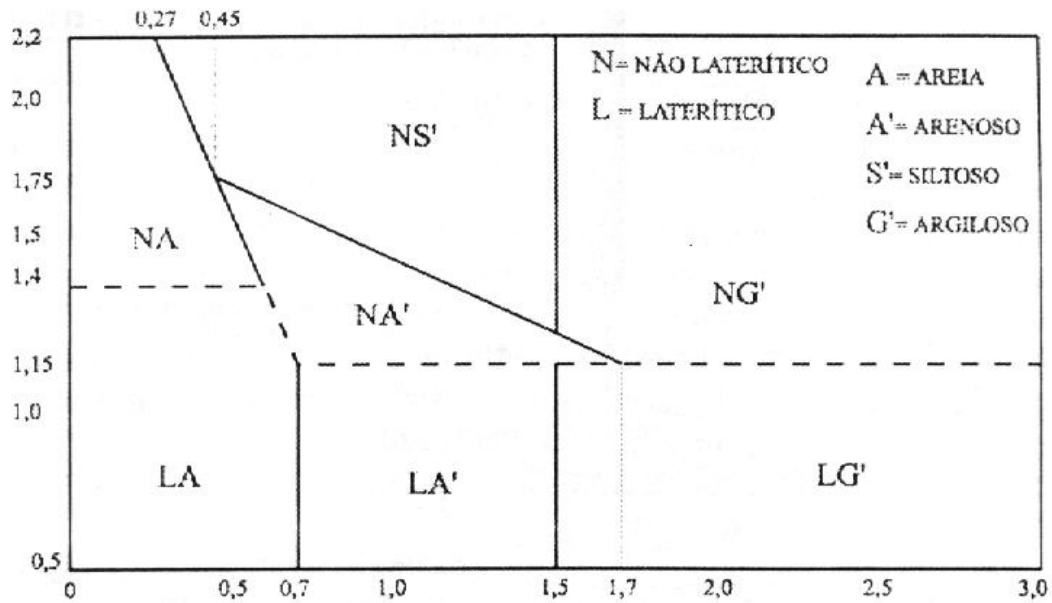


Figura 2.10 - Ábaco de classificação MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1995 e DNER CLA 259/96).

O gráfico possui como eixo das abcissas o coeficiente c' , o qual é obtido através das curvas de deformabilidade e indica a argilosidade do solo. O eixo das ordenadas é denominado de e' e expressa o estágio de laterização em que o solo se encontra, sendo uma relação entre os parâmetros d' e P_i .

2.4.3 – A Classificação MCT-M

Em sua tese de doutorado, VERTAMATTI (1988) propôs modificações no ábaco de classificação MCT a partir de estudos da Classificação Resiliente proposta por Preussler (1983) e da Classificação MCT aplicadas a solos da região amazônica, sugerindo a introdução de outros grupos denominados de transicionais ou intermediários.

Através da superposição e análise das duas classificações comparadas, o autor estabeleceu uma correlação, apresentada na forma de ábaco, descrita na figura 2.11.

Segundo Vertamatti (1988) o ábaco classificatório MCT-M (Miniatura Compactada Tropical Modificada) possui melhor acurácia na previsão de propriedades de engenharia

devido apresentar uma correlação $MCT \times M_R$, permitindo estimar as propriedades resilientes do solo, além da gênese do mesmo. O ábaco é dividido em 3 classes e 11 grupos.

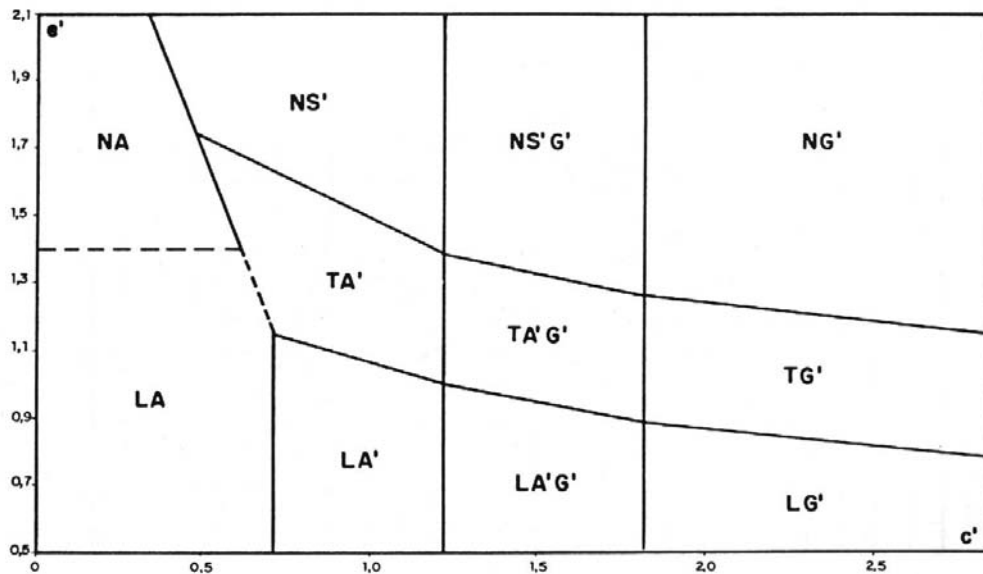


Figura 2.11 - Ábaco de classificação MCT-M, VERTAMATTI (1988).

O Quadro 1 apresentado no anexo I apresenta fotos referentes aos passos do ensaio MCT.

2.4.4 – Ensaio de pastilha

GODOY (2000) apresentou um sistema de classificação de solos a partir da moldagem de pastilhas e esferas. O objetivo principal da criação deste ensaio foi a necessidade de um método expedito de campo que faça a distinção do comportamento geotécnico dos solos tropicais, proporcionando uma hierarquização preliminar das amostras de solo ainda na fase de coleta dos mesmos. Apesar do ensaio não exigir equipamentos sofisticados e de difícil locomoção, o ensaio exige muitos cuidados e treinamento do laboratorista para execução dos passos descritos adiante.

Em sua concepção original, o método expedito foi criado por NOGAMI e COZZOLINO (1985), constituído de pastilhas de 20 mm de diâmetro e 5 mm de altura. Todavia este não contempla o comportamento intermediário entre os solos lateríticos e não-lateríticos (solos transicionais). Além disso, encontram-se dificuldades na utilização

do penetrômetro, com agulha cilíndrica de 1,3 mm de diâmetro e 10 gramas de massa, em solos muito arenosos devido à área ser bastante reduzida e as paredes influírem na resistência quando se faz a leitura de penetração. A partir da primeira versão foram realizadas quatro adaptações no método original: FORTES (1990), FORTES e NOGAMI (1991), NOGAMI e VILLIBOR (1994) e NOGAMI e VILLIBOR (1996).

A classificação preliminar proposta correlaciona a contração das pastilhas com o coeficiente c' e a penetração com o índice e' . Os autores citados concluíram que, de certa forma, a contração e a penetração nos solos sintetizam o seu comportamento quando aplicado em pavimentação. A contração se correlaciona com a compressibilidade dos solos compactados e a penetração com a coesão e resistência do solo quando em presença de água.

No entanto, na presente pesquisa apenas se utilizou a metodologia da pastilha proposta por GODOY (2000) e não serão discutidos os procedimentos adotados para a realização das demais versões.

GODOY (2000) utiliza pastilhas com 35 mm de diâmetro por 10 mm de altura, sujeitas, após reabsorção d'água, à penetração de cones de pesos de 10 e 30 gramas. Os procedimentos do ensaio estão descritos com detalhes em GODOY (2000) e resumidos a seguir:

- Secagem da amostra natural em estufa portátil, com capacidade de 60°C e com sistema de exaustão, por duas horas a fim de eliminar a umidade natural do solo.
- Peneiramento para obtenção da fração passante na peneira de nº 40 (0,425 mm), podendo-se usar almofariz com mão de gral protegida por borracha para o destorroamento. A limitação para aplicação do método das pastilhas é que o solo deve possuir mais de 80% das partículas passante na peneira nº 40.
- A espatulação do solo deve ser feita sobre uma placa de vidro com aproximadamente 60 cm³ de solo passante na peneira nº 40. A água adicionada deve ser destilada e sua quantidade é definida como aquela que permite a penetração de cerca de 5 mm do

penetrômetro cônico de 60° e 60 gramas, na massa de solo homogeneizada e acondicionada dentro do anel de PVC de 7 cm de diâmetro por 1 cm de altura. A espaturação deve ser feita durante 8 minutos em uma umidade que permita sua realização.

- A confecção das pastilhas e esferas é determinada a partir da penetração especificada acima. As pastilhas são moldadas em 2 anéis de aço inox de 35 mm de diâmetro interno e 10 mm de altura, utilizando-se os dedos e um fio de nylon fino para rasamento da superfície da pastilha. Determina-se o peso da pastilha úmida e leva-se para estufa durante 3 horas. São moldadas 2 esferas com o solo em teste, com diâmetro aproximado de 20 mm, e levadas para a estufa junto com as pastilhas.

- Após a secagem, retiram-se as pastilhas e as esferas da estufa e após 10 minutos faz-se a pesagem do conjunto pastilha de solo mais anel e pastilha de solo somente. Determina-se a contração a partir da medida das pastilhas de solo com auxílio de um paquímetro (média de 3 medições feitas a cada 120°).

- A reabsorção da água é feita sobre uma placa de pedra porosa recoberta por papel filtro e deve-se anotar o tempo de ascensão da água na pastilha através da mudança de cor da mesma. Deixa-se a pastilha em repouso por 3 horas, ficando-se atento para não deixar faltar água no recipiente e depois a pastilha é pesada juntamente com papel filtro umedecido.

- Uma das esferas é imersa em um recipiente com cerca de 50 ml de água destilada para avaliação da sua interação com esse meio. O tempo necessário e suficiente para esta interação é de no máximo 2 horas e o produto final pode ser pastas (siltes), partículas (areias), blocos de alguns milímetros ou esferas que não se alteram, conforme a granulometria e os argilominerais constituintes no solo.

- Após 3 horas de reabsorção de água através de pedra porosa, as pastilhas, antes de serem pesadas, são avaliadas segundo a expansão, trincas e penetrações. A expansão é determinada com o paquímetro a partir da medida do diâmetro da pastilha após reabsorção. As trincas são avaliadas de forma visual verificando o grau de trincamento.

Em seguida são feitas as penetrações dos cones de 60° de 10 e 30 gramas, montados em um pedestal próprio, anotando-se os valores.

- A segunda esfera seca é submetida ao ensaio de esmagamento. A resistência ao esmagamento avalia a coesão a seco da esfera de solo a partir da tentativa de quebra da mesma entre os dedos polegar e indicador, e entre os dedos polegar e uma superfície plana dura. O ensaio de esmagamento é subjetivo porque varia de acordo com a força do operador.

- Finalmente, são feitos os cálculos da umidade de moldagem das pastilhas, contração da pastilha, expansão da pastilha, reabsorção de água pela pastilha e do índice de reabsorção de água, conforme mostrado na tabela 2.25. Ainda, são feitas atribuições qualitativas para o estado das esferas e pastilhas segundo a tabela 2.26.

Tabela 2.25 – Cálculo dos parâmetros observados na pastilha no método expedito de classificação de solos.

Parâmetro	Unid	Equação	Elementos
Umidade de moldagem (U)	%	$U = ((Mh - Ms)/Ms) \times 100$	Mh = Massa úmida da pastilha
			Ms = Massa seca da pastilha
Contração (Ctr)	%	$Ctr = ((35 - Dpas)/35) \times 100$	Dpas = Diâmetro da pastilha seca
			35 = Diâmetro interno do anel de 35mm
Expansão (Exp)	%	$Exp = ((Dreab - Dpas)/Dpas) \times 100$	Dreab = Diâm. da past. após absorção
			Dpas = Diâmetro da pastilha seca
Reabsorção de água (Reab)	%	$Reab = ((Mab - Ms)/Ms) \times 100$	Mab = Qtde de água reabsorvida, %
			Ms = Massa seca da pastilha
Índice de reabsorção de água (I-Reab)	%	$I-Reab = (Reab - U) / U$	Reab – Reabsorção de água
			U – Umidade de moldagem

A partir dos procedimentos expostos acima, GODOY (2000) apresenta uma classificação utilizando as características avaliadas para cada classe e grupo de solos tropicais, mostrada na tabela 2.27.

Ao observar a Tabela 2.27, nota-se ausência dos parâmetros referentes às atribuições qualitativas como elementos auxiliares na classificação dos solos. No entanto, GODOY (2000) apresenta comentários pertinentes às atribuições, mostradas a seguir:

Tabela 2.26 – Atribuições qualitativas para o ensaio de pastilhas do método expedito de classificação de solos.

Elemento avaliado	Condição	Atribuição
Esfera imersa em água	Esfera trinca ou não se altera	1
	Blocos de dimensões milimétricas	2
	Partículas identificáveis a olho nu	3
	Pasta	4
Trincas nas pastilhas	Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrência de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes.	1
	Presença de certo trincamento com inchamento.	2
	Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.	3
Resistência ao esmagamento das esferas.	Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador.	1
	Esfera quebra-se entre os dedos polegar e uma superfície plana dura.	2
	Esfera não se quebra.	3

Tabela 2.27 – Classificação dos solos a partir do ensaio das pastilhas, proposta por GODOY (2000).

Classes de solos	Grupos de solos	Características				
		Contração (%)	Inchamento (%)	Penetração cone 10 g (mm)	Penetração cone 30 g (mm)	Índice de reabsorção (%)
LATERÍTICOS	TÍPICOS	> 2	< 1	0	0	negativo
	ARGILOSOS	≥ 6	≤ 10,5	≤ 4	≤ 6	< 0,6
	ARENOSOS	2 – 6				
	AREIAS	≤ 2				
TRANSICIONAIS	ARGILOSOS	≥ 6	5,5 – 13,0	3 – 5	6,5 – 8,0	0,3 – 0,9
	ARENOSOS	2 – 6				
	AREIAS	≤ 2				
NÃO-LATERÍTICOS	ARGILOSOS	≥ 6	> 8	≥ 4	≥ 8	> 0,4
	SILTOSOS	2 – 4	9 – 15	≥ 6	≥ 11	0,4 – 0,7
	ARENOSOS	2 – 6	> 8	≥ 4	≥ 8	> 0,4
	AREIAS	≤ 2	> 5	≥ 4	≥ 8	> 0,4

- O tipo de trincamento realça o comportamento do solo laterítico típico, pois este solo é caracterizado pela presença de blocos resistentes, sem inchamento e ausência de trincas ou ocorrência de poucas trincas.

- O tempo de ascensão da água na pastilha seca em estufa pode variar de 10 segundos para os solos arenosos até 80 minutos para os solos argilosos, sendo que os lateríticos típicos apresentam tempo de ascensão superior a 18 minutos.
- A resistência ao esmagamento da esfera reflete a coesão a seco do solo, mas é de difícil correlação para fins classificatórios.
- A característica de interação de esfera em água apresenta peculiaridades de comportamento para alguns casos típicos de solo. Os solos de comportamento não-lateríticos mostram uma tendência de apresentarem como resultado da interação partículas identificáveis a olho nu devido possuírem estrutura granular floclada. Os solos lateríticos latossólicos apresentam blocos de dimensões milimétricas ou a esfera trinca ou mesmo não se altera.

O Quadro 2 apresentado no anexo I apresenta fotos referentes aos passos realizados durante o ensaio de pastilha para classificação expedita dos solos tropicais.

2.5 – Módulo de resiliência

Devido aos inúmeros tipos de ruptura em rodovias, Porter em 1950 (apud PREUSSLER, 1983) passou a estudar a perda de capacidade de suporte do solo a partir de deslocamentos laterais do subleito quando este absorvia água. No final da década de 1920, Porter verificou que a espessura insuficiente do revestimento e a inexistência de material granular sobre um subleito de baixa capacidade de suporte seriam os principais elementos para a ruptura dos pavimentos nos EUA.

Em 1929 foi criado por Porter o ensaio CBR (Califórnia Bearing Ratio) com a finalidade de determinar a resistência da camada do pavimento quanto ao deslocamento lateral. O ensaio consiste em aplicar uma pressão lenta e crescente em um corpo de prova de material compactado e confinado em um cilindro metálico, através da penetração de um pistão de área circular.

MEDINA e MOTTA (1997) transcrevem o comentário de Ray Millard, de 1979, do Banco Mundial à Segunda Conferência Internacional de Estradas de Baixo Volume: “Tenho visto, muitas vezes, engenheiros que trabalham em regiões áridas da África e em outras regiões críticas do mundo, embeberem solenemente amostras de CBR durante quatro dias e declararem que o valor obtido indica a resistência do solo a ser usada no dimensionamento de seus pavimentos. Este é um exemplo de traslado de experiência de uma região para outra com desperdício de resultados”.

Todavia, o índice de resistência obtido neste ensaio não corresponde necessariamente ao efeito dinâmico do tráfego sobre os materiais da estrutura do pavimento. Constatou-se que solos com equivalentes índices de resistência CBR poderiam proporcionar comportamentos diferentes quando avaliados sob o efeito da ação de cargas repetidas. Deste modo, notou-se que as correlações entre o desempenho do pavimento e o CBR nem sempre eram satisfatórias e, portanto havia a necessidade de criação de um ensaio que pudesse explicar e quantificar o efeito de ruptura por fadiga do pavimento.

Em 1946, Hveem desenvolveu a primeira versão do resiliômetro e no início da década de 50, Seed e Fead construíram o equipamento triaxial dinâmico que viria a servir como modelo para os de nossa época. As cargas repetidas, aplicadas axialmente e com intensidade e frequência variáveis, simulam o efeito das cargas das rodas aplicadas no pavimento (apud CHAVES, 2000).

Hveem, em 1955, relacionou o trincamento progressivo que ocorria nos revestimentos asfálticos com as deformações resilientes das demais camadas, principalmente o subleito. Ele preferiu utilizar o termo resiliente, ao invés de elástica para as deformações, visto que estas são muito maiores que nos sólidos elásticos como o concreto, aço, etc (apud CHAVES, 2000). MEDINA (1997) comenta que o termo resiliência refere-se a energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações; corresponde a energia potencial de deformação.

Em 1977, inicia-se no Brasil, na COPPE a realização de ensaios dinâmicos que permitem quantificar o módulo de resiliência de materiais utilizados em pavimentos,

permitindo abordar a realidade dos pavimentos tropicais e explicar alguns insucessos do comportamento estrutural de pavimentos dimensionados segundo métodos clássicos.

Os primeiros trabalhos brasileiros que mostram resultados experimentais de ensaios triaxiais dinâmicos foram as teses de mestrado de PREUSSLER (1978) sobre solos arenosos e SVENSON (1980) sobre solos argilosos. Desde então, surgiram inúmeras pesquisas e teses sobre as propriedades resilientes dos materiais e análises paramétricas de condicionantes de ensaios tais como umidade de moldagem, massa específica aparente seca, tensão confinante, frequência e duração da tensão de desvio.

O avanço generalizado dos microcomputadores proporcionou a automação do ensaio e conseqüentemente uma redução dos erros laboratoriais e no caso das equações da COPPE esta automação foi feita por VIANNA (2002). Além do mais, o ensaio torna-se cada vez mais utilizado no Brasil e no mundo na busca de elementos para caracterização mecânica dos materiais para uso em projetos rodoviários.

O módulo de resiliência (MR) é a relação entre a tensão desvio aplicada axial ciclicamente (σ_d); em um corpo de prova e a correspondente deformação específica vertical recuperável (ϵ_r), ou seja:

$$MR = \sigma_d / \epsilon_r$$

Buscando uma uniformidade laboratorial, a COPPE elaborou procedimentos para execução de ensaios de carregamento repetido que depois foi normatizado pelo DNER (Método de Ensaio DNER-131/94). O quadro 6 no anexo I, apresenta fotos ilustrando o equipamento triaxial dinâmico de compressão axial utilizado na COPPE e os passos da realização do ensaio.

A deformação total do corpo de prova ensaiado é constituída de uma componente permanente e plástica e uma componente resiliente e elástica. A vida de fadiga dos revestimentos e das camadas cimentadas dos pavimentos é condicionada pela deformabilidade resiliente. Os módulos resilientes dos solos dependem do estado de tensões atuante, exceto quando estes trabalham como materiais elásticos lineares. Os

ensaios triaxiais permitem determinar os módulos de resiliência em função da tensão de confinamento e da tensão de desvio. (MEDINA, 1997).

O comportamento resiliente de solos granulares e solos coesivos são distintos. VERTAMATTI (1988) realça os estudos realizados por PREUSSLER (1978) em suas considerações quanto aos solos arenosos possuem MR diretamente afetado pela tensão confinante σ_3 , e os argilosos pela tensão de desvio σ_d . O MR depende das condições e do método de compactação, sendo pouco afetado por este último aspecto para umidades de moldagem abaixo da ótima; é pouco influenciado por variações de frequência na faixa de 20 a 60 ciclos por minuto e durações de carregamento de 0,86 a 2,86 segundos, quando em condições de umidade em torno da ótima, recomendando-se não desviar a umidade de moldagem acima de 1% da ótima e de preferência ficar pouco abaixo dela. A fase inicial de condicionamento do corpo de prova destina-se a eliminar as deformações permanentes que ocorrem nos primeiros carregamentos e reduzir o efeito da história de tensões no MR. Dentre os materiais granulares, as areias uniformes possuem maior MR relativo, sendo este influenciado, também, pela natureza da fração fina presente (se argilosa o faz crescer e se siltosa o faz diminuir, principalmente sendo micácea); para solos argilosos e siltosos, quanto maior a porcentagem de silte na fração fina, menor a sensibilidade do MR a variações de σ_d .

A partir de 2002, tem sido preferencialmente utilizado o modelo de comportamento σ_x e de solos chamado de modelo composto que foi proposto por Macêdo em 1996, conforme relata Ferreira (2002). O modelo composto é expresso por $MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3}$.

Alguns modelos de comportamento resiliente de solos são apresentados na figura 2.12.

2.6 – Pêndulo Britânico

A determinação da resistência à derrapagem dos revestimentos e a comparação a um valor mínimo de segurança tem trazido melhorias no conforto e segurança do usuário das vias rodoviárias.

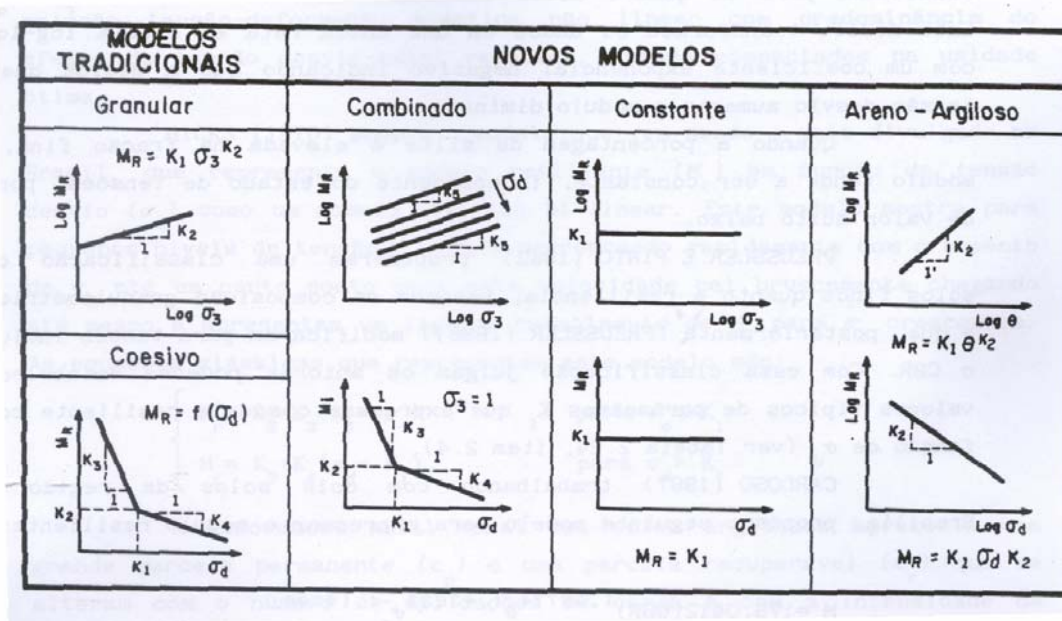


Figura 2.12 – Alguns modelos de comportamento resiliente de solos (BENEVIDES, 2000).

Existem vários equipamentos para a determinação do atrito no pavimento. Todavia, há dispersão de medidas nos diferentes sistemas e equipamentos, baixa reprodutibilidade e repetibilidade nos testes e correlação insatisfatória entre os ensaios (PEREIRA, 1998).

No Brasil, o equipamento de maior utilização para a avaliação do atrito, em vias urbanas e vicinais, é o pêndulo britânico, devido ao seu baixo custo, de investimento e operação, facilidade de transporte e manuseio simples.

O equipamento é portátil e permite a avaliação da resistência à derrapagem de superfícies úmidas. O pêndulo britânico simula o deslizamento entre o pneu de um veículo em uma estrada a 50 km/h e mede a macrotextura da superfície a partir da perda de energia do pêndulo ao passar pela superfície do pavimento (PEREIRA, 1998).

Como o tratamento antipó usa agregados de granulometria fina em geral, é necessário avaliar minimamente o atrito proporcionado pela superfície acabada deste tipo de revestimento. No presente trabalho, como uma tentativa preliminar de avaliar este parâmetro, realizou-se o ensaio nas amostras preparadas para o ensaio de WTAT.

O método de ensaio, descrito pelo manual do fabricante e por Pereira (1998) é apresentado a seguir:

- Nivelar a base do pêndulo utilizando-se do ajuste dos três parafusos niveladores juntos do corpo da base do mesmo, com auxílio do nível de bolha.
- Para calibrar o pêndulo, antes de cada medição, levantar a cabeça de maneira que o braço do pêndulo balance livremente, sem contato com a superfície. Movimentar a cabeça do aparelho, levando o braço giratório, a escala graduada e o ponteiro de máximo até a trava e liberar o mecanismo. Ajustar a altura do pêndulo com a ajuda da cremalheira do parafuso de controle de movimento vertical e depois travar na posição correta.
- Determinar a posição zero levantando-se o braço giratório até a trava do equipamento e depois o soltando-o. Prender o braço do pêndulo na volta do balanço e ler a posição do ponteiro. Fazer ajustes de altura dos anéis de atrito até alcançar o valor zero. Repetir a operação dez vezes.
- Com o braço do pêndulo livre, colocar o espaçador e abaixar a cabeça do equipamento até que a sapata simplesmente toque a superfície da amostra a ensaiar. Remover o espaçador e verificar o comprimento do deslizamento da lâmina de borracha sobre a superfície que deve variar entre 125 mm a 127 mm.
- Colocar o braço do pêndulo em posição de liberar, girar o ponteiro para a posição inicial, soltar o pêndulo, prender o pêndulo na volta do balanço e fazer a leitura. Repetir a operação cinco vezes e fazer a média. Elas não devem diferir de mais de três unidades e, caso ocorra, repetir o balanço até obter três leituras constantes.
- Refazer a leitura zero dez vezes, da mesma forma que a apresentada anteriormente. Apresenta-se na tabela 2.28 as classes e valores da resistência à derrapagem sugeridos no Boletim Técnico nº 18.

Tabela 2.28 - Avaliação das Condições de Segurança ou Aderência Pneu Pavimento ou Resistência à Derrapagem (ABPv, 1999).

Classes de Resistência à Derrapagem - Método do Pêndulo Britânico	
Classes	VRD - Valor da Resistência à Derrapagem
1. Perigosa	< 25
2. Muito Lisa	25 - 31
3. Lisa	32 - 29
4. Insuficientemente Rugosa	40 - 46
5. Medianamente Rugosa	47 - 54
6. Rugosa	55 - 75
7. Muito Rugosa	>75

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS DE ENSAIOS

3.1 – Comentários iniciais

Para verificação do efeito do tipo de emulsão quando aplicadas no tratamento antipó, foram analisados o comportamento de 4 emulsões, constituídas de formulações e características diversas, conforme mostrado nos resultados dos ensaios apresentados no capítulo seguinte.

Foram escolhidos 28 materiais de características geotécnicas e pedológicas distintas de forma a verificar o comportamento de solos argilosos e arenosos como base do antipó. Escolheu-se também uma areia de rio e um pó de pedra para utilização como salgamento na técnica antipó.

Com a finalidade de definir critérios de escolha de solo após o estudo da interação solo – ligante asfáltico, foram realizados ensaios de caracterização e classificação, imprimação, desgaste e resiliência das amostras de solo.

Portanto, os solos foram caracterizados pela metodologia MCT (tanto pelo ensaio de compactação MCV e perda de massa por imersão; quanto pelo ensaio de pastilhas), ensaios convencionais (granulometria, limites de Atterberg) e ensaios de resiliência (ensaio triaxial dinâmico de solos)

A interação solo – ligante asfáltico foi estudada utilizando-se os ensaios de imprimação segundo os procedimentos adotados por VILLIBOR (1981) e CASTRO (2003) e pela adaptação dos ensaios de desgaste (Loaded Wheel Test – LWT e Wet Track Abrasion Test – WTAT) usualmente empregados para o estudo de microrrevestimento.

As amostras foram previamente preparadas para a realização de todos os ensaios, isto é, as amostras foram secas, destorroadas e quarteadas, conforme os procedimentos da

norma ME041/94 do DNER. Em seguida as amostras foram separadas em diferentes porções, respeitando a quantidade mínima de solo e as frações granulométricas para a realização dos ensaios. Os ensaios foram realizados segundo os métodos especificados por normas conforme apresentado a seguir:

- Análise Granulométrica por Peneiramento e Sedimentação (DNER-ME051/94);
- Densidade real dos grãos (DNER-ME084/95);
- Determinação do limite de liquidez (DNER-ME122/94);
- Determinação do limite de plasticidade (DNER-ME082/94);
- Compactação em equipamento miniatura, Mini-Proctor (DNER-ME228/94);
- Compactação Mini-MCV (DNER-ME258/94);
- Compactação utilizando amostras trabalhadas (DNER-ME162/94);
- Perda de Massa por Imersão (DNER-ME256/94);
- Ensaio de pastilha (Godoy, 2000);
- Módulo de resiliência (DNER-ME131/94);
- Ensaio de imprimação (VILLIBOR, 1981);
- Ensaio de pêndulo britânico (PEREIRA, 1998, adaptado);
- Determinação de perda de massa por abrasão úmida – WTAT (NBR14746) adaptado;
- Determinação de asfalto e adesão de areia pela máquina – LWT (NBR14841) adaptado.

Os resultados obtidos nos diversos ensaios serão apresentados nos itens seguintes ou no capítulo 4 e algumas fichas de ensaio detalhadas estão em anexos ao final do volume.

3.2 – Emulsões utilizadas

Foram utilizadas 4 emulsões, constituídas de formulações e propriedades diversas, para a verificação da técnica tratamento antipó. As amostras de emulsão foram fabricadas e cedidas pela PETROBRAS.

A amostra antipó comercialmente vendida pela PETROBRAS, denominada neste trabalho de EM 3, é constituída de óleo de xisto e é produzida em São Mateus do Sul. A avaliação da sua aplicação é o principal objetivo da pesquisa. Ressalta-se que esta é a mesma formulação utilizada por CASTRO (2003).

A amostra RM – 1C, denominada neste trabalho de EM 4, foi pesquisada no intuito de comparação com a emulsão antipó, visto que a aplicação de RM – 1C é limitada a solos grossos conforme apresentado na revisão bibliográfica do capítulo 2 e na bibliografia consultada.

As amostras denominadas EM 1 e EM 2 são também constituídas de óleo de xisto. Todavia, são tentativas de mudanças na formulação da emulsão antipó atualmente em uso (EM 3), buscando redução de custos e melhoria de propriedades do produto.

A caracterização das emulsões aplicadas na pesquisa antipó, está mostrada na tabela 3.01 onde se apresentam os resultados obtidos nos ensaios de avaliação das características das emulsões. Os ensaios referentes as emulsões foram feitos no Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Como pode ser visto na tabela, alguns ensaios não foram feitos com todas as amostras por motivos peculiares da amostra não ser uma emulsão convencional ou à falta de quantidade de emulsão suficiente para a realização do ensaio.

Tabela 3.01 – Caracterização das emulsões aplicadas na pesquisa antipó deste trabalho.

Ensaio	Amostra			
	EM 1	EM 2	EM 3	EM 4
Viscosidade Saybolt-Furol 50°C (s)	18,1	23,0	17,5	28,4
Peneiramento Retido # 20 (%)	0,010	0,010	0,002	0,000
Carga de partícula	Não iônica	Não iônica	Não iônica	Catiônica
Desemulsão (%)	0,18	----	0,28	16,0
Resíduo da Emulsão (%)	62	59	50	60
Sedimentação (%)	----	----	4,0	2,1
Solubilidade (%)	----	----	99,6	99,6
Penetração no resíduo, 25°C	----	----	----	53
Ponto de amolecimento no resíduo (°C)	----	----	----	49

3.3 – Solos utilizados

Com objetivo de testar o comportamento de solos de várias características, foram realizadas coletas de solos de jazidas e misturas de solos, num total de 28 amostras, que foram caracterizados e compuseram o banco de dados usado neste trabalho. Os solos foram escolhidos nas jazidas em função de sua coloração, da sua gênese e do horizonte a que pertencem. As informações básicas sobre cada uma estão apresentadas na tabela 3.02 e tabela 3.03.

As três primeiras amostras (amostra 01, amostra 02 e amostra 03) foram coletadas no município de Cachoeiras de Macacu (Rio de Janeiro) e pertencem a jazidas utilizadas como material de base de pavimentos de baixo custo na região. As duas primeiras amostras pertencem a “saibreira da lixeira” de Japuíba e a terceira amostra é um saibro da estrada de Areia Branca.

A amostra 04 e a amostra 05 são as frações pó de pedra e pedrisco, respectivamente, do processo de reciclagem de uma usina de material reciclado da construção civil, localizada no bairro Catumbi, Rio de Janeiro.

As amostras 06 a 17 são de jazidas que estão sendo utilizadas em obras da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, sendo utilizadas para camada de reforço de subleito ou de aterro. Estas jazidas foram estudadas por RAMOS (2003).

A amostra 18 foi coletada na jazida de Mariana no município de Sumidouro (estado do Rio de Janeiro) e se pretende utilizá-la como material de sub-base e base de pavimentos de baixo custo na região.

A amostra 28 foi coletada em um talude atrás da PUC na cidade do Rio de Janeiro.

As amostras restantes (amostra 19 a amostra 27) são misturas das amostras acima, conforme pode ser visto na tabela 3.02. As quatro primeiras misturas constituem a tentativa de verificar a mudança do comportamento do solo em relação à técnica antipó, quando adicionado de frações de material mais granular, que em geral tem apresentado resultados satisfatórios quando utilizado como base tratamento antipó.

As misturas foram feitas com o propósito de melhorar as características das amostras naturais que não possuíam resultados satisfatórios para o tratamento antipó, aproveitando as mesmas, que geralmente são amostras representativas de bases de pavimentos de baixo custo de regiões tropicais. Junto a elas, foram adicionadas duas soluções possíveis de serem aplicadas na prática, amostra 03 (“saibros”) e amostra 04 (frações finas provenientes da reciclagem de materiais da construção civil).

As jazidas de saibro são comuns de serem encontradas fora das cidades, sendo uma solução interessante para estabilização granulométrica, quando necessário, para aplicação da técnica antipó em vias vicinais.

No interior das cidades, o saibro torna-se escasso e produz grande impacto ambiental na sua exploração. Uma solução para melhoramento de solo, quando necessário, para aplicação da técnica antipó em vias urbanas é a utilização das frações finas provenientes da reciclagem de materiais da construção civil. O volume deste material é cada vez maior nas grandes cidades e a pavimentação é uma das soluções de aplicação do mesmo (MOTTA e FERNANDES, 2003).

A posição da coordenada geográfica foi obtida com base em mapa e a localização aproximada da via onde se situam as Jazidas. Informações gerais das amostras coletadas no campo podem ser vistas na tabela 3.03.

Tabela 3.02 – Composição das amostras 19 a 27 utilizadas neste estudo.

Nº da Amostra	1º material		2º material	
	Amostra	Percentual (%)	Amostra	Percentual (%)
19	Amostra 18	75	Amostra 04	25
20	Amostra 18	65	Amostra 04	35
21	Amostra 18	55	Amostra 04	45
22	Amostra 18	40	Amostra 04	60
23	Amostra 17	50	Amostra 04	50
24	Amostra 17	50	Amostra 03	50
25	Amostra 16	50	Amostra 04	50
26	Amostra 16	50	Amostra 03	50
27	Amostra 15	50	Amostra 03	50

Quase sempre foi possível estabelecer a distinção dos horizontes nas jazidas, apesar de algumas jazidas estarem no estágio final de exploração. A distinção dos horizontes pode ser confirmada a partir da classificação MCT (e') e do comportamento resiliente dos solos.

Em geral as amostras foram recolhidas entre alturas que variaram de 0 a 10 metros, estando as Jazidas em pleno funcionamento.

Apresentam-se no quadro 9, no anexo I, fotos referentes aos materiais e jazidas utilizadas nesta pesquisa.

3.4 – Ensaio de Caracterização realizados em laboratório

Na mecânica dos solos tradicional é comum a utilização de classificações de solos que se baseiam em propriedades índices dos solos tais como a granulometria e os limites de Atterberg. Elas são denominadas de classificação unificada (Unified Soil Classification System – U.S.C.S.) e classificação H.R.B. (Highway Research Board), sendo que ambas apresentam falhas de previsão de comportamento quando aplicadas aos solos de origem

tropical. É comum se verificar que solos tropicais de mesmo grupo classificatório tradicional apresentam propriedades diversas entre si no tocante ao comportamento mecânico e hidráulico dos mesmos. São comuns dois horizontes pedologicamente distintos apresentarem as mesmas classificações tradicionais o que, no entanto não reflete a real característica de comportamento dos mesmos.

Tabela 3.03 – Informações gerais das amostras coletadas no campo para este estudo.

Amostra	Posição geográfica	Localização	Perfil pedológico	Horizonte de coleta	Análise tátil-visual
01	*	Saibreira da lixeira de Japuíba, Cachoeiras de Macacu – RJ.	Latossólico	C	Silte-argiloso roxo
02	*	Saibreira da lixeira de Japuíba, Cachoeiras de Macacu – RJ.	Latossólico	B	Argilo-siltoso amarelado
03	*	Saibro da estrada de Areia Branca, Cachoeiras de Macacu – RJ.	Latossólico	C	Areno-siltoso
04	*	Usina de reciclagem de resíduos da construção civil, Catumbi – RJ.	**	-----	Areia fina marron
05	*	Usina de reciclagem de resíduos da construção civil, Catumbi – RJ.	**	-----	Areia com pedriscos de cerâmica e concreto
06	(N:643.605, E:7.470.563)	Jazida Cândido, Estr. Rio-São Paulo nº 4350, Km-32. Campo Grande	podzólico	B/C	Silte-argiloso rosado
07	(N:643.605, E:7.470.563)	Jazida Cândido, Estr. Rio-São Paulo nº 4350, Km-32. Campo Grande	podzólico	B/C	Silte-argiloso amarelado
08	(N:643.605, E:7.470.563)	Jazida Cândido, Estr. Rio-São Paulo nº 4350, Km-32. Campo Grande	podzólico	B	Silte-argiloso avermelhado
09	(N:642.953, E:7.467.292)	Jazida Mamelão, no Caminho do Tutoia. Campo Grande	podzólico	C	Silte-arenoso rosado
10	(N:642.953, E:7.467.292)	Jazida Mamelão, no Caminho do Tutoia. Campo Grande	podzólico	B	Silte-arenoso amarelado
11	(N:648.741, E:7.465.253)	Jazida Cachamorra, na Estrada da Cachamorra nº 2021. Guaratiba	podzólico	C	Areia grossa branca
12	(N:669.302, E:7.465.023)	Jazida Covanca, na Estrada da Covanca nº 1395. Jacarepaguá.	podzólico	C	Silte-argiloso amarelado
13	(N:669.302, E:7.465.023)	Jazida Covanca, na Estrada da Covanca nº 1395. Jacarepaguá.	podzólico	C	Silte-argiloso rosado
14	(N:643.605, E:7.470.563)	Jazida Cândido, Estr. Rio-São Paulo nº 4350, Km-32. Campo Grande	podzólico	C	Silte-argiloso marron claro
15	(N:643.605, E:7.470.563)	Jazida Cândido, Estr. Rio-São Paulo nº 4350, Km-32. Campo Grande	podzólico	B	Silte-argiloso avermelhado
16	(N:637.044, E:7.468.828)	Jazida Palmares, Estr. dos Palmares nº 301. Santa Cruz	podzólico	B	Argilo-siltosa marron
17	(N:637.044, E:7.468.828)	Jazida Palmares, Estr. dos Palmares nº 301. Santa Cruz	podzólico	B	Argilo-siltosa avermelhado
18	*	Saibreira Mariana, em Sumidouro – RJ.	podzólico	B	Argilo-arenoso vermelho
28	*	Talude coluvionar atrás da PUC, Gávea – Rio de Janeiro.	latossólico	B	Argilosa amarela

*Não foi possível determinar a posição geográfica; **Entulho misto de concreto e cerâmica;

As tabelas 3.04 e 3.05 apresentam um resumo dos resultados dos ensaios de caracterização e das classificações tradicionais HRB e USC para as 28 amostras de solo, mistura de solos, areia e pó de pedra estudados.

Tabela 3.04 - Ensaio de caracterização convencionais e classificações geotécnicas tradicionais dos solos e misturas de solos usadas nesta pesquisa.

Amostra	Granulometria (% passante)					Dens.real (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	Classificação	
	#3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200				HRB	USCS
01	97,3	92,7	80,6	48,8	26,0	2,613	15	8	A - 2 - 4	SW
02	100,0	99,6	95,0	69,6	47,9	2,673	61	22	A - 7 - 6	SC
03	87,3	80,5	64,8	38,3	17,4	2,586	NL	NP	A - 1 - b	SW
04	100,0	99,9	95,4	68,2	22,8	2,641	NL	NP	A - 2 - 4	SW
05	100,0	99,8	76,9	39,7	15,0	2,651	NL	NP	A - 1 - b	SM
06	99,3	97,3	87,5	56,4	24,1	2,631	27	NP	A - 2 - 4	SM
07	99,9	99,2	97,3	79,5	60,7	2,641	46	28	A - 7 - 6	CL
08	97,2	92,5	85,5	60,0	14,5	2,668	NL	NP	A - 2 - 4	SW
09	97,5	92,8	81,4	40,0	26,5	2,633	39	30	A - 2 - 4	SM
10	98,2	92,9	74,9	35,2	17,6	2,638	26	18	A - 2 - 4	SM
11	99,8	96,8	74,4	36,9	13,4	2,624	NL	NP	A - 1 - b	SM
12	99,5	97,2	84,8	60,4	38,3	2,598	NL	NP	A - 4	SW
13	99,1	96,4	85,7	60,3	42,9	2,626	39	22	A - 6	SM
14	99,3	98,7	96,9	81,1	62,0	2,645	59	26	A - 7 - 6	SC
15	100,0	99,5	95,8	77,0	50,2	2,627	47	23	A - 7 - 6	SC
16	100,0	99,6	96,0	73,1	50,0	2,643	63	24	A - 7 - 6	SM
17	99,9	99,3	97,0	67,2	55,1	2,630	58	28	A - 7 - 6	SM
18	100,0	99,2	93,8	62,1	37,9	2,575	33	19	A - 6	SM
19	99,2	96,5	89,9	58,6	31,3	2,596	30	19	A - 2 - 6	SM
20	99,4	97,2	92,3	59,6	33,2	2,610	30	16	A - 2 - 6	SM
21	99,2	96,8	90,5	57,6	28,9	2,630	29	14	A - 2 - 6	SM
22	99,8	97,7	92,9	56,3	30,3	2,626	29	17	A - 2 - 6	SM
23	100,0	99,8	97,4	68,4	38,2	2,674	34	20	A - 6	SM
24	95,8	91,1	79,7	49,7	36,7	2,660	44	23	A - 7 - 6	SC
25	100,0	99,9	96,9	71,2	36,5	2,653	35	17	A - 7 - 6	SC
26	96,4	92,2	81,9	54,4	34,8	2,673	40	22	A - 7 - 6	SC
27	94,1	89,9	79,6	55,3	33,6	2,660	46	19	A - 2 - 7	SC
28	100,0	99,8	98,9	90,3	74,0	2,690	78	31	A - 7 - 5	CL
29 *	100,0	94,3	69,9	62,9	20,1	2,611	NL	NP	A - 2 - 4	SW
30 **	99,8	96,6	83,9	26,5	4,0	2,706	NL	NP	A - 6	SP

* Pó de pedra utilizado no salgamento. ** Areia de rio utilizada no salgamento.

Para melhor classificar os solos tropicais também foi feito a classificação MCT dos solos desta pesquisa (NOGAMI e VILLIBOR, 1981, 1995; DNER CLA 259/96). A

classificação MCT busca a distinção de duas grandes classes: os solos de comportamento lateríticos e os solos de comportamento não lateríticos.

Os resultados da caracterização segundo a metodologia MCT estão apresentados no capítulo 4.

Tabela 3.05 - Frações granulométricas dos solos e misturas de solos usados nesta pesquisa.

AMOSTRA	Tamanho dos grãos (%)						
	ARGILA	SILTE	AREIA	PEDREGULHO	AREIA		
					FINA	MÉDIA	GROSSA
01	5	21	54	20	12	20	22
02	43	5	47	5	13	16	18
03	7	10	48	35	12	17	19
04	4	13	79	4	29	34	16
05	5	8	70	17	14	22	34
06	8	13	66	13	19	27	20
07	51	10	36	3	8	15	13
08	4	10	72	14	21	37	14
09	7	19	56	18	8	14	34
10	6	11	58	25	8	25	25
11	1	9	65	25	15	21	29
12	9	21	55	15	20	16	19
13	7	26	53	14	19	13	21
14	22	18	57	3	31	15	11
15	35	11	50	4	19	21	10
16	18	21	57	4	24	20	13
17	15	19	63	3	27	15	21
18	17	21	56	6	11	21	24
19	13	18	59	10	13	23	23
20	15	17	61	7	14	22	25
21	13	16	62	9	13	24	25
22	13	16	64	7	13	22	29
23	20	18	59	3	14	25	20
24	21	16	43	20	5	13	25
25	21	13	63	3	19	28	16
26	26	9	47	18	8	20	19
27	26	8	46	20	9	19	18
28	72	4	23	1	7	11	5
29 *	2	10	58	30	17	22	19
30 **	0	3	81	16	7	30	44

* Pó de pedra utilizado no salgamento. ** Areia utilizada no salgamento.

3.5 – Ensaio de desgaste

Com o intuito de verificação da durabilidade da técnica do antipó, procurou-se avaliar o comportamento do tratamento quando submetido ao desgaste do tráfego. Os ensaios escolhidos para este teste foram metodologias associadas à dosagem de microrrevestimento asfáltico, e, portanto tornaram-se necessárias algumas modificações para adequação à situação encontrada no antipó.

Os ensaios de desgaste LWT e WTAT, cujos equipamentos são mostrados nos quadros 4 e 5 apresentados no anexo I, convencionalmente utilizados na dosagem de microrrevestimento, tiveram seus moldes para confecção do corpo de prova alterados, visto a necessidade de criação de uma camada de solo que pudesse ser comparada à superfície da base do pavimento que recebe o tratamento antipó. Para o LWT foram confeccionados moldes de 50,0 mm de altura, 50,8 mm de largura e 381,0 mm de comprimento. Para o ensaio WTAT foram confeccionados moldes de 300 mm de diâmetro e 50,0 mm de altura. As condições de carregamento, velocidades do equipamento e tipo de superfície de contato foram mantidas conforme os ensaios padronizados pela ABNT (NBR14746 e NBR14841).

Os métodos de ensaios, descritos a seguir, verificam a durabilidade da base imprimada quando a mesma está sujeita à ação do tráfego. Considera-se que, se a base imprimada possuir uma boa interação com a emulsão, proporcionando boa resistência ao desgaste, o sucesso da técnica estará garantido visto que a impermeabilização da base estará satisfeita.

O pó utilizado no salgamento da técnica tratamento antipó possui a finalidade de proteger a camada imprimada e estará submetido à ação do tráfego. Portanto, é necessário a realização de ensaios de desgaste nesta camada e o sucesso dos mesmos dependem da qualidade da emulsão aplicada no segundo banho e do material granular utilizado no salgamento (pó de pedra, areia, etc).

3.5.1 – Loaded Wheel Test (LWT)

O ensaio está descrito na norma NBR 14841, denominada “determinação de excesso de asfalto e adesão de areia” pela máquina LWT. O ensaio é parte integrante da metodologia de dosagem do microrrevestimento a frio.

Quando se aplicou o ensaio no tratamento antipó, procurou-se manter os elementos utilizados no ensaio de origem, exceto nos que foram considerados peculiaridades do mesmo e serão relacionados adiante.

O ensaio modificado visa avaliar o efeito da compactação e as características de deformação da camada de solo quando simulada a ação do tráfego. Quando aplicado ao tratamento antipó, o ensaio permite ainda uma avaliação da durabilidade da técnica, da taxa e da emulsão empregada.

O ensaio consiste basicamente em submeter-se uma amostra de tratamento antipó à ação do movimento de uma roda de borracha sob condições de carga e de número de ciclos fixados.

3.5.1.1 – Aparelhagem

O equipamento utilizado é basicamente o mesmo da norma aplicada ao microrrevestimento, exceto quanto às diferenças relacionadas ao molde, à compactação e ao ensaio de adesão de areia, abaixo relacionadas:

- O molde é composto de chapas de 12,7 mm de espessura compondo uma caixa fechada na base nas dimensões internas de 50,0 mm de altura, 50,8 mm de largura e 381,0 mm de comprimento.
- A base de fixação possui 6 parafusos de 70,0 mm de altura e 9,52 mm (3/8”) de diâmetro.

- O êmbolo de compactação, de área plena, tem dimensões de 40,0 mm de altura, 48,0 mm de largura e 379,0 mm de comprimento.
- É necessário utilizar uma prensa hidráulica de capacidade mínima de 5 toneladas para fazer a compactação estática do solo dentro do molde.
- O ensaio de adesão de areia usado no microrrevestimento não se aplica à técnica do tratamento antipó e, portanto as partes dos equipamentos associados a este teste são dispensáveis no caso do uso do LWT para o antipó.

3.5.1.2 – Procedimentos

A preparação do solo, moldagem e cura do corpo de prova seguiram os seguintes passos:

- Em uma bacia homogeneizar o solo na umidade ótima de compactação da energia escolhida. Separar uma quantidade de solo úmido necessário para moldagem de um corpo de prova de 40,0 mm de altura e deixar descansar por 24 horas em câmara úmida. A quantidade de solo úmido é determinada a partir do volume a ser compactado (dado pelas dimensões do molde) e da densidade máxima obtida na curva de compactação da energia escolhida.
- Colocar a primeira metade do solo espalhando-o dentro do molde de forma uniforme, colocar o êmbolo de compactação e aplicar uma carga necessária para se obter uma altura compactada de 20,0 mm. A altura é verificada com o auxílio de um paquímetro de profundidade em todo o comprimento do molde.
- Colocar a segunda metade da porção do solo espalhando-o dentro do molde de forma uniforme, colocar o êmbolo de compactação e aplicar uma carga necessária para se obter uma altura compactada final de 40,0 mm. A altura é verificada com o auxílio de um paquímetro de profundidade em todo o comprimento do molde e a carga normalmente aplicada varia de 2,5 a 4,5 toneladas.

- Fazer a imprimação do corpo de prova segundo a taxa determinada no ensaio de imprimação e se necessário fazer uma uniformização da emulsão sobre o solo compactado inclinando-se o molde. Esperar a ruptura da emulsão e colocar o molde em estufa a uma temperatura próxima a 50 °C para cura da emulsão asfáltica.
- Retirar o molde da estufa a partir de 48 horas e deixar esfriar até a temperatura ambiente para a realização do ensaio de rolagem da borracha de carga.
- Moldam-se 2 corpos de prova nestas condições: um para o teste da imprimação da base e o outro para o teste da camada antipó.
- Quanto à realização do ensaio sobre a camada antipó é necessário esperar a penetração do primeiro banho para a aplicação do segundo. Assim que for aplicado o segundo banho pode-se fazer o salgamento e sua compactação. Esta compactação não deve ser superior à da base. Sugere-se utilizar cerca de um terço da energia utilizada na compactação da base (corresponde a 2 ou 3 passadas do rolo compactador no campo). O tempo de cura é de 72 horas em estufa à 50 °C.

O Quadro 4 apresentado no anexo I apresenta fotos ilustrando alguns passos da seqüência descrita.

A execução do ensaio segue os seguintes passos:

- Centralizar o molde de forma que a montagem da roda esteja alinhada com a linha central longitudinal do molde e fixá-lo utilizando os parafusos prisioneiros. Limpar a superfície imprimada de eventual sujeira.
- Limpar a cobertura de borracha da roda, retirando-se os resíduos soltos e óleos.
- Determinar a leitura zero com o auxílio do paquímetro de profundidade em um ponto fixo sobre o ponto central do corpo de prova, que deverá estar marcado na lateral do molde. Verificar as condições iniciais do corpo de prova: presença de exudação,

trincamentos e outros possíveis defeitos e registrar em planilha própria, conforme as planilhas dos ensaios desenvolvidas nesta pesquisa e apresentadas em anexo.

- Abaixar a roda, colocar o peso padrão (56 kg) e zerar o contador de ciclos. Ligar o aparelho e desligar ao completar os estágios de 20, 50, 100, 200, 300, 500 e 1000 ciclos, verificando o afundamento com o auxílio do paquímetro de profundidade e observando possíveis defeitos ocorridos durante a passagem dos ciclos. As observações visuais caracterizam-se pela verificação de defeitos como desgaste, surgimento de lombadas, exudação, arrancamento de placas e destruição da emulsão penetrada no solo.

A apuração dos dados e classificação do ensaio faz-se da forma seguinte:

- Determinar os afundamentos em cada estágio de aplicação de carga a partir da diferença da leitura final e inicial. Traçar um gráfico afundamento (ordenada) x ciclos (abscissa) para melhor verificação do desempenho.
- As observações visuais quanto ao desempenho e as medidas de afundamento são correlacionadas a uma nota para cada conceito.
- A pontuação é obtida a partir do somatório das 2 notas relacionadas: o afundamento e as observações visuais quanto ao comportamento.

Foram criadas neste trabalho pontuações para os diversos conceitos associados às medidas de afundamento com a finalidade de qualificar o resultado do ensaio, conforme podem ser visto nas tabelas 3.06, 3.07 e 3.08.

A ausência do conceito regular é devido o ensaio possuir notas referentes as observações visuais que dependerão do grau de treinamento e da severidade que o laboratorista avaliará o ensaio. Portanto, o autor considera conceitos que passam o sentimento de aprovação (muito bom e bom) ou de reprovação (ruim e péssimo) do ensaio.

Tabela 3.06 – Atribuições para desempenho do ensaio LWT – base imprimada, propostas neste estudo.

Atribuições para desempenho no LWT – base imprimada		
Nota	Observações visuais	Afundamento (mm)
10	Sem defeitos, pouco desgaste, ausência de exudação	< 2,0
8	Poucos defeitos, arrancamento de até 40% da penetração, pequena exudação, aparecimento de lombadas sem arrancamento de placas	2,0 a 4,0
5	Arrancamento acima de 40% da penetração, arrancamento nas partidas, exudação, aparecimento de lombadas com arrancamento de placas	4,0 a 6,0
0	Destruição total da penetração	> 6,0

Tabela 3.07 – Atribuições para desempenho do ensaio LWT – camada antipó, propostas neste estudo.

Atribuições para desempenho no LWT – camada antipó		
Nota	Observações visuais	Afundamento (mm)
10	Sem defeitos, pouco desgaste (arrancamento menor que 20%), ausência de exudação, quantidade material solto menor que 50%.	< 4,0
8	Poucos defeitos, arrancamento de até 50% do ANTI-PÓ, pequena exudação, aparecimento de lombadas sem arrancamento de placas	4,0 a 6,0
5	Arrancamento acima de 50% do ANTI-PÓ, arrancamento nas partidas, exudação, aparecimento de lombadas com arrancamento de placas.	6,0 a 10,0
0	Destruição total do ANTI-PÓ.	> 10,0

Tabela 3.08 – Conceitos para qualificação do ensaio LWT, propostas neste estudo.

Qualificação do LWT	
Pontuação	Conceito
18 a 20	Muito Bom
15 a 17	Bom
8 a 14	Ruim
0 a 7	Péssimo

3.5.2 – Wet Track Abrasion Test (WTAT)

O ensaio encontra-se descrito na norma NBR 14746, denominada “determinação de perda por abrasão úmida”. O ensaio é parte integrante da metodologia de dimensionamento do microrrevestimento a frio e lama asfáltica.

Quando se aplicou o ensaio no tratamento antipó, procurou-se manter os elementos utilizados no ensaio de origem, exceto nos que foram considerados peculiaridades do mesmo e serão relacionados adiante.

Este ensaio avalia o desgaste do material asfáltico quando simulada a ação do tráfego. Quando aplicado ao tratamento antipó, o ensaio permite ainda uma avaliação da durabilidade da técnica, da taxa e da emulsão empregada.

O ensaio consiste basicamente em submeter-se uma amostra de tratamento antipó à ação de desgaste gerada por ação de uma mangueira de borracha sob condições de carga e de número de ciclos fixados.

3.5.2.1 – Aparelhagem

O equipamento utilizado é basicamente o mesmo da norma aplicada ao microrrevestimento, exceto quanto às diferenças relacionadas ao molde, à compactação, ao ensaio de cone e ao ensaio de abrasão úmida, abaixo relacionadas:

- O molde para uso com o antipó é composto de chapas de 6,3 mm de espessura compondo um cilindro fechado na base nas dimensões internas de 50,0 mm de altura e 300,0 mm de diâmetro.
- Régua de aço de 5,0 mm de espessura e 400,0 mm de comprimento.
- Soquete Marshall.
- O ensaio de cone ao qual se refere a norma original do WTAT para microrrevestimento não se aplica na técnica tratamento antipó e, portanto os elementos do equipamento necessários para isto são dispensáveis.
- O ensaio de abrasão a que se refere a norma original do WTAT para microrrevestimento é feito, porém sem a presença de água na verificação do tratamento antipó.

3.5.2.2 – Procedimentos

A preparação do solo, moldagem e cura do corpo de prova para o ensaio WTAT modificado seguem os seguintes passos:

- Em uma bacia homogeneizar o solo na umidade ótima de compactação da energia escolhida. Separar uma quantidade de solo úmido necessário para moldagem de um corpo de prova de 40,0 mm de altura e deixar descansar por 24 horas em câmara úmida. A quantidade de solo úmido é determinada a partir do volume do molde a ser compactado e da densidade máxima obtida na curva de compactação da energia escolhida.
- Colocar a primeira metade do solo espalhando-o dentro do molde de forma uniforme, compactar com o soquete Marshall a camada de solo distribuindo os golpes em toda a área de solo (para a energia intermediária são necessários 88 golpes por camada).
- Colocar a segunda metade do solo espalhando-o dentro do molde de forma uniforme, compactar, com o soquete Marshall, a camada suplementar de solo. Rasar a superfície com um bisel de modo que fique horizontal e sem elevações.
- Imprimir o corpo de prova segundo a taxa determinada no ensaio de imprimação e, se necessário, fazer uma uniformização da emulsão sobre o solo compactado inclinando-se o molde. Esperar a ruptura da emulsão e colocar o molde com o solo e imprimado em estufa a uma temperatura próxima a 50 °C para cura da emulsão asfáltica.
- Retirar o molde da estufa a partir de 48 horas e deixar esfriar para a realização do ensaio de desgaste WTAT.
- Usando o procedimento descrito acima, moldar 2 corpos de prova nas mesmas condições para cada amostra de solo e emulsão, um para o teste da imprimação da base e o outro para o teste da camada antipó.

- Quanto à realização do ensaio sobre a camada antipó é necessário esperar a penetração do primeiro banho para a aplicação do segundo. Assim que aplicado o segundo banho pode-se fazer o salgamento com o material escolhido para o teste (areia ou pó de pedra) e sua compactação. Esta compactação não deve ser superior à da base. Sugere-se utilizar cerca de um terço da energia utilizada na compactação da base (corresponde a 2 ou 3 passadas do rolo compactador no campo e 30 golpes do soquete Marshall em laboratório). O tempo de cura é de 72 horas em estufa à 50 °C.

O Quadro 5 apresentado no anexo I apresenta fotos referentes a alguns passos da seqüência descrita sobre a preparação dos corpos de prova e execução do ensaio.

A execução do ensaio segue os seguintes passos:

- Pesar o conjunto molde + solo antes de começar o ensaio. Pesar o mesmo depois de pincelado com uma vassourinha e retirado o excesso. Determinar 3 alturas no centro do molde com auxílio da régua de aço e do paquímetro de profundidade. Verificar as condições iniciais do corpo de prova: presença de exudação, trincamentos e outros possíveis defeitos e registrar em planilha própria, conforme as planilhas dos ensaios desenvolvidas nesta pesquisa e apresentadas em anexo.
- Centralizar o molde de forma que a montagem do cilindro esteja centralizada com o equipamento e fixá-lo utilizando as presilhas laterais e uma borracha de látex (a borracha de látex ajuda a fixar o molde e não permite ao mesmo movimentar-se durante o ensaio).
- Travar o cabeçote de abrasão da mangueira de borracha no eixo da máquina. Elevar a plataforma da máquina até que a mangueira de borracha se apóie livremente sobre a superfície da amostra.
- Regular a máquina para 110 rpm (nível 1) e tempo de operação equivalente de 300 s (misturadora C – 100, fator de área de $32,9 \times 1,0 \text{ m}^{-2}$).

- Ligar a máquina e esperar o fim do ensaio para avaliar a forma e os tipos de defeitos eventualmente surgidos pela ação abrasiva da borracha em movimento.

- Retirar o material desprendido após o ensaio com ajuda de uma vassourinha. Pesar o conjunto molde + solo depois do ensaio. Determinar 3 alturas no centro do molde com auxílio da régua de aço e do paquímetro de profundidade nos pontos onde foram feitas as determinações iniciais. Verificar as condições finais do corpo de prova: desgastes excessivos, arrancamentos de placas e destruição da penetração da imprimação e registrar na planilha própria.

A apuração dos dados e classificação do ensaio seguem os passos descritos a seguir:

- Determinar a deformação permanente vertical a partir da diferença das alturas médias final e inicial. A deformação permanente vertical medida no ensaio é composta da deformação vertical propriamente dita somada com a perda de material após a execução do ensaio.

- Determinar a perda por abrasão a partir da diferença de massas final e inicial.

- As observações visuais quanto ao desempenho aliado à determinação das medidas de deformação permanente vertical e perda de massa por abrasão, foram correlacionadas com uma nota para cada situação, conforme critério proposto nesta pesquisa.

- A pontuação é obtida a partir do somatório das 3 notas relacionadas à perda de massa por abrasão, à deformação permanente vertical e às observações visuais quanto ao comportamento do conjunto solo + imprimação ao final do carregamento.

- Todos os passos descritos são também executados em outros corpos de prova da mesma amostra testada com a imprimação da base e com a camada antipó.

Foram criadas nesta pesquisa pontuações para os diversos conceitos com a finalidade de classificar o resultado do ensaio, conforme podem ser visto nas tabelas 3.09, 3.10 e 3.11.

Tabela 3.09 - Atribuições para desempenho do ensaio WTAT – base imprimada, propostas neste estudo.

Atribuições para desempenho no WTAT – base imprimada			
Nota	Observações visuais	Perda por Abrasão (%)	Def. vertical (mm)
10	Arrancamento de até 10% e ausência de exudação	< 5	< 0,5
8	Arrancamento de 10 a 20% e pequena exudação	5 a 10	0,5 a 1,0
5	Arrancamento de 20 a 50% e/ou exudação	10 a 20	1,0 a 1,5
0	Arrancamento maior que 50% e/ou exudação	> 20	> 1,5

Tabela 3.10 - Atribuições para desempenho do ensaio WTAT – camada antipó, propostas neste estudo.

Atribuições para desempenho no WTAT – camada antipó			
Nota	Observações visuais	Perda por Abrasão (%)	Def. vertical (mm)
10	Arrancamento de até 20% e ausência de exudação	< 30	< 2,0
8	Arrancamento de 20 a 50% e pequena exudação	30 a 50	2,0 a 3,0
5	Arrancamento de 50 a 80% e/ou exudação	50 a 80	3,0 a 4,0
0	Arrancamento maior que 80% e/ou exudação	> 80	> 4,0

Tabela 3.11 – Conceitos para qualificação do ensaio WTAT, propostas neste estudo.

Qualificação do WTAT	
Pontuação	Conceito
28 a 30	Muito Bom
23 a 27	Bom
16 a 22	Ruim
0 a 15	Péssimo

A ausência do conceito regular é devido o ensaio possuir notas referentes as observações visuais que dependerão do grau de treinamento e a severidade que o laboratorista avaliará o ensaio. Portanto, o autor considera conceitos que passam o sentimento de aprovação (muito bom e bom) ou de reprovação (ruim e péssimo) do ensaio.

3.6 - Pêndulo Britânico

Algumas modificações no procedimento de ensaio de pêndulo britânico descrito no capítulo 2, foram necessárias para o caso desta pesquisa pois o ensaio não foi realizado em pista mas sim em corpos de prova de pequenas dimensões (amostras do WTAT). Portanto, no presente trabalho, como uma tentativa preliminar de avaliar este parâmetro,

realizou-se o ensaio nas amostras de WTAT sem fazer a condição molhada e não foi realizada a correção da temperatura visto que os ensaios foram feitos dentro do Laboratório de Geotecnia da COPPE.

- Preparar um corpo de prova no molde usado no ensaio WTAT modificado com a camada antipó, conforme apresentado no capítulo 4.
- Colocar a amostra a ser ensaiada a frente do pêndulo britânico de modo que a mesma fique bem calçada e imóvel. Tomar o cuidado de varrer os excessos de pó de pedra que por acaso estejam soltos na superfície.

O Quadro 7, apresentado no anexo I, apresenta fotos referentes a execução do ensaio na condição realizada nesta pesquisa e o equipamento utilizado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 – Ensaio de caracterização segundo metodologia MCT e pastilha

Foram feitos os ensaios MCT com a fração passante na peneira de 2 mm. No entanto, 18 amostras possuem fração superior a 5% retida na peneira de 2 mm e foram ensaiadas do mesmo modo, considerando que o comportamento do solo é regido pelos finos que o compõe. Os resultados estão apresentados na tabela 4.01.

Os ensaios confirmaram as características da gênese dos solos observadas durante a fase de coleta. Pode-se verificar a divergência entre as classificações convencionais, HRB e USCS, quando comparadas à classificação MCT. Verificam-se solos da mesma classe tradicional com comportamentos diferentes em função da sua gênese (tabela 4.02), por exemplo os solos 08 e 09.

Quando se comparam sistemas que consideram a gênese como um aspecto importante na avaliação das características físicas e mecânicas do solo, classificação MCT e pastilha, os mesmos mostram-se coerentes entre si com pequenas divergências.

4.2 – Ensaio de compactação Proctor e Módulo de Resiliência

Tendo em vista que o estudo desta tese está direcionado ao uso de dimensionamento mecanístico, foi efetuado no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ os ensaios triaxiais dinâmicos nas amostras de solo e misturas de solo, na energia intermediária.

A tabela 4.03 apresenta a umidade ótima e a densidade específica máxima obtida no ensaio de cilindro Proctor na energia intermediária dos solos estudados. A tabela também apresenta as umidades de moldagem do corpo de prova, sendo a H_{moldagem} a umidade obtida assim que compactado o corpo de prova e $H_{\text{do CP ensaiado}}$ a umidade do

próprio corpo de prova medida ao final do ensaio dinâmico, conforme a metodologia de ensaio do laboratório da COPPE.

Tabela 4.01 - Ensaio de caracterização segundo metodologia MCT e pastilha.

Amostra	Parâmetros MCT				Classificação MCT	Compactação MCV (24golpes)		Pastilha Godoy (2000)
	c'	d'	e'	Pi		H _{ótima} (%)	d _{máx} (Kg/cm ³)	
01	1,14	41,3	1,15	105	LA'	14,0	1,945	Transicional Arenoso
02	1,66	66,4	0,67	0	LG'	20,8	1,722	Laterítico Típico
03	0,29	31,7	1,11	75	LA	14,6	2,030	Não-Laterítico Areia
04	0,95	27,7	1,24	118	NA'	16,3	1,838	Transicional Areia
05	0,67	28,1	1,14	76	LA	18,0	1,880	Laterítico Areia
06	0,86	42,0	1,14	100	LA'	13,8	1,957	Não-Laterítico Areia
07	1,94	38,2	1,14	97	LG'	19,1	1,780	Laterítico Argiloso
08	0,78	56,4	1,10	98	LA'	12,3	2,035	Transicional Areia
09	1,07	33,9	1,44	240	NA'	12,6	1,948	Transicional Arenoso
10	0,67	77,4	1,01	78	LA	11,6	2,049	Laterítico Areia
11	0,22	66,5	1,05	86	LA	12,8	1,984	Laterítico Areia
12	0,95	35,7	1,18	108	NA'	15,3	1,877	Transicional Arenoso
13	1,14	26,1	1,47	239	NS'	16,6	1,830	Não-Laterítico Siltoso
14	2,00	51,8	1,30	180	NG'	18,5	1,776	Não-Laterítico Argiloso
15	1,58	32,4	0,94	22	LG'	14,0	1,896	Laterítico Típico
16	1,86	162,5	0,68	19	LG'	14,8	1,849	Laterítico Típico
17	1,60	71,4	1,10	106	LG'	15,0	1,890	Laterítico Típico
18	1,46	41,3	1,18	114	LA'	15,0	1,945	Laterítico Arenoso
19	1,46	56,5	1,15	115	LA'	13,9	1,875	Laterítico Arenoso
20	1,46	42,0	1,23	138	NA'	14,8	1,931	Laterítico Arenoso
21	1,29	53,3	1,16	119	LA'	13,8	1,991	Laterítico Arenoso
22	1,30	42,2	1,19	121	LA'	12,6	1,931	Laterítico Arenoso
23	1,94	43,4	1,19	122	NG'	14,6	1,923	Transicional Argiloso
24	1,69	25,4	1,25	115	NG'	11,8	1,935	Transicional Argiloso
25	1,61	44,8	1,14	103	LG'	13,5	1,889	Laterítico Típico
26	1,61	105,4	0,72	18	LG'	12,4	1,950	Laterítico Típico
27	1,61	57,9	0,94	48	LG'	13,5	1,962	Laterítico Típico
28	2,13	33,1	1,02	46	LG'	28,5	1,539	Laterítico Típico

Tabela 4.02 - Tabela comparativa entre os resultados das classificações dos solos e misturas de solo deste estudo.

Amostra	HRB	USCS	MCT original	* MCT modificada	Pastilha Godoy(2000)
01	A - 2 - 4	SW	LA'	TA'	Transicional Arenoso
02	A - 7 - 6	SC	LG'	LA'G'	Laterítico Típico
03	A - 1 - b	SW	LA	LA	Não-Laterítico Areia
04	A - 2 - 4	SW	NA'	TA'	Transicional Areia
05	A - 1 - b	SM	LA	LA	Laterítico Areia
06	A - 2 - 4	SM	LA'	TA'	Não-Laterítico Areia
07	A - 7 - 6	CL	LG'	TG'	Laterítico Argiloso
08	A - 2 - 4	SW	LA'	LA'	Transicional Areia
09	A - 2 - 4	SM	NA'	TA'	Transicional Arenoso
10	A - 2 - 4	SM	LA	LA	Laterítico Areia
11	A - 1 - b	SM	LA	LA	Laterítico Areia
12	A - 4	SW	NA'	TA'	Transicional Arenoso
13	A - 6	SM	NS'	TA'	Não-Laterítico Siltoso
14	A - 7 - 6	SC	NG'	NG'	Não-Laterítico Argiloso
15	A - 7 - 6	SC	LG'	TA'G'	Laterítico Típico
16	A - 7 - 6	SM	LG'	LG'	Laterítico Típico
17	A - 7 - 6	SM	LG'	TA'G'	Laterítico Típico
18	A - 6	SM	LA'	TA'G'	Laterítico Arenoso
19	A - 2 - 6	SM	LA'	TA'G'	Laterítico Arenoso
20	A - 2 - 6	SM	NA'	TA'G'	Laterítico Arenoso
21	A - 2 - 6	SM	LA'	TA'G'	Laterítico Arenoso
22	A - 2 - 6	SM	LA'	TA'G'	Laterítico Arenoso
23	A - 6	SM	NG'	TG'	Transicional Argiloso
24	A - 7 - 6	SC	NG'	TA'G'	Transicional Argiloso
25	A - 7 - 6	SC	LG'	TA'G'	Laterítico Típico
26	A - 7 - 6	SC	LG'	LA'G'	Laterítico Típico
27	A - 2 - 7	SC	LG'	LA'G'	Laterítico Típico
28	A - 7 - 5	CL	LG'	TA'G'	Laterítico Típico
29	A - 2 - 4	SW	*	*	*
30	A - 6	SP	*	*	*

* MCT modificada proposta por Vertamatti.

Tabela 4.03 – Ensaio de compactação Proctor e umidades utilizadas para ensaio de MR para as amostras estudadas neste trabalho.

Amostra	Compactação Proctor – Energia Intermediária		Umidade utilizada para ensaio de MR (%)		
	H _{ótima} (%)	d _{máx} (Kg/cm ³)	H _{ótima}	H _{moldagem}	H _{do CP ensaiado}
01	10,0	1,945	10,0	9,68	9,72
02	19,1	1,744	19,1	16,88	17,03
03	8,8	2,095	8,8	7,83	7,94
04	14,7	1,790	14,7	13,78	14,01
05	13,4	1,830	13,4	11,59	12,23
06	9,8	1,909	9,8	8,73	9,06
07	17,2	1,649	17,2	17,62	18,15
08	9,0	2,014	9,0	8,74	8,43
09	8,4	1,897	8,4	8,81	8,43
10	7,2	2,059	7,2	6,77	6,66
11	5,8	1,990	5,8	5,13	5,06
12	13,0	1,808	13,0	11,46	11,81
13	15,7	1,810	15,7	15,63	15,48
14	18,8	1,790	18,8	19,19	19,34
15	13,6	1,835	13,6	12,84	13,00
16	14,8	1,840	14,8	15,23	15,65
17	15,3	1,813	15,3	15,96	15,64
18	13,4	1,830	13,4	13,36	13,29
19	12,5	1,847	12,5	12,06	11,90
20	12,7	1,857	12,7	11,68	11,70
21	12,9	1,825	12,9	12,13	12,44
22	12,7	1,870	12,7	11,88	11,92
23	13,9	1,929	13,9	13,34	13,05
24	11,3	1,951	11,3	12,55	11,96
25	13,0	1,901	13,0	12,44	12,44
26	12,1	1,962	12,1	10,36	10,37
27	13,1	1,976	13,1	11,77	11,50
28	26,9	1,548	26,9	25,95	25,93

A tabela 4.04 apresenta o resultado do módulo de resiliência (MR) segundo o modelo em função da tensão desvio, modelo em função da tensão confinante e o modelo composto.

Tabela 4.04 – Módulo de resiliência (MR) dos solos estudados nesta pesquisa.

Amostra	MR= $k_1\sigma_d^{k_2}$ (MPa)			MR= $k_1\sigma_3^{k_2}$ (MPa)			MR= $k_1\sigma_3^{k_2}\sigma_d^{k_3}$ (MPa)			
	k_1	k_2	R^2	k_1	k_2	R^2	k_1	k_2	k_3	R^2
01	170,4	-0,1801	0,343	202,2	-0,0828	0,048	262	0,3226	-0,3843	0,974
02	187,7	-0,3237	0,961	167,0	-0,2969	0,534	211	0,0855	-0,3801	0,998
03	424,0	0,1872	0,309	799,0	0,3697	0,795	883	0,5417	-0,1739	0,979
04	242,8	-0,0679	0,039	370,6	0,0985	0,062	420	0,4068	-0,3407	0,943
05	264,6	0,0951	0,093	463,7	0,2715	0,498	537	0,5218	-0,2520	0,965
06	235,1	0,0795	0,091	372,2	0,2237	0,477	421	0,4287	-0,2058	0,972
07	233,2	-0,3433	0,910	203,4	-0,3194	0,520	257	0,0767	-0,3980	0,994
08	232,1	0,0725	0,060	404,3	0,2515	0,479	477	0,5319	-0,2818	0,976
09	218,5	-0,1311	0,357	259,0	-0,0442	0,027	296	0,2613	-0,3174	0,988
10	336,4	0,0604	0,048	529,7	0,2066	0,372	654	0,4248	-0,1667	0,976
11	280,1	0,0148	0,003	437,6	0,1678	0,222	538	0,4480	-0,2452	0,970
12	118,1	-0,1337	0,313	145,5	-0,0327	0,012	169	0,3044	-0,3495	0,986
13	73,5	-0,1830	0,340	94,7	-0,0559	0,021	123	0,3807	-0,4366	0,974
14	151,8	-0,5984	0,990	128,3	-0,5233	0,565	163	0,0439	-0,6226	0,999
15	468,3	-0,1533	0,705	502,2	-0,0968	0,185	588	0,1699	-0,2676	0,997
16	206,9	-0,2841	0,822	217,8	-0,2069	0,287	282	0,2309	-0,4393	0,997
17	174,0	-0,3656	0,946	144,4	-0,3545	0,587	183	0,0368	-0,3896	0,996
18	132,7	-0,2135	0,180	186,2	-0,0506	0,007	339	0,4594	-0,3508	0,915
19	212,3	0,0151	0,003	328,3	0,1644	0,247	374	0,4433	-0,2817	0,971
20	151,3	-0,2941	0,495	175,0	-0,1817	0,124	240	0,3402	-0,5197	0,960
21	146,4	-0,2981	0,2857	190,0	0,1446	0,044	325	0,4363	-0,4520	0,960
22	170,0	-0,2359	0,3954	214,3	-0,1057	0,052	330	0,3783	-0,4084	0,964
23	121,4	-0,5151	0,878	107,7	-0,4494	0,441	160	0,2029	-0,6517	0,986
24	138,6	-0,2319	0,424	175,0	-0,1018	0,054	235	0,3902	-0,4923	0,971
25	228,7	-0,2847	0,7829	239,9	-0,2084	0,277	312	0,2292	-0,4370	0,993
26	263,0	-0,3256	0,703	313,9	-0,1888	0,177	378	0,2675	-0,5031	0,985
27	179,9	-0,2028	0,398	233,8	-0,0688	0,030	310	0,4012	-0,4696	0,980
28	323,7	-0,2967	0,932	296,6	-0,2653	0,492	368	0,0965	-0,3617	0,997

Foram utilizados em todos os ensaios de módulo de resiliência corpos de prova de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

As amostras foram mantidas ensacadas e em câmara úmida, por período mínimo de 24 horas, de maneira a garantir a uniformidade da umidade no material.

Em caso de desvio maior que 1,0 % em relação à umidade ótima do ensaio de compactação Proctor, principalmente para materiais granulares o ensaio foi repetido.

Durante os ensaios, em algumas amostras ocorreram deformações permanentes elevadas, necessitando proceder ao ajuste do curso do LVDT, tendo em vista o campo de deformação programada no ensaio ter sido ultrapassado. Grandes deformações permanentes puderam ser observadas nos ensaios que se encontraram por algum motivo acima da umidade ótima.

O equipamento triaxial dinâmico da COPPE foi automatizado por VIANNA (2002), tornando o ensaio de fácil realização, sem a necessidade de pessoas de grande conhecimento computacional ou de elevada experiência em laboratório.

São apresentados os módulos de resiliência nas unidades MPa e kgf/cm^2 na tabela 4.05. Para fins de comparação com resultados de outros estudos que utilizam MR constante, foram calculados os módulos de resiliência destes materiais como se fossem empregados como base, considerando uma tensão desvio de 0,420 MPa e uma tensão confinante de 0,137 MPa. Este par de tensões é o último par de tensões utilizado no ensaio triaxial dinâmico e é o mais severo para o material ensaiado (resulta nos menores módulos). Este par foi escolhido porque no tratamento antipó a base fica sob ação quase direta da carga (Tabela 4.05).

No ensaio triaxial dinâmico de solos buscou-se observar o comportamento resiliente dos solos estudados para o tratamento antipó, para permitir a determinação de espessuras mínimas para a camada de base.

Fez-se ainda uma associação do valor do módulo resiliente com a posição encontrada no ábaco da classificação MCT, sendo o propósito desta associação a ampliação do banco de dados apresentado no ábaco de ALVARES NETO (1997), conforme a figura 4.01.

Os resultados de módulo de resiliência encontrados para os solos ensaiados foram coerentes, visto que os solos de comportamento lateríticos obtiveram resiliência menor que os não lateríticos. No entanto, verificam-se alguns solos de comportamento não

laterítico com pequena resiliência (amostra 09, por exemplo). Este fato é verificado porque o ensaio de módulo de resiliência foi feito com a granulometria completa e o ensaio MCT com o material passante na peneira 2,0 mm. Portanto, não se deve classificar solos grossos com o ensaio MCT e mistura de solos.

Tabela 4.05 - Módulos de resiliência nas unidades MPa e kgf/cm², valor constante calculado para $\sigma_3 = 0.137$ e $\sigma_d = 0.42$ MPa.

Amostra	MR= $k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3}$ (MPa)				MR= $k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3}$ (Kgf/cm ²)			
	k ₁	k ₂	k ₃	MR base	k ₁	k ₂	k ₃	MR base
01	262	0,3226	-0,3843	193	3084	0,3226	-0,3843	1967
02	211	0,0855	-0,3801	248	4266	0,0855	-0,3801	2540
03	883	0,5417	-0,1739	350	3834	0,5417	-0,1739	3542
04	420	0,4068	-0,3407	251	3674	0,4068	-0,3407	2561
05	537	0,5218	-0,2520	237	2927	0,5218	-0,2520	2403
06	421	0,4287	-0,2058	215	2559	0,4287	-0,2058	2180
07	257	0,0767	-0,3980	312	5528	0,0767	-0,3980	3199
08	477	0,5319	-0,2818	212	2722	0,5319	-0,2818	2148
09	296	0,2613	-0,3174	232	3439	0,2613	-0,3174	2368
10	654	0,4248	-0,1667	325	3663	0,4248	-0,1667	3296
11	538	0,4480	-0,2452	273	3426	0,4480	-0,2452	2775
12	169	0,3044	-0,3495	125	1914	0,3044	-0,3495	1276
13	123	0,3807	-0,4366	84	1429	0,3807	-0,4366	861
14	163	0,0439	-0,6226	256	6375	0,0439	-0,6226	2645
15	588	0,1699	-0,2676	529	7525	0,1699	-0,2676	5407
16	282	0,2309	-0,4393	261	4667	0,2309	-0,4393	2672
17	183	0,0368	-0,3896	238	4235	0,0368	-0,3896	2450
18	339	0,4594	-0,3508	184	2687	0,4594	-0,3508	1877
19	374	0,4433	-0,2817	198	2621	0,4433	-0,2817	2012
20	240	0,3402	-0,5197	192	3714	0,3402	-0,5197	1961
21	325	0,4363	-0,4520	202	3438	0,4363	-0,4520	2062
22	330	0,3783	-0,4084	222	3610	0,3783	-0,4084	2263
23	160	0,2029	-0,6517	188	4628	0,2029	-0,6517	1936
24	235	0,3902	-0,4923	166	3038	0,3902	-0,4923	1695
25	312	0,2292	-0,4370	289	5156	0,2292	-0,4370	2960
26	378	0,2675	-0,5031	344	6664	0,2675	-0,5031	3522
27	310	0,4012	-0,4696	210	3706	0,4012	-0,4696	2144
28	368	0,0965	-0,3617	416	6949	0,0965	-0,3617	4263

ÁBACO MCT

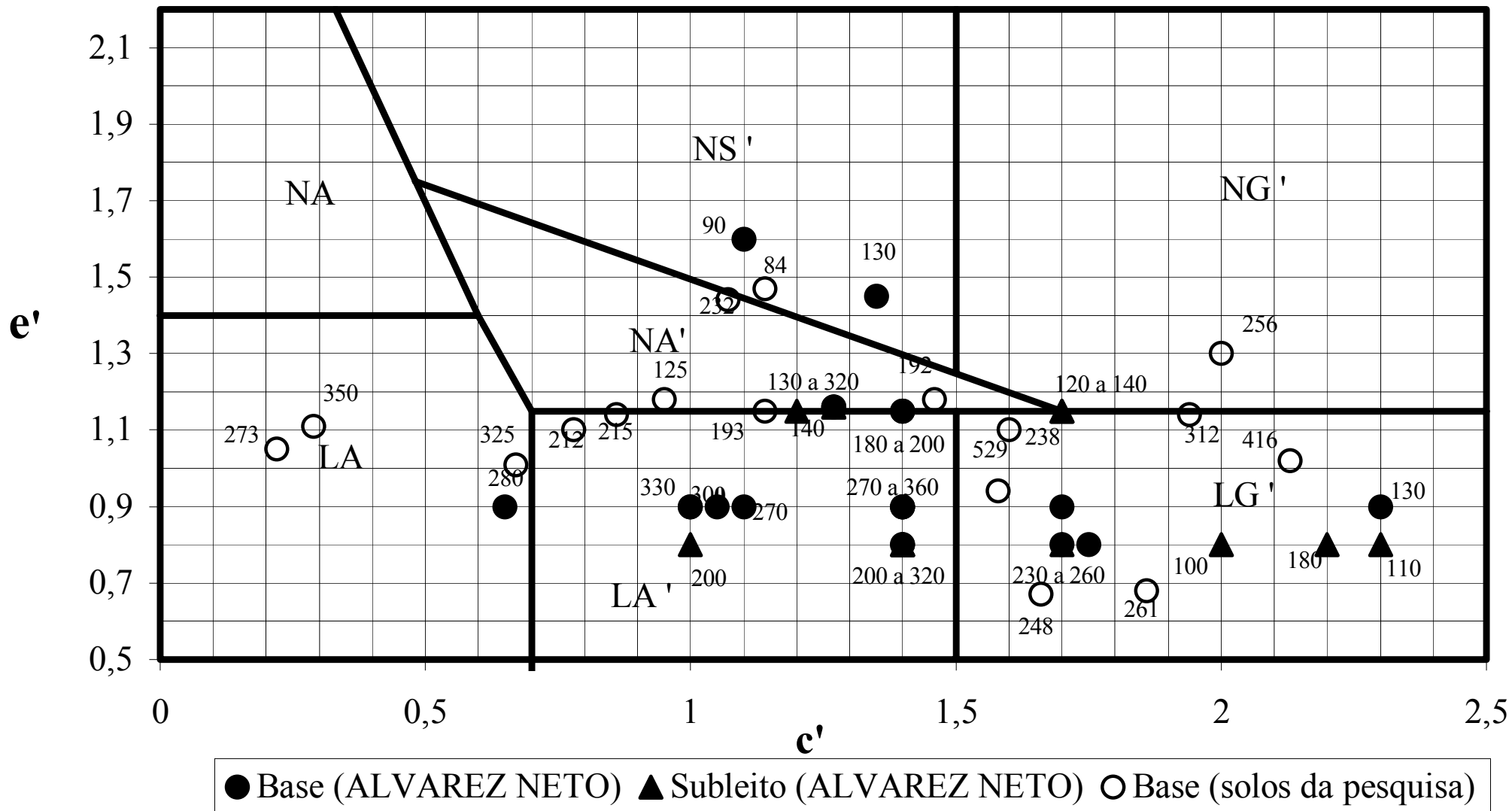


Figura 4.01 - Gráfico dos grupos de solos MCT x Módulo de Resiliência (MPa) (ALVAREZ NETO, 1997 e ensaios desta pesquisa).

4.3 – Ensaios de imprimação

Foram realizados ensaios de imprimação com as 28 amostras deste estudo, utilizando-se a energia de compactação intermediária e diferentes umidades segundo a metodologia de VILLIBOR (1981) e CASTRO (2003). Utilizou-se como ligante asfáltico pelo menos dois tipos de emulsão (emulsão antipó - EM3 e emulsão RM-1C – EM4) e duas taxas de aplicação. A determinação das taxas de emulsão para realização dos ensaios foram a partir da classificação MCT. Adotou-se utilizar taxas de 1,2 e 1,5 l/m² para solos argilosos e 1,5 e 1,8 l/m² para solos arenosos, após verificar os estudos de CASTRO (2003) e os primeiros ensaios do presente trabalho.

Além da metodologia de imprimação com utilização de corpos de prova do MCT, foram feitas imprimações em corpos de provas moldados no cilindro Marshall utilizando a granulometria completa do material com a finalidade de verificar a influência das dimensões do cilindro em relação ao tamanho máximo dos grãos retidos na peneira número 10 (peneira de 2,0mm) em relação à penetração da emulsão, quando comparado ao mini corpo de prova. Foram ensaiadas nesta condição (cilindro Marshall) 28 amostras com a emulsão antipó (EM3) em diferentes taxas e umidades, conforme sugerido por CASTRO (2003).

Para execução dos ensaios de imprimação procedeu-se da seguinte maneira: foram definidos 2 teores diferentes de umidade ($h_{ot} - 2\%$ e h_{ot}) e homogeneizados pares de porções de cada amostra nestas umidades. Após homogeneização, estas porções foram acondicionadas em câmara úmida por 24 horas sendo a seguir submetidas ao ensaio de compactação no compactador MCT, na energia intermediária (6 golpes do soquete pesado de cada lado do cilindro). Antes de colocar o material no molde utilizou-se o anel de vedação para evitar a perda de solo, conforme previsto pela norma. Na parte superior do corpo de prova foi colocada uma peça denominada “macho” que cria um ressalto no corpo de prova que se destina à aplicação posterior do ligante asfáltico.

Após a moldagem do corpo de prova foi feita a imprimação utilizando-se uma ampola de seringa para fazer a dosagem correta e melhor distribuição deste produto na superfície rebaixada do corpo de prova. Esta imprimação foi feita imediatamente após a

compactação, visto que CASTRO (2003) mostrou que a influência da molhagem prévia ou a espera de 24 horas para a imprimação do solo não é muito significativa nos resultados.

A campanha básica de imprimação utilizada em cada solo consistiu na moldagem de 8 corpos de prova aplicando-se a emulsão antipó (EM3), sendo 4 corpos de prova Marshall e 4 corpos de prova mini. Foram utilizados 2 corpos de prova para cada taxa, sendo cada um em uma umidade diferente (o primeiro na umidade ótima e o segundo em uma umidade de 2% abaixo da ótima).

Para a emulsão RM-1C (EM4) foram moldados 4 corpos de prova mini, respeitando as taxas de emulsão e umidades de compactação, da mesma forma que para a emulsão antipó (EM3).

Com as emulsões EM1 e EM2 foram ensaiadas apenas 4 solos de características geotécnicas e pedológicas distintas de forma a verificar o comportamento de solos argilosos e arenosos. Foram moldados 4 corpos de prova mini para cada amostra da mesma forma que para a primeira emulsão antipó testada (EM3).

Utilizou-se um tempo mínimo de espera de 48 horas para cura da emulsão, contudo verificou-se que a partir de 24 horas a penetração se estabiliza. No entanto, é conveniente partir o corpo de prova após 48 horas porque é mais fácil a determinação da medida de penetração após este tempo. Este fato é verificado especificamente quando ocorre exudação da emulsão na superfície do corpo de prova. O tempo da metodologia proposta por VILLIBOR (1981) de 24 horas aplica-se quando da utilização de asfalto diluído na imprimação.

Não foi utilizado parafina na lateral e fundo do corpo de prova, conforme a metodologia VILLIBOR (1981), visto que as perdas de umidade abaixo da superfície da região imprimada e no meio do corpo de prova não ocorrem de forma acentuada nas 24 horas após moldagem.

Tomou-se o cuidado de verificar a presença de exudação na superfície da região imprimada. A planilha de ensaio proposta neste estudo e mostrada no próximo capítulo e em anexo possui um campo onde é registrada a presença ou não de exudação em mais de 50% da área imprimada. Concluiu-se que quando a taxa de emulsão aplicada possibilita exudação em mais de 50% da área imprimada, deve-se reduzir a taxa de emulsão.

Após a quebra longitudinal do corpo de prova foi determinada a espessura de penetração do material betuminoso. Vale lembrar que esta espessura consiste na soma da profundidade que a emulsão penetrou no solo com a possível camada de ligante que não penetrou no mesmo. A espessura foi determinada utilizando-se o paquímetro em 3 determinações em pontos centrais do corpo de prova. Adotou-se como unidade da espessura média o milímetro sendo aceito a fração metade do milímetro.

A partir dos resultados de teor de umidade de compactação, densidade aparente seca e espessura de penetração nos corpos de prova, foram traçados gráficos para permitir uma análise do comportamento observado para todos os solos ensaiados, que estão apresentados nas planilhas no anexo II.

O Quadro 3 apresentado no anexo I apresenta fotos referentes aos passos do ensaio de imprimação.

Apresenta-se na tabela 4.06 o resumo das penetrações obtidas na umidade ótima da energia intermediária para cada solo em relação a cada emulsão estudada.

A tabela 4.07 apresenta uma comparação entre as penetrações da emulsão antipó EM 3 quando aplicada sobre o corpo de prova moldado no mini C.P. e no cilindro Marshall, dos solos e misturas de solos considerados satisfatórios para aplicação da camada antipó pelos ensaios de desgaste.

Foram feitos ensaios de imprimação nos solos umedecidos abaixo da umidade ótima e na umidade ótima, porque a penetração da emulsão tende a ser aumentada quando o solo encontra-se com umidade inferior a umidade ótima. No entanto, não se deve

compactar o solo abaixo da umidade ótima de compactação, apesar do solo possuir condições favoráveis a penetração da emulsão em umidade de compactação inferior a umidade ótima de compactação.

Tabela 4.06 - Penetrações em obtidas na umidade ótima da energia intermediária para cada solo em relação a cada emulsão estudada.

Amostra / Taxa:	Imprimação mini C.P. (mm)												Imprimação EM 3 Marshall (l/m ²)		
	EM 1 (l/m ²)			EM 2 (l/m ²)			EM 3 (l/m ²)			EM 4 (l/m ²)			1,2	1,5	1,8
	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8			
01	*	*	*	*	*	*	*	4,5	5,0	*	1,5	1,0	*	6,0	7,5
02	*	*	*	*	*	*	3,5	3,5	*	1,0	1,0	*	3,5	4,0	*
03	*	*	*	*	*	*	*	7,5	5,5	*	1,5	1,5	*	5,0	7,0
04	*	*	*	*	*	*	*	5,0	4,0	*	1,5	1,5	*	7,0	6,0
05	*	*	*	*	*	*	*	6,5	7,0	*	*	*	*	17,0	17,5
06	*	2,0	2,5	*	2,5	2,5	*	7,0	7,0	*	2,0	2,0	*	12,0	14,0
07	1,5	1,5	*	1,5	2,5	*	2,5	3,0	*	1,0	1,0	*	2,5	2,5	*
08	*	*	*	*	*	*	*	5,5	5,5	*	2,0	2,0	*	9,5	10,0
09	*	*	*	*	*	*	*	4,0	5,5	*	1,5	1,5	*	6,0	6,5
10	*	*	*	*	*	*	*	6,5	6,0	*	2,5	2,5	*	8,5	10,0
11	*	*	*	*	*	*	*	7,0	8,0	*	1,5	1,5	*	10,0	10,0
12	*	*	*	*	*	*	*	4,0	5,0	*	1,5	1,5	*	4,5	8,0
13	*	*	*	*	*	*	*	3,0	3,0	*	1,0	1,5	*	4,0	5,5
14	*	*	*	*	*	*	1,5	1,5	*	1,0	1,0	*	1,5	1,5	*
15	1,5	1,5	*	1,5	2,0	*	1,0	1,0	*	1,5	2,0	*	4,0	5,0	*
16	*	*	*	*	*	*	2,0	2,0	*	1,0	1,0	*	7,0	6,0	*
17	*	*	*	*	*	*	1,5	1,5	*	1,0	1,0	*	2,0	2,0	*
18	1,0	1,5	*	1,0	1,5	*	3,0	3,5	*	1,0	1,0	*	6,5	5,5	*
19	*	*	*	*	*	*	4,5	5,5	*	1,0	1,0	*	5,5	7,5	*
20	*	*	*	*	*	*	4,5	4,5	*	1,0	1,0	*	5,5	6,5	*
21	*	*	*	*	*	*	5,0	4,5	*	1,5	1,5	*	5,5	6,5	*
22	*	*	*	*	*	*	4,0	4,0	*	2,0	2,0	*	6,5	7,0	*
23	*	*	*	*	*	*	1,5	2,0	*	0,5	0,5	*	6,0	6,5	*
24	*	*	*	*	*	*	2,0	2,0	*	1,0	1,0	*	3,5	3,5	*
25	*	*	*	*	*	*	1,0	2,0	*	1,0	1,0	*	3,0	3,5	*
26	*	*	*	*	*	*	1,5	2,0	*	1,0	1,0	*	5,0	5,0	*
27	*	*	*	*	*	*	2,0	2,0	*	1,5	1,5	*	4,0	5,0	*
28	*	*	*	*	*	*	1,0	1,0	*	2,0	2,0	*	5,0	6,0	*

* Ensaio não realizado.

Verifica-se penetrações maiores nos corpos de prova moldados no cilindro Marshall, todavia os mesmos estavam quase sempre com massas específicas aparentes inferiores aos corpos de prova moldados no cilindro mini, conforme a planilha de ensaio do anexo II. Ainda, as amostras moldadas no cilindro Marshall eram constituídas de toda a granulometria do material enquanto que as amostras moldadas no cilindro mini eram constituídas da fração de solo passante na peneira 2,0 mm.

Portanto, a presente pesquisa sugere a utilização dos corpos de prova mini C.P. e Marshall para o ensaio de imprimação de solos, respectivamente, finos e grossos. No entanto, o autor sugere a utilização do ensaio de imprimação somente para a determinação da taxa de emulsão para aplicação do 1º banho.

Tabela 4.07 - Comparação entre as penetrações da emulsão antipó EM 3 quando aplicada sobre o corpo de prova moldado no mini C.P. e no cilindro Marshall, dos solos e misturas de solos considerados satisfatórios para aplicação da camada antipó pelos ensaios de desgaste.

Amostra de solo	Emulsão	Mini C.P. (mm)	Marshall (mm)
AM 06	EM 3	7,0	14,0
AM 07	EM 3	2,5	2,5
AM 11	EM 3	8,0	10,0
AM 15	EM 3	1,0	4,0
AM 16	EM 3	2,0	7,0
AM 17	EM 3	1,5	2,0
AM 18	EM 3	3,0	6,5
AM 19	EM 3	4,5	5,5
AM 20	EM 3	4,5	5,5
AM 21	EM 3	5,0	5,5
AM 22	EM 3	4,0	6,5
AM 25	EM 3	1,0	3,0
AM 26	EM 3	1,5	5,0
AM 27	EM 3	2,0	4,0

4.4 – Ensaio de desgaste

Quando do início desta pesquisa, algumas dificuldades de adaptação dos ensaios de desgaste de microrrevestimento a frio para o tratamento antipó foram:

- A forma de compactação do solo a ser utilizada;
- Determinar o tempo necessário de ruptura da amostra para a realização do ensaio;
- Verificar a possibilidade de colocação da amostra em estufa para acelerar o processo de cura, mas a uma temperatura possível de aplicação no campo (temperatura não superior a 50°C);
- O número de ciclos aplicados no LWT e quando seriam medidos os afundamentos;
- Verificar a necessidade de utilização da carga padrão de 56 kg no ensaio LWT;
- O tempo de operação e a rotação da máquina WTAT;
- A dureza da borracha utilizada no contato entre a amostra e o equipamento;
- A forma de medição da deformação permanente vertical e a consideração da perda de material quando o mesmo é submetido à abrasão;
- A análise qualitativa dos resultados dos ensaios;
- A compatibilização dos resultados de laboratório com o campo, determinado a partir de notas de desempenho atribuídos aos parâmetros considerados relevantes para cada ensaio.

Os primeiros ensaios de LWT realizados nesta pesquisa, com as adaptações descritas no capítulo 3, foram desastrosos devido à falta de controle de compactação e ao tempo de ruptura da emulsão. O primeiro problema foi resolvido quando se passou a observar a compactação a partir da altura final do corpo de prova quando se utiliza a quantidade de material necessária para atingir a massa específica aparente máxima requerida. Para resolver o segundo problema, foi necessário maior tempo para sua percepção e foi resolvido em conjunto com o ensaio WTAT adaptado. Após a tentativa de vários

intervalos de tempo de ruptura, verificou-se que 48 horas em estufa a uma temperatura próxima a 50°C era suficiente para iniciar o ensaio. O ensaio de imprimação ajuda a verificar a taxa máxima de emulsão que penetra totalmente no solo. A película que fica exudada na superfície da base é muito pegajosa e viscosa em tempo inferior a 48 horas.

Os primeiros ensaios de WTAT realizados nesta pesquisa com as adaptações descritas no capítulo 3, foram desastrosos devido ao tempo de ruptura da emulsão e também quanto à escolha da borracha utilizada no contato entre a amostra e o equipamento. O primeiro problema foi resolvido da mesma forma que no ensaio LWT. Na escolha da borracha, inicialmente se utilizou a borracha padrão do ensaio de microrrevestimento e verificou-se sempre o desgaste total do tratamento antipó mesmo em amostras que se tinham certeza do bom desempenho no campo. Foi feita também uma tentativa de utilizar uma borracha de rigidez menor que a padrão e se verificou o desgaste total da borracha, sem qualquer dano ao tratamento antipó. No entanto, ao voltar a utilizar a borracha padrão e adotar o tempo de ruptura em estufa a uma temperatura próxima a 50°C por 48 horas verificou-se comportamento semelhante ao observado no campo nas obras já executadas com a técnica e a emulsão de xisto (EM3).

Outra dificuldade encontrada foi a de avaliar a técnica tratamento antipó de uma forma completa. Inicialmente, o antipó foi testado a partir das aplicações dos banhos de emulsão acrescidos do pó de pedra e não se chegou a resultados próximos do campo. Verificava-se que ocorria o arrancamento total do pó em todos solos testados até então, acrescidos do arrancamento de parte da penetração quantitativamente diferentes entre os solos estudados. Buscou-se então avaliar o desgaste da base imprimada, onde foi possível constatar os efeitos referentes à interação solo-emulsão, além de definir o efeito do tempo de ruptura. Todavia, mais tarde voltou-se a verificar o desgaste do tratamento antipó quando aplicados os banhos e o pó de pedra em algumas amostras, sendo observado que a utilização de uma 2ª cura em estufa após o 2º banho pelo tempo mínimo de 48 horas, a aproximadamente 50°C, permitia a realização do teste, distinguindo solos de bom e mau comportamento para aplicação da técnica tratamento antipó.

Os ensaios de desgaste sobre a base imprimada foram realizados nas 28 amostras estudadas utilizando as emulsões EM 3 e EM 4 e os resultados estão apresentados na tabela 4.08 e tabela 4.10. A tabela 4.09 e a tabela 4.11 apresentam uma comparação das 4 emulsões pesquisadas em 4 solos de diferentes características (amostra 06, amostra 07, amostra 15 e amostra 18).

As taxas de emulsão utilizadas nos ensaios de desgaste foram de 1,5 l/m² e 1,8 l/m², respectivamente, para solos finos argilosos e arenosos.

Analisou-se também a possibilidade de utilização de areia de rio (amostra 30) no lugar do pó de pedra (amostra 29) no salgamento do tratamento antipó. Os resultados estão apresentados nas tabelas 4.12 e 4.13. Estas tabelas mostram as notas de desempenho segundo as tabelas 3.06 a 3.11, apresentadas no capítulo 3.

Tabela 4.08 – Resultados dos ensaios de desgaste WTAT adaptado utilizando as emulsões EM3 e EM4 nos solos e misturas de solos desta pesquisa.

WTAT utilizando as emulsões EM 3 e EM 4					
Amostra solo / Emulsão	Notas de desempenho				Conceito
	Observações visuais	Deformação Vertical	Perda por Abrasão (%)	Pontuação	
AM 01 EM 3	0	0	0	0	Péssimo
AM 01 EM 4	5	10	8	23	Bom
AM 02 EM 3	5	5	5	15	Péssimo
AM 02 EM 4	5	10	10	25	Bom
AM 03 EM 3	0	0	0	0	Péssimo
AM 03 EM 4	8	10	10	28	Muito Bom
AM 04 EM 3	0	0	0	0	Péssimo
AM 04 EM 4	10	10	10	30	Muito Bom
AM 05 EM 3	0	0	0	0	Péssimo
AM 05 EM 4	0	0	0	0	Péssimo
AM 06 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 06 EM 4	10	10	8	28	Muito Bom
AM 07 EM 3	10	8	10	28	Muito Bom
AM 07 EM 4	0	8	8	16	Ruim
AM 08 EM 3	5	5	5	15	Ruim
AM 08 EM 4	10	10	10	30	Muito Bom
AM 09 EM 3	0	0	0	0	Péssimo
AM 09 EM 4	8	8	10	26	Bom
AM 10 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 10 EM 4	10	10	8	28	Muito Bom
AM 11 EM 3	10	10	8	28	Muito Bom

WTAT utilizando as emulsões EM 3 e EM 4					
Amostra solo	Notas de desempenho				Conceito
/ Emulsão	Observações visuais	Deformação Vertical	Perda por Abrasão (%)	Pontuação	
AM 11 EM 4	8	10	10	28	Muito Bom
AM 12 EM 3	0	0	0	0	Péssimo
AM 12 EM 4	8	8	0	16	Ruim
AM 13 EM 3	5	0	0	5	Péssimo
AM 13 EM 4	0	0	0	0	Péssimo
AM 14 EM 3	0	10	10	20	Ruim
AM 14 EM 4	0	10	5	15	Ruim
AM 15 EM 3	5	10	10	25	Bom
AM 15 EM 4	0	8	5	13	Péssimo
AM 16 EM 3	10	10	8	28	Muito Bom
AM 16 EM 4	8	10	10	28	Muito Bom
AM 17 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 17 EM 4	5	0	10	15	Péssimo
AM 18 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 18 EM 4	5	10	10	25	Bom
AM 19 EM 3	10	8	10	28	Muito Bom
AM 19 EM 4	5	10	10	25	Bom
AM 20 EM 3	8	8	10	26	Bom
AM 20 EM 4	8	5	8	21	Ruim
AM 21 EM 3	8	8	10	26	Bom
AM 21 EM 4	5	8	8	21	Ruim
AM 22 EM 3	8	10	10	28	Muito Bom
AM 22 EM 4	8	8	8	24	Bom
AM 23 EM 3	5	0	5	10	Péssimo
AM 23 EM 4	5	0	8	13	Péssimo
AM 24 EM 3	5	0	5	10	Péssimo
AM 24 EM 4	8	5	10	23	Bom
AM 25 EM 3	8	8	10	26	Bom
AM 25 EM 4	5	0	8	13	Péssimo
AM 26 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 26 EM 4	0	8	8	16	Ruim
AM 27 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 27 EM 4	0	5	10	15	Péssimo
AM 28 EM 3	8	8	8	24	Bom
AM 28 EM 4	0	5	5	10	Péssimo

Tabela 4.09 – Resultados dos ensaios de desgaste WTAT utilizando as 4 emulsões e algumas amostras desta pesquisa.

WTAT utilizando as emulsões EM 1, EM 2, EM 3 e EM 4					
Amostra solo	Notas de desempenho				Conceito
/ Emulsão	Observações visuais	Deformação Vertical	Perda por Abrasão (%)	Pontuação	
AM 06 EM 1	5	0	8	13	Péssimo
AM 06 EM 2	8	0	8	16	Ruim

WTAT utilizando as emulsões EM 1, EM 2, EM 3 e EM 4					
Amostra solo	Notas de desempenho				Conceito
/ Emulsão	Observações visuais	Deformação Vertical	Perda por Abrasão (%)	Pontuação	
AM 06 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 06 EM 4	10	10	10	30	Muito Bom
AM 07 EM 1	5	5	10	20	Ruim
AM 07 EM 2	5	10	10	25	Bom
AM 07 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 07 EM 4	0	8	8	16	Ruim
AM 15 EM 1	0	0	8	8	Péssimo
AM 15 EM 2	5	10	10	25	Bom
AM 15 EM 3	5	10	10	25	Bom
AM 15 EM 4	0	8	5	13	Péssimo
AM 18 EM 1	5	10	10	25	Bom
AM 18 EM 2	5	10	10	25	Bom
AM 18 EM 3	10	10	10	30	Muito Bom
AM 18 EM 4	5	10	10	25	Bom

Tabela 4.10 – Resultados dos ensaios de desgaste LWT utilizando as emulsões EM3 e EM4 nos solos e misturas de solos desta pesquisa.

LWT utilizando as emulsões EM 3 e EM 4				
Amostra solo	Notas de desempenho			Conceito
/ Emulsão	Observações visuais	Afundamento	Pontuação	
AM 01 EM 3	8	5	13	Ruim
AM 01 EM 4	8	8	16	Bom
AM 02 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 02 EM 4	0	8	8	Ruim
AM 03 EM 3	0	5	5	Péssimo
AM 03 EM 4	10	10	20	Muito Bom
AM 04 EM 3	0	5	5	Péssimo
AM 04 EM 4	10	10	20	Muito Bom
AM 05 EM 3	0	0	0	Péssimo
AM 05 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 06 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 06 EM 4	8	5	13	Ruim
AM 07 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 07 EM 4	0	10	10	Ruim
AM 08 EM 3	10	5	15	Bom
AM 08 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 09 EM 3	5	5	10	Ruim
AM 09 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 10 EM 3	5	0	5	Péssimo
AM 10 EM 4	5	0	5	Péssimo
AM 11 EM 3	8	10	18	Muito Bom
AM 11 EM 4	8	10	18	Muito Bom
AM 12 EM 3	5	0	5	Péssimo

LWT utilizando as emulsões EM 3 e EM 4				
Amostra solo	Notas de desempenho			Conceito
/ Emulsão	Observações visuais	Afundamento	Pontuação	
AM 12 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 13 EM 3	0	5	5	Péssimo
AM 13 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 14 EM 3	8	10	18	Muito Bom
AM 14 EM 4	0	10	10	Ruim
AM 15 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 15 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 16 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 16 EM 4	8	10	18	Muito Bom
AM 17 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 17 EM 4	0	10	10	Ruim
AM 18 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 18 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 19 EM 3	8	8	16	Bom
AM 19 EM 4	5	5	10	Ruim
AM 20 EM 3	5	10	15	Bom
AM 20 EM 4	8	5	13	Ruim
AM 21 EM 3	8	8	16	Bom
AM 21 EM 4	5	8	13	Ruim
AM 22 EM 3	8	8	16	Bom
AM 22 EM 4	5	5	10	Bom
AM 23 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 23 EM 4	0	8	8	Ruim
AM 24 EM 3	0	0	0	Péssimo
AM 24 EM 4	8	8	16	Bom
AM 25 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 25 EM 4	5	10	15	Bom
AM 26 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 26 EM 4	0	8	8	Ruim
AM 27 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 27 EM 4	5	10	15	Bom
AM 28 EM 3	8	5	13	Ruim
AM 28 EM 4	5	0	5	Péssimo

Tabela 4.11 – Resultados dos ensaios de desgaste LWT utilizando as 4 emulsões e algumas amostras desta pesquisa.

LWT utilizando as emulsões EM 1, EM 2, EM 3 e EM 4				
Amostra solo	Notas de desempenho			Conceito
/ Emulsão	Observações visuais	Afundamento	Pontuação	
AM 06 EM 1	8	0	8	Ruim
AM 06 EM 2	8	0	8	Ruim
AM 06 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 06 EM 4	8	5	13	Ruim

LWT utilizando as emulsões EM 1, EM 2, EM 3 e EM 4				
Amostra solo / Emulsão	Notas de desempenho			Conceito
	Observações visuais	Afundamento	Pontuação	
AM 07 EM 1	0	8	8	Ruim
AM 07 EM 2	0	8	8	Ruim
AM 07 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 07 EM 4	0	10	10	Ruim
AM 15 EM 1	5	5	10	Ruim
AM 15 EM 2	5	0	5	Péssimo
AM 15 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 15 EM 4	0	0	0	Péssimo
AM 18 EM 1	0	5	5	Ruim
AM 18 EM 2	0	0	0	Péssimo
AM 18 EM 3	10	10	20	Muito Bom
AM 18 EM 4	0	0	0	Péssimo

Tabela 4.12 – Resultados dos ensaios de desgaste WTAT utilizando a emulsão EM3 e amostra 04 e alternando o material para salgamento.

WTAT utilizando a emulsão EM 3 e amostra 04					
Pó para Salgamento	Notas de desempenho				Conceito
	Observações	Deformação	Perda por Abrasão	Pontuação	
Areia (Tap duplo)	0	0	0	0	Péssimo
Areia (Tap simples)	0	0	0	0	Péssimo
Pó de pedra (Tap duplo)	10	8	8	26	Bom
Pó de pedra (Tap simples)	8	8	8	24	Bom

Tabela 4.13 – Resultados dos ensaios de desgaste LWT utilizando a emulsão EM3 e amostra 04 e alternando o material para salgamento.

LWT utilizando a emulsão EM 3 e amostra 04				
Pó para Salgamento	Notas de desempenho			Conceito
	Observações visuais	Afundamento	Pontuação	
Areia (Tap duplo)	5	5	10	Ruim
Areia (Tap simples)	0	5	5	Péssimo
Pó de pedra (Tap duplo)	8	8	16	Bom
Pó de pedra (Tap simples)	5	8	13	Ruim

Apresenta-se na tabela 4.14 os resultados dos ensaios LWT e WTAT das amostras testadas nesta pesquisa, consideradas satisfatórias para a aplicação da camada antipó.

Os ensaios de desgaste, LWT e WTAT adaptados, mostraram-se promissores para a seleção de materiais para base do tratamento antipó bem como para avaliar a durabilidade da camada de antipó.

Nestes ensaios foram realizadas medidas de afundamentos, deformações verticais, perda por abrasão, além de aferições visuais. Entretanto, é necessário lembrar que as deformações verticais e afundamentos aqui tratados estão associados às deformações verticais e afundamentos propriamente ditos, aliados aos grãos da amostra que se arrancam durante o ensaio.

Verificou-se na pesquisa que a utilização do segundo banho com uma emulsão de maior viscosidade (emulsão RM-1C, neste trabalho) conduz a uma melhor aderência ao material utilizado no salgamento, além de diminuir o tempo de cura.

Tabela 4.14 - Resultados dos ensaios LWT e WTAT dos solos considerados satisfatórios para a aplicação da camada antipó.

Amostra de solo	Emulsão	LWT	WTAT
AM 01	EM 4	Bom	Bom
AM 03	EM 4	Muito Bom	Muito Bom
AM 04	EM 4	Muito Bom	Muito Bom
AM 06	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 07	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 11	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 11	EM 4	Muito Bom	Muito Bom
AM 15	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 16	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 16	EM 4	Muito Bom	Muito Bom
AM 17	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 18	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 19	EM 3	Bom	Bom
AM 20	EM 3	Bom	Bom
AM 21	EM 3	Bom	Bom
AM 22	EM 3	Muito Bom	Bom
AM 22	EM 4	Bom	Bom
AM 24	EM 4	Bom	Bom
AM 25	EM 3	Bom	Muito Bom
AM 26	EM 3	Muito Bom	Muito Bom
AM 27	EM 3	Muito Bom	Muito Bom

Dentre as 28 amostras estudadas nesta pesquisa, 18 amostras obtiveram resultados dos ensaios de desgaste satisfatórios, sendo 14 amostras com emulsão antipó (EM 3), 7 amostras com emulsão RM – 1C (EM 4) e 3 amostras com ambas as emulsões.

Dentre as 18 amostras de solos que obtiveram resultados de ensaios de desgaste satisfatórios, apenas 7 amostras possuem menos de 5% dos grãos retido na peneira de 2,0 mm.

Dentre as 18 amostras de solos que obtiveram resultados de ensaios de desgaste satisfatórios, 15 amostras possuem comportamento laterítico e 3 amostras possuem comportamento não laterítico segundo a classificação MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1981). Segundo a classificação de VERTAMATTI (1988), 5 solos possuem comportamento laterítico e 13 solos possuem comportamento transicional.

Os resultados de desgaste LWT e WTAT das amostras ensaiadas foram semelhantes e o autor acredita que a partir de um estudo com um número maior de amostras pode ser realizado a dosagem com apenas um ensaio de desgaste.

4.5 – Ensaio de Pêndulo Britânico

A tabela 4.15 apresenta o resumo dos ensaios de atrito realizados com o pêndulo britânico em duas amostras de solo deste estudo.

O manual do fabricante do equipamento recomenda como valor mínimo de resistência à derrapagem o valor igual a 45 para o revestimento de concreto betuminoso usinado a quente.

O BOLETIM TÉCNICO Nº 18 (ABPv, 1999) recomenda um valor admissível para a resistência a derrapagem superior a 55 para o pavimento.

Tabela 4.15 – Ensaio de resistência a derrapagem realizados com o pêndulo britânico.

Tratamento Antipó duplo com emulsão antipó (EM 3) – taxa de emulsão: 1,5 +1,5 l/m ²				
Amostra de solo	Amostra 03		Amostra 18	
Taxa de pó	7 kg/m ²	5 kg/m ²	7 kg/m ²	5 kg/m ²
Resistência a Derrapagem	39	31	50	39

Os resultados encontrados foram baixos, ainda mais tendo em vista que o ensaio foi feito sem a presença da película de água.

O autor sugere continuar a pesquisa deste importante fator de controle de qualidade de um revestimento comparando os valores encontrados acima com ensaios de campo, visto que não é possível fazer o ensaio de pêndulo dentro de uma amostra moldada no WTAT com a molhagem da superfície, e evidentemente, a condição de aplicação no campo do tratamento antipó e a posterior ação do tráfego são diferentes das condições da amostra testada.

A realização do ensaio de pêndulo britânico foi uma tentativa de determinação do atrito do tratamento antipó, mesmo realizando o ensaio sem uma molhagem prévia e em condições de amostragem pequena.

CAPÍTULO 5

UM TRECHO OBSERVADO

5.1 – Introdução

Após a observação de vários trechos realizados com a técnica tratamento antipó com o produto antipó da SIX feitas por CASTRO (2003) e a realização de ensaios para proposição de uma metodologia de escolha de materiais e de método construtivo por esta pesquisa, tornou-se necessário o acompanhamento da aplicação do produto em um trecho experimental segundo a metodologia proposta. A princípio o trecho experimental tem a finalidade de ajuste entre a metodologia proposta para os ensaios de laboratório e o campo, verificando as atribuições de desempenho dos ensaios de desgaste feitos em laboratório, além de verificar o método construtivo sugerido da técnica tratamento antipó. Nesse escopo, foram realizados ensaios de laboratório com os materiais disponíveis para a obra do trecho a ser construído, conforme prescrito nos capítulos anteriores.

No entanto, a oportunidade de observação de um trecho de tratamento antipó veio de um contrato entre a PETROBRAS DISTRIBUIDORA S. A. e a prefeitura do município de São Gonçalo, em tempo hábil para compor este trabalho. Foram escolhidos dois solos, sendo um localizado na própria pista onde seria aplicada a técnica tratamento antipó (rua Maria Euvira, bairro do Rocha, São Gonçalo – RJ) e o outro em uma jazida próxima à pista (distância de aproximadamente 4 Km).

5.2 – Clima e Temperatura

O Clima da região é tropical, quente e úmido, com variações locais, devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano; a temperatura média anual do ar é de 22°C, com médias diárias elevadas no verão (de 30° a 32°) e no inverno de 10°C; as chuvas variam de 1.200 a 1.800 mm anuais. Nos quatro meses mais quentes do

ano, dezembro a março, os dias muito quentes são sempre seguidos de tardes luminosas, quando em geral caem chuvas fortes e rápidas. Ocorrem aguaceiros no verão, por vezes de trágicas conseqüências, pela intensidade e duração da chuva, com perdas de vidas, e estragos na superfície urbana (RAMOS, 2003).

5.3 – Ensaio de laboratório

Com a finalidade de se verificar a possibilidade de aplicação das amostras de solo colhidas na obra na técnica tratamento antipó com utilização de emulsão antipó, foram realizados ensaios para o estudo das características dos solos e o estudo da interação solo-emulsão antipó segundo a metodologia proposta nesta tese.

Mostra-se nos quadros resumos seguintes os resultados obtidos dos ensaios de caracterização convencionais na tabela 5.01, ensaios de caracterização segundo a metodologia MCT na tabela 5.02 e ensaios de imprimação na tabela 5.03.

Foi utilizada a fração passante na peneira de 2,0 mm para a caracterização dos solos segundo a metodologia MCT, apesar dos solos apresentarem grande quantidade de material retido na peneira de 2,0 mm, conforme especifica a norma. Contudo, buscou-se definir o comportamento dos solos também quanto a sua gênese na hora da coleta de amostras, e verificou-se o comportamento não laterítico. No entanto, é verificada a utilização de solos granulares não lateríticos na literatura e na prática, de maneira significativa e com obtenção de bons resultados como por exemplo o relato da experiência do DER-BA no capítulo 2. A classificação MCT encontrada foi NA', porém foram obtidos bons resultados nos ensaios de desgaste LWT e WTAT, quando se utilizou a granulometria completa dos materiais.

Confirma-se que para materiais com grande quantidade retida na peneira de 2,0 mm não há necessidade de fazer a metodologia MCT.

Tabela 5.01 - Ensaio de caracterização convencional das amostras estudadas para o trecho observado.

Amostra de solo	Granulometria (% passante)					Densidade real dos grãos (g/cm ³)
	#3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	
PISTA	87,7	79,8	62,1	30,0	1,2	2,585
JAZIDA	94,4	80,9	52,9	25,7	5,7	2,512
Pó de Pedra	100,0	94,3	69,9	43,0	14,8	2,611

Tabela 5.02 - Ensaio de caracterização segundo metodologia MCT das frações passante na peneira de 2,0 mm das amostras estudadas para o trecho observado.

Amostra de solo	Parâmetros MCT				Classificação MCT	Compactação MCV (24golpes)	
	c'	d'	e'	Pi		d _{máx} (Kg/cm ³)	H _{ótima} (%)
PISTA	0,69	27,2	1,29	143	NA'	2,030	9,5
JAZIDA	0,79	15,6	1,31	95	NA'	1,932	13,9

Tabela 5.03 - Ensaio de imprimação das amostras estudadas para o trecho observado.

Amostra de solo	Imprimação mini C.P. (mm) Emulsão ANTIPÓ (1,8 l/m ²)
PISTA	5,5
JAZIDA	11,0

Verificou-se após análises a necessidade de realização do ensaio de imprimação no molde Marshall visto que os solos ensaiados não contemplam a realização de mini C.P.

A partir dos ensaios de desgaste realizados, cabe atribuir notas para os quesitos julgados importantes e avaliados nos ensaios de desgaste. A tabela 5.04 e a tabela 5.05 apresentam, respectivamente, os resultados dos ensaios de desgaste WTAT e LWT para estes materiais. O resumo dos ensaios de desgaste estão na tabela 5.06.

Os resultados apresentados justificam a utilização tanto do solo da pista quanto do solo da jazida para aplicação da técnica tratamento antipó. Portanto, por motivos de ordem econômica, recomendou-se a utilização do material da pista para aplicação da técnica tratamento antipó.

As taxas de emulsão recomendadas foram de 1,8 litros/m² no primeiro banho e de 1,0 litros/m² no segundo banho.

Tabela 5.04 – Resumo dos resultados do ensaio WTAT das amostras estudadas para o trecho observado.

WTAT					
Amostra solo	Notas				Conceito
	Obs. visuais	Deform. Vertical	Perda por Abrasão(%)	Pontuação	
Pista – base imprimada (1,8 l/m ²)	8	10	10	28	Muito Bom
Pista – anti-pó (1,8 + 1,0 l/m ² + pó)	10	10	10	30	Muito Bom
Jazida – base imprimada (1,8 l/m ² + pó)	10	10	8	28	Muito Bom
Jazida – anti-pó (1,8 + 1,0 l/m ² + pó)	10	10	10	30	Muito Bom

Tabela 5.05 – Resumo dos resultados do ensaio LWT das amostras estudadas para o trecho observado.

LWT				
Amostra solo	Notas			Conceito
	Obs. visuais	Afundamento	Pontuação	
Pista – base imprimada (1,8 l/m ²)	10	10	20	Muito Bom
Pista – anti-pó (1,8 + 1,0 l/m ² + pó)	10	10	20	Muito Bom
Jazida – base imprimada (1,8 l/m ² + pó)	8	10	18	Muito Bom
Jazida – anti-pó (1,8 + 1,0 l/m ² + pó)	10	10	20	Muito Bom

Os resultados detalhados de cada ensaio podem ser vistos no Anexo VIII.

Tabela 5.06 - Ensaio de desgaste (LWT e WTAT) das amostras estudadas para o trecho observado.

Amostra de solo	LWT – Loaded Wheel Test (Emulsão ANTIPÓ)		WTAT – Wet Track Abrasion Test (Emulsão ANTIPÓ)	
	Base imprimada	Tratamento Antipó	Base imprimada	Tratamento Antipó
PISTA	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom
JAZIDA	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom

5.4 – Características do trecho observado

A rua Maria Euvira possui 140 metros de comprimento e 6 metros de largura, totalizando uma área de 840 m², sendo construída no dia 07 de janeiro de 2004. A rua apresenta um greide de fácil drenagem longitudinal, possuindo canaletas e meio fio em quase toda extensão.

O tráfego de veículos na rua é essencialmente composto de veículos de passeio dos próprios moradores, o caminhão de lixo duas vezes por semana e alguns caminhões esporadicamente. Não existem linhas de ônibus passando pela rua. Portanto, o tráfego caracterizado nesta rua é leve e adequado para o aproveitamento satisfatório da técnica tratamento antipó.

Foram encontradas tubulações clandestinas de água nos primeiros centímetros do greide natural, dificultando os serviços de escarificação e compactação da base.

A dosagem proposta consiste em aplicar dois banhos de emulsão antipó sobre o solo local existente escarificado 10 cm e compactado totalizando 2,8 litros/m², sendo o primeiro de 1,8 litros/m² e o segundo de 1,0 litros/m². Considerando a geometria da rua seriam necessários 2.350 litros de emulsão.

5.5 – Método de execução

A execução do trecho experimental foi realizada com equipamentos da prefeitura do município de São Gonçalo e da empresa ECOPAVE (empresa credenciada pela PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. para a realização de serviços de tratamento antipó no estado do Rio de Janeiro).

A emulsão antipó foi cedida pela PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. totalizando 1800 litros. A falta de 550 litros de emulsão antipó resultaram em uma redução da taxa de emulsão total para 2,1 litros/m², sendo o primeiro banho de 1,3 litros/m² e o segundo de 0,8 litros/m². O comportamento do tratamento antipó devido a redução das taxas de emulsão não foi verificado devido a ausência de tempo hábil. No entanto, até a presente data da defesa deste trabalho, não encontrou-se defeitos ou problemas que comprometam a vida útil da via.

Primeiramente, ajustou-se o abaulamento transversal da via, deixando-a com caimento transversal mínimo de 2 % (declividade mínima necessária para que haja a drenagem da pista). Como inicialmente a rua não estava com este caimento, houve a necessidade de enchimento com material da jazida estudada. Escarificou-se 10 cm do solo local existente que foi misturado com o material importado da jazida.

A compactação procedeu-se utilizando rolo liso de chapa nas 6 primeiras passadas e rolo de pneu nas 2 últimas passadas. No final da compactação se verificou o arrancamento da camada de solo pelo rolo de pneu em alguns pontos onde a umidade do solo estava muito acima da umidade ótima. O procedimento utilizado para resolver o problema foi a escarificação nestes pontos para perda de umidade do solo e depois uma nova compactação do mesmo.

Após a base pronta (cerca de 12 cm de espessura), o primeiro banho de emulsão foi feito utilizando a caneta espargidora.

O segundo banho foi feito após quatro horas, de maneira que tanto o caminhão com a emulsão como o caminhão de pó de pedra, não passassem com os pneus diretamente

sobre a base imprimada, conforme pode ser visto nas fotos do quadro 8 do anexo I. Este procedimento se fez necessário para evitar o arrancamento da emulsão pelas rodas do pneu do caminhão.

O pó de pedra encontrava-se bastante úmido e foi utilizado mesmo assim por não haver outro disponível na região. A compactação do pó de pedra foi feita utilizando-se o rolo de pneu após a passagem dos caminhões e aconteceu a liberação ao tráfego no outro dia (cerca de 12 horas após o término da obra).

Vale ressaltar que o trecho experimental foi realizado sem nenhum controle de umidade, compactação e taxas de emulsão. Apesar de se tratarem de ensaios simples, são ensaios de suma importância para a qualidade final da construção, mas devido a problemas na obra, infelizmente não foram realizados.

5.6 - Modo de Escolha de Solos e Dosagem da Técnica Tratamento Antipó

O autor recomenda os seguintes ensaios para escolha de solos para aplicação da técnica tratamento antipó:

Se o solo analisado for granular grosso (porcentagem retida na peneira de abertura de 2,0 mm superior a 5%) recomenda-se classificar o mesmo segundo critérios convencionais de granulometria e plasticidade, visto a não adequação a metodologia MCT. Todavia, pode-se utilizar a fração passante na peneira de abertura de 2,0 mm para verificar o comportamento e a gênese dos finos. Considera-se que os finos, quando presentes em quantidades superiores a 35% da massa de solos, podem influenciar consideravelmente no comportamento mecânico do solo.

Se o solo analisado for fino (porcentagem retida na peneira de abertura de 2,0 mm inferior a 5%) recomenda-se classificar o mesmo segundo a metodologia MCT (ensaio mini-MCV e perda de massa por imersão). Considera-se solos de boas características mecânicas e hidráulicas os designados por comportamento laterítico pela metodologia MCT, utilizando-os como material de base para o tratamento antipó.

O autor recomenda os seguintes ensaios para dosagem da técnica tratamento antipó:

- A. Ensaio de imprimação mini C.P. e molde Marshall, respectivamente para solos finos e grossos (VILLIBOR, 1981 e CASTRO, 2003).
- B. Ensaio de desgaste LWT adaptado para antipó: 2 corpos de prova. Um corpo de prova para o teste do desgaste da base imprimada (1º banho) e um corpo de prova para o teste da camada antipó (2º banho e salgamento).
- C. Ensaio de desgaste WTAT adaptado para antipó: 2 corpos de prova. Um corpo de prova para o teste do desgaste da base imprimada (1º banho) e um corpo de prova para o teste da camada antipó (2º banho e salgamento).

5.7 - Modo de Aplicação da Técnica Tratamento Antipó

Embora o trecho experimental não tenha seguido todos os passos necessários para o sucesso do tratamento antipó, o acompanhamento do mesmo permitiu ao autor deste trabalho complementar suas observações de laboratório e com isso poder propor as seguintes etapas executivas para aplicação da técnica tratamento antipó:

- A. Regularização da base com abaulamento transversal da pista de no mínimo 2% e compactação da mesma na energia proctor intermediária;
- B. Aplicação da emulsão antipó na taxa definida pelos ensaios de desgaste e de imprimação (taxa mínima de $1,0 \text{ l/m}^2$ para solos argilosos e taxa máxima de $2,0 \text{ l/m}^2$ para solos arenosos);
- C. Aguardar um tempo de espera para penetração da emulsão antipó na base antes da aplicação do 2º banho que deve ser feito com taxa de emulsão RM-1C (tempo mínimo de 4 horas para solos arenosos e de no máximo de 12 horas para solos argilosos). Recomenda-se emulsão RM-1C no segundo banho devido os ensaios de desgaste da camada antipó mostraram-se satisfatórios em relação a emulsão

antipó. A verificação do tempo ideal de espera é feita através do ensaio de imprimação;

- D. Aplicação da emulsão RM-1C (Recomenda-se aplicar a emulsão RM-1C na taxa de 0,5 a 1,0 l/m². Esta taxa será função da granulometria do agregado de recobrimento, podendo ser areia ou pó de pedra). Nesta pesquisa o pó de pedra mostrou-se mais aderido à emulsão por motivos da geometria do grão;
- E. Aplicação do agregado de recobrimento de forma uniforme sobre a emulsão (A taxa de agregado será aquela suficiente para cobrir integralmente a emulsão, sem que haja exudação. Recomenda-se uma taxa de 6 a 10 kg/m² testada e definida no LWT e WTAT);
- F. Rolagem do tratamento antipó com rolo de pneus ou liso sobre o agregado (Experiências de campo recomendam 3 a 5 passadas do rolo);
- G. Varredura do excesso de agregado, se necessário, e abertura para o tráfego.

5.8 – Considerações finais

Os materiais ensaiados para compor o trecho da Rua Euvira mostraram-se aptos para a utilização da técnica, todavia é bom e necessário a retirada de algum pedregulho de diâmetro superior a uma polegada visto que o mesmo pode definir pontos de defeitos locais na técnica de tratamento antipó. A retirada destes pedregulhos pode ser feita após a escarificação e espalhamento do solo na pista.

A taxa ideal de emulsão é aquela necessária para preencher os vazios dos primeiros milímetros da superfície da base. Foi observado que se a emulsão não penetrar, ocorrerá uma exudação da mesma sobre a base e haverá um descolamento em placas do antipó. Portanto, é recomendado que a emulsão penetre na base sem deixar excesso na superfície.

A base imprimada será avaliada através dos ensaios de desgaste e terá seu desempenho caracterizado a partir do tipo de solo da base e da emulsão utilizada na imprimação pelos critérios propostos.

A camada denominada Tratamento antipó é necessária e tem como principal função proteger a base imprimada, isto é, resguardar a emulsão antipó, que penetrou na camada de base, do desgaste provocado pelo tráfego. A dosagem desta camada (emulsão + agregado) é dependente do material granular utilizado para o salgamento e da emulsão aplicada no segundo banho, sendo que esta emulsão pode ter maior viscosidade que a utilizada na imprimação. Portanto, ao se ensaiar a camada “Tratamento antipó”, no LWT ou no WTAT, verifica-se o comportamento da mesma em relação ao pó de pedra e a emulsão utilizada no 2º banho, relacionado ao desempenho do 1º banho (emulsão antipó).

No trecho observado, pode ser constatada a necessidade de controle tecnológico da base (grau de compactação e umidade ótima), da aplicação da emulsão (taxa do 1º e 2º banho) e do pó de pedra utilizado (umidade e granulometria), o que aliás faz parte da boa técnica rodoviária em geral.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DE CUSTOS e APLICAÇÃO

6.1 – Análise de Custos

Com o propósito de apresentar a técnica tratamento antipó como uma solução sócio-economicamente viável para grande parte das vias vicinais e urbanas brasileiras de baixo volume de tráfego, apresenta-se neste capítulo uma comparação de custos de construção, com dados referentes à data que se apresenta este trabalho.

Foram orçados materiais e serviços na EMOP (Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro) e na Gerência de Comercialização de Asfaltos da Petrobras Distribuidora S.A.. Estão apresentados na tabela 6.01 os principais elementos, materiais, estruturas e serviços que compõem o custo da infraestrutura de pavimentos.

Tabela 6.01 – Custo de materiais e serviços que compõem a infraestrutura de pavimentos (fevereiro de 2004).

Num	Materiais / Serviços	Unidade	Valor (R\$)	*Valor (US)
1	Base de Brita Graduada, 20 cm	m ²	9,62	3,32
2	Base de Brita Graduada, 15 cm	m ²	7,21	2,49
3	Base de Brita Corrida, 20 cm	m ²	7,41	2,56
4	Base de Brita Corrida, 15 cm	m ²	5,80	2,00
5	Base Solo Cimento feito in locu, solo local, 3% cim., 20 cm	m ²	5,72	1,97
6	Base Solo Cimento feito in locu, solo local, 3% cim., 15 cm	m ²	4,28	1,48
7	Base de solo, com jazida até 10km, 20 cm	m ²	2,76	0,95
8	Base de solo local, 20 cm	m ²	2,07	0,71
9	Base de solo, com jazida até 10km, 15 cm	m ²	2,17	0,75
10	Base de solo local, 15 cm	m ²	1,54	0,53
11	Regularização do subleito (ou base) e compactação	m ²	0,42	0,14
12	Reforço de subleito, excluindo escavação, carga e transporte.	m ³	1,78	0,61
13	Imprimação de Base de Pavimento	m ²	2,39	0,82
14	Pintura de Ligação	m ²	1,47	0,51
15	Serviço de aplicação do antipó	m ²	0,89	0,31
16	Tratamento Superficial Simples, 1cm	m ²	3,82	1,32
17	Tratamento Superficial Duplo, 2cm	m ²	7,59	2,62

Num	Materiais / Serviços	Unidade	Valor (R\$)	*Valor (US)
18	Tratamento Superficial Triplo, 3cm	m ²	10,00	3,45
19	Pré Misturado a Frio, 3cm	m ²	15,06	5,19
20	Concreto Betuminoso Usinado à Quente, 3cm	m ²	21,24	7,32
21	Concreto Betuminoso Usinado à Quente, 5cm	m ²	26,40	9,10
22	Capa Selante	m ²	1,60	0,55
23	Microrrevestimento (por mm de espessura)	m ²	0,80	0,28
24	Tratamento Antipó com regularização do subleito	m ²	5,38	1,86
25	Camada de pó de pedra espalhada manualmente	m ²	0,57	0,20
26	meio-fio e sarjeta de concr. usinado, c/ 0,30m x 0,26m	m	11,54	3,98
27	Asfalto CAP 20	ton	891,50	307,41
28	Asfalto CAP 40	ton	853,00	294,14
29	Antipó	ton	1129,40	389,45
30	Emulsão RM-1C	ton	855,90	295,14
31	Emulsão RR-1C	ton	641,90	221,34
32	Asfalto diluído CM-30	ton	1211,10	417,62
33	Antipó Proposto pela Tese	m ²	3,57	1,23

*Obs.: R\$ 2,90 = U\$1,00

Com o intuito de verificar a viabilidade econômica do tratamento antipó, são apresentadas a seguir estruturas para pavimentos de baixo volume de tráfego. As estruturas são combinações das seguintes possibilidades: um revestimento delgado (TAP, TSS, TST, TST + capa selante, PMF), uma camada de base (variando entre base local necessitando apenas de uma regularização, base local necessitando escarificação e compactação, base de solo cimento, base de brita corrida ou graduada) sobre um subleito de boa qualidade (considerou-se o subleito composto de solo com comportamento laterítico visto que estes proporcionam melhores desempenho e durabilidade a estrutura do pavimento).

Estrutura 1 (=31)	Estrutura 2	Estrutura 3
TAP (1cm)	TAP (1cm)	TAP (1cm)
Regularização de Base existente de solo local compactado (15cm)	Base de solo local compactado (15cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (15cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico

Estrutura 4	Estrutura 5	Estrutura 6
TSS (1cm)	TSS (1cm)	TSS (1cm)
Regularização de Base existente de solo local compactado (15cm)	Base de solo local compactado (15cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (15cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico
Estrutura 7	Estrutura 8	Estrutura 9
TSD (2cm)	TSD (2cm)	TSD (2cm)
Base de solo local compactado (15cm)	Base de solo local compactado (20cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (15cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico
Estrutura 10	Estrutura 11	Estrutura 12
TSD (2cm)	TSD (2cm)	TSD (2cm)
Base de solo local + cimento 3%, compactado (15cm)	Base de solo local + cimento 3%, compactado (20cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (20cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico
Estrutura 13	Estrutura 14	Estrutura 15
TST (3cm)	TST (3cm)	TST (3cm)
Base de solo local compactado (15cm)	Base de solo local compactado (20cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (15cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico

Estrutura 16	Estrutura 17	Estrutura 18
TST (3cm)	TST (3cm)	TST (3cm)
Base de solo local + cimento 3%, compactado (15cm)	Base de solo local + cimento 3%, compactado (20cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (20cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico
Estrutura 19	Estrutura 20	Estrutura 21
TST (3cm)	TST (3cm)	TST (3cm) + capa selante
Base de brita corrida (15cm)	Base de brita corrida (20cm)	Base de brita corrida (20cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico
Estrutura 22	Estrutura 23	Estrutura 24
PMF (3cm)	PMF (3cm)	PMF (3cm)
Base de solo local compactado (15cm)	Base de solo local compactado (20cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (15cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico
Estrutura 25	Estrutura 26	Estrutura 27
PMF (3cm)	PMF (3cm)	PMF (3cm)
Base de solo local + cimento 3%, compactado (15cm)	Base de solo local + cimento 3%, compactado (20cm)	Base de solo de jazida até 10km compactado (20cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico

Estrutura 28	Estrutura 29	Estrutura 30
PMF (3cm)	PMF (3cm)	PMF (3cm)
Base de brita corrida (15cm)	Base de brita corrida (20cm)	Base de brita graduada (15cm)
Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico	Subleito de solo laterítico

A tabela 6.02 e a figura 6.01 apresentam a composição de custo de construção da solução apresentada nesta pesquisa como a mais adequada para aplicação da técnica tratamento antipó. A estrutura 31 é a mesma apresentada na estrutura 1, sendo que o processo executivo e os materiais são dispostos conforme apresentado no item 5.7.

Tabela 6.02 – Composição de custos de construção da técnica Tratamento Antipó proposta.

Composição de Custo do Tratamento Antipó Proposto			
Serviço/ Material	Unidade	Custo (R\$)	Custo (US)
Regularização e Compactação de base pronta	m ²	0,42	0,14
Taxa de Emulsão Antipó (1,5 l/m ²)	m ²	1,69	0,58
Taxa de Emulsão RM-1C (0,8 l/m ²)	m ²	0,68	0,24
Pó de pedra + espalhamento manual	m ²	0,57	0,20
Aplicação de emulsão antipó e RM-1C	m ²	0,20	0,07
Custo total		3,57	1,23

A figura 6.01 representa graficamente os componentes que formam o custo do Tratamento Antipó, conforme mostrado na tabela 6.02

A tabela 6.03 apresenta a composição de custos de construção das estruturas utilizadas na análise.

As figuras 6.02 e 6.03 apresentam as composições de custos das estruturas analisadas conforme os dados das tabelas 6.02 e 6.03 e custos unitários da tabela 6.01.

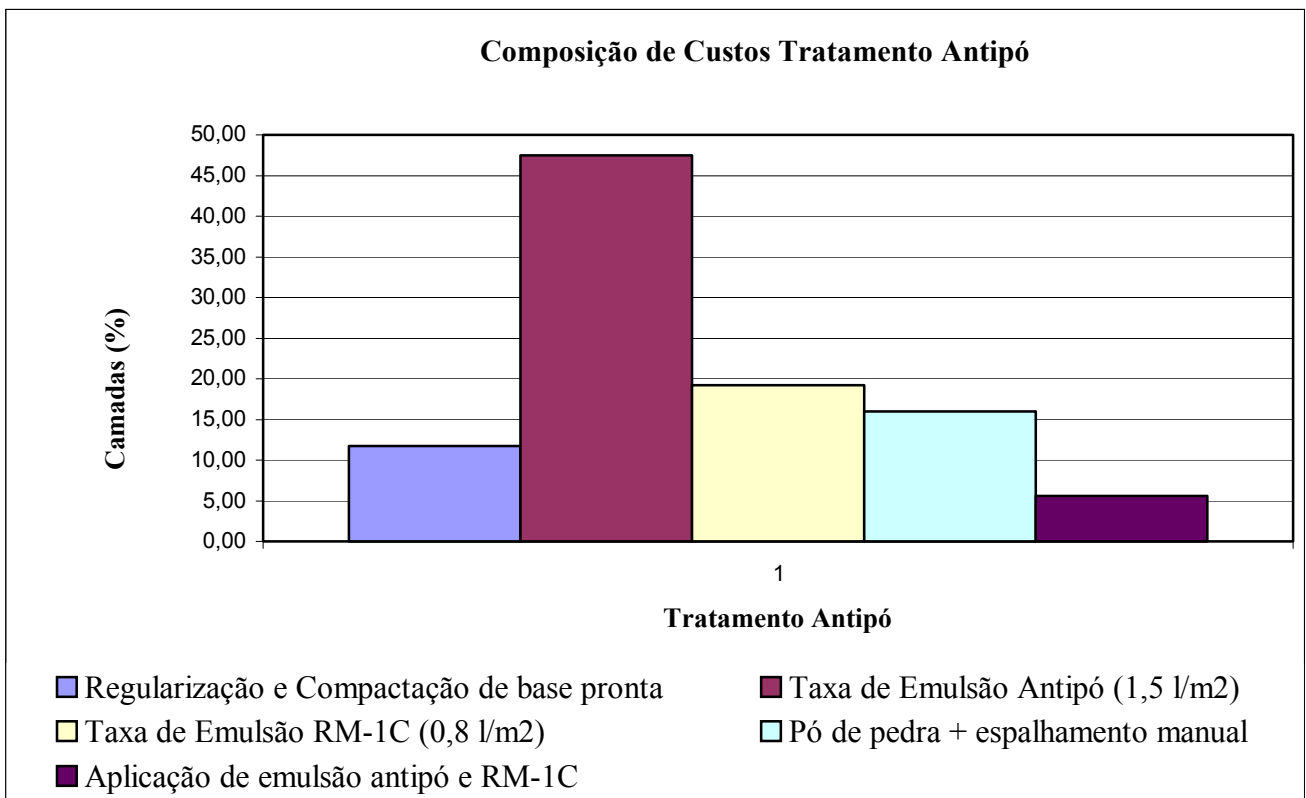


Figura 6.01 – Gráfico da composição de custos de construção do Tratamento Antipó proposto.

Tabela 6.03 – Composição de custos de construção das estruturas analisadas.

Composição de Custos de construção das estruturas (R\$)					
Estrutura	Num*	Revestimento/tratamento	Base	Subleito	Total
1	24, 11	5,38	0,42	0,00	5,80
2	24, 10, 11	5,38	1,54	0,42	7,34
3	24, 9, 11	5,38	2,17	0,42	7,97
4	16, 11	3,82	0,42	0,00	4,24
5	16, 10, 11	3,82	1,54	0,42	5,78
6	16, 9, 11	3,82	2,17	0,42	6,41
7	17, 10, 11	7,59	1,54	0,42	9,55
8	17, 8, 11	7,59	1,15	0,42	9,16
9	17, 9, 11	7,59	2,17	0,42	10,18
10	17, 6, 11	7,59	4,28	0,42	12,29
11	17, 5, 15	7,59	5,72	0,42	13,73
12	17, 7, 11	7,59	1,84	0,42	9,85
13	18, 10, 11	10,00	1,54	0,42	11,96
14	18, 8, 11	10,00	1,15	0,42	11,57
15	18, 9, 11	10,00	2,17	0,42	12,59
16	18, 6, 11	10,00	4,28	0,42	14,70
17	18, 5, 15	10,00	5,72	0,42	16,14
18	18, 7, 11	10,00	1,84	0,42	12,26
19	18, 4, 11	10,00	5,80	0,42	16,22

Composição de Custos de construção das estruturas (R\$)					
Estrutura	Num*	Revestimento/tratamento	Base	Subleito	Total
20	18, 3, 11	10,00	7,41	0,42	17,83
21	18, 22, 3, 11	11,60	7,41	0,42	19,43
22	19, 10, 11	15,06	1,54	0,42	17,02
23	19, 8, 11	15,06	1,15	0,42	16,63
24	19, 9, 11	15,06	2,17	0,42	17,65
25	19, 6, 11	15,06	4,28	0,42	19,76
26	19, 5, 15	15,06	5,72	0,42	21,20
27	19, 7, 11	15,06	1,84	0,42	17,32
28	19, 4, 11	15,06	5,80	0,42	21,28
29	19, 3, 11	15,06	7,41	0,42	22,89
30	19, 2, 11	15,06	7,21	0,42	22,69
**31 = 1	33, 11	3,57	0,42	0,00	3,99

*Numeração dos materiais e serviços utilizados para composição de cada estrutura (tabela 6.01).

** A solução 31 corresponde ao tratamento antipó utilizando a metodologia apresentada no item 5.6, sendo o primeiro banho com emulsão antipó e o segundo banho com emulsão RM-1C.

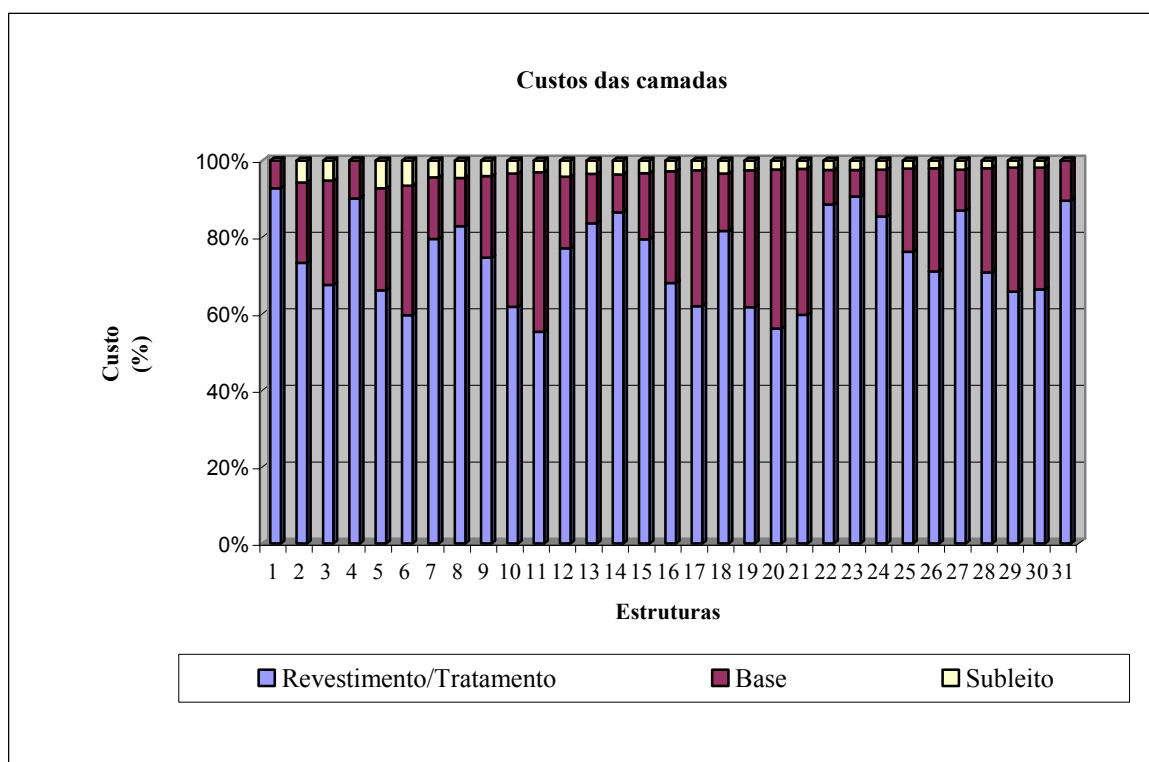


Figura 6.02 – Composição relativa de custo de construção das estruturas analisadas por camadas.

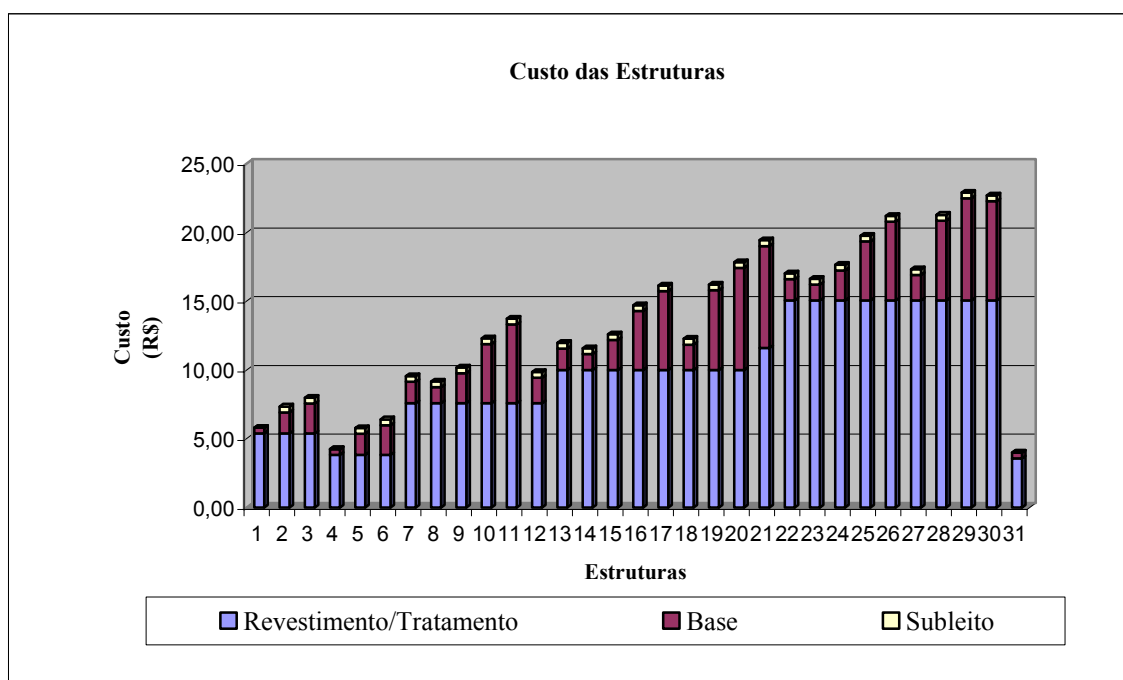


Figura 6.03 – Comparação de custo por m² das estruturas analisadas.

Os ciclos de manutenção do tratamento antipó dependerão das condições de tráfego, condições climáticas, tipo de materiais utilizados e da qualidade de execução do serviço. As atividades de manutenção usuais são o tapa buracos (remendos com emulsão antipó e salgamento com pó de pedra) ou aplicação de um terceiro banho em toda a pista de emulsão antipó e salgamento com pó de pedra. Verificou-se em visitas de campo que a segunda alternativa apresenta melhores resultados, visto que quando começam a surgir buracos ao longo da via é necessário um rejuvenescimento de toda a pista.

6.2 – Aplicação de dimensionamento sobre pavimento de baixo custo

Um problema comum e prático de dimensionamento de rodovias de baixo volume de tráfego é apresentado para ilustrar e comparar os métodos de dimensionamento: o método de ALVAREZ, o método da AASHTO e o método mecanístico, por serem métodos que consideram a resistência do solo a partir do módulo de resiliência.

Seja dimensionar uma rodovia caracterizada pelos seguintes elementos:

- VMD (volume médio diário) nos dois sentidos no ano inicial de 200 veículos, sendo o tráfego composto de 80 % de veículos de passeio e 20 % de veículos pesados (ônibus, caminhões de 2 e 3 eixos).
- Taxa anual de crescimento aritmética de 3 % a.a.
- Precipitação média anual de 600 mm/ano.
- Período de vida útil de projeto mínima de 10 anos.
- Características do subleito:
 - Módulo de resiliência: 200 MPa
 - Classificação MCT: LA`
- Características da base: são apresentadas algumas alternativas na tabela 6.04 para exemplo de dimensionamento.

Tabela 6.04 - Alternativas de base para o exemplo de dimensionamento.

Características da base	Materiais disponíveis		
	Subleito compactado	Material de Jazida	Solo Brita
MR (MPa)	280	320	400
K	1,05	1,10	1,15
Classificação	LA`	LA`	LG`

- Características do revestimento: são apresentadas algumas alternativas na tabela 6.05 para o exemplo de dimensionamento.

Tabela 6.05 - Alternativas de revestimentos para o exemplo de dimensionamento.

Características do revestimento	Solução		
	TAP	TSD	PMF
MR (MPa)	300	450	600
Espessura (cm)	1	2	3
K	1,15	1,20	1,8

6.2.1 – Dimensionamento pelo método Alvarez Neto

1º passo: Classificação do tráfego.

$$V_m = 200 \times (2 + (10 - 1) \times 0,03) / 2 = 227$$

$$V_t = 365 \text{ dias} \times 10 \text{ anos} \times (227/2) = 414275 \text{ veículos}$$

Adotando FV = 1,75, tem-se:

$$N = 7,25 \times 10^5$$

Portanto, pela classificação do método, o pavimento será dimensionado para um tráfego leve.

2º passo: Caracterização do subleito.

Módulo de resiliência a 15 cm de profundidade de 200MPa ($\approx 2000 \text{ kgf/cm}^2$)

3º passo: Definição da espessura efetiva do pavimento.

Para o nível de confiança de 75%, a espessura efetiva do pavimento será de 22 cm.

4º passo: Escolha dos materiais para base e revestimento.

Utilizando o solo do subleito como material de base e aplicando o tratamento antipó (TAP), teremos a espessura da base definida como:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq P$$

$$1 \times 1,15 + B \times 1,05 \geq 22$$

$$B \geq 19,8 \text{ cm} \text{ adota-se } B = 20 \text{ cm}$$

Seguindo a mesma sistemática, pode-se obter as espessuras para as outras combinações de materiais disponíveis. Apresenta-se na tabela 6.06 o dimensionamento das camadas de base para as demais combinações de soluções para o pavimento.

Tabela 6.06 – Espessuras das camadas de base segundo o método de dimensionamento de ALVAREZ NETO (1997) para o exemplo deste estudo.

Tipo de base	Espessura da camada de base (cm)		
	Tipo de tratamento \ revestimento		
	TAP (1cm)	TSD (2cm)	PMF (3cm)
Subleito compactado	20	19	16
Material de Jazida	19	18	15
Solo Brita	18	17	14

6.2.2 – Dimensionamento pelo método AASHTO

Adotando nível de confiança de 75%, tráfego baixo, qualidade do subleito muito boa, região climática equivalente a de nº IV, correspondente a 4 meses de subleito úmido e 8 meses de subleito seco, temos:

$$SN = 2,0$$

Adotando como revestimento 3 cm PMF ($a_1 = 0,35$) e uma base de solo granular, tipo o material da jazida ($a_2 = 0,14$), temos:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2$$

$$2,0 = 0,35 \times 3 + 0,14 \times d_2$$

$$d_2 = 6,78'' = 17 \text{ cm}$$

6.2.3 – Dimensionamento pelo método mecanístico (MOTTA, 1991)

O dimensionamento pelo método mecanístico foi obtido com o auxílio do programa FEPAVE2, conforme pode ser visto na tabela 6.07. Utilizou-se dois solos utilizados na pesquisa

O dimensionamento pelo método mecanístico apresentou espessuras de base mais econômicas que o método Alvarez Neto. Todavia, o método Alvarez Neto contempla espessuras usuais da prática rodoviária brasileira para pavimentos de baixo custo.

Tabela 6.07 - Espessuras das camadas de base e tensão vertical do subleito (FEPAVE2).

Tipo de revestimento\tratamento e de base	Espessura da base	σ_v (MPa)	σ_{vadm} (MPa)
TAP (1 cm) e base AM16	10	0,292	0,266
TAP (1 cm) e base AM16	15	0,212	
TAP (1 cm) e base AM18	10	0,304	
TAP (1 cm) e base AM18	15	0,224	
TSD (2cm) e base AM16	10	0,273	
TSD (2cm) e base AM16	15	0,194	
TSD (2cm) e base AM18	10	0,281	
TSD (2cm) e base AM18	15	0,189	

A base com espessura de 15 cm possuiu resultado inferior ao valor limite da tensão vertical admissível no subleito em todas as estruturas analisadas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O trabalho analisa a técnica do tratamento antipó (TAP), executada com a emulsão de óleo de xisto como uma alternativa técnica e econômica muito viável para aplicação em vias de baixo volume de tráfego, cujo interesse decorre da carência de recursos dos órgãos públicos do país para a realização de pavimentação dos milhares de quilômetros de vias existentes.

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma proposta de escolha dos materiais para serem empregados nesta técnica, de forma a estender a sua vida útil quando se garante a adequação do solo com a emulsão utilizada.

Experiências locais mostram que a técnica tratamento antipó pode ser aplicada para solos finos (região sul do país e São Paulo) e solos grossos (Bahia, Maranhão), sendo que se utiliza emulsão antipó em solos finos e emulsão de ruptura média em solos grossos. O sucesso para algum destes dois tipos de solos foi verificado nos ensaios de desgaste de laboratório.

As principais conclusões obtidas foram:

1. Nesta pesquisa foi possível aliar o ensaio de imprimação proposto por VILLIBOR (1981) e CASTRO (2003) para determinar a taxa mínima de emulsão necessária para a adequada penetração na base, a dois outros ensaios de desgaste adaptados para complementar a escolha da dosagem das taxas de emulsão e agregado. CASTRO sugere emprego de tratamento antipó para solos que apresentam valores de penetrações no intervalo de 4 a 13 mm. No entanto, os ensaios de desgaste apresentam resultados favoráveis para solos com penetrações diferentes dos limites propostos por CASTRO, além de resultados desfavoráveis para solos com penetrações no intervalo de 4 a 13 mm. Portanto é preciso complementar os ensaios de dosagem com ensaios mecânicos de desgaste para se ter certeza da qualidade do solo para a técnica. O autor sugere utilizar o

ensaio de imprimação somente para determinação da taxa mínima de emulsão necessária para a imprimação da base de solo.

2. Quando se comparam os resultados obtidos nas análises dos solos e emulsões pelos dois ensaios, LWT e WTAT, verifica-se resultados aproximados. No entanto, ainda são necessários outros estudos para uma calibração entre os mesmos e o campo. Pode ser que somente um deles já seja suficiente para a seleção de materiais e taxas, para o tratamento antipó.

3. Para que a técnica do tratamento antipó com emulsão de óleo de xisto seja bem sucedida é recomendada uma seqüência de ensaios prévios para a escolha de materiais e dosagem de taxas (imprimação, LWT e WTAT adaptados) e também uma seqüência de cuidados de campo.

4. Os ensaios de laboratório permitiram uma análise criteriosa dos solos estudados e a escolha adequada da emulsão e taxas para aplicação da técnica tratamento antipó.

5. Os ensaios de classificação MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1981), MCT-Modificado (VERTAMATTI, 1988) e ensaio de pastilha (GODOY, 2000) apresentaram resultados consistentes entre si, sendo a classificação MCT-Modificado a que se apresentou mais próxima da classificação tátil-visual realizada em cada horizonte de solo recolhido no campo.

6. O ensaio expedito de pastilha mostrou-se prático e rápido (24 horas), podendo ser realizado em laboratório móvel em uma campanha inicial de ensaios para escolha de materiais, desde que o técnico tenha um bom treinamento, visto que depende de observações visuais.

7. As classificações tradicionais, HRB e USCS, apresentaram resultados dispersos de comportamento mecânico para solos de mesmo grupo quando analisados para solos finos. Portanto, mais uma vez, desacredita-se da utilização destas classificações para uso em engenharia rodoviária no país.

A respeito de sugestões para futuras pesquisas, recomenda-se:

- Acompanhamento do trecho observado e executado nesta pesquisa e construção de trechos experimentais, utilizando diferentes solos e técnicas de aplicação;
- Estudo da melhoria das características mecânicas dos solos quando adicionado xisto ou outro resíduo de xisto proveniente da torre extratora do processo de fabricação (solo-betume), a partir do comportamento resiliente e metodologia MCT da mistura.
- Pesquisar com maior riqueza de detalhes e maior número de variações a utilização de ensaios de desgaste (LWT, WTAT e outros) para a dosagem do tratamento antipó.
- Verificação do atrito da camada antipó no campo através do ensaio do pêndulo britânico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDA, 2001, Manual Básico de Emulsões Asfálticas - Soluções para Pavimentar sua Cidade, Rio de Janeiro, Editado por ABEDA.

ABNT NBR 14746, Microrrevestimentos a frio e lama asfáltica – Determinação de perda por abrasão úmida (WTAT). Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Comissão de Estudo de Asfalto.

ABNT NBR 14841, Microrrevestimentos a frio – Determinação de excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina LWT. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Comissão de Estudo de Asfalto.

ABPv, 1999, Boletim Técnico nº 18: , Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil, Rio de Janeiro, Editado por ABPv.

ALVAREZ NETO, L., 1997, Proposta de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis para vias de baixo volume de tráfego com a utilização de solos lateríticos, Tese de D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, 1986. Guide for design of pavement structures. Washington, D. C.

BENEVIDES, S.A.A., 2000, Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos: empírico do DNER e da resiliência da COPPE/UFRJ em rodovias do estado do Ceará. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

CASTRO, C.A.A., 2003, Estudo da técnica de anti-pó com emulsão de xisto em pavimentos para baixo volume de tráfego. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

- CEBTP, M. C., 1980. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Paris, Republique Française.
- CHAVES, F.J., 2000, Caracterização Geotécnica de Solos da Formação Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Obras Rodoviárias. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- COSTA, A.C., 1988, Estudo tecnológico de pavimentos de baixo custo na Bahia, Tese de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- COSTA, C.A., 1986, Tratamento Antipó - (TAP), In: 8º Encontro de Asfalto, pp.176-188, Rio de Janeiro, RJ, Dezembro.
- DER-BA ES P 22/00, Pavimentação – Capa Selante. Salvador, Departamento Estadual de Estradas de Rodagem, Governo da Bahia.
- DER-BA ES P 23/00, Pavimentação – Tratamento Contra Pó. Salvador, Departamento Estadual de Estradas de Rodagem, Governo da Bahia.
- DNER ES 389/99, Pavimentação – Microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes.
- DNER, 1996, Manual de Pavimentação. 2ª ed., Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes.
- DNER, MORIN, W.J.; TODOR, P. C., 1979, Laterita e solos lateríticos e outros solos problema dos trópicos. Manual de instrução. Publicação 680/40, IPR/DNER, Rio de Janeiro.

- FERREIRA, J.G.H.M., 2002, Elaboração e análise da base de dados de ensaios triaxiais dinâmicos da COPPE/UFRJ. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- FORTES, R.M., 1990, Método expedito de identificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias, utilizando-se anéis de PVC rígido. Tese de M.Sc., Escola Politécnica de São Paulo - PTR, São Paulo, Brasil.
- FORTES, R.M., e NOGAMI, J.S., 1991, Método expedito de identificação do grupo MCT de solos tropicais utilizando-se anéis de PVC rígido. In: Reunião Anual de Pavimentação, 25. São Paulo, 1991. ABPv. Vol 1. pg 591-604.
- GEIPOT-Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (2000), SITE: “<http://www.geipot.gov.br>”, Novembro,2003.
- GODOY, H., 1997, Identificação e Classificação Geotécnica de Latossolos do Estado de São Paulo pelo Método das Pastilhas MCT. Tese de D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- GODOY, H., 2000, Desenvolvimento de procedimento visual-táctil para o reconhecimento geotécnico de campo dos solos das Bacias Hidrográficas do Aguapeí e Peixe no Estado de São Paulo. Relatório Científico Final de pós-doutorado, Programa de Pós-Doutorado em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- HEUKELOM, W. e KLOMP, A.J.G., 1962, Dinamic testing as a mens of controlling pavements during and after construction, Proceedings, 1. INTER. CONF. STRUCT. DESIGN OF ASPHALT PAVEMENT, Ann Arbor, Univ. Michigan, U.S.A..

- MEDINA, J., MOTTA, L.M.G., 1997, Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego. In: 1º. SINBATRA, pp. 191-199, Rio de Janeiro, RJ, Outubro.
- MEDINA, J., 1997, Mecânica dos Pavimentos. 1ª ed., Rio de Janeiro, Editora UFRJ.
- MORIN, W.J., TODOR, P.C., 1975, Laterite and Lateritic soils and other problem soils of the tropics. 1ª ed., vol. 1 e 2, LYON ASSOCIATES, INC e DNER, Maryland, USA.
- MOTTA, L.M.G., 1991, Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis; critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas. Tese de D.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- MOTTA, L.M.G., FERNANDES, C.G., 2003, Utilização de resíduo sólido da construção civil em pavimentação urbana. In: Reunião Anual de Pavimentação Urbana, 12. Aracaju, 2003. ABPv. 16 pgs.
- NOGAMI, J.S., COZZOLINO, V.M.N., 1985, A identificação de Solos Tropicais: dificuldades e proposta de um método preliminar. In: Reunião Anual de Pavimentação, 20. Fortaleza, 1985. ABPv. pg 117-134.
- NOGAMI, J.S., 1985, Peculiarities of Geotechnical Behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils – Progress Report. Committee on Tropical Soils of the ISSMFE. Theme 1, Topic 1.1. Preliminary Remarks. ABMS.
- NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F., 1981, Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. COPPE/UFRJ – CNPq – ABMS, pg 30 – 41. Setembro, Rio de Janeiro, RJ.
- NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F., 1994, Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais. In: Congresso Brasileiro de Mecânica de

Solos e Engenharia de Fundações, 10. Foz do Iguaçu, 1994. ABMS. pg 1293-1300.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F., 1995, Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. 1^a ed., São Paulo, Editora Villibor.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F., 1996, Importância e determinação do grau de laterização em geologia de engenharia. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8. Rio de Janeiro, 1996. ABGE. pg 345-358.

PEREIRA, M.T.T.Q., 1998, Avaliação da resistência à derrapagem de pavimentos asfálticos. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

PREUSSLER, E.S., 1978, Ensaio Triaxiais Dinâmicos de um Solo Arenoso. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

PREUSSLER, E.S., 1983, Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço. Tese de D.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

RAMOS, C.R., 2003, Estudo para o desenvolvimento de um catálogo de pavimentos flexíveis no município do Rio de Janeiro. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

SANTANA, H., 1978, "Pavimentos de Baixo Custo e Solos Lateríticos", In: Seminário Sobre Solos Lateríticos, pp. 22-25, São Luis, Maranhão, Agosto.

SILVA, P.D.E.A., 1995, Contribuição para o aperfeiçoamento do emprego do programa FEPAVE2 em estudos e projetos de pavimentos flexíveis. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

- SOUZA, M. L., 1981, Método de projeto de pavimentos flexíveis. 3ª ed., Rio de Janeiro, IPR/DNER.
- SVENSON, M., 1980, Ensaio triaxiais dinâmicos de solos argilosos. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- VERTAMATTI, E., 1988, Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e Resiliente. Tese de D.Sc., Instituto Tecnológico da Aeronáutica-ITA- São José dos Campos, SP, Brasil.
- VIANNA, A.A.D., 2002, Contribuição para o estabelecimento de um material padrão e de metodologia para a calibração de equipamentos de ensaios dinâmicos. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- VILLIBOR, D.F., 1981, Pavimentos Econômicos. Novas Considerações. Tese de D.Sc., Departamento de Vias de Transporte e Topografia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- VOGT, J.C., (1982) “Recomendações para a Construção de Estradas de Baixo Custo”, In: 6º Encontro de Asfalto, pp. 332-423, Rio de Janeiro, RJ, Dezembro.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

- ABPv, 2000, Boletim Técnico nº 19: Informativo Técnico sobre Estradas de Terra – Normas de Projeto e Política de Manutenção Utilizando o Programa Detour – Deterioration of Engineered Unpaved Roads Version 1.0 do Banco Mundial, Rio de Janeiro, Editado por ABPv.
- ARANOVICH, L.A.S., 1985, Desempenho de pavimentos de baixo custo no estado do Paraná. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- BERNUCCI, L.L.B., 1995, Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego, Tese de D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- CAPUTO, H.P., 1974, Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. 3^a ed., vol. 1, Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e Científicos.
- CAPUTO, H.P., 1974, Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. 3^a ed., vol. 2, Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e Científicos.
- CASTRO, B.A.C., 2002, Caracterização Geotécnica de Solos da Região Central de Minas Gerais para Aplicação em Obras Rodoviárias. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- COMMITTEE ON TROPICAL SOILS OF THE ISSMFE, 1985, Peculiarities of geotechnical behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils. São Paulo, ABMS. Progress Report-(1982-1985), 449p.

- COPPE, 1988. “Procedimentos para execução de ensaios com carregamento repetido (solos, britas, misturas betuminosas e misturas cimentadas)”.- Setor de Mecânica dos Pavimentos, Laboratório de Geotecnia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- COSTA, S.B., MACIEL, W. D., 1978, Avaliação do Comportamento das Estradas com Tratamento Contra Pó, Relatório Interno do Serviço de Pesquisas Tecnológicas - DER-BA, Salvador, Bahia, Brasil.
- COSTA, S.B., 1985, Tratamento Contra-Pó em Estradas do DER - BA, Relatório Interno do Serviço de Pesquisas Tecnológicas - DER-BA, Salvador, Bahia, Brasil.
- DER-PB ES T 06/97, Terraplenagem – Revestimento Primário, João Pessoa, Departamento Estadual de Estradas de Rodagem, Governo da Paraíba.
- DNER ES 308/97, Pavimentação – Tratamento Superficial Simples. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes.
- FRANCO, F.A.C.P., 2000, Um sistema para a análise mecânica de pavimentos asfálticos. Tese de M.Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- GODOY, H., BERNUCCI, L.B., 2000, “Caracterização de Propriedades Geotécnicas de Solos Realizada no Próprio Campo e de Maneira Expedita..”. In: 32ª Reunião Anual de Pavimentação, pp. 108-115, Brasília, DF, Outubro.
- GONTIJO, P.R.A., SANTANA, H., 1988, Emulsões Asfálticas - Um Processo Moderno de Aplicação dos Asfaltos de Petróleo na Pavimentação Rodoviária. In: 9º Encontro de Asfalto, pp. 181-201, Rio de Janeiro, RJ, Dezembro.
- HUANG, Y.H., 1993, Pavement Analysis and Design, Plentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

- IBP, 1999, Informações Básicas Sobre Materiais Asfálticos, 6ª ed., Rio de Janeiro, Editado por IBP.
- IBP, 2002, As Emulsões Asfálticas e suas Aplicações Rodoviárias, 2ª ed., Rio de Janeiro, Editado por IBP.
- IPT, 1985, Estradas Vicinais de Terra – Manual Técnico para Conservação e Recuperação, São Paulo, Editado pela Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia / SP.
- LARSEN, J., 1985, Tratamento Superficial na Conservação e Construção de Rodovias, 2 ed., Rio de Janeiro, Editado por ABEDA.
- MARANGON, M., 2002, “O Sistema de Classificação MCT de Solos Tropicais: Metodologia Tradicional e Recentes Simplificações no Procedimento”, In: V Congresso de Engenharia Civil, Juiz de Fora, MG, Setembro.
- MILLER, J. E., 1987, Chip Sealing in New Brunswick, In Asphalt Materials and Mistures, TRB-NRB, Washington, D.C.
- NETO, L.A., BERNUCCI, L.B., NOGAMI, J.S., 1998, “Proposta de um Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Vias de Baixo Volume de Tráfego com a utilização de Solos Lateríticos.”. In: 31ª Reunião Anual de Pavimentação, pp. 373-389, São Paulo, SP, Outubro.
- NOGAMI, J.S., VILLIBOR, F.V., BERNUCCI, L.B., 1998, “Comparações entre os Métodos Tradicionais e a MCT no Estudo Geotécnico de Solos Tropicais para Pavimentação.”. In: 31ª Reunião Anual de Pavimentação, pp. 722-740, São Paulo, SP, Outubro.
- NOGAMI, J.S., VILLIBOR, F.V., 1997, “Peculiaridades dos Solos Lateríticos nas Pavimentações de Baixo Volume de Tráfego”. In: 1º. SINBATRA, pp. 542-560, Rio de Janeiro, RJ, Outubro.

- NOVICKI, L.A.M., MARTIGNONI, B.N.V., TORII, W.J., et al., 1997, Uso de abatedor de Pó para Manutenção de Vias Não Pavimentadas, Relatório Interno da PETROBRAS-SIX, Curitiba, Paraná, Brasil.
- PAIGE-GREEN, P., 1999, Material for Sealed Low-Volume Roads, Transport Research Board – TRR, pp. 163-171, Washington, D.C.
- PEREIRA, A.C.O., 2003, Influência da drenagem sub-superficial no desempenho dos pavimentos, Tese de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- PINTO, S., PREUSSLER, E., 2002, Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. 2^a ed, Rio de Janeiro, Editora Copiarte.
- PUGSLEY, R., 1998, Estudo do Agente Anti-pó, Relatório Interno PETROBRAS/SIX, São Mateus do Sul, Paraná, Brasil.
- SANTANA, H., 1974, Tratamento Contra-Pó em Solos de Características Lateríticas, Revista de Engenharia, Rio de Janeiro.
- VERTAMATTI, E., OLIVEIRA, L.E., 1997, “Análise de Pavimento de Baixo Volume de Tráfego executado com Solos Transicionais;”. In: 1^o. SINBATRA, pp. 325-335, Rio de Janeiro, RJ, Outubro.
- VILLIBOR, F.V., NOGAMI, J.S., SERRA, P.R.M., et al., 1996, “A Importância dos Solos Tropicais em Pavimentação”. In: 7^a Reunião de Pavimentação Urbana, pp. 165-186, São José dos Campos, SP, Junho.
- VILLIBOR, F.V., NOGAMI, J.S., SERRA, P.R.M., et al., 1997, “Tecnologia de Pavimentação de Baixo Custo com uso de Bases de Solos Lateríticos para

Rodovias de Baixo Volume de Tráfego”. In: 1º. SINBATRA, pp. 417-436, Rio de Janeiro, RJ, Outubro.

VILLIBOR, F.V., NOGAMI, J.S., SERRA, P.R.M., et al., 1996, “A Importância dos Solos Tropicais em Pavimentação”. In: 7ª Reunião de Pavimentação Urbana, pp. 165-186, São José dos Campos, SP, Junho.

VILLIBOR, F.V., NOGAMI, J.S., 1997, “Considerações Sobre Defeitos de Pavimentos de Baixo Custo e Orientação para sua Conservação”. In: 1º. SINBATRA, pp. 171-189, Rio de Janeiro, RJ, Outubro.

VILLIBOR, D.F., NOGAMI, J.S., BELIGNI, M. et al., 2000, Pavimentos com Solos Lateríticos e Gestão de Manutenção de Vias Urbanas, São Paulo, Impresso por ABPv e UFU.

VOGT, J.C., 1971, “*Cinco Anos de desenvolvimento das Emulsões Asfálticas para Pavimentação*”, Relatório Interno do Instituto de Pesquisas Rodoviárias -DNER, n.533, Rio de Janeiro.

VOGT, J.C., 1982, “Atualidade dos Tratamentos Superficiais - Vantagens e Regras Práticas de uma Boa Execução”, In: 6º Encontro de Asfalto, pp. 160-223, Rio de Janeiro, RJ, Dezembro.

Anexo I:

Quadro de Fotos

Quadro 1 – Ensaio MCT (compactação mini-MCV e perda de massa por imersão).

		
Equipamento de compactação mini.	Vista superior da base de compactação.	Determinação da leitura de aferição.
		
Detalhe da base e do cilindro padrão.	Amostra preparada para os 5CP's do ensaio.	Colocação de 200grs de solo no molde.
		
Extração de 1 cm do CP.	CP's imersos em água.	CP's imersos em água.
		
CP's imersos em água.	Perda de massa após 24 horas.	Perda de massa após 24 horas.
		
Cilindros depois de retirados da água.	Algumas amostras ensaiadas.	Algumas amostras ensaiadas.
















Quadro 2 – Ensaio de pastilhas (GODOY, 2000).

		
Espatulação da amostra.	Espatulação da amostra.	Penetração do cone.
		
Marcas da penetração.	Quarteamento da amostra.	Moldagem das esferas e pastilhas.
		
Pesagem da pastilha úmida.	Condicionamento para colocação em estufa.	Secagem em estufa.
		
Amostras ensaiadas.	Molhagem do recipiente com pedra porosa e papel filtro.	Equipam. e ensaio de absorção.
		
Absorção d'água.	Pastilhas na absorção d'água e esferas imersas em água.	Pastilhas depois da absorção d'água e esferas imersas em água.
















Quadro 2 – Ensaio de pastilhas (GODOY, 2000 - continuação).

		
<p>Pastilhas depois da absorção d'água e esferas imersas em água.</p>	<p>Pastilha depois da adsorção.</p>	<p>Medida da expansão diametral.</p>
		
<p>Cones e agulhas para ensaio de penetração.</p>	<p>Anéis de moldagem das pastilhas.</p>	<p>Equipamento e planilha de ensaio.</p>
		
<p>Penetração do cone na pastilha.</p>	<p>Imersão da esfera em água.</p>	<p>Esfera imersa em água.</p>
		
<p>Esfera imersa em água.</p>	<p>Produto final após imersão da esfera em água.</p>	<p>Vista geral da bancada com pastilhas e esferas de solo.</p>
		
<p>Avaliação da resistência ao esmagamento da esfera.</p>	<p>Avaliação da resistência ao esmagamento da esfera.</p>	<p>Avaliação da resistência ao esmagamento da esfera.</p>











Quadro 3 – Ensaio de imprimação (VILLIBOR, 1981 e CASTRO, 2003).

		
<p>Equipamento de compactação mini.</p>	<p>Amostras mini ensaiadas.</p>	<p>Amostras mini ensaiadas.</p>
		
<p>Amostras mini ensaiadas.</p>	<p>Imprimação mini CP – amostra12</p>	<p>Imprimação mini CP – amostra18</p>
		
<p>Imprimação mini CP - amostra06.</p>	<p>Imprimação mini CP – amostra09</p>	<p>Rompimento da amostra.</p>
		
<p>Imprimação Marshall.</p>	<p>Imprimação mini CP – amostra05</p>	<p>Imprimação mini CP – amostra08</p>
		
<p>Amostras ensaiadas cilindro Marshall.</p>	<p>Amostras ensaiadas cilindro Marshall.</p>	<p>Amostras ensaiadas: imprimação mini e cilindro Marshall.</p>

Quadro 4 – Ensaio de desgaste LWT modificado para antipó (Loaded Wheel Test).

		
Amostra compactada.	Pressa para compactação do CP.	Pressa para compactação do CP.
		
Amostra com RM-1C.	Amostra com Antipó.	Amostra 18 com antipó e RM-1C
		
Ensaio em andamento.	Amostra 02 com antipó e RM-1C.	Amostra com Antipó.
		
Falha na compactação.	Amostras: antipó e RM-1C.	Amostras: antipó e RM-1C.
		
Amostras: antipó e RM-1C.	Amostra antipó – jazida e pista do trecho experimental.	Espalhamento da emulsão sobre o corpo de prova.

Quadro 4 – Ensaio de desgaste LWT modificado para antipó (Loaded Wheel Test – cont).

		
Determinação do afundamento.	Ensaio em andamento.	Ensaio em andamento.
		
Amostra fixada por presilhas.	Arrancamento do antipó.	Amostras depois do ensaio LWT.
		
Ensaio em andamento.	Ensaio em andamento.	Amostras: antipó e RM-1C.
		
Ensaio LWT utilizando o molde do microrrevestimento.	Ensaio LWT utilizando o molde do microrrevestimento.	Ensaio LWT utilizando o molde do microrrevestimento.
		
Amostras: RM-1C e antipó.	Placas arrancadas após ensaio LWT.	Placas arrancadas após ensaio LWT.

Quadro 5 – Ensaio de desgaste WTAT modificado para antipó (Wet Track Abrasion Test)

		
<p>Equipamento WTAT.</p>	<p>Amostra compactada – amostra05</p>	<p>Amostra compactada – amostra17</p>
		
<p>Amostras: antipó e RM-1C.</p>	<p>Amostras: antipó e RM-1C.</p>	<p>Amostras: antipó e RM-1C.</p>
		
<p>Amostra com Antipó.</p>	<p>Amostra com RM-1C.</p>	<p>Amostra com Antipó.</p>
		
<p>Amostra com Antipó.</p>	<p>Amostras: antipó e RM-1C.</p>	<p>Amostras: antipó e RM-1C.</p>
		
<p>Amostra com Antipó extraída do WTAT.</p>	<p>Amostra com Antipó extraída do WTAT.</p>	<p>Amostra com Antipó extraída do WTAT.</p>


Quadro 5 – Ensaio de desgaste WTAT modificado para antipó (Wet Track Abrasion Test - continuação).

		
Amostra 02, antipó com pó de pedra.	Amostra 02 após ensaio WTAT.	Amostras: antipó e RM-1C.
		
Amostra 03, antipó com pó de pedra.	Amostra 03, TAP simples, após ensaio WTAT.	Amostra 03, TAP duplo, após ensaio WTAT.
		
Medição dos afundamentos.	Pesagem da amostra.	Borracha padrão do ensaio WTAT
		
Penetração das emulsões antipó e RM-1C.	Ensaio WTAT em andamento sobre o TAP com pó de pedra.	TAP com pó de pedra e base imprimada.
		
Ensaio WTAT em andamento sobre o TAP com pó de pedra.	Amostra antipó com pó de pedra.	Varredura do excesso de pó de pedra.

Quadro 6 – Ensaio Triaxial Dinâmico para solos.

		
Moldagem do corpo de prova.	Moldagem do corpo de prova.	Moldagem do corpo de prova.
		
Amostra moldada pronta para o ensaio.	Retirada da amostra do cilindro tripartido.	Retirada da amostra do cilindro tripartido.
		
Equipamento triaxial diâmico.	Montagem do CP sobre o pedestal.	Colocação da tampa da câmara de confinamento.
		
Encamisamento do CP.	Encamisamento do CP.	CP condicionado no cilindro tripartido.

Quadro 6 – Ensaio Triaxial Dinâmico para solos (continuação)

		
CP com top cap.	Fixação da tampa.	Montagem dos LVDT's sobre o top cap.
		
Sistema de aquisição de dados.	Sistema de aquisição de dados.	Alguns CP's ensaiados.

Quadro 7 – Ensaio de atrito - Pêndulo Britânico.

		
Passagem do pêndulo.	Região de ensaio apontada pelo paquímetro.	Ensaio de atrito: Pênd. Britânico.
		
Região de ensaio apontada pelo paquímetro.	Macrotextura do Antipó.	Passagem do pêndulo.
		
Macrotextura do Antipó.	Equipamento.	Pêndulo.

Quadro 8 – Trecho observado.

		
<p>Vista geral da rua antes da aplicação do antipó.</p>	<p>Coleta de amostra para ensaios.</p>	<p>Material existente na pista.</p>
		
<p>Escarificação e adição de solo para abaulamento da pista.</p>	<p>Execução do abaulamento.</p>	<p>Base pronta para receber o antipó.</p>
		
<p>Compactação da base.</p>	<p>Canaletas laterais existentes.</p>	<p>Canaletas laterais existentes.</p>
		
<p>Correção de borrachudos.</p>	<p>Enchimento do caminhão espargidor.</p>	<p>Aplicação da 1ª taxa do antipó.</p>
		
<p>Aplicação da 1ª taxa do antipó.</p>	<p>Emulsão após 4 horas de aplicação.</p>	<p>Arrancamento da emulsão pelos pneus do caminhão após 4 horas.</p>

Quadro 8 – Trecho observado (continuação).

		
<p>Logística utilizada para aplicação da 2ª taxa.</p>	<p>Aplicação da 2ª taxa.</p>	<p>Aplicação do pó de pedra.</p>
		
<p>Compactação do pó de pedra.</p>	<p>Vista geral da rua após aplicação do antipó (24 horas depois).</p>	<p>Emenda antipó e CBUQ.</p>
		
<p>Execução de canaletas laterais onde não havia.</p>	<p>Execução de canaletas laterais onde não havia.</p>	<p>Vista geral da rua após aplicação do antipó (7 dias depois).</p>
		
<p>Macrotextura do antipó.</p>	<p>Macrotextura do antipó.</p>	<p>Vista geral da rua após aplicação do antipó (15 dias depois).</p>

Quadro 9 – Amostras coletadas.

		
Latossolo Amarelo – PUC	Jazida Cândido.	Jazida Cândido.
		
Jazida Palmares.	Jazida Palmares.	Jazida Saibreira de Japuíba.
		
Jazida Saibreira de Japuíba.	Usina de Reciclagem de entulhos da construção civil – Catumbi, RJ	Usina de Reciclagem de entulhos da construção civil – Catumbi, RJ

Quadro 10 – A SIX.

		
Folhelho pirobotuminoso (xisto)	Torre de extração do óleo.	Escavadora Drag-line de mineração: capacidade 28m ³
		
Perfil da área explorada: mat. Inerte e xisto	Correia transportadora carregada com xisto	Antipó aplicado dentro da usina da SIX

Anexo II: Ensaios de Imprimação

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	24/08/2003	am0103.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 1				AMOSTRA: 2				AMOSTRA: 3			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5	1,2	1,5	1,2	1,8	1,5	1,8	1,5
Nº da Cápsula	60	60	58	58	42	42	79	79	98	98	83	83
Peso cápsula+solo úmido (g)	96,60	96,60	100,40	100,40	76,60	76,60	69,60	69,60	96,00	96,00	116,60	116,60
Peso cápsula+solo seco (g)	89,90	89,90	92,90	92,90	67,10	67,10	61,00	61,00	90,20	90,20	108,40	108,40
Peso cápsula (g)	17,00	17,00	16,90	16,90	16,80	16,80	18,50	18,50	16,90	16,90	18,60	18,60
Peso água (g)	6,70	6,70	7,50	7,50	9,50	9,50	8,60	8,60	5,80	5,80	8,20	8,20
Peso solo seco (g)	72,90	72,90	76,00	76,00	50,30	50,30	42,50	42,50	73,30	73,30	89,80	89,80
Umidade (%)	9,2	9,2	9,9	9,9	18,9	18,9	20,2	20,2	7,9	7,9	9,1	9,1

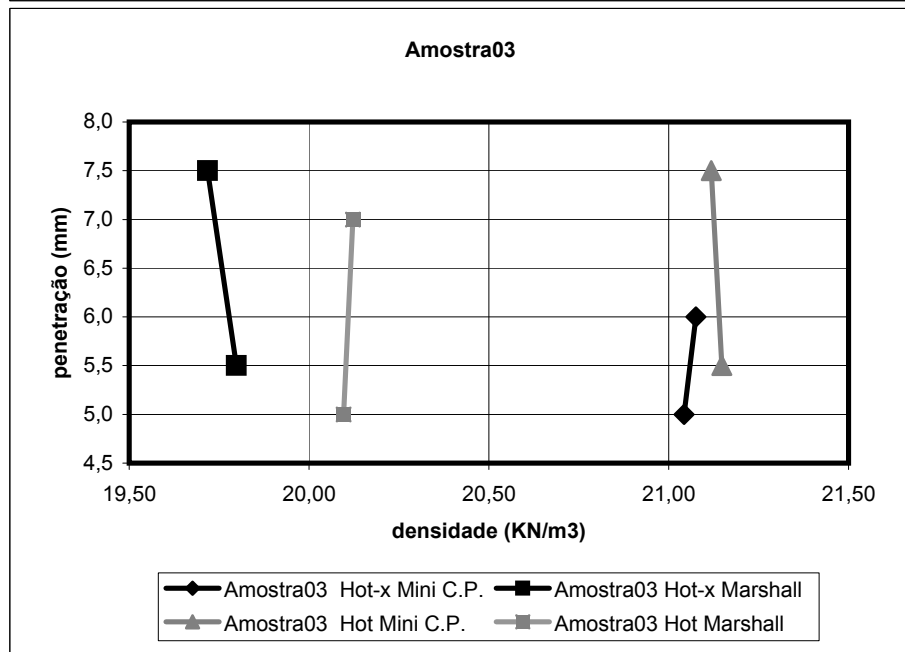
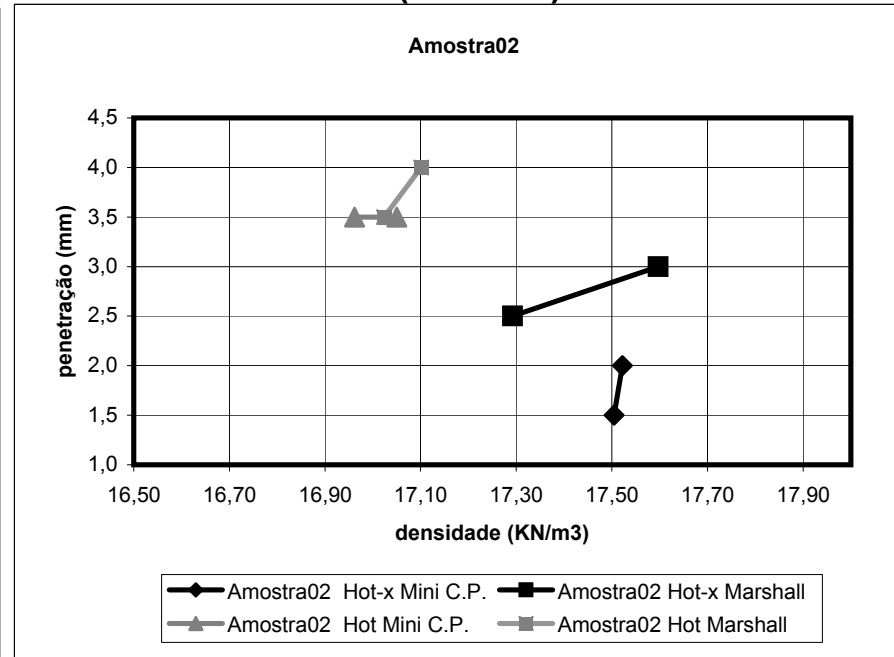
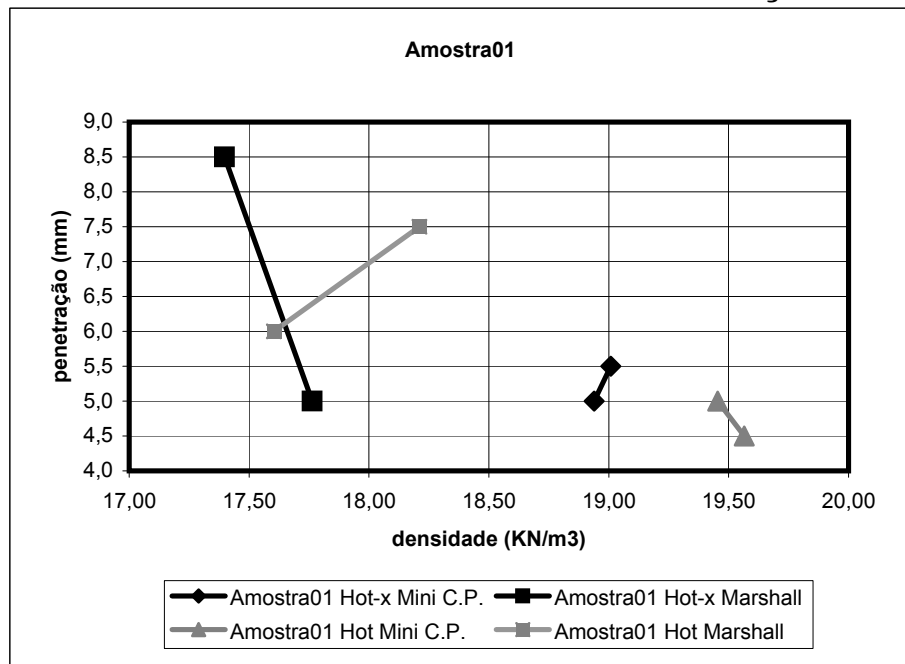
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27
Lf - Leitura final (mm)	31,33	31,51	32,93	33,20	31,64	31,69	30,64	30,90	35,73	35,80	36,45	36,39
Densidade do C. P.	18,94	19,01	19,45	19,56	17,50	17,52	16,96	17,05	21,04	21,08	21,15	21,12
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração (mm)	5,0	5,5	5,0	4,5	1,5	2,0	3,5	3,5	5,0	6,0	5,5	7,5

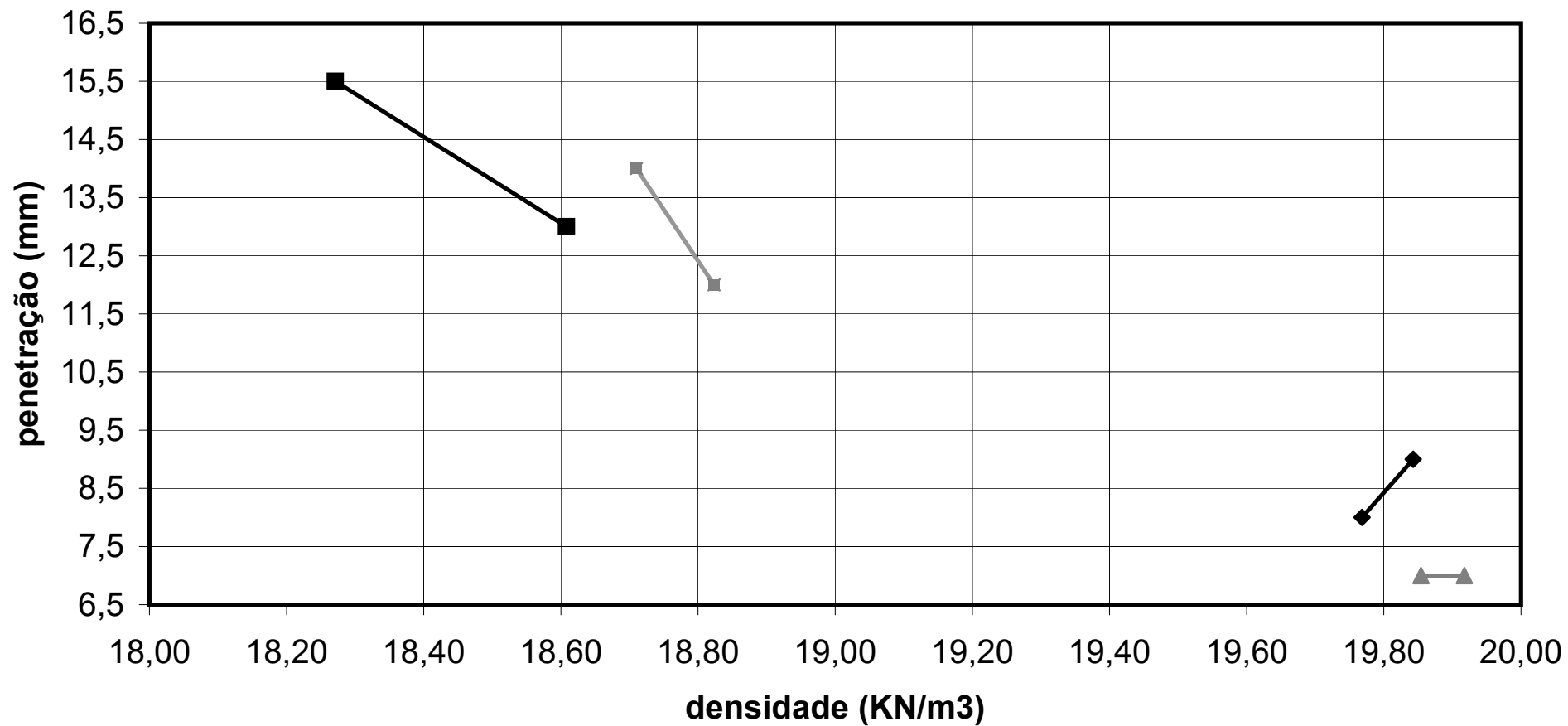
Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	833,7	835,7	833,3	833,7	835,7	832,7	825,8	831,0	835,9	837,0	838,6	837,7
Altura do C. P. (mm)	45,8	45,0	43,5	45,0	42,5	41,6	41,9	42,4	41,1	41,0	40,0	40,0
Densidade do C. P.	17,40	17,76	18,21	17,60	17,29	17,60	17,10	17,02	19,72	19,80	20,12	20,10
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	8,5	5,0	7,5	6,0	2,5	3,0	4,0	3,5	7,5	5,5	7,0	5,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



Amostra06



—◆— Amostra06 Hot-x Mini C.P. —■— Amostra06 Hot-x Marshall
—▲— Amostra06 Hot Mini C.P. —◻— Amostra06 Hot Marshall

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	24/08/2003	am0709.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 7				AMOSTRA: 8				AMOSTRA: 9			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5
Nº da Cápsula	47	47	78	78	67	67	58	58	96	96	11	11
Peso cápsula+solo úmido (g)	90,50	90,50	95,80	95,80	89,60	89,60	85,00	85,00	83,90	83,90	107,30	107,30
Peso cápsula+solo seco (g)	79,10	79,10	82,10	82,10	84,00	84,00	79,00	79,00	78,80	78,80	99,10	99,10
Peso cápsula (g)	18,20	18,20	15,80	15,80	17,50	17,50	17,00	17,00	19,10	19,10	18,20	18,20
Peso água (g)	11,40	11,40	13,70	13,70	5,60	5,60	6,00	6,00	5,10	5,10	8,20	8,20
Peso solo seco (g)	60,90	60,90	66,30	66,30	66,50	66,50	62,00	62,00	59,70	59,70	80,90	80,90
Umidade (%)	18,7	18,7	20,7	20,7	8,4	8,4	9,7	9,7	8,5	8,5	10,1	10,1

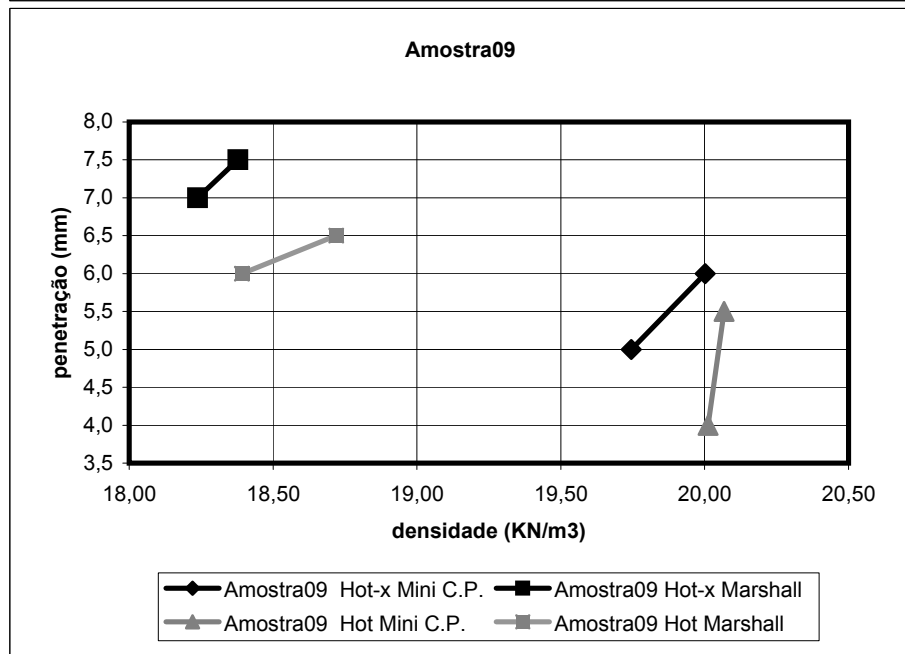
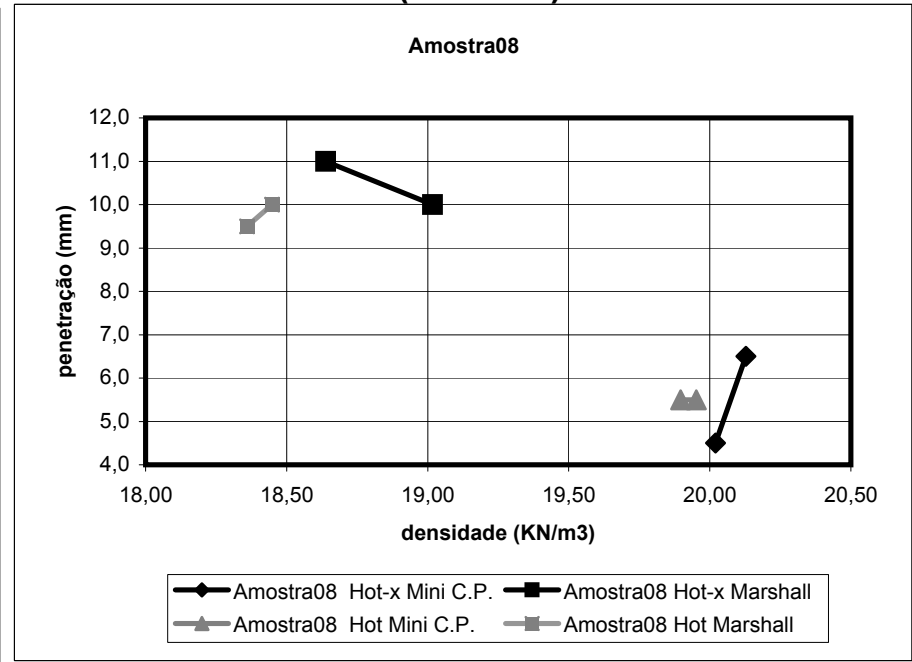
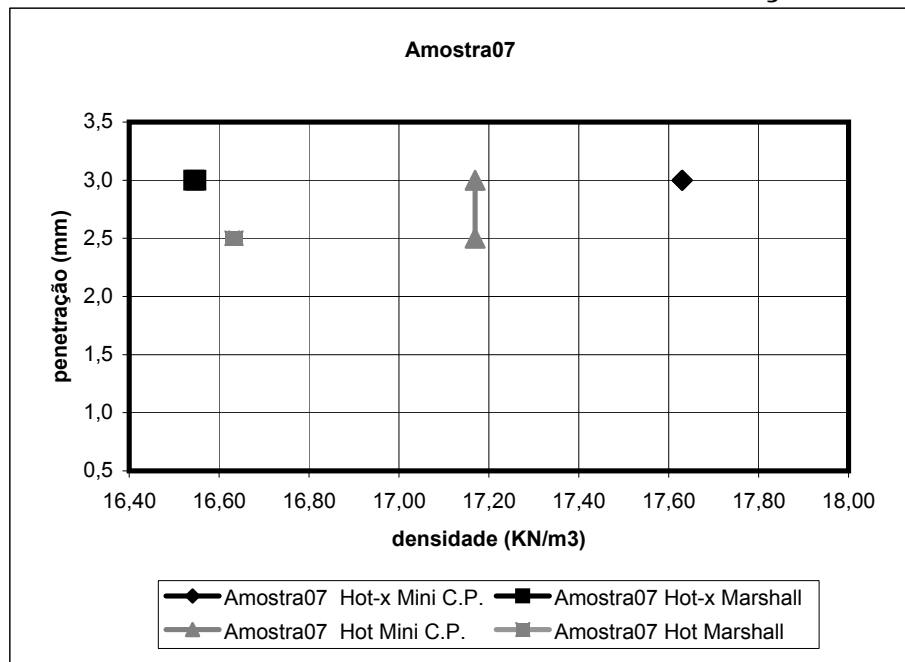
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27
Lf - Leitura final (mm)	31,92	31,92	31,42	31,42	33,91	33,66	33,91	34,04	33,67	33,06	34,50	34,37
Densidade do C. P.	17,63	17,63	17,17	17,17	20,13	20,02	19,90	19,95	20,00	19,75	20,07	20,01
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração (mm)	3,0	3,0	3,0	2,5	6,5	4,5	5,5	5,5	6,0	5,0	5,5	4,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	838,3	836,5	835,6	836,9	835,3	841,1	832,9	834,5	839,3	837,2	837,7	838,6
Altura do C. P. (mm)	44,6	44,5	43,5	43,6	43,2	42,7	43,0	43,3	44,0	44,2	42,5	43,3
Densidade do C. P.	16,55	16,54	16,64	16,63	18,64	19,02	18,45	18,36	18,38	18,24	18,72	18,39
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	3,0	3,0	2,5	2,5	11,0	10,0	10,0	9,5	7,5	7,0	6,5	6,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	24/08/2003	am1012.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 10				AMOSTRA: 11				AMOSTRA: 12			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5
Nº da Cápsula	55	55	16	16	59	59	83	83	98	98	68	68
Peso cápsula+solo úmido (g)	98,90	98,90	92,00	92,00	77,30	77,30	116,80	116,80	65,90	65,90	76,00	76,00
Peso cápsula+solo seco (g)	94,10	94,10	86,80	86,80	74,40	74,70	111,00	111,00	59,50	59,50	67,80	67,80
Peso cápsula (g)	19,90	19,90	19,00	19,00	19,80	19,80	18,60	18,60	16,80	16,80	17,00	17,00
Peso água (g)	4,80	4,80	5,20	5,20	2,90	2,60	5,80	5,80	6,40	6,40	8,20	8,20
Peso solo seco (g)	74,20	74,20	67,80	67,80	54,60	54,90	92,40	92,40	42,70	42,70	50,80	50,80
Umidade (%)	6,5	6,5	7,7	7,7	5,3	4,7	6,3	6,3	15,0	15,0	16,1	16,1

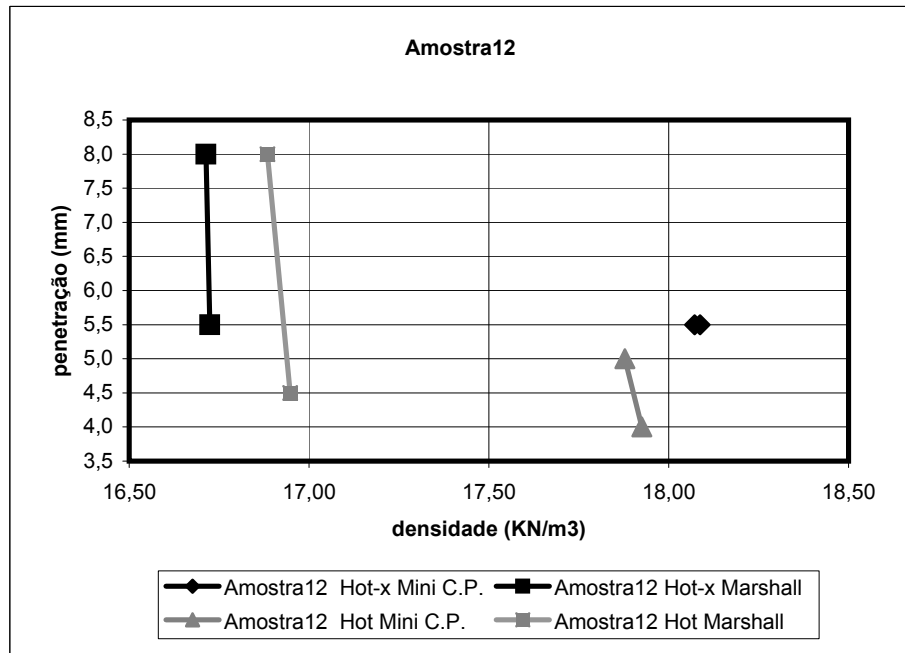
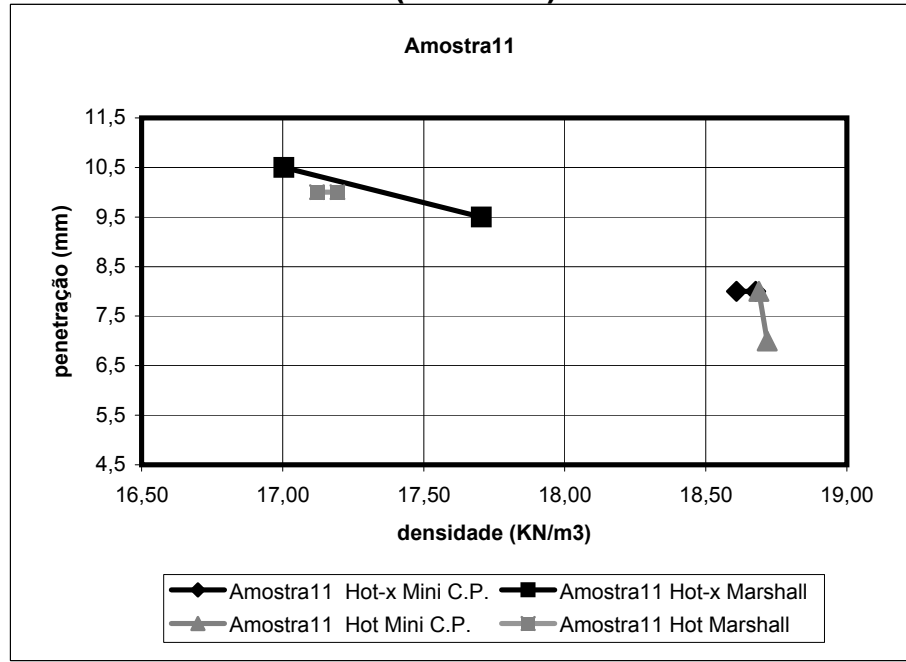
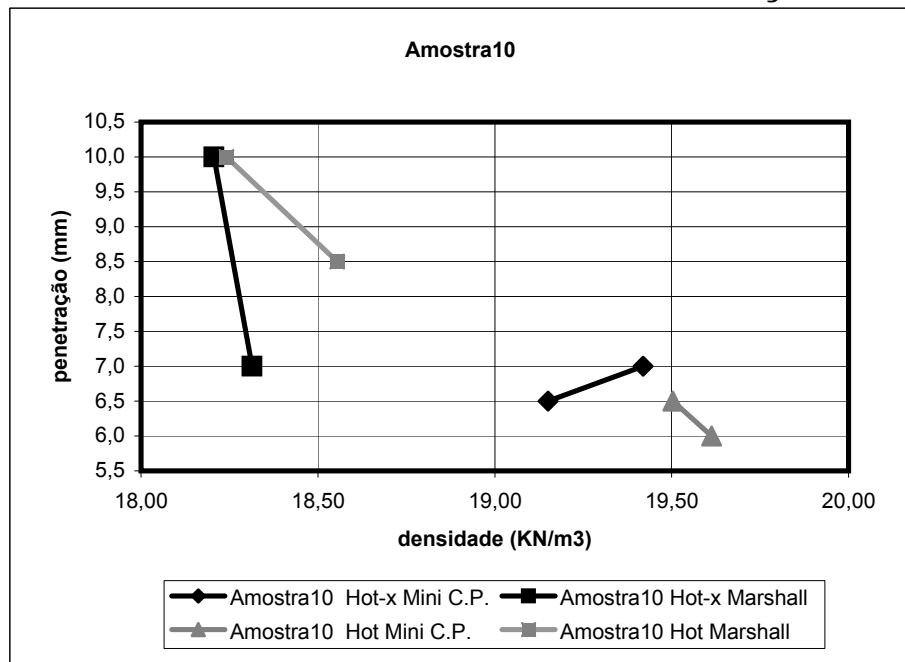
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27
Lf - Leitura final (mm)	31,32	30,63	32,35	32,08	28,61	28,80	29,30	29,38	31,57	31,61	31,53	31,66
Densidade do C. P.	19,42	19,15	19,61	19,50	18,61	18,68	18,69	18,72	18,07	18,09	17,88	17,93
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração (mm)	7,0	6,5	6,0	6,5	8,0	8,0	8,0	7,0	5,5	5,5	5,0	4,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	838,4	836,2	831,7	835,5	852,0	816,3	836,9	795,4	837,1	839,1	835,4	838,0
Altura do C. P. (mm)	45,2	44,8	44,2	43,7	49,8	45,5	48,0	45,0	45,5	45,6	44,5	44,5
Densidade do C. P.	18,21	18,31	18,24	18,55	17,00	17,70	17,12	17,19	16,71	16,72	16,88	16,95
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Penetração	10,0	7,0	10,0	8,5	10,5	9,5	10,0	10,0	8,0	5,5	8,0	4,5

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	24/08/2003	am1315.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 13				AMOSTRA: 14				AMOSTRA: 15			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	45	45	62	62	60	60	55	55	68	68	19	19
Peso cápsula+solo úmido (g)	93,30	93,30	62,40	62,40	104,00	104,00	91,90	91,90	97,70	97,70	80,20	80,20
Peso cápsula+solo seco (g)	82,90	82,90	56,00	56,00	88,70	88,70	78,60	78,60	87,40	87,40	72,00	72,00
Peso cápsula (g)	16,80	16,80	17,00	17,00	16,90	16,90	19,80	19,80	17,00	17,00	16,80	16,80
Peso água (g)	10,40	10,40	6,40	6,40	15,30	15,30	13,30	13,30	10,30	10,30	8,20	8,20
Peso solo seco (g)	66,10	66,10	39,00	39,00	71,80	71,80	58,80	58,80	70,40	70,40	55,20	55,20
Umidade (%)	15,7	15,7	16,4	16,4	21,3	21,3	22,6	22,6	14,6	14,6	14,9	14,9

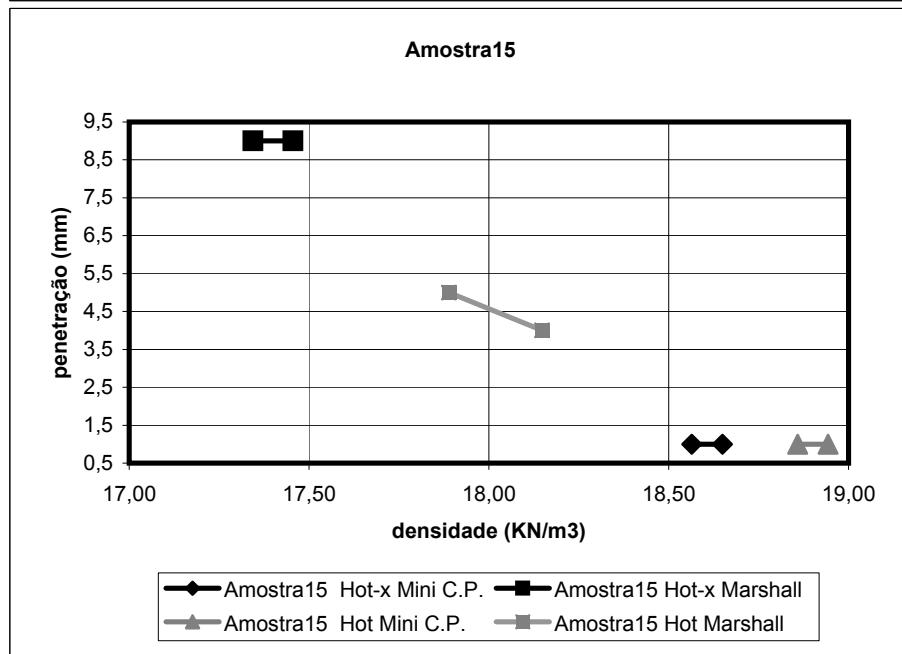
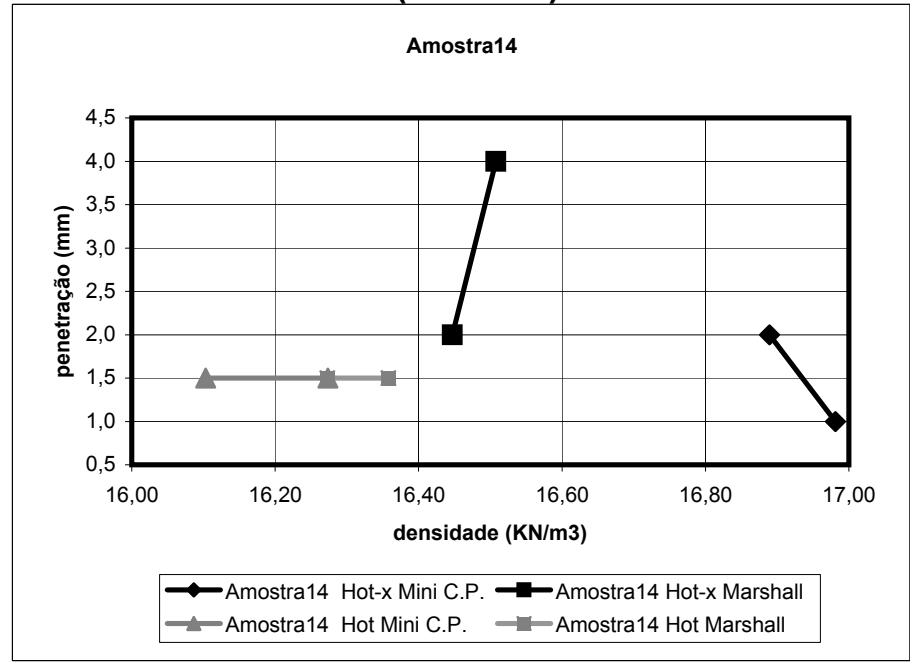
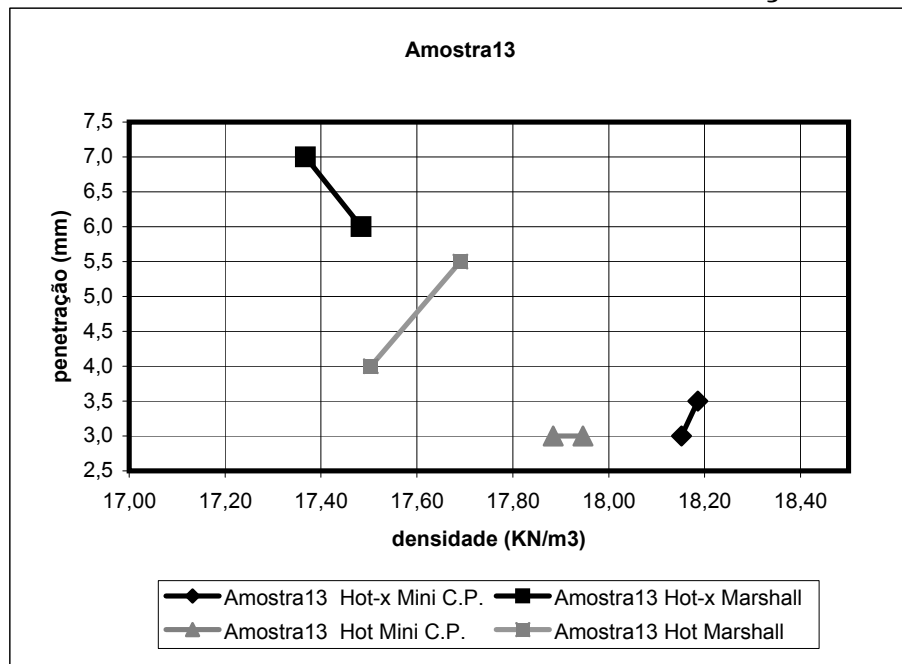
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,17	33,17	33,17	33,17
Lf - Leitura final (mm)	32,19	32,10	31,83	31,66	30,87	31,14	29,54	29,00	32,84	32,62	33,67	33,46
Densidade do C. P.	18,19	18,15	17,95	17,88	16,89	16,98	16,27	16,10	18,65	18,56	18,94	18,86
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Penetração (mm)	3,5	3,0	3,0	3,0	2,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	836,5	839,5	836,9	837,8	833,9	836,2	831,4	826,9	836,6	837,0	835,3	836,9
Altura do C. P. (mm)	43,5	43,4	42,5	43,0	43,5	43,8	43,5	43,0	43,7	44,0	42,5	42,0
Densidade do C. P.	17,37	17,48	17,69	17,50	16,51	16,45	16,27	16,36	17,46	17,34	17,89	18,15
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	7,0	6,0	5,5	4,0	4,0	2,0	1,5	1,5	9,0	9,0	5,0	4,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	24/08/2003	am1618.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 16				AMOSTRA: 17				AMOSTRA: 18			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	31	31	14	14	80	80	8	8	86	86	59	59
Peso cápsula+solo úmido (g)	87,40	87,40	85,90	85,90	88,30	88,30	84,00	84,00	119,70	119,70	110,10	110,10
Peso cápsula+solo seco (g)	78,50	78,50	77,60	77,60	78,30	78,30	74,00	74,00	107,20	107,20	98,50	98,50
Peso cápsula (g)	17,20	17,20	19,10	19,10	17,40	17,40	19,10	19,10	19,30	19,30	19,70	19,70
Peso água (g)	8,90	8,90	8,30	8,30	10,00	10,00	10,00	10,00	12,50	12,50	11,60	11,60
Peso solo seco (g)	61,30	61,30	58,50	58,50	60,90	60,90	54,90	54,90	87,90	87,90	78,80	78,80
Umidade (%)	14,5	14,5	14,2	14,2	16,4	16,4	18,2	18,2	14,2	14,2	14,7	14,7

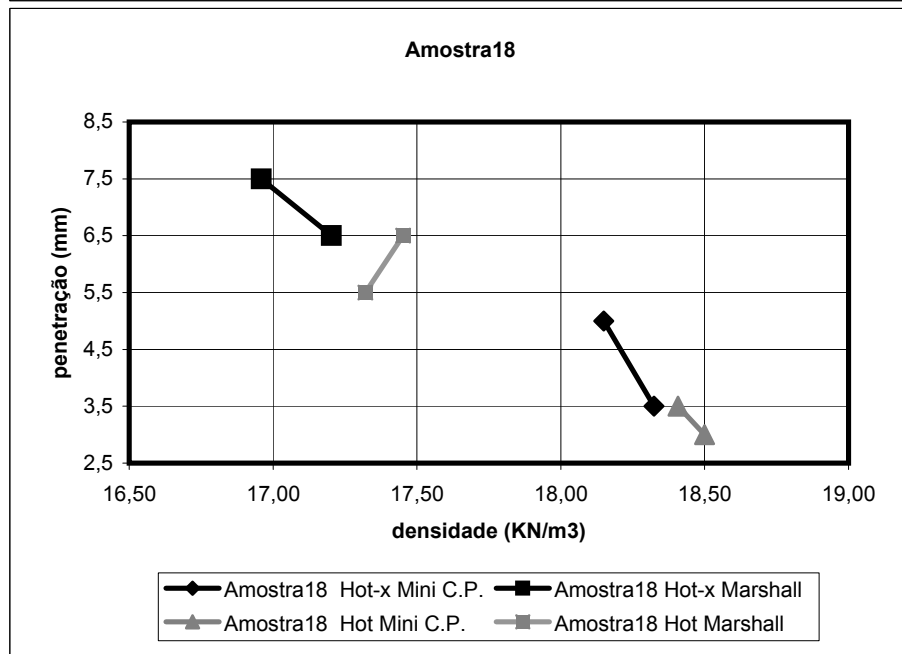
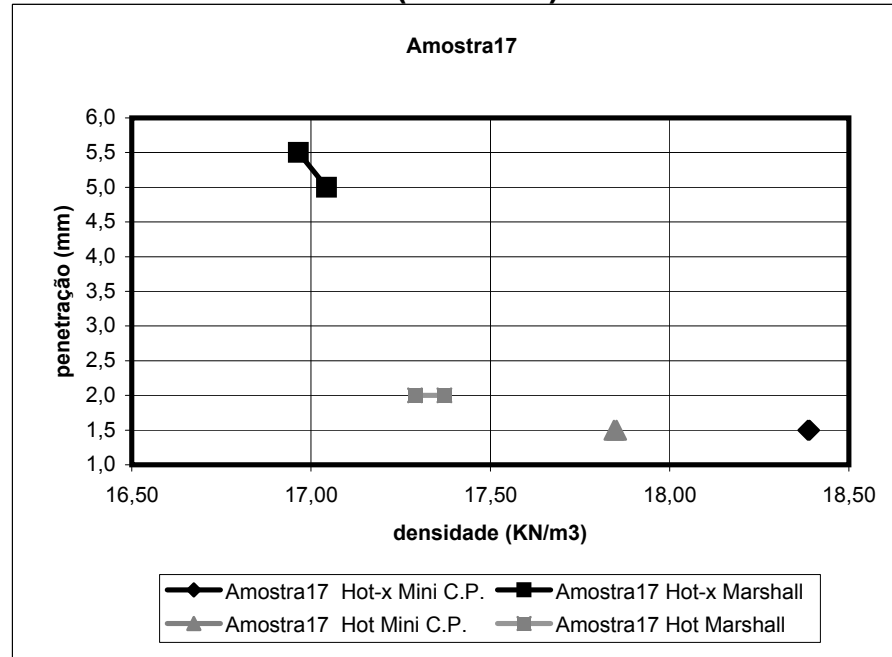
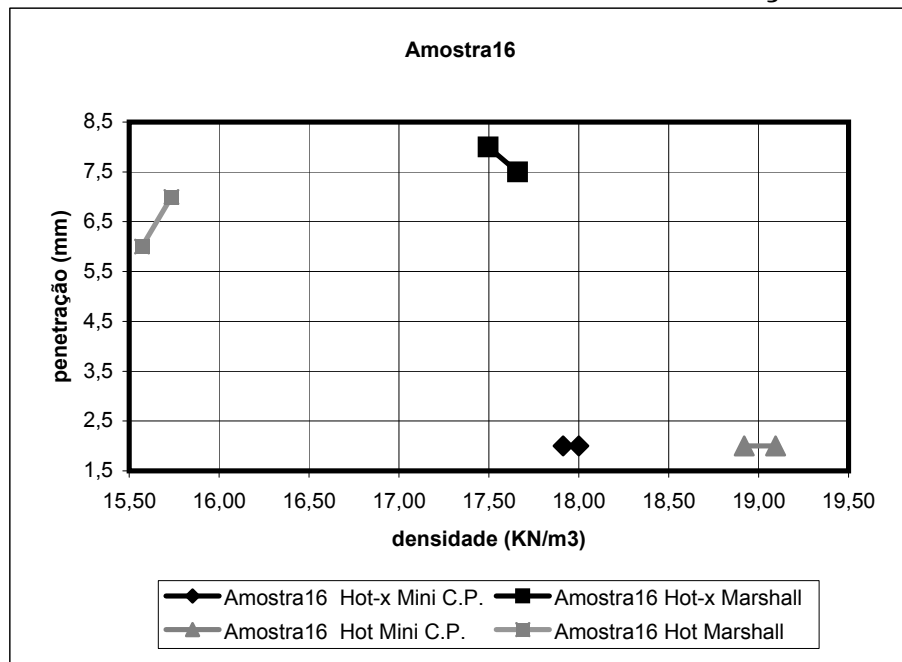
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,17	33,17	33,17	33,17	33,17	33,17	33,17	33,17	33,27	33,27	33,27	33,27
Lf - Leitura final (mm)	31,07	30,83	33,77	33,34	32,91	32,90	32,22	32,20	31,45	31,92	32,35	32,59
Densidade do C. P.	18,00	17,91	19,09	18,92	18,39	18,39	17,85	17,84	18,15	18,32	18,41	18,50
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Penetração (mm)	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	5,0	3,5	3,5	3,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	835,9	835,9	835,4	835,4	837,2	837,2	838,3	836,6	836,8	839,5	836,6	838,6
Altura do C. P. (mm)	43,6	43,2	49,0	48,5	44,3	44,1	42,9	42,6	44,5	45,3	44,0	43,8
Densidade do C. P.	17,50	17,66	15,57	15,73	16,97	17,04	17,29	17,37	17,20	16,96	17,32	17,45
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Penetração	8,0	7,5	6,0	7,0	5,5	5,0	2,0	2,0	6,5	7,5	5,5	6,5

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	24/08/2003	am1921.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 19				AMOSTRA: 20				AMOSTRA: 21			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	42	42	79	79	98	98	83	83	52	52	68	68
Peso cápsula+solo úmido (g)	116,20	116,20	101,80	101,80	100,80	100,80	95,10	95,10	111,00	111,00	100,50	100,50
Peso cápsula+solo seco (g)	104,90	104,90	91,40	91,40	91,40	91,40	86,20	86,20	99,40	99,40	90,00	90,00
Peso cápsula (g)	16,80	16,80	18,60	18,60	16,80	16,80	18,70	18,70	18,70	18,70	17,00	17,00
Peso água (g)	11,30	11,30	10,40	10,40	9,40	9,40	8,90	8,90	11,60	11,60	10,50	10,50
Peso solo seco (g)	88,10	88,10	72,80	72,80	74,60	74,60	67,50	67,50	80,70	80,70	73,00	73,00
Umidade (%)	12,8	12,8	14,3	14,3	12,6	12,6	13,2	13,2	14,4	14,4	14,4	14,4

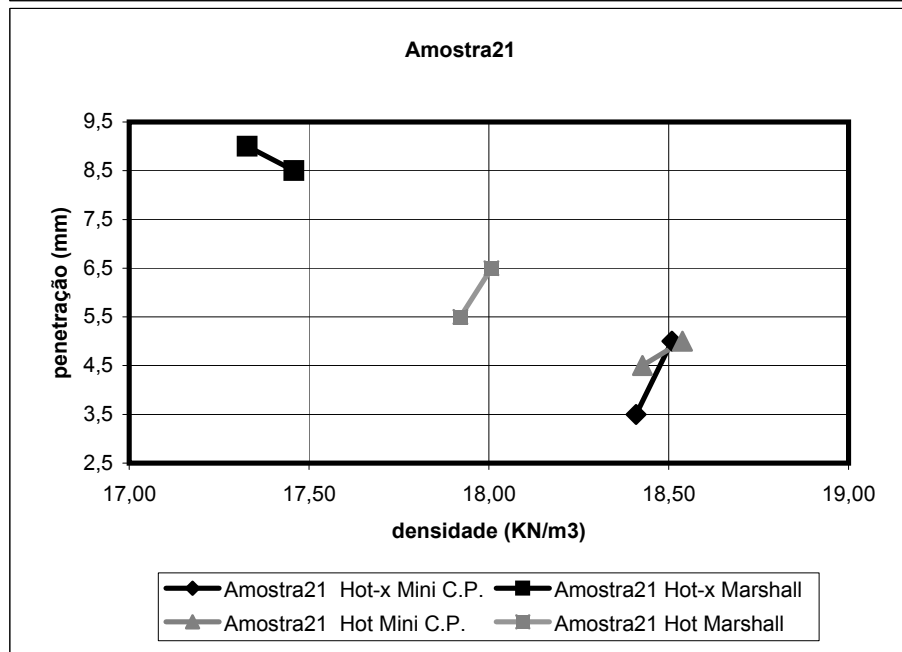
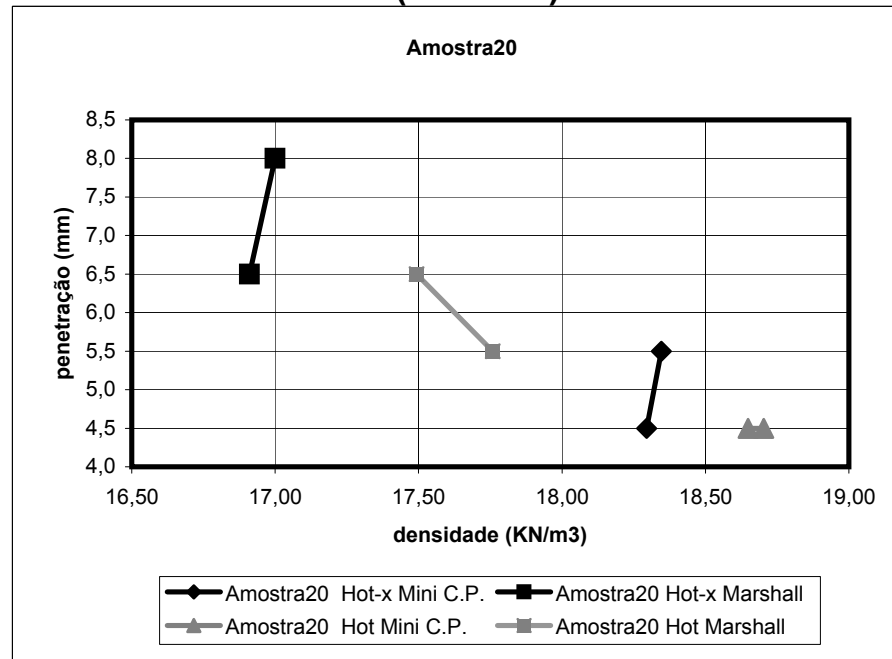
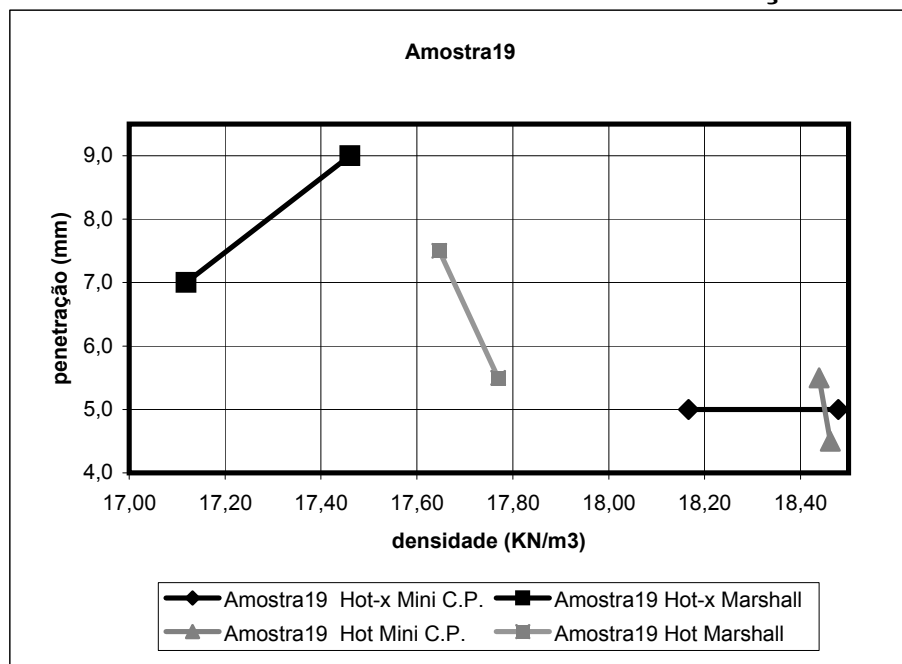
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27	33,27
Lf - Leitura final (mm)	31,73	30,89	32,25	32,31	31,28	31,14	32,33	32,47	32,47	32,21	32,26	32,55
Densidade do C. P.	18,48	18,17	18,44	18,46	18,35	18,29	18,65	18,70	18,51	18,41	18,43	18,54
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração (mm)	5,0	5,0	5,5	4,5	5,5	4,5	4,5	4,5	5,0	3,5	4,5	5,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	838,6	835,9	837,2	837,1	838,4	839,0	837,3	836,5	838,0	840,0	837,0	837,0
Altura do C. P. (mm)	44,5	45,2	43,4	43,1	46,0	45,8	44,2	43,5	44,2	44,0	42,5	42,7
Densidade do C. P.	17,46	17,12	17,65	17,77	16,91	17,00	17,49	17,76	17,33	17,46	18,01	17,92
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	9,0	7,0	7,5	5,5	6,5	8,0	6,5	5,5	9,0	8,5	6,5	5,5

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am2224.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 22				AMOSTRA: 23				AMOSTRA: 24			
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	45	45	62	62	42	42	16	16	68	68	71	71
Peso cápsula+solo úmido (g)	93,30	93,30	62,40	62,40	106,30	106,30	138,30	138,30	120,70	120,70	130,40	130,40
Peso cápsula+solo seco (g)	82,90	82,90	56,00	56,00	96,60	96,60	123,60	123,60	109,95	109,95	116,80	116,80
Peso cápsula (g)	16,80	16,80	17,00	17,00	16,80	16,80	19,00	19,00	17,10	17,10	16,10	16,10
Peso água (g)	10,40	10,40	6,40	6,40	9,70	9,70	14,70	14,70	10,75	10,75	13,60	13,60
Peso solo seco (g)	66,10	66,10	39,00	39,00	79,80	79,80	104,60	104,60	92,85	92,85	100,70	100,70
Umidade (%)	15,7	15,7	16,4	16,4	12,2	12,2	14,1	14,1	11,6	11,6	13,5	13,5

Mini C.P.

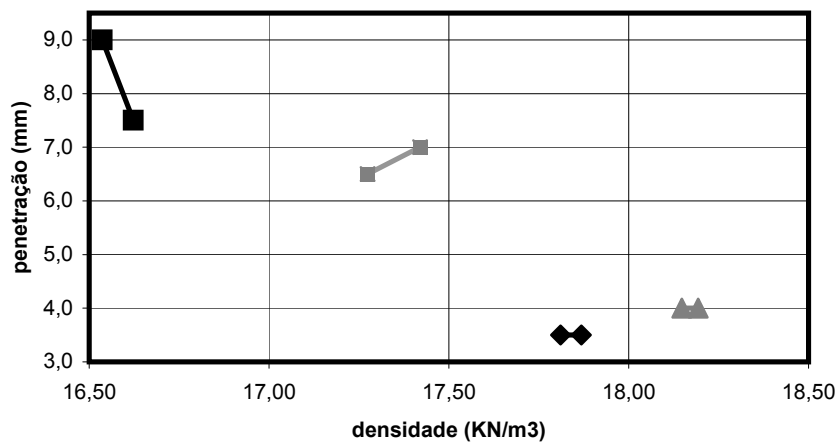
La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Lf - Leitura final (mm)	31,33	31,17	32,37	32,49	32,28	32,30	33,68	33,46	34,66	35,15	33,90	34,03
Densidade do C. P.	17,87	17,81	18,15	18,19	18,91	18,91	19,15	19,06	20,00	20,21	19,33	19,39
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	3,5	3,5	4,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0	2,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	837,3	837,8	836,1	836,8	837,4	836,4	837,0	836,0	836,5	837,3	834,1	834,7
Altura do C. P. (mm)	45,7	45,5	43,1	43,5	45,1	45,0	42,5	42,4	41,6	42,2	40,5	40,5
Densidade do C. P.	16,54	16,62	17,42	17,27	17,30	17,31	18,06	18,08	18,85	18,60	18,98	19,00
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM
Penetração	9,0	7,5	7,0	6,5	10,0	9,5	6,5	6,0	8,0	7,0	3,5	3,5

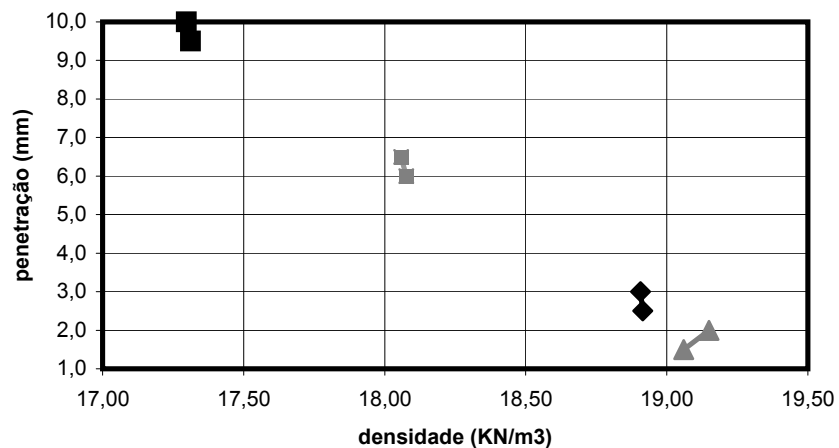
ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

Amostra22



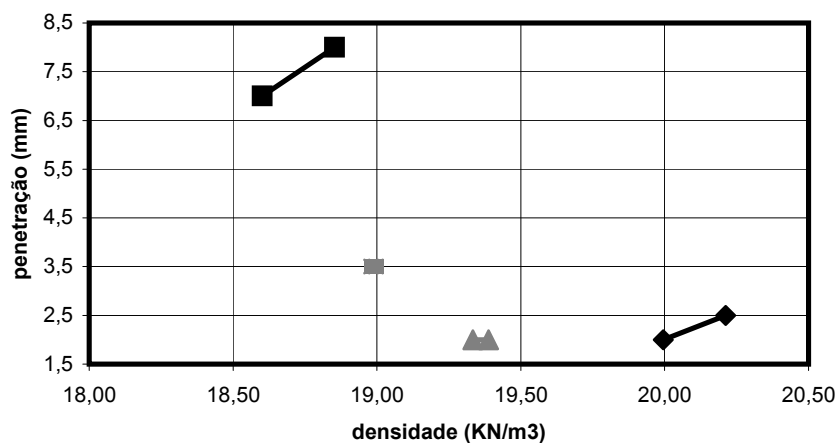
Amostra22 Hot-x Mini C.P.
 Amostra22 Hot-x Marshall
 Amostra22 Hot Mini C.P.
 Amostra22 Hot Marshall

Amostra23



Amostra23 Hot-x Mini C.P.
 Amostra23 Hot-x Marshall
 Amostra23 Hot Mini C.P.
 Amostra23 Hot Marshall

Amostra24



Amostra24 Hot-x Mini C.P.
 Amostra24 Hot-x Marshall
 Amostra24 Hot Mini C.P.
 Amostra24 Hot Marshall

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am2527.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Umidade	AMOSTRA: 25				AMOSTRA: 26				AMOSTRA: 27			
	H _{ótima}		H _{ótima} + X		H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima} - X		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	88	88	85	85	22	22	35	35	93	93	56	56
Peso cápsula+solo úmido (g)	113,80	113,80	99,80	99,80	118,20	118,20	93,10	93,10	110,50	110,50	121,80	121,80
Peso cápsula+solo seco (g)	102,80	102,80	88,90	88,90	108,45	108,45	84,20	84,20	100,70	100,70	108,50	108,50
Peso cápsula (g)	19,00	19,00	17,00	17,00	19,10	19,10	18,10	18,10	16,50	16,50	17,90	17,90
Peso água (g)	11,00	11,00	10,90	10,90	9,75	9,75	8,90	8,90	9,80	9,80	13,30	13,30
Peso solo seco (g)	83,80	83,80	71,90	71,90	89,35	89,35	66,10	66,10	84,20	84,20	90,60	90,60
Umidade (%)	13,1	13,1	15,2	15,2	10,9	10,9	13,5	13,5	11,6	11,6	14,7	14,7

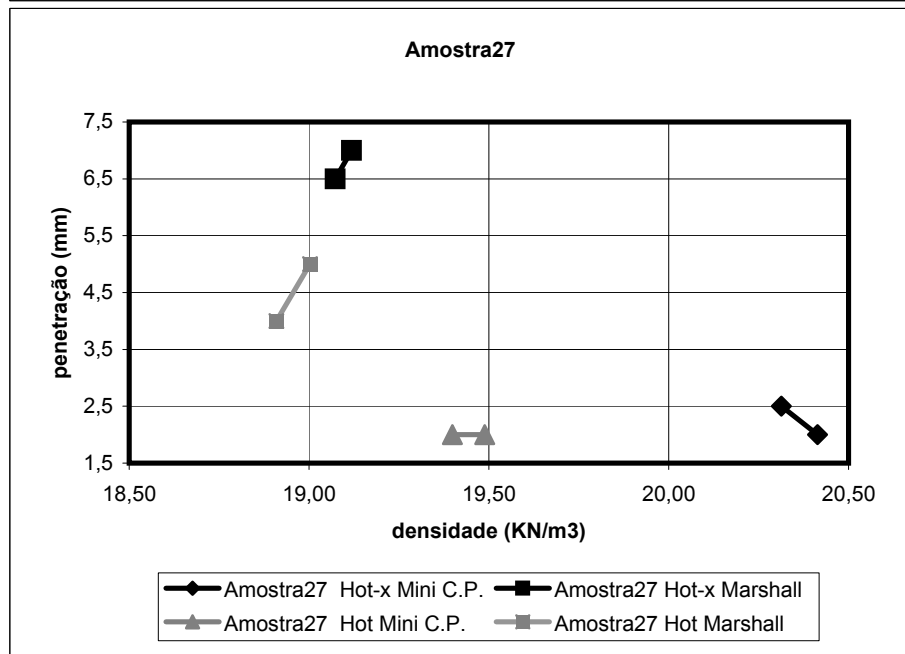
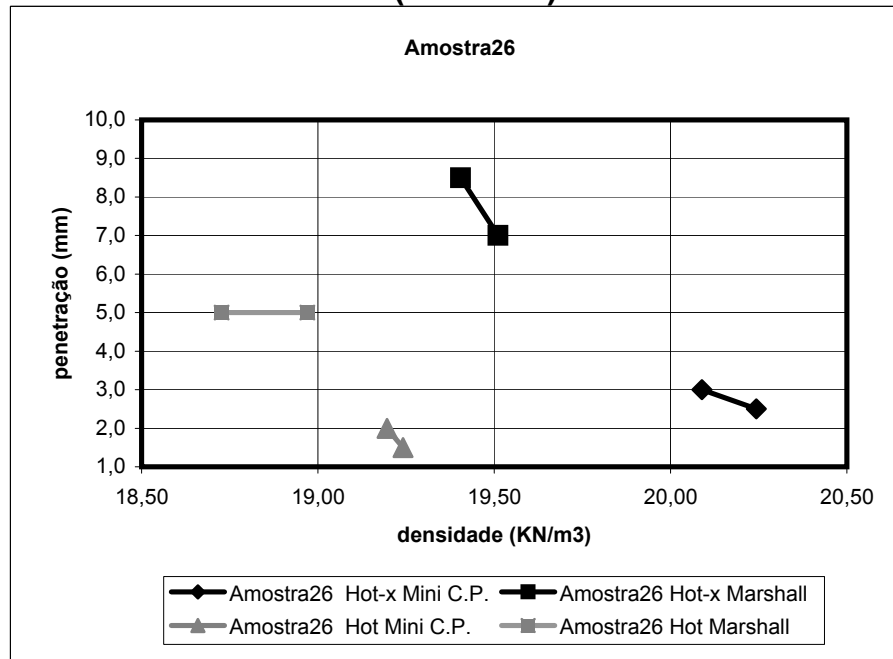
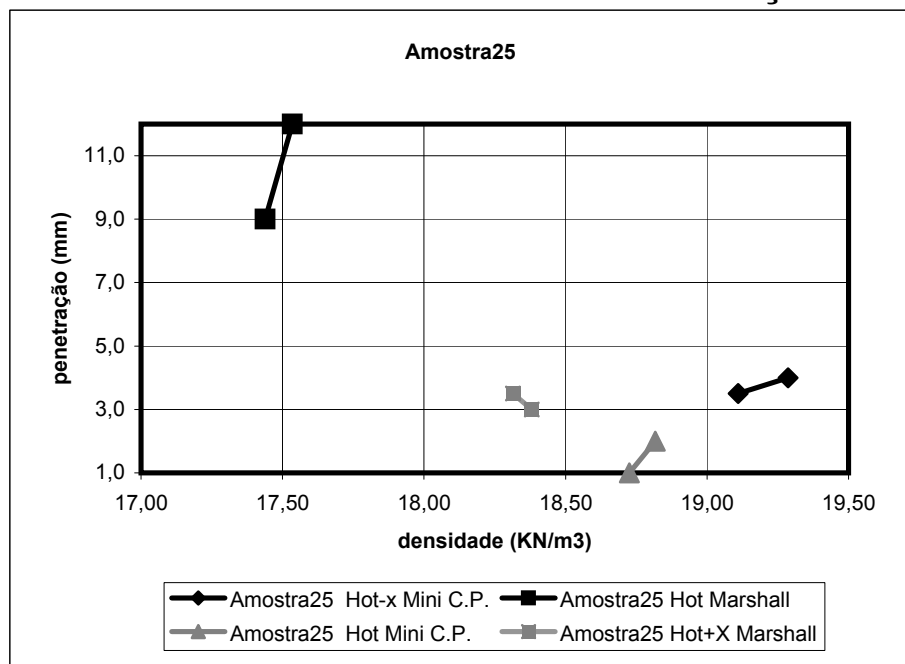
Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Lf - Leitura final (mm)	33,63	33,20	33,31	33,08	34,60	34,95	33,55	33,66	35,62	35,40	34,53	34,74
Densidade do C. P.	19,29	19,11	18,82	18,73	20,09	20,24	19,20	19,24	20,41	20,31	19,40	19,49
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	4,0	3,5	2,0	1,0	3,0	2,5	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0	2,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	837,0	836,4	834,9	835,7	836,9	837,2	831,5	833,5	836,3	836,4	833,3	833,4
Altura do C. P. (mm)	44,1	44,3	41,4	41,3	40,7	40,5	40,9	40,5	41,0	41,1	40,0	40,2
Densidade do C. P.	17,53	17,44	18,31	18,38	19,40	19,51	18,73	18,97	19,12	19,07	19,00	18,91
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM
Penetração	12,0	9,0	3,5	3,0	8,5	7,0	5,0	5,0	7,0	6,5	5,0	4,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 3 (ANTIPÓ)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am28.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	----------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50		
Diâmetro do C.P. (mm)	50		
Área do C. P. (mm ²)	1963,495		
Energia	Intermediária	6 golpes / lado	
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973		
Volume do anel (mm ³)	588,67		

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

AMOSTRA: 28

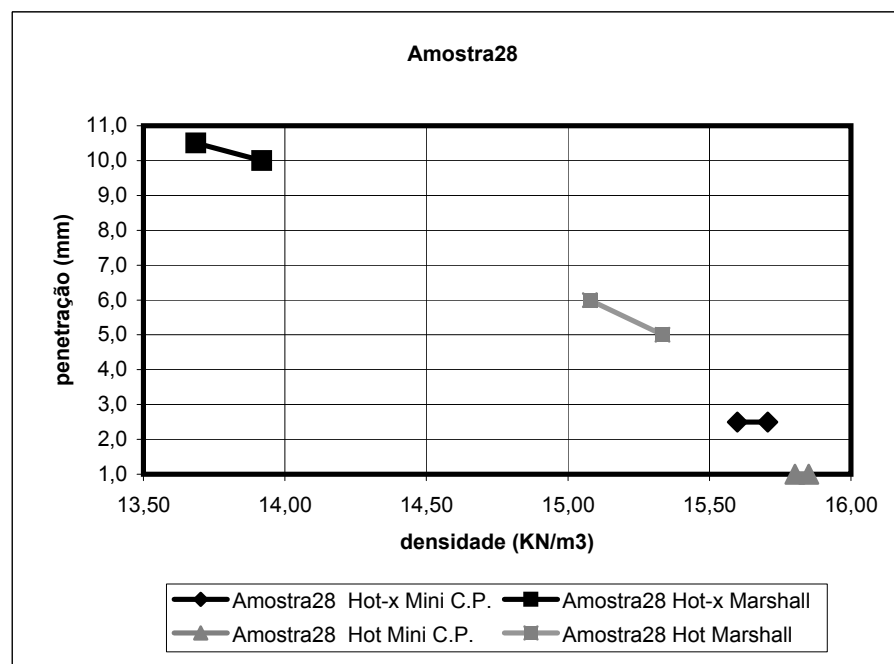
Umidade	H _{ótima} - X		H _{ótima}	
	1,5	1,2	1,5	1,2
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	4	4	81	81
Peso cápsula+solo úmido (g)	107,20	107,20	85,60	85,60
Peso cápsula+solo seco (g)	90,35	90,35	71,70	71,70
Peso cápsula (g)	17,40	17,40	17,90	17,90
Peso água (g)	16,85	16,85	13,90	13,90
Peso solo seco (g)	72,95	72,95	53,80	53,80
Umidade (%)	23,1	23,1	25,8	25,8

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,00	33,00	33,00	33,00
Lf - Leitura final (mm)	27,63	27,27	29,25	29,09
Densidade do C. P.	15,71	15,60	15,85	15,80
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	SIM
Penetração (mm)	2,5	2,5	1,0	1,0

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	837,1	836,5	805,1	835,2
Altura do C. P. (mm)	51,8	50,9	44,0	45,2
Densidade do C. P.	13,69	13,92	15,08	15,33
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	10,5	10,0	6,0	5,0



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am0107rm.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	--------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50
Diâmetro do C.P. (mm)	50
Área do C. P. (mm ²)	1963,495
Energia	Intermediária 6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973
Volume do anel (mm ³)	588,67

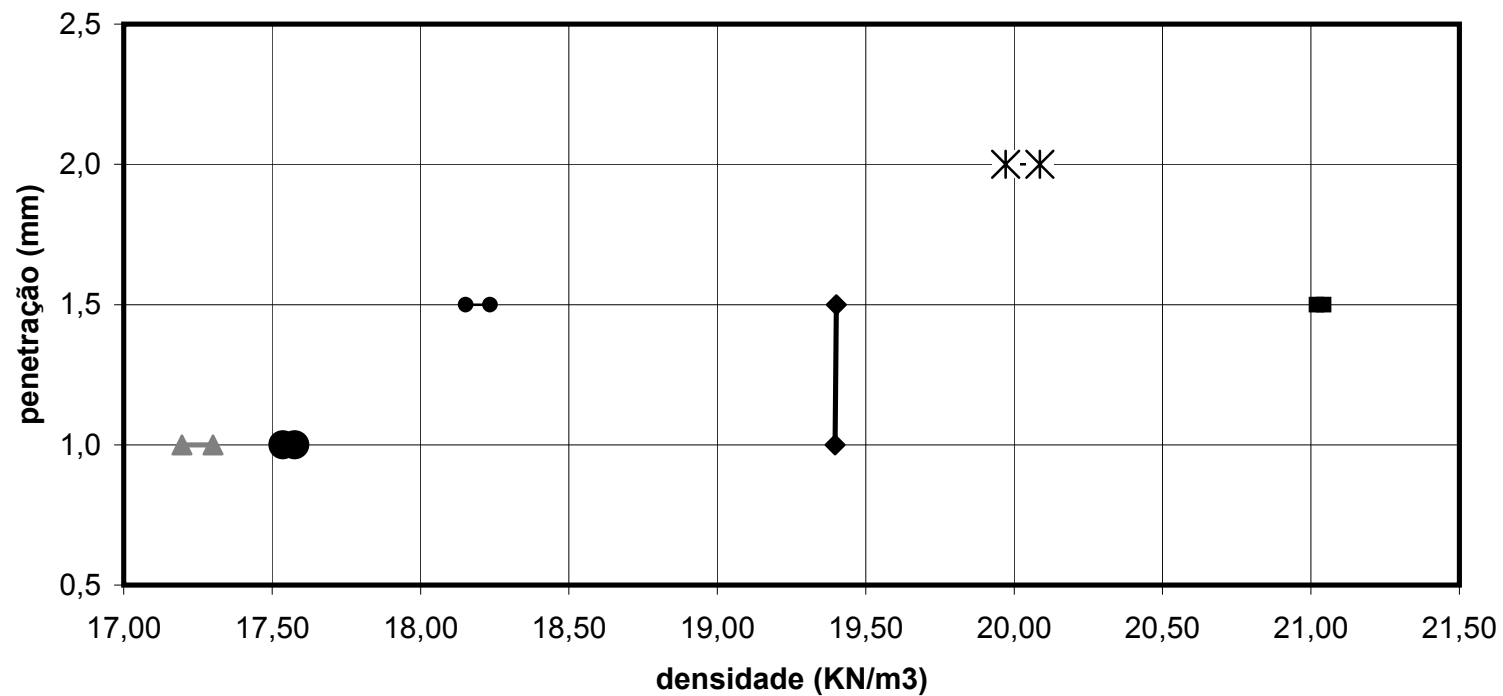
Umidade	AMOSTRA: 01		AMOSTRA: 02		AMOSTRA: 03		AMOSTRA: 04		AMOSTRA: 06		AMOSTRA: 07	
	H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8	1,5	1,5	1,2	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5	1,2
N ^o da Cápsula	53	53	45	45	19	19	63	63	94	94	62	62
Peso cápsula+solo úmido (g)	115,70	115,70	102,70	102,70	136,60	136,60	97,20	97,20	87,00	87,00	97,70	97,70
Peso cápsula+solo seco (g)	106,40	106,40	89,00	89,00	126,80	126,80	86,40	86,40	81,30	81,30	84,80	84,80
Peso cápsula (g)	17,00	17,00	16,80	16,80	16,80	16,80	15,60	15,60	18,40	18,40	17,10	17,10
Peso água (g)	9,30	9,30	13,70	13,70	9,80	9,80	10,80	10,80	5,70	5,70	12,90	12,90
Peso solo seco (g)	89,40	89,40	72,20	72,20	110,00	110,00	70,80	70,80	62,90	62,90	67,70	67,70
Umidade (%)	10,4	10,4	19,0	19,0	8,9	8,9	15,3	15,3	9,1	9,1	19,1	19,1

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95
Lf - Leitura final (mm)	32,70	32,71	30,48	30,78	35,82	35,77	31,80	31,58	33,50	33,77	31,48	31,59
Densidade do C. P.	19,40	19,40	17,20	17,30	21,04	21,02	18,23	18,15	19,97	20,09	17,54	17,58
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	1,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

Amostra 01- 07



◆ Amostra01 Hot

▲ Amostra02 Hot

■ Amostra03 Hot

● Amostra04 Hot

* Amostra06 Hot

● Amostra07 Hot

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am0813rm.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	--------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50
Diâmetro do C.P. (mm)	50
Área do C. P. (mm ²)	1963,495
Energia	Intermediária 6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973
Volume do anel (mm ³)	588,67

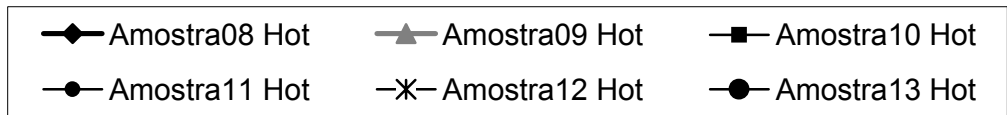
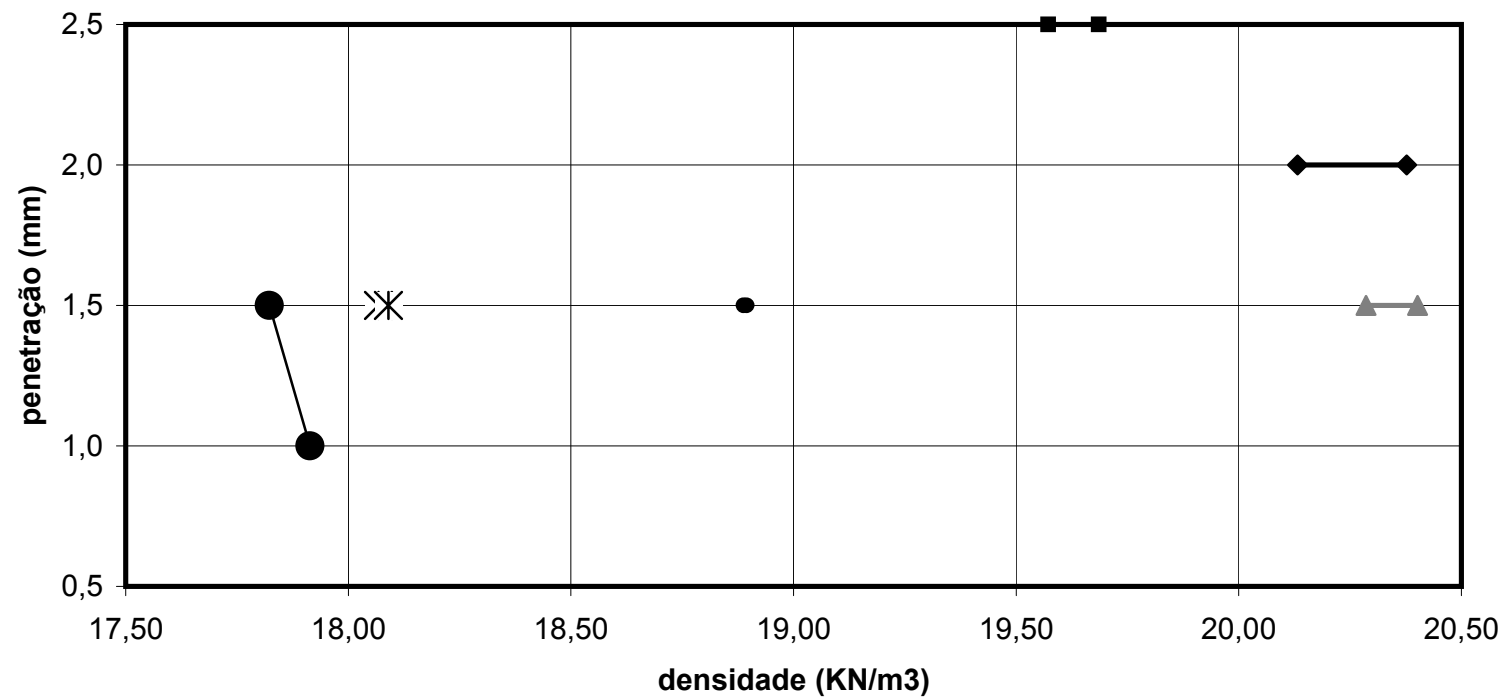
Umidade	AMOSTRA: 08		AMOSTRA: 09		AMOSTRA: 10		AMOSTRA: 11		AMOSTRA: 12		AMOSTRA: 13	
	H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5
N ^o da Cápsula	22	22	93	93	68	68	24	24	91	91	41	41
Peso cápsula+solo úmido (g)	84,70	84,70	102,00	102,00	107,60	107,60	104,70	104,70	95,50	95,50	100,90	100,90
Peso cápsula+solo seco (g)	78,40	78,40	94,60	94,60	101,60	101,60	100,60	100,60	85,20	85,20	88,90	88,90
Peso cápsula (g)	19,10	19,10	16,50	16,50	17,00	17,00	18,40	18,40	19,40	19,40	16,70	16,70
Peso água (g)	6,30	6,30	7,40	7,40	6,00	6,00	4,10	4,10	10,30	10,30	12,00	12,00
Peso solo seco (g)	59,30	59,30	78,10	78,10	84,60	84,60	82,20	82,20	65,80	65,80	72,20	72,20
Umidade (%)	10,6	10,6	9,5	9,5	7,1	7,1	5,0	5,0	15,7	15,7	16,6	16,6

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95	32,95
Lf - Leitura final (mm)	35,08	34,53	34,40	34,66	31,95	31,67	28,90	28,92	31,52	31,58	31,26	31,51
Densidade do C. P.	20,38	20,13	20,29	20,40	19,69	19,57	18,89	18,90	18,07	18,09	17,82	17,91
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	2,0	2,0	1,5	1,5	2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0

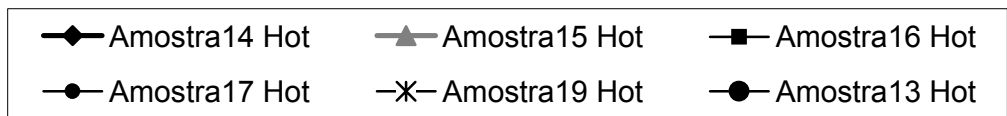
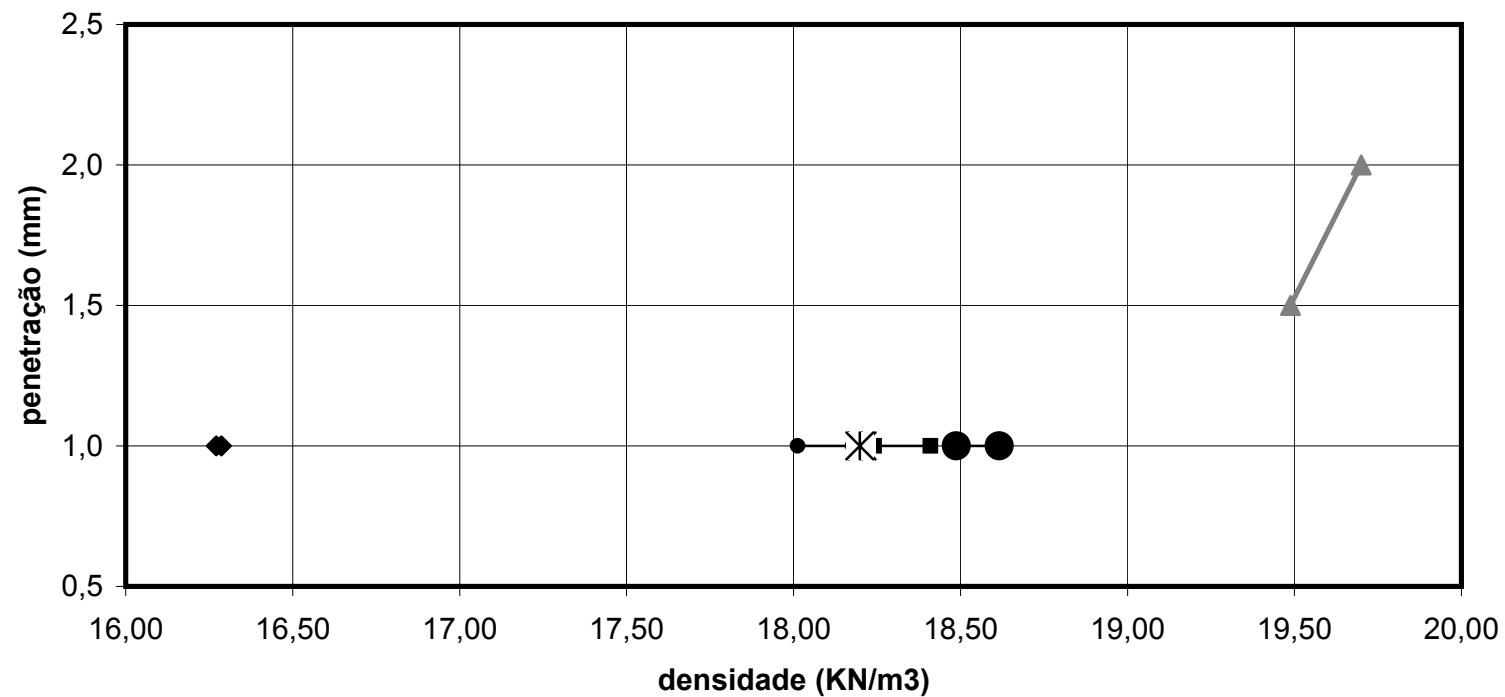
ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

Amostra 08- 13



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

Amostra 14- 19



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am2025rm.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	--------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50
Diâmetro do C.P. (mm)	50
Área do C. P. (mm ²)	1963,495
Energia	Intermediária 6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973
Volume do anel (mm ³)	588,67

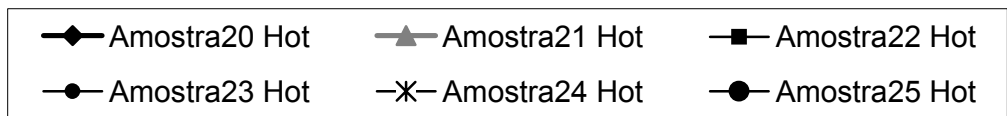
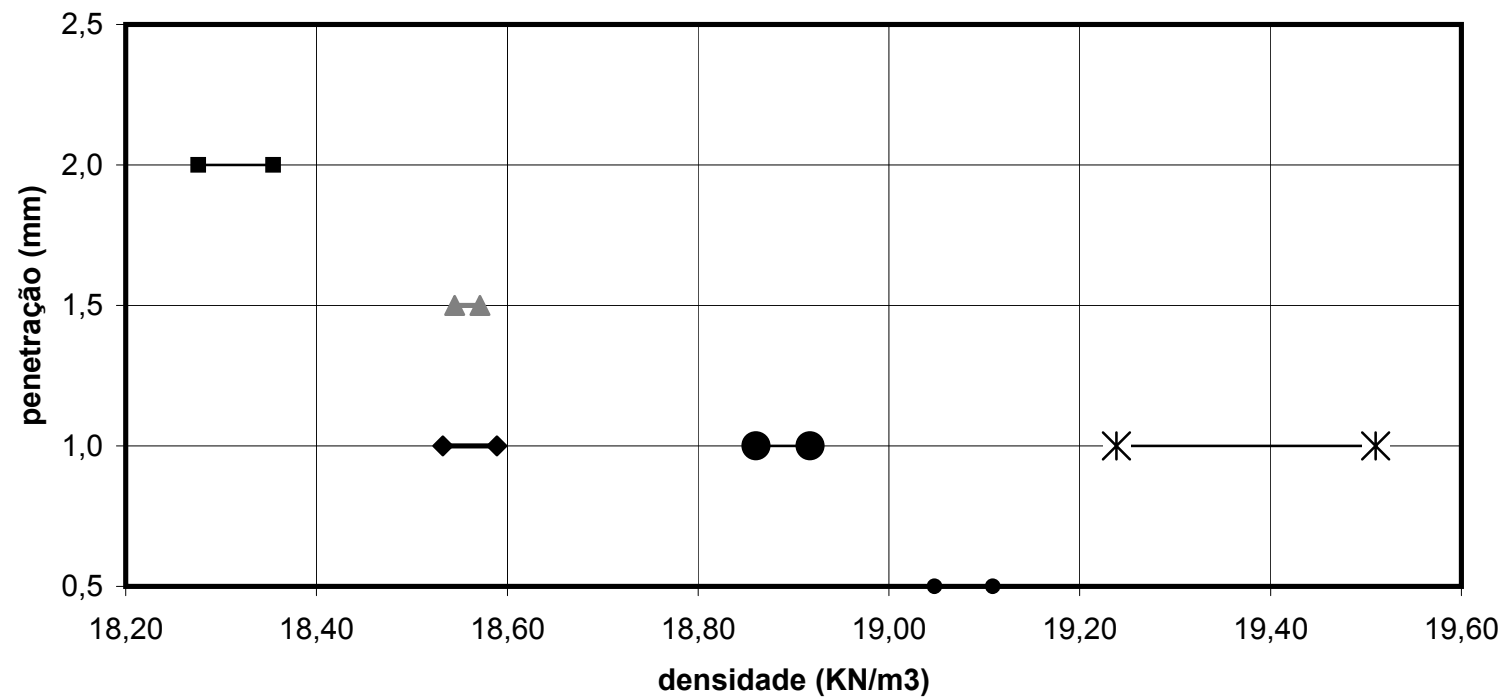
	AMOSTRA: 20		AMOSTRA: 21		AMOSTRA: 22		AMOSTRA: 23		AMOSTRA: 24		AMOSTRA: 25	
	H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Umidade												
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
N ^o da Cápsula	35	35	56	56	81	81	16	16	71	71	85	85
Peso cápsula+solo úmido (g)	101,00	101,00	102,90	102,90	117,00	117,00	138,30	138,30	130,40	130,40	99,80	99,80
Peso cápsula+solo seco (g)	92,00	92,00	93,10	93,10	105,40	105,40	123,60	123,60	116,80	116,80	88,90	88,90
Peso cápsula (g)	18,10	18,10	18,00	18,00	17,80	17,80	19,00	19,00	16,10	16,10	17,00	17,00
Peso água (g)	9,00	9,00	9,80	9,80	11,60	11,60	14,70	14,70	13,60	13,60	10,90	10,90
Peso solo seco (g)	73,90	73,90	75,10	75,10	87,60	87,60	104,60	104,60	100,70	100,70	71,90	71,90
Umidade (%)	12,2	12,2	13,0	13,0	13,2	13,2	14,1	14,1	13,5	13,5	15,2	15,2

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,01	33,01	33,01	33,01	33,01	33,01	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Lf - Leitura final (mm)	31,33	31,48	31,74	31,81	31,32	31,11	33,58	33,43	34,32	33,67	33,42	33,56
Densidade do C. P.	18,53	18,59	18,54	18,57	18,35	18,28	19,11	19,05	19,51	19,24	18,86	18,92
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

Amostra 20-25



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	14/09/2003	am2628rm.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	--------------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50
Diâmetro do C.P. (mm)	50
Área do C. P. (mm ²)	1963,495
Energia	Intermediária 6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973
Volume do anel (mm ³)	588,67

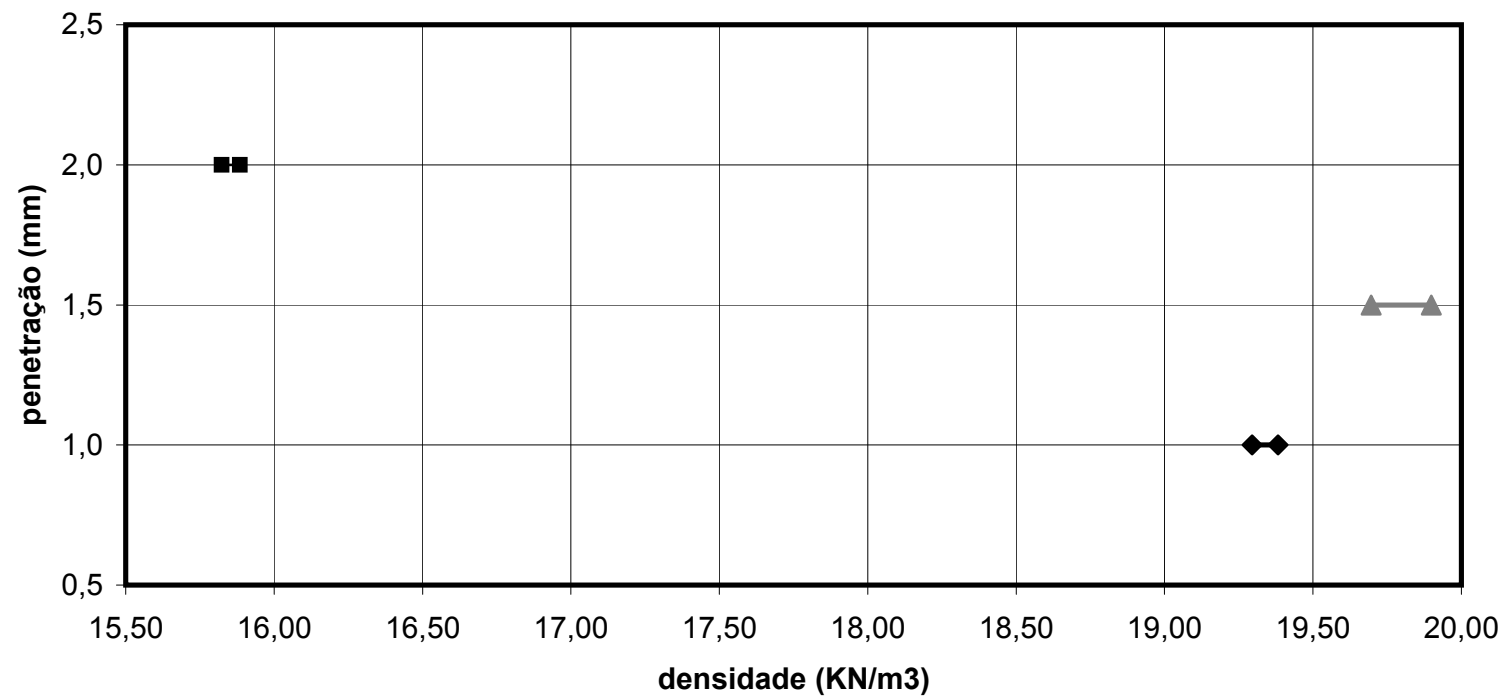
	AMOSTRA: 26		AMOSTRA: 27		AMOSTRA: 28	
	H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Umidade						
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	35	35	56	56	81	81
Peso cápsula+solo úmido (g)	93,10	93,10	121,80	121,80	85,60	85,60
Peso cápsula+solo seco (g)	84,20	84,20	108,50	108,50	71,70	71,70
Peso cápsula (g)	18,10	18,10	17,90	17,90	17,90	17,90
Peso água (g)	8,90	8,90	13,30	13,30	13,90	13,90
Peso solo seco (g)	66,10	66,10	90,60	90,60	53,80	53,80
Umidade (%)	13,5	13,5	14,7	14,7	25,8	25,8

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Lf - Leitura final (mm)	34,00	33,79	35,22	35,68	29,36	29,16
Densidade do C. P.	19,38	19,29	19,70	19,90	15,89	15,82
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 4 (RM-1C)

Amostra 26 - 28



—◆— Amostra26 Hot

—▲— Amostra27 Hot

—■— Amostra28 Hot

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	21/09/2003	am06.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	----------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Solo: AMOSTRA 06

Umidade

	EMULSÃO: 3 (Anti-pó)				EMULSÃO: 1		EMULSÃO: 2		EM: 4 (RM-1C)	
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5
Nº da Cápsula	65	65	56	56	93	61	93	61	94	94
Peso cápsula+solo úmido (g)	106,70	106,70	80,00	80,00	95,60	90,00	95,60	90,00	87,00	87,00
Peso cápsula+solo seco (g)	100,60	100,60	75,00	75,00	89,50	84,30	89,50	84,30	81,30	81,30
Peso cápsula (g)	19,40	19,40	18,00	18,00	16,40	19,10	16,40	19,10	18,40	18,40
Peso água (g)	6,10	6,10	5,00	5,00	6,10	5,70	6,10	5,70	5,70	5,70
Peso solo seco (g)	81,20	81,20	57,00	57,00	73,10	65,20	73,10	65,20	62,90	62,90
Umidade (%)	7,5	7,5	8,8	8,8	8,5	8,5	8,5	8,5	9,1	9,1

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,11	33,11	33,11	33,11	32,95	32,95
Lf - Leitura final (mm)	32,84	32,66	33,57	33,42	33,40	33,87	33,27	33,16	33,50	33,77
Densidade do C. P.	19,84	19,77	19,92	19,85	19,96	20,16	19,90	19,85	19,97	20,09
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	9,0	8,0	7,0	7,0	2,5	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0

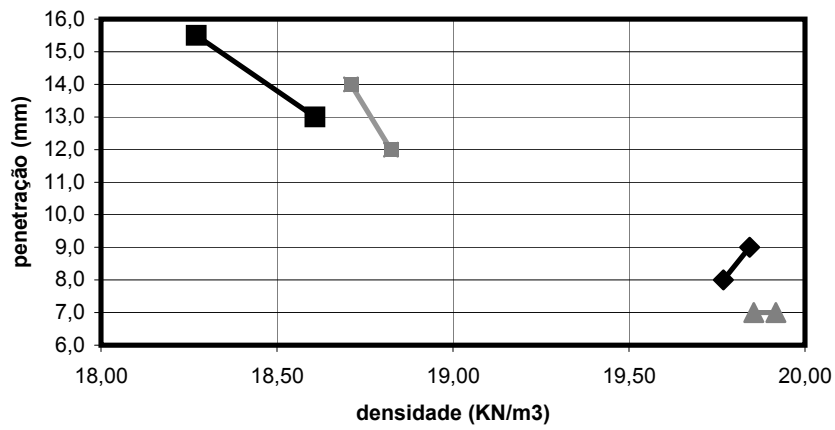
Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	836,6	838,1	838,6	839,5
Altura do C. P. (mm)	44,5	43,8	43,1	42,9
Densidade do C. P.	18,27	18,61	18,71	18,82
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	15,5	13,0	14,0	12,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

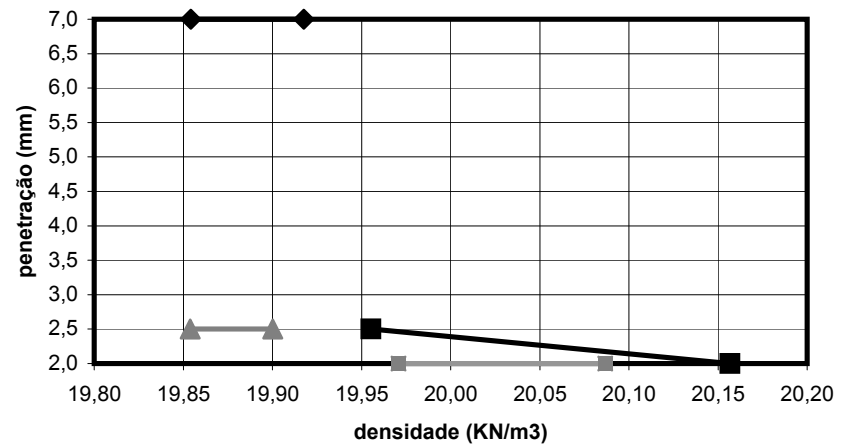
Solo: AMOSTRA 06

Amostra06 - Emulsão 3: Δumidade Mini C.P. / Marshall



◆ Emulsão 3 Hot-x Mini C.P. ■ Emulsão 3 Hot-x Marshall
 ▲ Emulsão 3 Hot Mini C.P. ■ Emulsão 3 Hot Marshall

Amostra06 - Emulsões 1, 2, 3 e 4: Mini C.P. Hótima



◆ Emulsão 3 Hot Mini C.P. ■ Emulsão 1 Hot Mini C.P.
 ▲ Emulsão 2 Hot Mini C.P. ■ Emulsão 4 Hot Mini C.P.

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	21/09/2003	am07.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	----------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Solo: AMOSTRA 07 Umidade	EMULSÃO: 3 (Anti-pó)				EMULSÃO: 1		EMULSÃO: 2		EM: 4 (RM-1C)	
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	47	47	78	78	85	16	85	16	62	62
Peso cápsula+solo úmido (g)	90,50	90,50	95,80	95,80	107,70	101,10	107,70	101,10	97,70	97,70
Peso cápsula+solo seco (g)	79,10	79,10	82,10	82,10	93,70	88,60	93,70	88,60	84,80	84,80
Peso cápsula (g)	18,20	18,20	15,80	15,80	16,90	19,00	16,90	19,00	17,10	17,10
Peso água (g)	11,40	11,40	13,70	13,70	14,00	12,50	14,00	12,50	12,90	12,90
Peso solo seco (g)	60,90	60,90	66,30	66,30	76,80	69,60	76,80	69,60	67,70	67,70
Umidade (%)	18,7	18,7	20,7	20,7	18,1	18,1	18,1	18,1	19,1	19,1

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,11	33,11	33,11	33,11	32,95	32,95
Lf - Leitura final (mm)	31,92	31,92	31,42	31,42	31,71	32,95	32,96	32,97	31,48	31,59
Densidade do C. P.	17,63	17,63	17,17	17,17	17,71	18,17	18,17	18,18	17,54	17,58
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	3,0	3,0	3,0	2,5	1,5	1,5	2,5	1,5	1,0	1,0

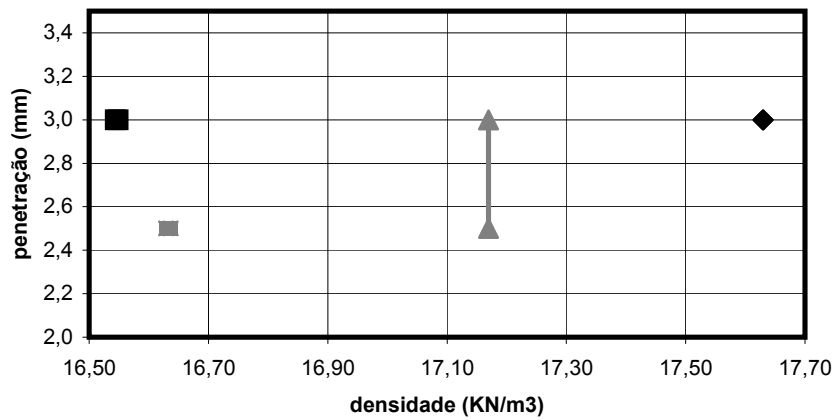
Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	838,3	836,5	835,6	836,9
Altura do C. P. (mm)	44,6	44,5	43,5	43,6
Densidade do C. P.	16,55	16,54	16,64	16,63
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Penetração	3,0	3,0	2,5	2,5

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

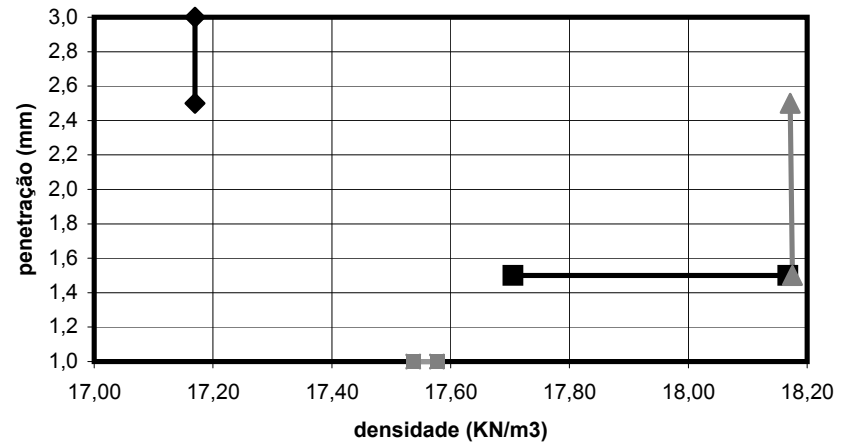
Solo: AMOSTRA 07

Amostra07 - Emulsão 3: Δumidade Mini C.P. / Marshall



◆ Emulsão 3 Hot-x Mini C.P. ■ Emulsão 3 Hot-x Marshall
▲ Emulsão 3 Hot Mini C.P. ▣ Emulsão 3 Hot Marshall

Amostra07 - Emulsões 1, 2, 3 e 4: Mini C.P. Hótima



◆ Emulsão 3 Hot Mini C.P. ■ Emulsão 1 Hot Mini C.P.
▲ Emulsão 2 Hot Mini C.P. ▣ Emulsão 4 Hot Mini C.P.

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	21/09/2003	am15.xls
--------------	-----------------------	-------	------------	----------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Solo: AMOSTRA 15 Umidade	EMULSÃO: 3 (Anti-pó)				EMULSÃO: 1		EMULSÃO: 2		EM: 4 (RM-1C)	
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	68	68	19	19	51	62	51	62	43	51
Peso cápsula+solo úmido (g)	97,70	97,70	80,20	80,20	83,80	97,40	83,80	97,40	94,00	86,20
Peso cápsula+solo seco (g)	87,40	87,40	72,00	72,00	75,60	87,60	75,60	87,60	85,60	73,80
Peso cápsula (g)	17,00	17,00	16,80	16,80	16,60	17,00	16,60	17,00	16,30	16,80
Peso água (g)	10,30	10,30	8,20	8,20	8,20	9,80	8,20	9,80	8,40	12,40
Peso solo seco (g)	70,40	70,40	55,20	55,20	59,00	70,60	59,00	70,60	69,30	57,00
Umidade (%)	14,6	14,6	14,9	14,9	13,9	13,9	13,9	13,9	12,1	21,8

Mini C.P.

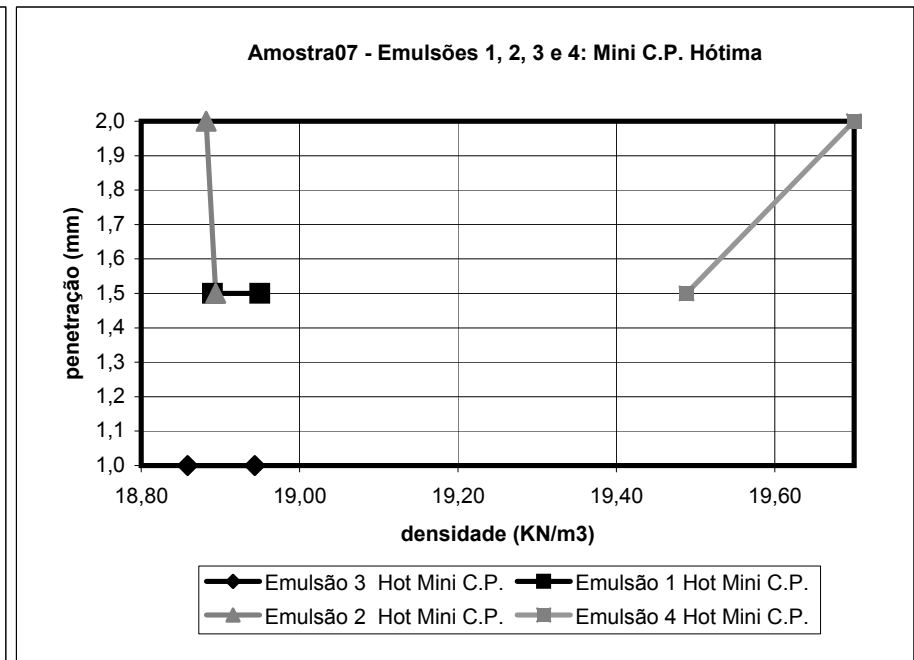
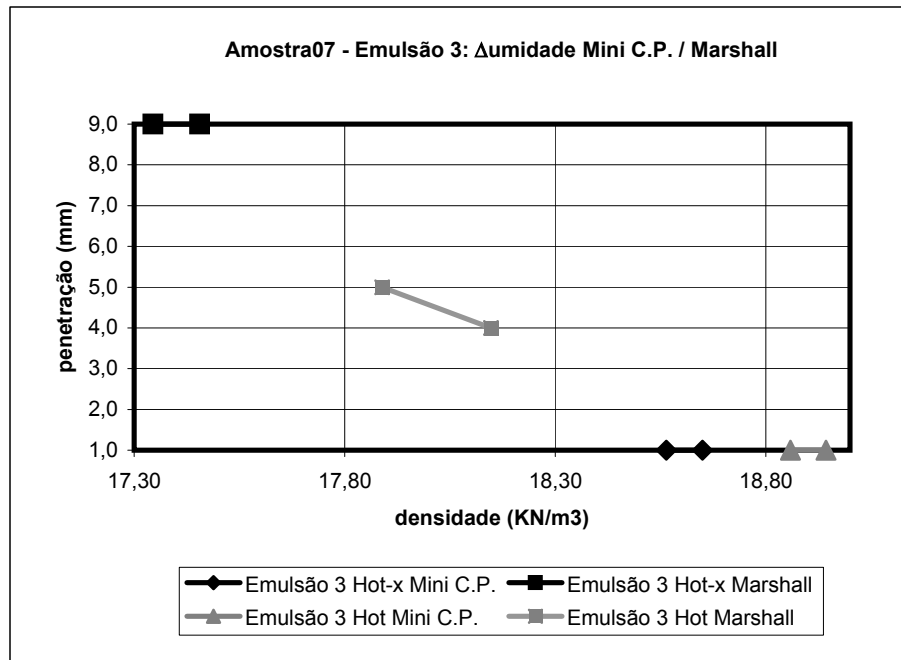
La - Leitura de aferição (mm)	33,17	33,17	33,17	33,17	33,11	33,11	33,11	33,11	32,95	32,95
Lf - Leitura final (mm)	32,84	32,62	33,67	33,46	33,08	33,23	33,06	33,09	34,15	33,65
Densidade do C. P.	18,65	18,56	18,94	18,86	18,89	18,95	18,88	18,89	19,70	19,49
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5

Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	836,6	837,0	835,3	836,9
Altura do C. P. (mm)	43,7	44,0	42,5	42,0
Densidade do C. P.	17,46	17,34	17,89	18,15
Exudação ou espelh > 50% área	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Penetração	9,0	9,0	5,0	4,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

Solo: AMOSTRA 15



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

INTERESSADO:	TESE M. Sc. Francisco	DATA:	21/09/2003	am18.xls
---------------------	-----------------------	--------------	------------	----------

Mini C.P.

Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50	
Diâmetro do C.P. (mm)	50	
Área do C. P. (mm ²)	1963,495	
Energia	Intermediária	6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973	
Volume do anel (mm ³)	588,67	

Compactação Marshall

Diâmetro do C.P. (mm)	101,6	
Área do C. P. (mm ²)	8107,320	
Energia	Intermediária	13 golpes / lado
Vol. do rebaixo interno (mm ³)	6157,522	
Peso do rebaixo (g)	140,0	

Solo: AMOSTRA 18 Umidade	EMULSÃO: 3 (Anti-pó)				EMULSÃO: 1		EMULSÃO: 2		EM: 4 (RM-1C)	
	H _{ótima} - X		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}		H _{ótima}	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2
Nº da Cápsula	86	86	59	59	43	91	43	91	71	71
Peso cápsula+solo úmido (g)	119,70	119,70	110,10	110,10	102,60	91,30	102,60	91,30	101,90	101,90
Peso cápsula+solo seco (g)	107,20	107,20	98,50	98,50	92,70	83,10	92,70	83,10	90,70	90,70
Peso cápsula (g)	19,30	19,30	19,70	19,70	16,20	19,30	16,20	19,30	16,10	16,10
Peso água (g)	12,50	12,50	11,60	11,60	9,90	8,20	9,90	8,20	11,20	11,20
Peso solo seco (g)	87,90	87,90	78,80	78,80	76,50	63,80	76,50	63,80	74,60	74,60
Umidade (%)	14,2	14,2	14,7	14,7	12,9	12,9	12,9	12,9	15,0	15,0

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,27	33,27	33,27	33,27	33,11	33,11	33,11	33,11	33,01	33,01
Lf - Leitura final (mm)	31,45	31,92	32,35	32,59	31,72	31,73	31,85	31,82	31,68	31,66
Densidade do C. P.	18,15	18,32	18,41	18,50	18,52	18,53	18,57	18,56	18,21	18,20
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Penetração (mm)	5,0	3,5	3,5	3,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0

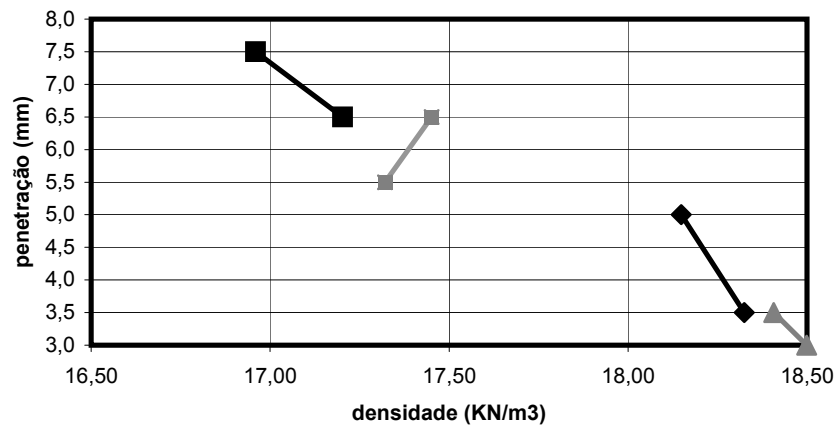
Marshall

Peso solo úmido + rebaixo (g)	836,8	839,5	836,6	838,6
Altura do C. P. (mm)	44,5	45,3	44,0	43,8
Densidade do C. P.	17,20	16,96	17,32	17,45
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	NÃO	SIM	NÃO
Penetração	6,5	7,5	5,5	6,5

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão 1, 2, 3 (ANTIPÓ), 4 (RM-1C)

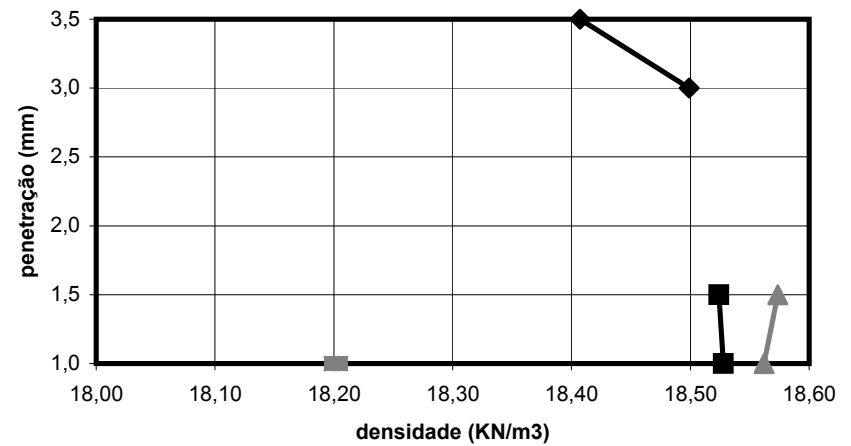
Solo: AMOSTRA 18

Amostra07 - Emulsão 3: Δumidade Mini C.P. / Marshall



◆ Emulsão 3 Hot-x Mini C.P. ■ Emulsão 3 Hot-x Marshall
▲ Emulsão 3 Hot Mini C.P. ▣ Emulsão 3 Hot Marshall


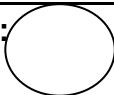


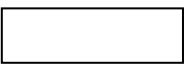

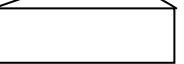
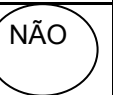
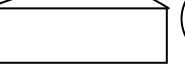
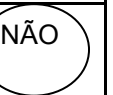
Amostra07 - Emulsões 1, 2, 3 e 4: Mini C.P. Hótima



◆ Emulsão 3 Hot Mini C.P. ■ Emulsão 1 Hot Mini C.P.
▲ Emulsão 2 Hot Mini C.P. ▣ Emulsão 4 Hot Mini C.P.

Anexo III: Planilhas dos Ensaios de Pastilha

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04					
Anel	11	10	11	10					
Massa úmida pastilha + anel (g)	28,91	27,52	30,52	28,20					
Massa seca pastilha + anel (g)	24,09	22,22	26,74	24,50					
Massa do anel (g)	11,12	11,10	11,16	11,11					
Massa seca pastilha (g)	12,98	11,27	15,57	13,97					
Diâmetro da pastilha (mm)	34,20	32,10	34,86	34,90					
Tempo de ascensão (min:seg)	05' 00"	25' 00"	03' 50"	04' 20"					
Tipo de trincamento * (1,2,3)	1	1	1	1					
Diâmetro após reabsorção (mm)	38,33	32,68	42,04	40,12					
Penetração cone 10 g (mm)	4,73	0,01	6,92	4,72					
Penetração cone 30 g (mm)	7,90	0,01	10,79	7,68					
Massa após reabsorção (g)	18,32	14,31	21,30	19,95					
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	1	3	2	3					
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	02' 00"	40' 00"	04' 00"	04' 00"					
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	4	1	4	3					
Umidade de Moldagem (%) =	37,06	45,70	24,34	22,33					
Contração (%) =	2,29	8,29	0,40	0,29					
Expansão (%) =	12,08	1,81	20,60	14,96					
Reabsorção d'água (%) =	41,14	26,97	36,80	42,81					
Índice reabsorção d'água (%) =	0,11	-0,41	0,51	0,92					
Classificação =	TransicionalArenoso	Laterítico Típico	Não-Laterítico Areia	Transicional Areia					
Obs.:									
INCHAMENTO: 	TRINCAS: 								

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)




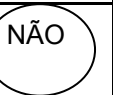
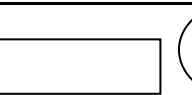
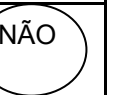
ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricas; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 05	AMOSTRA 06	AMOSTRA 07	AMOSTRA 08
Anel	6	1	10	7
Massa úmida pastilha + anel (g)	28,85	29,26	28,00	29,14
Massa seca pastilha + anel (g)	25,15	25,50	22,68	25,56
Massa do anel (g)	11,16	11,21	11,10	11,31
Massa seca pastilha (g)	14,00	14,67	11,77	13,91
Diâmetro da pastilha (mm)	34,72	34,59	32,34	35,00
Tempo de ascensão (min:seg)	13' 10"	07' 20"	48' 00"	05' 40"
Tipo de trincamento * (1,2,3)	1	1	1	1
Diâmetro após reabsorção (mm)	36,14	39,66	32,55	39,05
Penetração cone 10 g (mm)	2,35	4,78	0,00	5,00
Penetração cone 30 g (mm)	3,01	9,48	0,00	7,92
Massa após reabsorção (g)	18,49	19,98	16,93	19,13
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	3	3	3	3
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	15' 00"	22' 00"	30' 00"	02' 40"
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	3	3	1	3
Umidade de Moldagem (%) =	26,36	23,04	43,59	28,18
Contração (%) =	0,80	1,17	7,60	0,00
Expansão (%) =	4,09	14,66	0,65	11,57
Reabsorção d'água (%) =	32,07	36,20	43,84	37,53
Índice reabsorção d'água (%) =	0,22	0,57	0,01	0,33
Classificação =	Laterítico Areia	Não-Laterítico Areia	Laterítico Argiloso	Transicional Areia
Obs.:				
INCHAMENTO: <input type="checkbox"/> TRINCAS: 	  NÃO	  NÃO	  NÃO	  NÃO

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)

ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricos; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 09	AMOSTRA 10	AMOSTRA 11	AMOSTRA 12
Anel	18	6	1	9
Massa úmida pastilha + anel (g)	28,75	30,38	24,39	28,59
Massa seca pastilha + anel (g)	23,49	26,28	21,71	23,95
Massa do anel (g)	11,26	11,16	11,16	10,94
Massa seca pastilha (g)	11,68	15,15	11,98	12,99
Diâmetro da pastilha (mm)	33,97	34,59	35,00	34,22
Tempo de ascensão (min:seg)	06' 30"	06' 50"	07' 20"	05' 40"
Tipo de trincamento * (1,2,3)	1	1	1	1
Diâmetro após reabsorção (mm)	35,03	36,80	36,10	36,59
Penetração cone 10 g (mm)	3,25	3,00	4,18	4,98
Penetração cone 30 g (mm)	6,71	5,09	5,59	7,95
Massa após reabsorção (g)	16,61	19,65	14,02	18,63
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	1	2	1	1
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	02' 50"	03' 40"	30' 00"	03' 15"
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	3	3	3	3
Umidade de Moldagem (%) =	49,74	26,86	10,43	35,87
Contração (%) =	2,94	1,17	0,00	2,23
Expansão (%) =	3,12	6,39	3,14	6,93
Reabsorção d'água (%) =	42,21	29,70	17,03	43,42
Índice reabsorção d'água (%) =	-0,15	0,11	0,63	0,21
Classificação =	TransicionalArenoso	Laterítico Areia	Laterítico Areia	TransicionalArenoso
Obs.:				
INCHAMENTO: <input type="checkbox"/>	TRINCAS: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)

ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricos; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 13	AMOSTRA 14	AMOSTRA 15	AMOSTRA 16
Anel	6	4	6	7
Massa úmida pastilha + anel (g)	29,02	27,96	28,90	29,28
Massa seca pastilha + anel (g)	24,02	22,68	23,97	24,35
Massa do anel (g)	11,13	11,11	11,16	11,36
Massa seca pastilha (g)	13,10	11,61	12,84	13,00
Diâmetro da pastilha (mm)	34,30	32,33	32,63	32,85
Tempo de ascensão (min:seg)	05' 40"	31' 30"	54' 00"	32' 00"
Tipo de trincamento * (1,2,3)	2	2	1	1
Diâmetro após reabsorção (mm)	35,61	34,85	32,91	33,21
Penetração cone 10 g (mm)	6,53	4,88	0,00	0,00
Penetração cone 30 g (mm)	10,38	9,21	0,00	0,00
Massa após reabsorção (g)	20,05	18,97	15,33	15,74
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	2	3	3	3
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	02' 20"	19' 00"	19' 00"	19' 00"
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	3	1	1	1
Umidade de Moldagem (%) =	36,56	45,13	38,16	37,85
Contração (%) =	2,00	7,63	6,77	6,14
Expansão (%) =	3,82	7,79	0,86	1,10
Reabsorção d'água (%) =	53,05	63,39	19,39	21,08
Índice reabsorção d'água (%) =	0,45	0,40	-0,49	-0,44
Classificação =	NãoLateríticoSiltoso	Não-Laterít. Argiloso	Laterítico Típico	Laterítico Típico
Obs.:				
INCHAMENTO: <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	TRINCAS: <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)

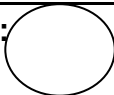


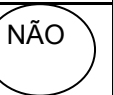
ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricos; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 17	AMOSTRA 18	AMOSTRA 19	AMOSTRA 20
Anel	2	12	11	12
Massa úmida pastilha + anel (g)	27,38	28,41	29,50	28,81
Massa seca pastilha + anel (g)	22,40	23,77	25,13	24,16
Massa do anel (g)	10,86	10,88	11,07	10,91
Massa seca pastilha (g)	11,95	13,24	13,74	13,43
Diâmetro da pastilha (mm)	33,10	34,28	34,29	34,26
Tempo de ascensão (min:seg)	30' 00"	03' 50"	23' 00"	09' 00"
Tipo de trincamento * (1,2,3)	1	1	1	1
Diâmetro após reabsorção (mm)	33,29	37,07	34,68	36,05
Penetração cone 10 g (mm)	0,00	2,56	2,48	2,98
Penetração cone 30 g (mm)	0,00	5,45	5,40	4,99
Massa após reabsorção (g)	14,89	18,52	18,54	18,61
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	3	2	2	2
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	12' 00"	02' 30"	05' 20"	04' 10"
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	2	3	3	3
Umidade de Moldagem (%) =	38,24	32,40	34,13	33,28
Contração (%) =	5,43	2,06	2,03	2,11
Expansão (%) =	0,57	8,14	1,14	5,22
Reabsorção d'água (%) =	24,60	39,88	34,93	38,57
Índice reabsorção d'água (%) =	-0,36	0,23	0,02	0,16
Classificação =	Laterítico Típico	Laterítico Arenoso	Laterítico Arenoso	Laterítico Arenoso
Obs.:				
INCHAMENTO: <input type="checkbox"/>	TRINCAS: 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)

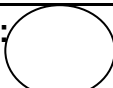

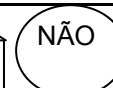
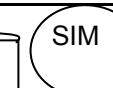
ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricos; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 21	AMOSTRA 22	AMOSTRA 23	AMOSTRA 24
Anel	9	4	8	13
Massa úmida pastilha + anel (g)	28,79	29,27	28,90	27,69
Massa seca pastilha + anel (g)	24,22	24,59	24,20	22,33
Massa do anel (g)	10,91	11,02	10,96	10,89
Massa seca pastilha (g)	13,59	13,67	13,29	11,73
Diâmetro da pastilha (mm)	34,25	34,21	32,75	32,66
Tempo de ascensão (min:seg)	10' 20"	05' 30"	22' 20"	33' 00"
Tipo de trincamento * (1,2,3)	1	1	2	2
Diâmetro após reabsorção (mm)	35,31	35,65	34,61	34,99
Penetração cone 10 g (mm)	3,10	3,43	3,59	4,12
Penetração cone 30 g (mm)	5,15	5,55	6,91	7,03
Massa após reabsorção (g)	18,15	18,33	19,46	18,63
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	2	2	3	2
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	05' 50"	04' 20"	10' 00"	10' 00"
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	3	3	1	2
Umidade de Moldagem (%) =	31,57	33,50	34,99	43,22
Contração (%) =	2,14	2,26	6,43	6,69
Expansão (%) =	3,09	4,21	5,68	7,13
Reabsorção d'água (%) =	33,55	34,09	46,43	58,82
Índice reabsorção d'água (%) =	0,06	0,02	0,33	0,36
Classificação =	Laterítico Arenoso	Laterítico Arenoso	TransicionalArgiloso	TransicionalArgiloso
Obs.:				
INCHAMENTO: <input type="checkbox"/> TRINCAS: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				
	NÃO	NÃO	SIM	SIM

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)

ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricos; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

ENSAIO DE PASTILHA segundo GODOY

AMOSTRA	AMOSTRA 25	AMOSTRA 26	AMOSTRA 27	AMOSTRA 28
Anel	2	3	7	3
Massa úmida pastilha + anel (g)	28,95	28,52	29,25	28,02
Massa seca pastilha + anel (g)	24,65	23,56	24,08	22,60
Massa do anel (g)	10,77	10,97	11,25	10,95
Massa seca pastilha (g)	13,96	12,65	12,50	11,91
Diâmetro da pastilha (mm)	33,61	32,89	32,61	33,41
Tempo de ascensão (min:seg)	31' 00"	25' 00"	25' 00"	31' 00"
Tipo de trincamento * (1,2,3)	1	1	1	1
Diâmetro após reabsorção (mm)	33,73	32,98	32,62	33,70
Penetração cone 10 g (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00
Penetração cone 30 g (mm)	0,06	0,12	0,03	0,30
Massa após reabsorção (g)	16,21	15,22	15,63	15,71
Resistência ao esmagamento esfera** (1,2,3)	3	3	3	2
Esfera imersa em água - tempo interação (min)	10' 00"	10' 00"	10' 00"	08' 00"
Esfera imersa em água - produto *** (1,2,3,4)	1	1	1	2
Umidade de Moldagem (%) =	30,23	38,74	44,00	43,32
Contração (%) =	3,97	6,03	6,83	4,54
Expansão (%) =	0,36	0,27	0,03	0,87
Reabsorção d'água (%) =	16,12	20,32	25,04	31,91
Índice reabsorção d'água (%) =	-0,47	-0,48	-0,43	-0,26
Classificação =	Laterítico Típico	Laterítico Típico	Laterítico Típico	Laterítico Típico
Obs.:				
INCHAMENTO: <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	TRINCAS: <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

Classes / Grupos geotécnicos: Lateríticos (típico, argiloso, arenoso, areia); Transicionais (argiloso, arenoso, areia); Não-Lateríticos (argiloso, siltoso, arenoso, areia)

ATRIBUIÇÕES: * **1** - Ausência de trincas sem inchamento ou ocorrências de poucas trincas, sem inchamento, formando blocos resistentes;

2 - Presença de certo trincamento com inchamento; **3** - Muito trincado ou ausência de trincas visíveis a olho nu com inchamento.

** **1** - Esfera quebra-se entre os dedos polegar e indicador; **2** - Esfera quebra-se entre o dedo polegar e uma superfície plana dura; **3** - Esfera não se quebra.

*** **1** - Esfera trinca ou não se altera; **2** - Blocos de dimensões milimétricos; **3** - Partículas identificáveis a olho nu; **4** - Pasta.

Anexo IV: Planilhas dos Ensaios de Módulo de Resiliência

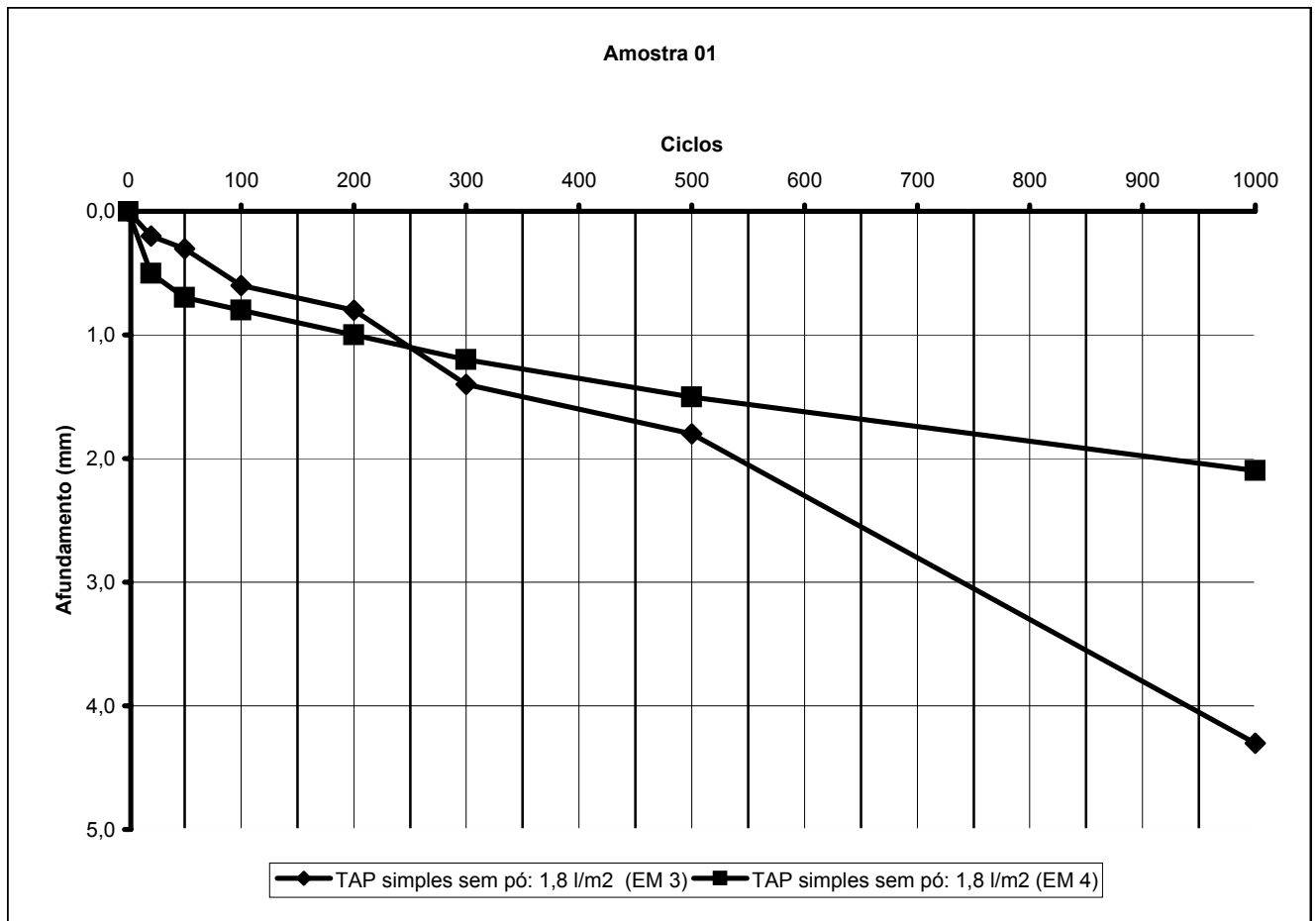
Anexo V: Planilhas dos Ensaios de Desgaste – LWT

LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 01**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	9,7	0,0		10,9	0,0	
20	9,9	0,2		11,4	0,5	
50	10,0	0,3		11,6	0,7	
100	10,3	0,6		11,7	0,8	pequenos buracos
200	10,5	0,8		11,9	1,0	
300	11,1	1,4		12,1	1,2	
500	11,5	1,8	arrancamento de	12,4	1,5	arrancamento de
1000	14,0	4,3	30% da penetração	13,0	2,1	10% da penetração

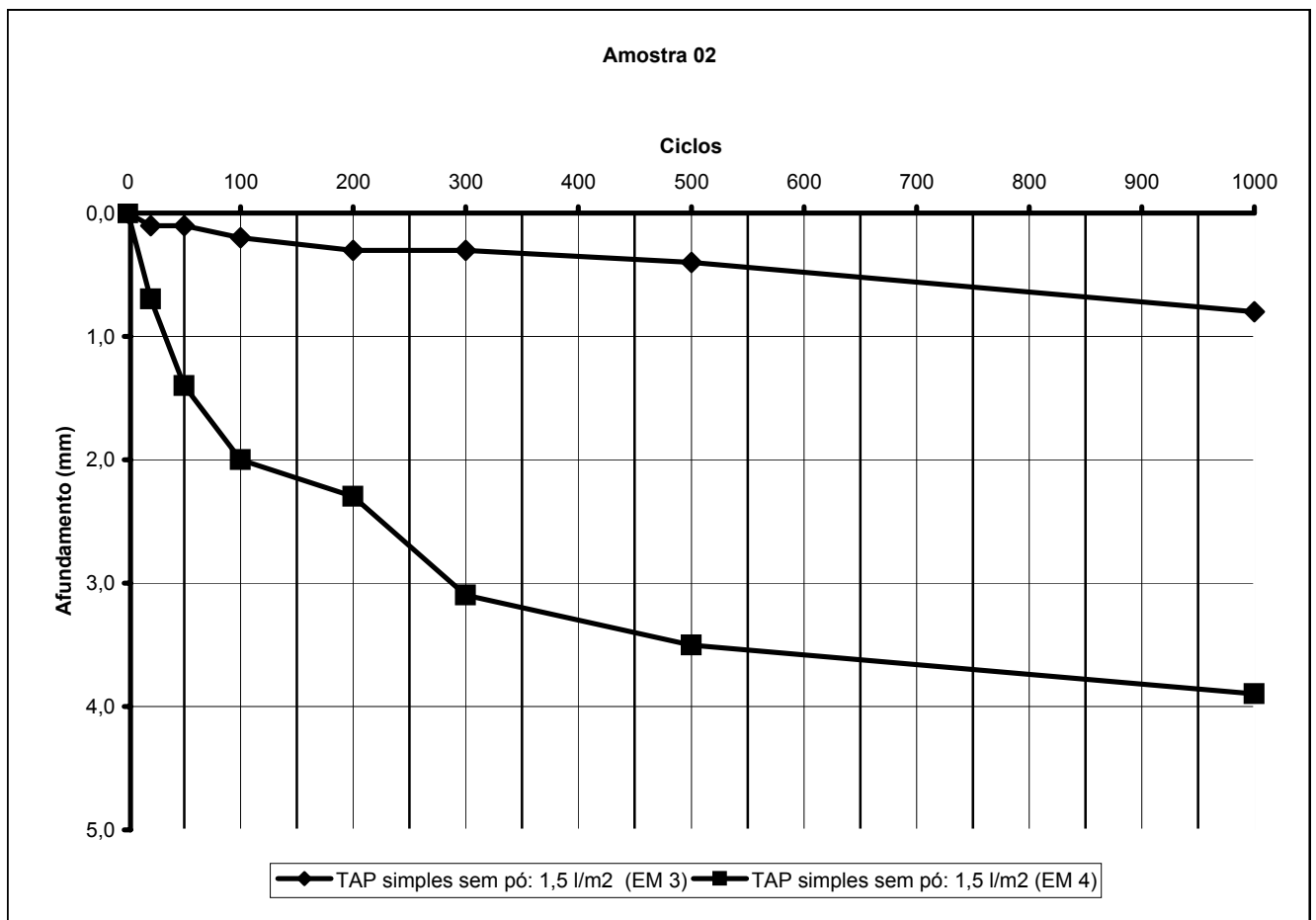


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 02**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	12,7	0,0		11,3	0,0	
20	12,8	0,1		12,0	0,7	descolam. de placas
50	12,8	0,1		12,7	1,4	vários buracos
100	12,9	0,2		13,3	2,0	formação lombadas
200	13,0	0,3		13,6	2,3	
300	13,0	0,3		14,4	3,1	
500	13,1	0,4		14,8	3,5	
1000	13,5	0,8	OK !!	15,2	3,9	destr. total da penetr

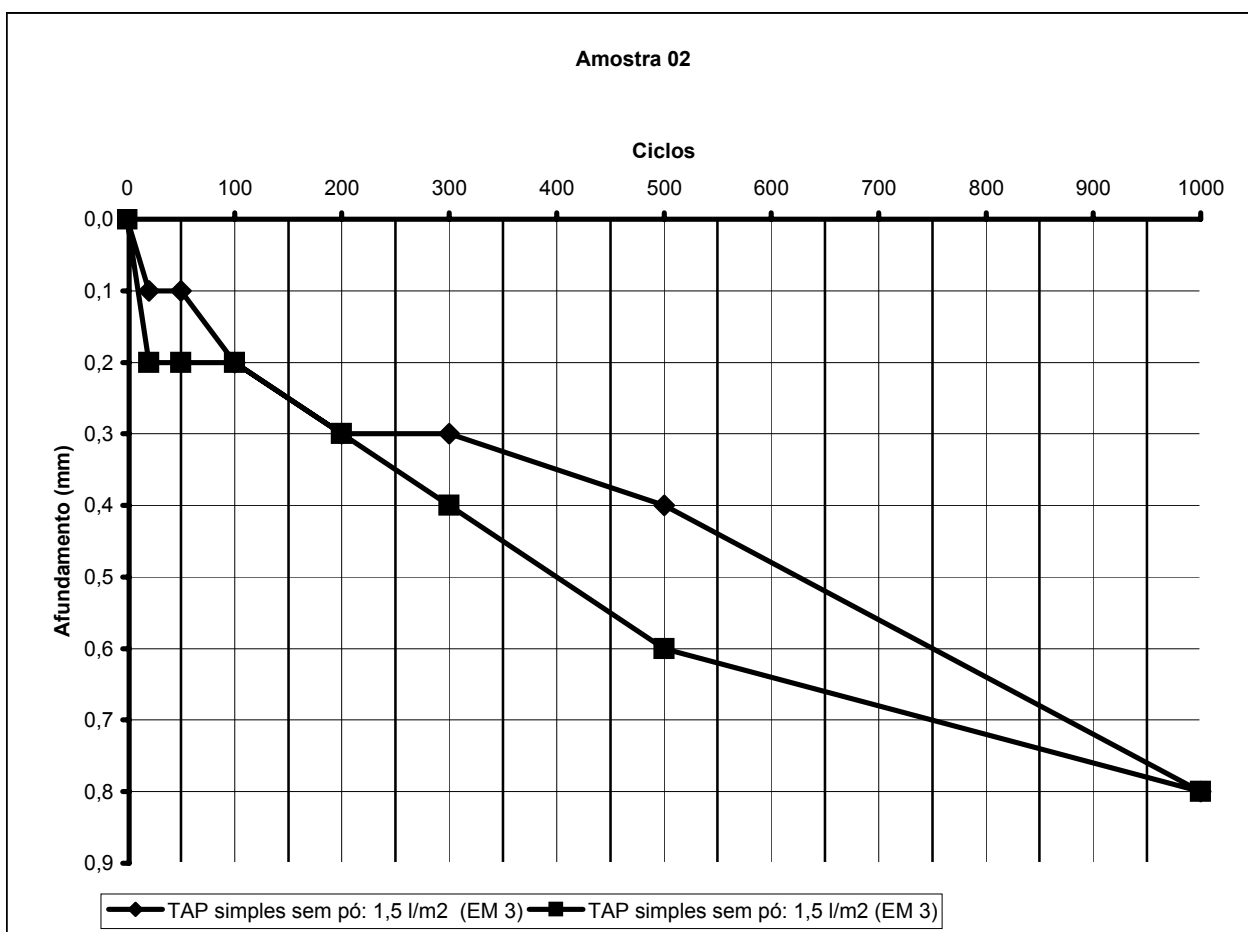


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 02**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	12,7	0,0		13,4	0,0	
20	12,8	0,1		13,6	0,2	
50	12,8	0,1		13,6	0,2	
100	12,9	0,2		13,6	0,2	
200	13,0	0,3		13,7	0,3	
300	13,0	0,3		13,8	0,4	
500	13,1	0,4		14,0	0,6	
1000	13,5	0,8	OK !!	14,2	0,8	OK !!

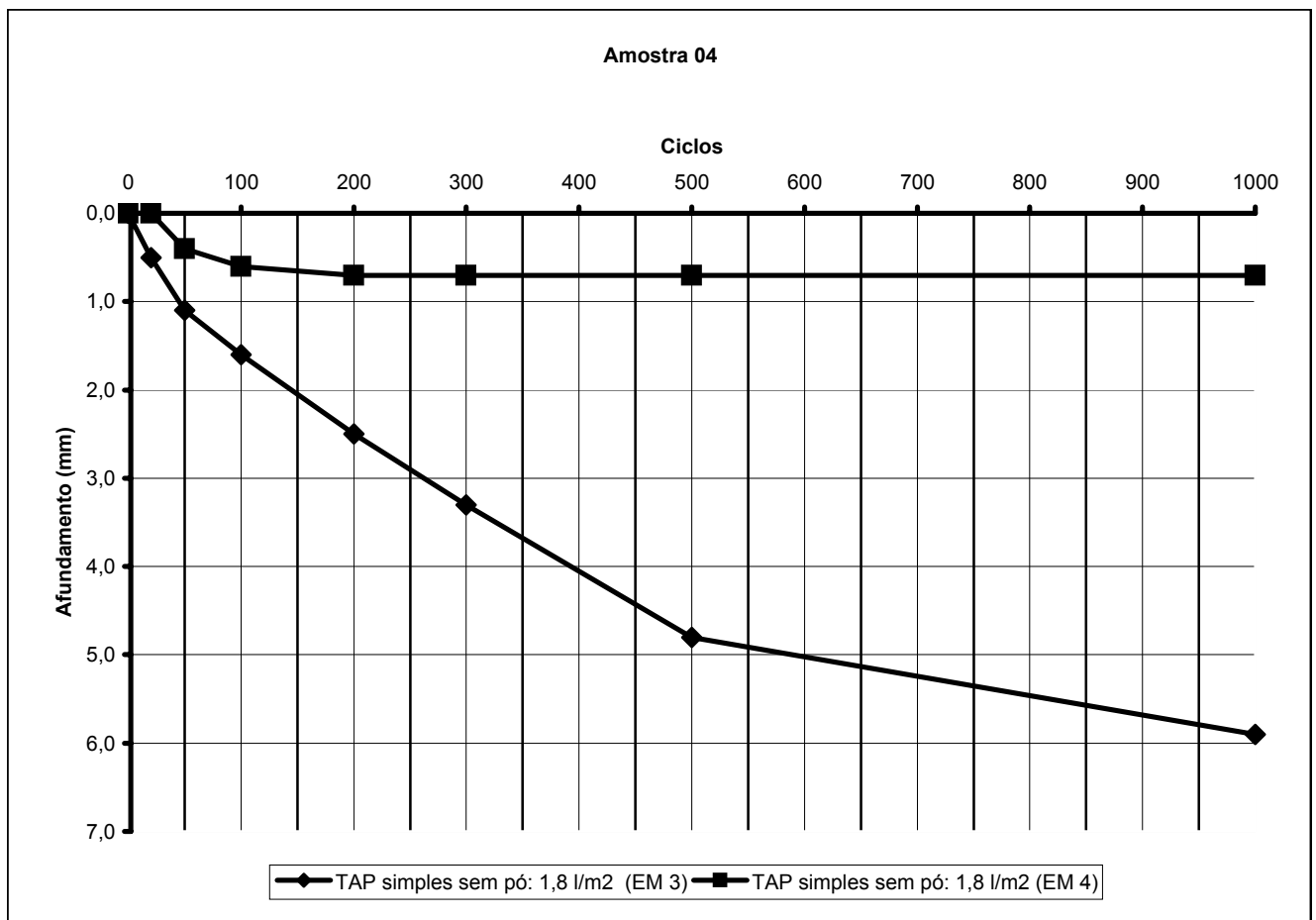


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 04**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	11,0	0,0		9,7	0,0	
20	11,5	0,5		9,7	0,0	
50	12,1	1,1		10,1	0,4	
100	12,6	1,6		10,3	0,6	
200	13,5	2,5		10,4	0,7	
300	14,3	3,3		10,4	0,7	
500	15,8	4,8	destruição total	10,4	0,7	
1000	16,9	5,9	da penetração	10,4	0,7	Ok!



LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 04**

Altura da camada de solo: **4cm**

Taxa de Areia: **7 Kg/m²**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	12,3	0,0		11,2	0,0	
20	12,5	0,2		11,7	0,5	
50	14,0	1,7		11,8	0,6	
100	17,2	4,9		14,0	2,8	OK !
200	19,3	7,0	OK !	14,9	3,7	Arranc da penetr
300	20,4	8,1	Arranc da penetr	19,0	7,8	
500	22,0	9,7		19,7	8,5	
1000	24,1	11,8	Arranc da penetr	26,3	15,1	Arranc da penetr

Ciclos	TAP simples: 1,8 l/m ² + 1,0 l/m ² + pó(EM 3)			TAP simples: 1,0 l/m ² + 1,0 l/m ² + pó (EM 3)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	5,5	0,0		5,3	0,0	
20	10,1	4,6		9,0	3,7	
50	11,6	6,1	OK !	11,3	6,0	
100	13,4	7,9	arrancamento da areia	12,3	7,0	OK !
200	15,2	9,7		14,5	9,2	arrancamento da areia
300	16,9	11,4		16,0	10,7	
500	17,1	11,6		16,3	11,0	
1000	18,2	12,7	arrancamento da areia	17,6	12,3	arrancamento da areia

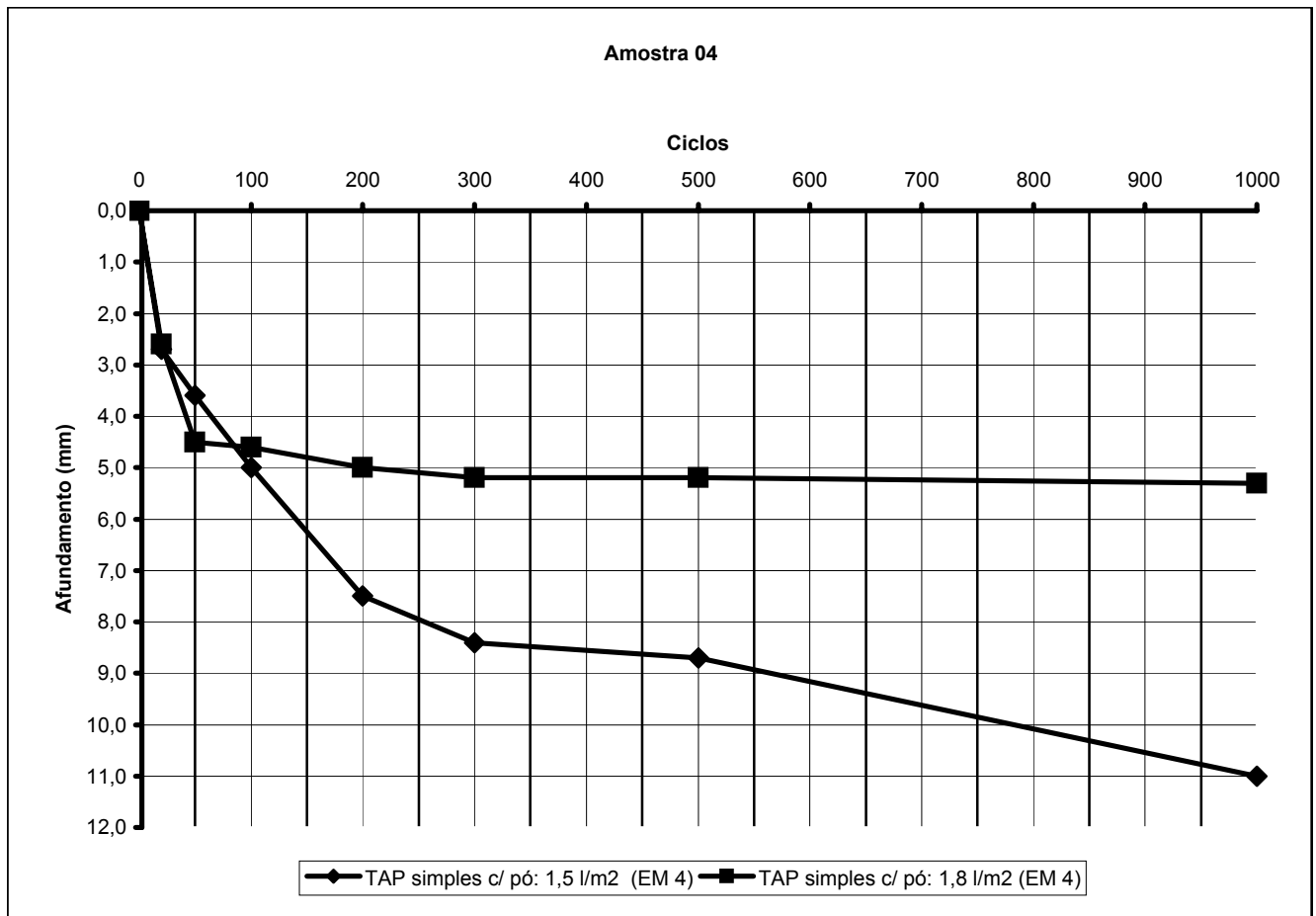
LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 04**

Altura da camada de solo: **4cm**

Taxa de Pó: **7 Kg/m²**

Ciclos	TAP simples c/ pó: 1,5 l/m ² (EM 4)			TAP simples c/ pó: 1,8 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	8,4	0,0		9,4	0,0	
20	11,1	2,7		12,0	2,6	
50	12,0	3,6		13,9	4,5	
100	13,4	5,0	OK !	14,0	4,6	OK !
200	15,9	7,5	Arranc do pó	14,4	5,0	Arranc do pó
300	16,8	8,4		14,6	5,2	
500	17,1	8,7		14,6	5,2	
1000	19,4	11,0	Arranc do pó	14,7	5,3	Arranc do pó

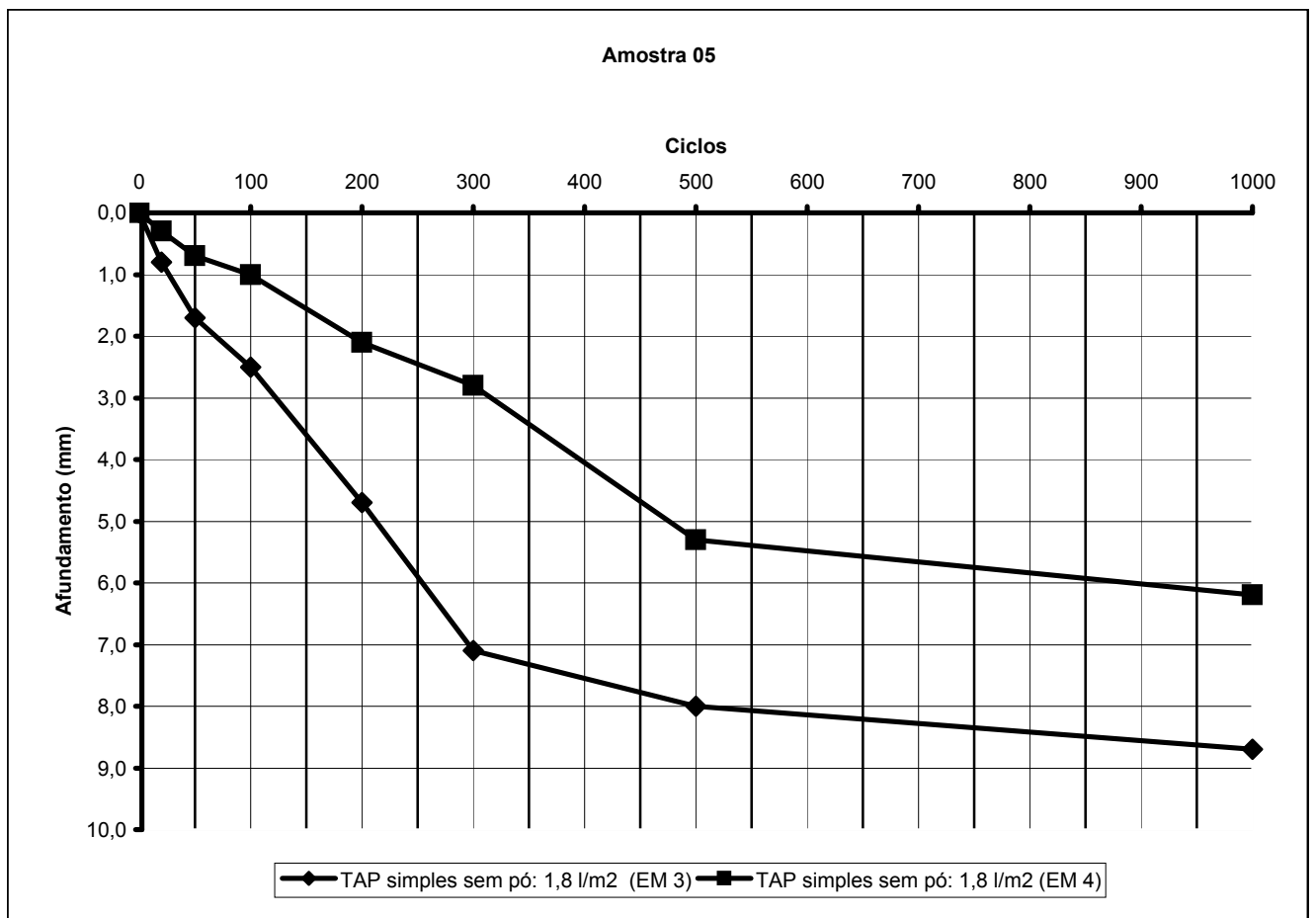


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 05**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,1	0,0		9,5	0,0	
20	10,9	0,8		9,8	0,3	
50	11,8	1,7	destruição total	10,2	0,7	
100	12,6	2,5	da penetração	10,5	1,0	
200	14,8	4,7		11,6	2,1	destruição total
300	17,2	7,1		12,3	2,8	da penetração
500	18,1	8,0		14,8	5,3	
1000	18,8	8,7		15,7	6,2	



LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 06**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	7,8	0,0		7,2	0,0	
20	8,2	0,4		8,9	1,7	
50	8,2	0,4		9,5	2,3	arranc nas partidas
100	8,3	0,5		10,4	3,2	de placas
200	8,3	0,5		11,1	3,9	
300	8,4	0,6		11,6	4,4	
500	8,4	0,6		12,3	5,1	
1000	8,4	0,6	OK !!	13,1	5,9	destr. parcial penetr.

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 1)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 2)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	5,9	0,0		5,0	0,0	
20	10,2	4,3	Arranc. na partida!	11,3	6,3	
50	12,0	6,1	Surgimento de	17,0	12,0	Arranc. na partida!
100	13,2	7,3	Lombadas!	18,0	13,0	
200	14,0	8,1		18,4	13,4	Surgimento de
300	14,8	8,9		19,0	14,0	Lombadas!
500	15,4	9,5		19,1	14,1	
1000	18,0	12,1	destr. parcial do CP	19,4	14,4	destr. parcial do CP

LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 07**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,6	0,0		9,6	0,0	
20	11,0	0,4		9,9	0,3	
50	11,0	0,4		10,0	0,4	Descolamentos
100	11,1	0,5		10,1	0,5	a patir do arranque
200	11,3	0,7		10,3	0,7	do pneu
300	11,3	0,7		10,4	0,8	
500	11,4	0,8		10,5	0,9	
1000	11,5	0,9	OK !!	10,6	1,0	destr. total da penetr

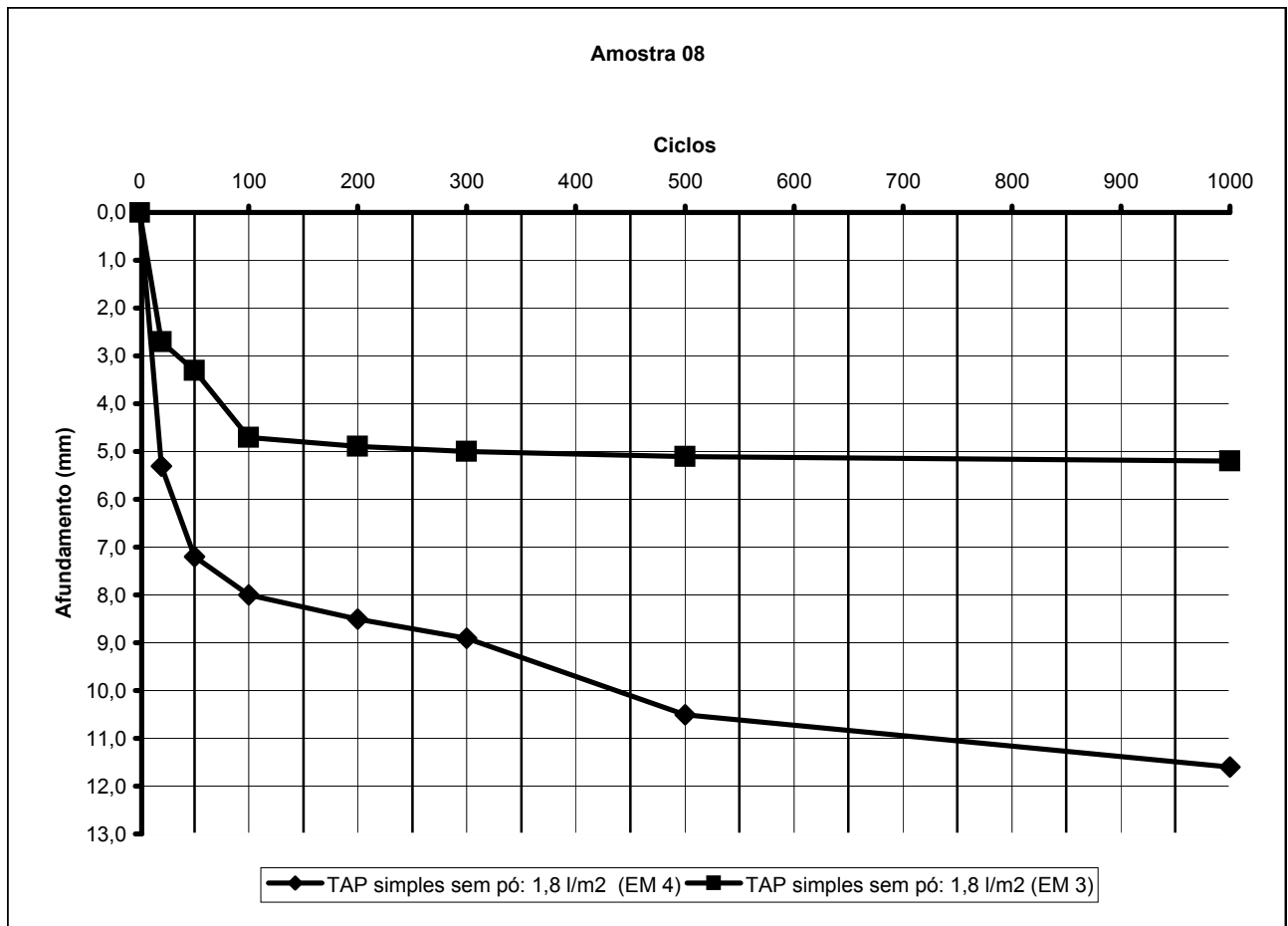
Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 1)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 2)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	9,4	0,0		12,4	0,0	Descolamentos
20	10,8	1,4	Descolamentos	13,1	0,7	a patir do arranque
50	11,5	2,1	a patir do arranque	13,3	0,9	do pneu
100	12,0	2,6	do pneu	13,8	1,4	
200	12,3	2,9		14,1	1,7	
300	12,5	3,1		14,2	1,8	
500	12,8	3,4		14,6	2,2	
1000	13,4	4,0	destr. total da penetr	15,1	2,7	destr. total da penetr

LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 08**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	5,5	0,0		6,7	0,0	
20	10,8	5,3	Arrancamento	9,4	2,7	
50	12,7	7,2	Excessivo	10,0	3,3	
100	13,5	8,0		11,4	4,7	
200	14,0	8,5		11,6	4,9	
300	14,4	8,9		11,7	5,0	
500	16,0	10,5		11,8	5,1	
1000	17,1	11,6	destr. total do CP.	11,9	5,2	OK !!!

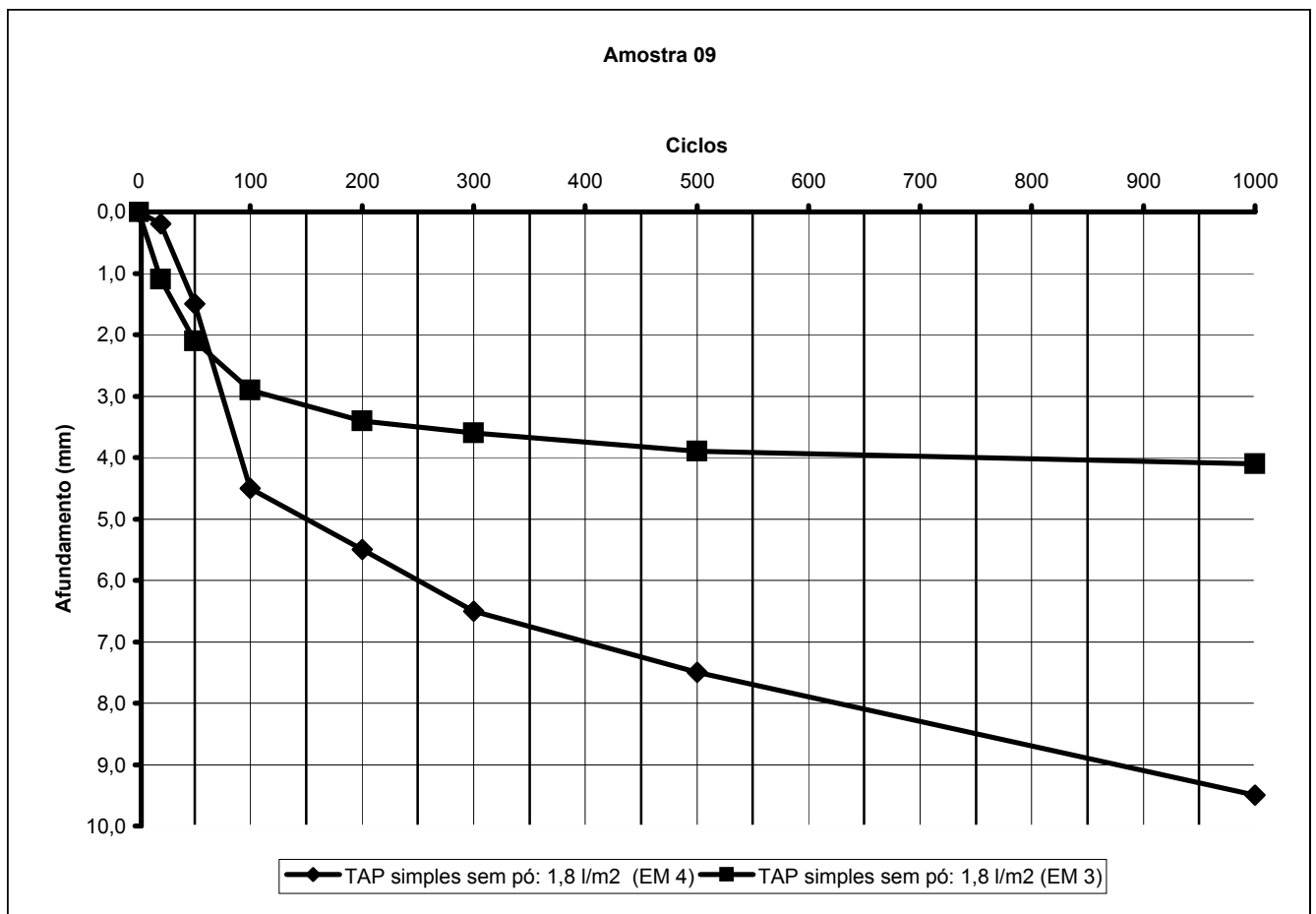


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 09**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	9,5	0,0	Pouca exudação	8,9	0,0	Penetração
20	9,7	0,2	Arrancamento	10,0	1,1	excessiva (> 2cm)
50	11,0	1,5	Excessivo	11,0	2,1	
100	14,0	4,5		11,8	2,9	
200	15,0	5,5		12,3	3,4	desgaste
300	16,0	6,5		12,5	3,6	excessivo
500	17,0	7,5		12,8	3,9	
1000	19,0	9,5	destr. total do CP.	13,0	4,1	destr parcial penetr

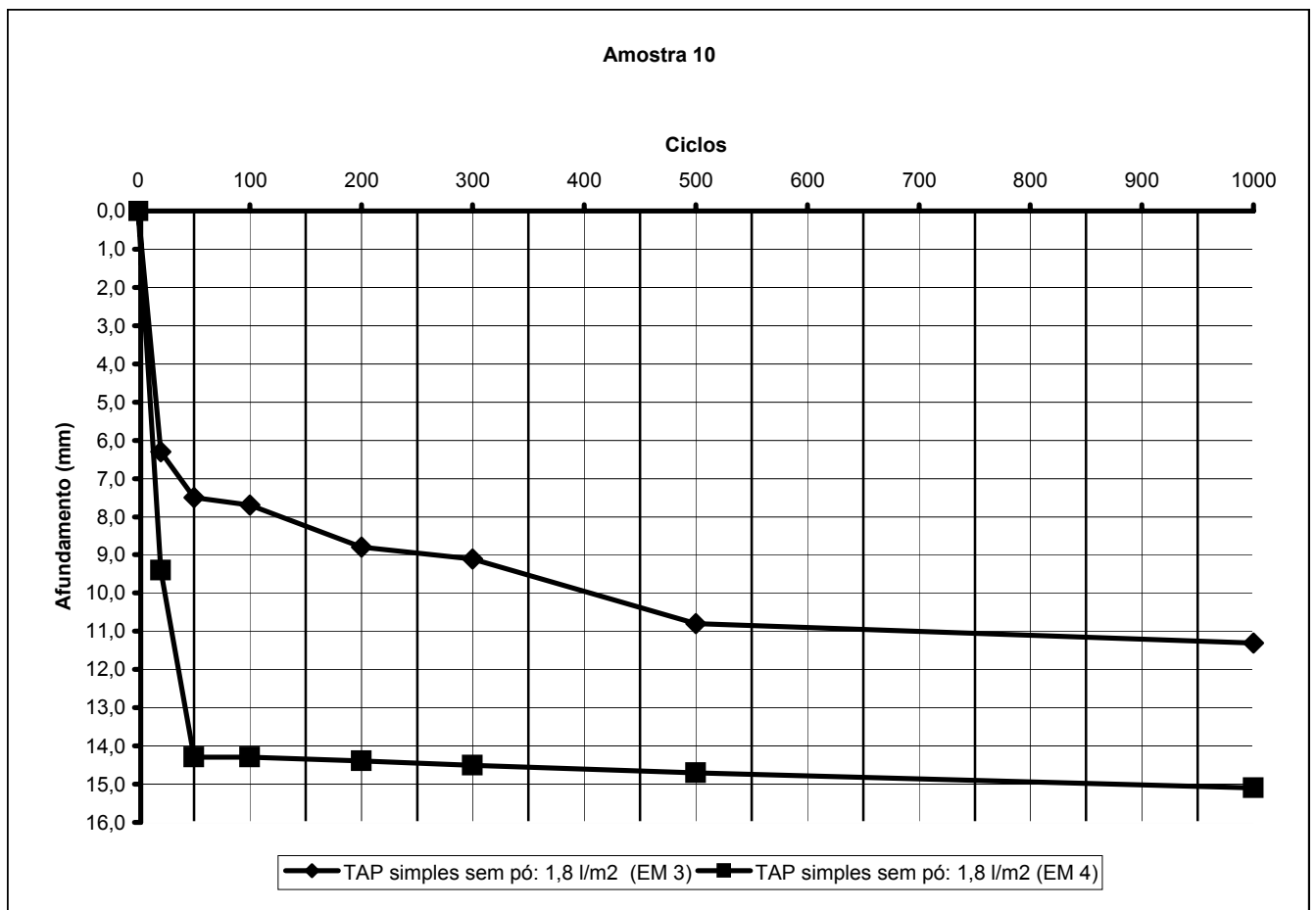


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 10**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,8 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	2,7	0,0		2,8	0,0	
20	9,0	6,3		12,2	9,4	
50	10,2	7,5		17,1	14,3	
100	10,4	7,7		17,1	14,3	
200	11,5	8,8		17,2	14,4	
300	11,8	9,1		17,3	14,5	
500	13,5	10,8		17,5	14,7	
1000	14,0	11,3	Arranc. 80% penetr	17,9	15,1	Arranc. 90% penetr

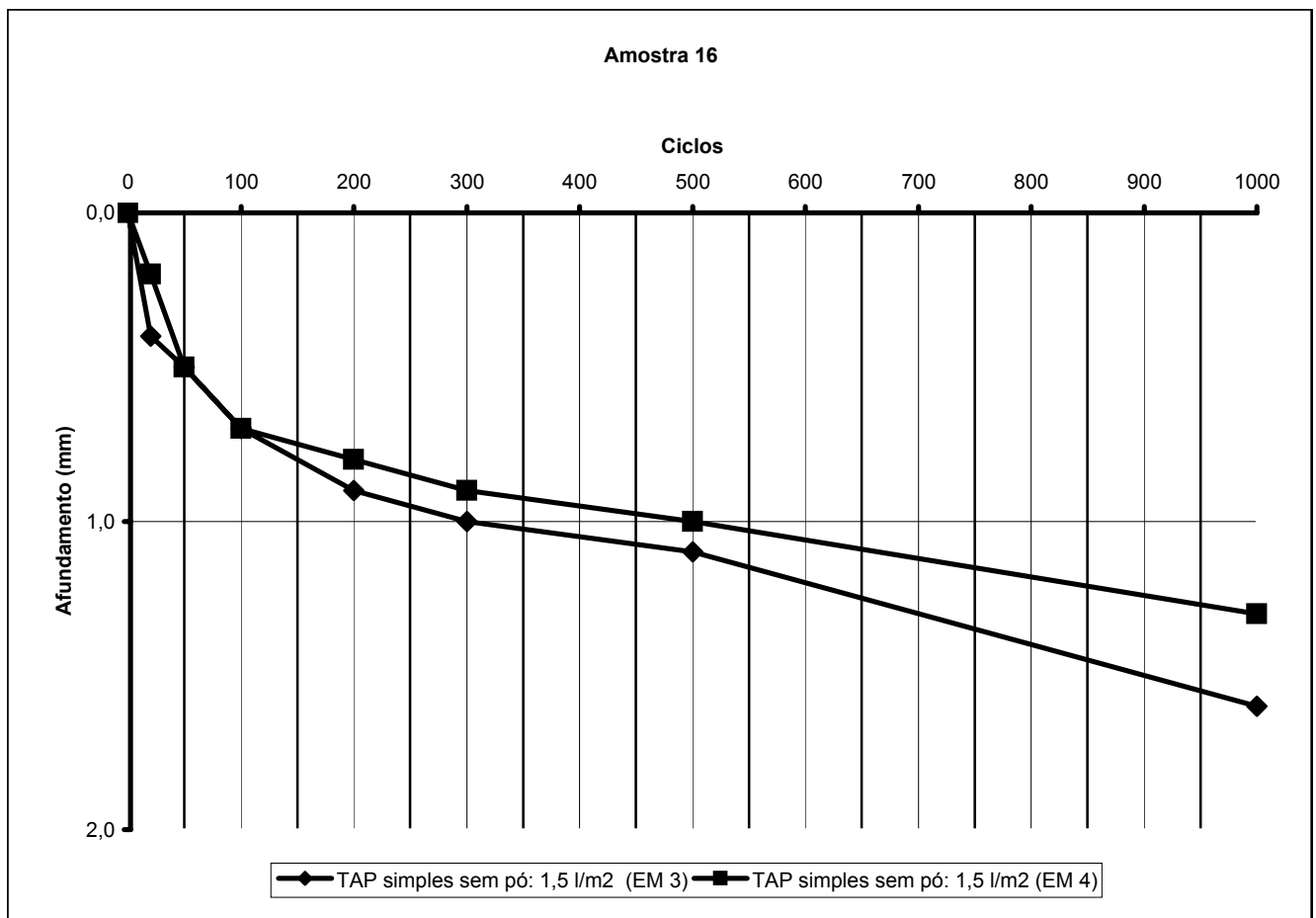


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 14**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	11,9	0,0	Pequena exudação	11,3	0,0	Exudação
20	12,3	0,4	Trinca de retração	11,5	0,2	
50	12,4	0,5	no meio da placa.	11,8	0,5	
100	12,6	0,7		12,0	0,7	
200	12,8	0,9	pequenos buracos.	12,1	0,8	
300	12,9	1,0		12,2	0,9	
500	13,0	1,1		12,3	1,0	destruição total
1000	13,5	1,6	Bom!	12,6	1,3	da penetração



LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 15**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	9,8	0,0		9,6	0,0	Exudação de EM
20	10,1	0,3		10,9	1,3	Arranc. na partida!
50	10,2	0,4		12,1	2,5	Arranc. penetração
100	10,3	0,5		12,6	3,0	
200	10,3	0,5		13,5	3,9	
300	10,3	0,5		14,8	5,2	
500	10,3	0,5		15,2	5,6	
1000	10,3	0,5	OK !!	15,9	6,3	destr. total do CP

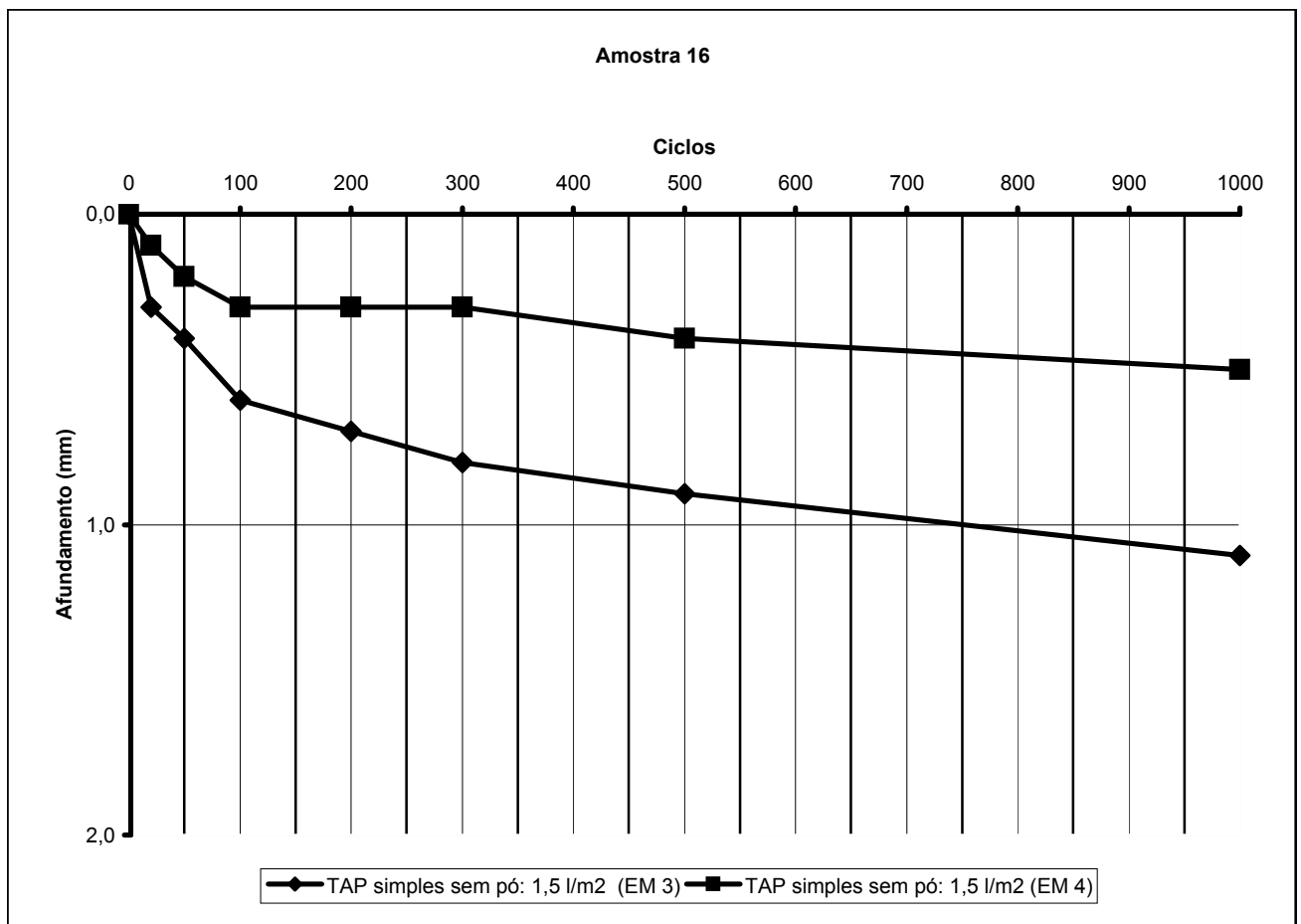
Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 1)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 2)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,0	0,0	Exudação de EM	9,3	0,0	Exudação de EM
20	11,9	1,9	Arranc. na partida!	10,8	1,5	Arranc. na partida!
50	12,8	2,8		13,2	3,9	Surgimento de
100	13,9	3,9		14,4	5,1	Lombadas!
200	14,7	4,7		15,3	6,0	Arranc. penetração
300	15,0	5,0		16,0	6,7	
500	15,3	5,3	Arranc. penetração	16,5	7,2	
1000	15,5	5,5	destr. parcial do CP	16,8	7,5	destr. parcial do CP

LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 16**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	11,0	0,0		11,2	0,0	pequena exudação
20	11,3	0,3		11,3	0,1	
50	11,4	0,4		11,4	0,2	
100	11,6	0,6		11,5	0,3	
200	11,7	0,7		11,5	0,3	
300	11,8	0,8		11,5	0,3	
500	11,9	0,9		11,6	0,4	
1000	12,1	1,1	Ok!!	11,7	0,5	Ok!

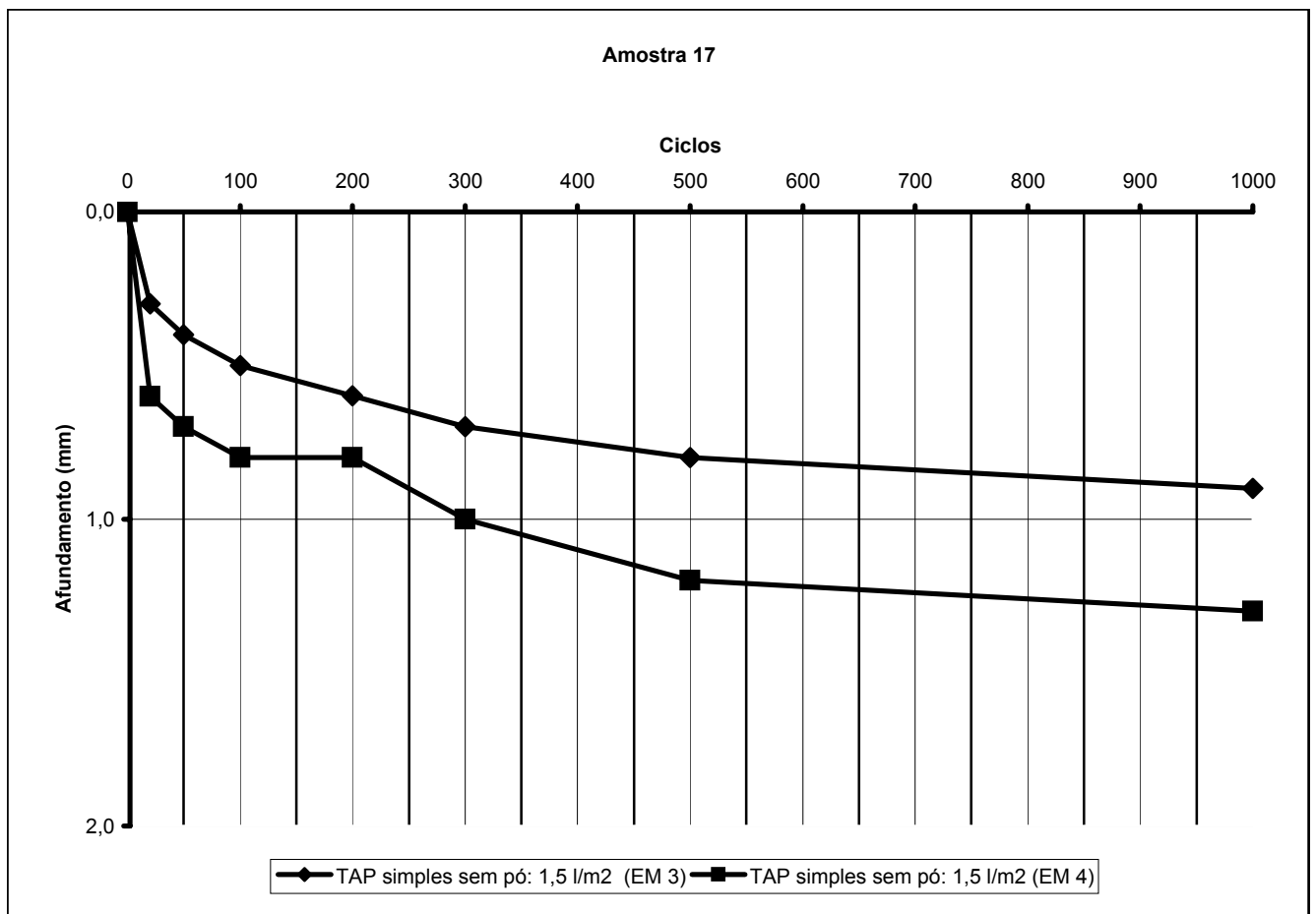


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 17**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,9	0,0		10,7	0,0	exudação
20	11,2	0,3		11,3	0,6	
50	11,3	0,4		11,4	0,7	arrancamento
100	11,4	0,5	pequenos buracos	11,5	0,8	de placas
200	11,5	0,6		11,5	0,8	
300	11,6	0,7		11,7	1,0	
500	11,7	0,8		11,9	1,2	destruição total
1000	11,8	0,9	Bom	12,0	1,3	da penetração



LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 18**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	8,7	0,0	Superfície sem	8,5	0,0	Exudação de EM
20	8,9	0,2	exudação	9,2	0,7	Arranc. na partida!
50	9,6	0,9		10,9	2,4	
100	10,0	1,3		12,4	3,9	Arrancamento total
200	10,4	1,7		13,8	5,3	
300	10,4	1,7		15,3	6,8	
500	10,4	1,7		16,4	7,9	
1000	10,5	1,8	OK !!	16,9	8,4	destr. total do CP

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 1)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 2)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,5	0,0	Exudação de EM	7,4	0,0	Exudação de EM
20	11,9	1,4	Arranc. na partida!	11,0	3,6	Arranc. na partida!
50	12,4	1,9		15,0	7,6	
100	14,0	3,5		16,5	9,1	Arrancamento total
200	14,8	4,3	Arrancamento total	17,0	9,6	
300	15,2	4,7		17,4	10,0	
500	15,5	5,0		17,8	10,4	
1000	16,0	5,5	destr. total do CP	18,1	10,7	destr. total do CP

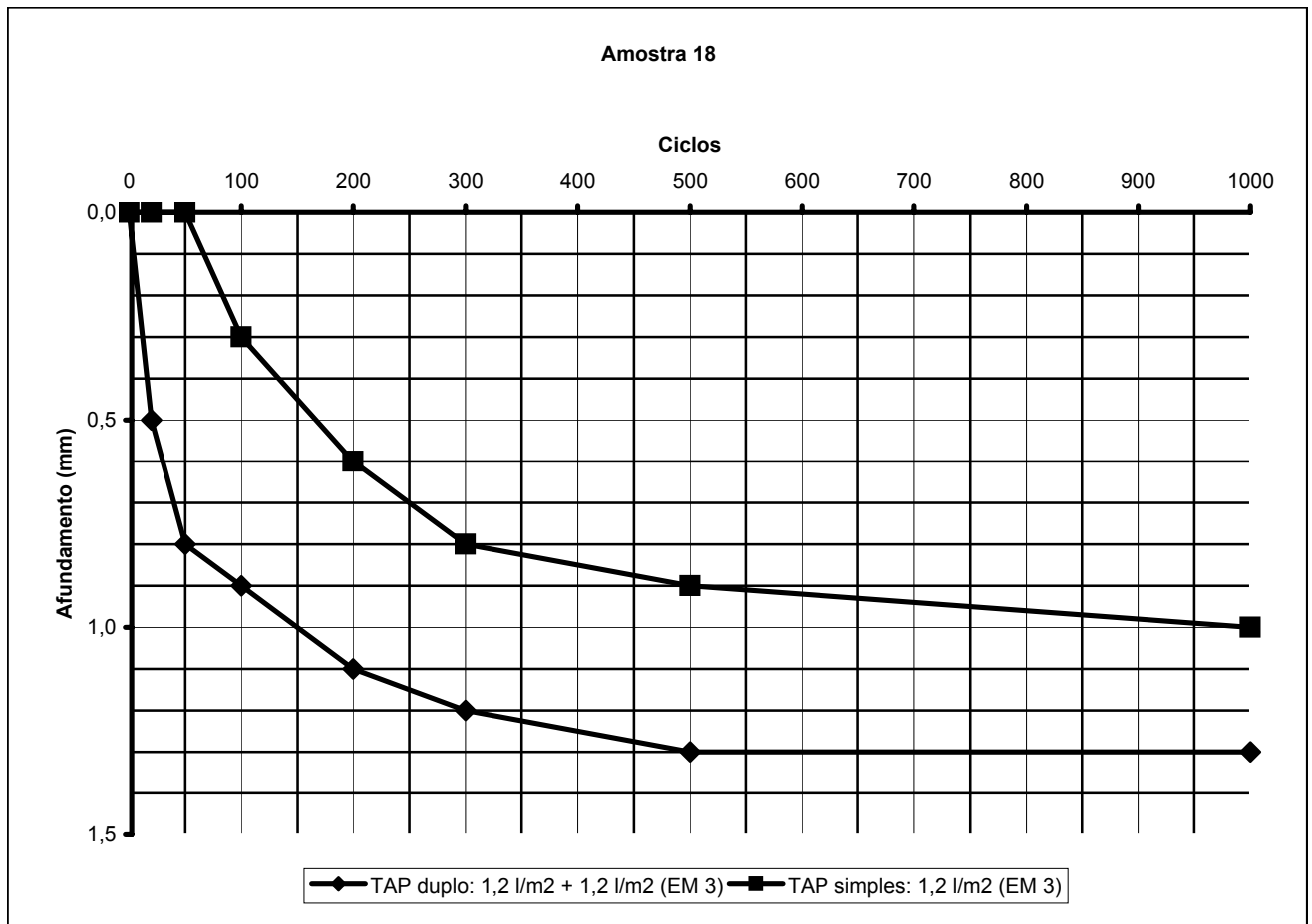
LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 18**

Altura da camada de solo: **4cm**

Taxa de Pó: **7 Kg/m²**

Ciclos	TAP duplo: 1,2 l/m ² + 1,2 l/m ² (EM 3)			TAP simples: 1,2 l/m ² (EM 3)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	6,0	0,0		10,9	0,0	
20	6,5	0,5		10,9	0,0	
50	6,8	0,8		10,9	0,0	
100	6,9	0,9		11,2	0,3	
200	7,1	1,1		11,5	0,6	
300	7,2	1,2		11,7	0,8	
500	7,3	1,3		11,8	0,9	
1000	7,3	1,3	OK!	11,9	1,0	OK!

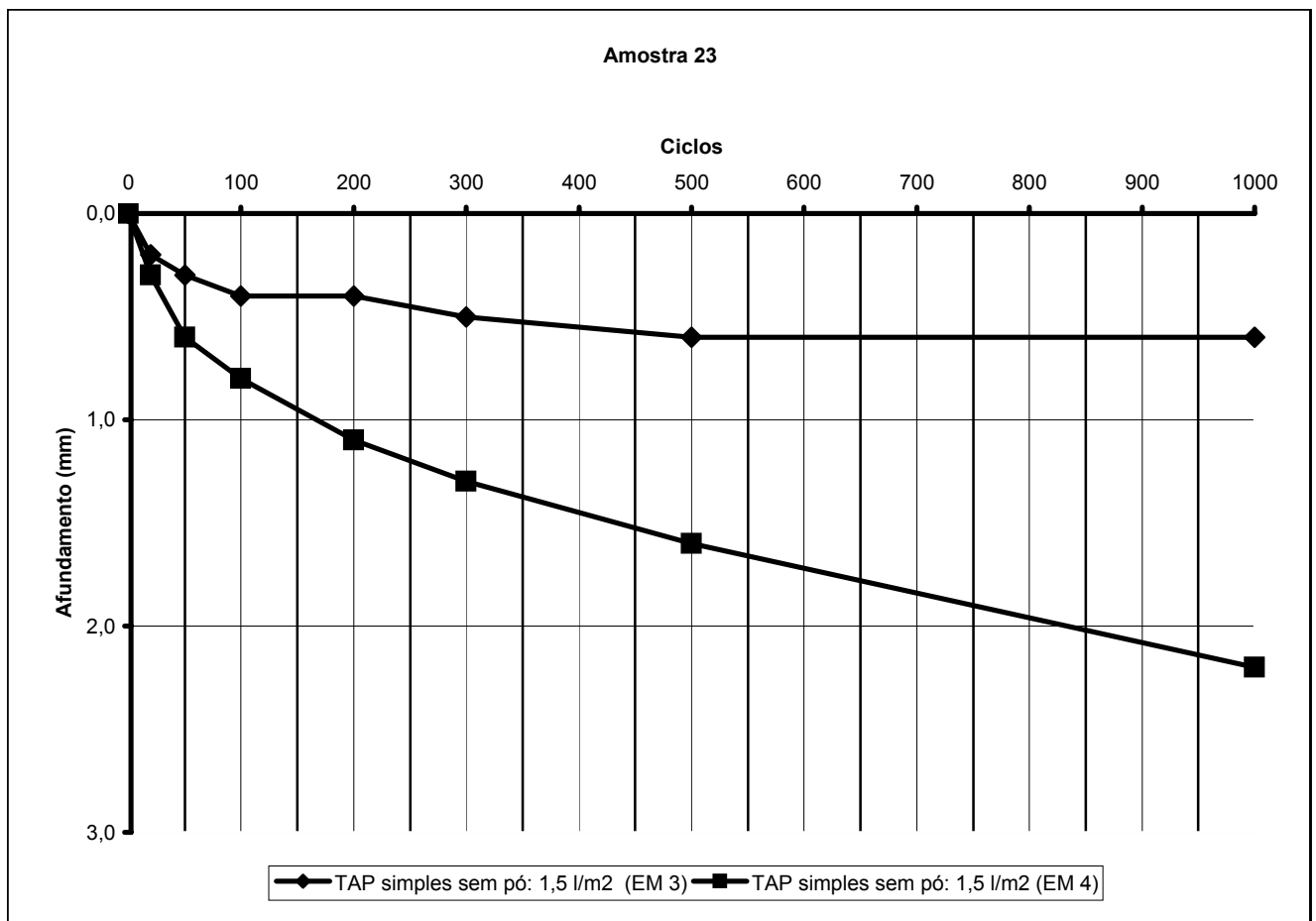


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 23**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,4	0,0		10,9	0,0	exudação
20	10,6	0,2		11,2	0,3	
50	10,7	0,3		11,5	0,6	arrancamento de
100	10,8	0,4		11,7	0,8	placas
200	10,8	0,4		12,0	1,1	
300	10,9	0,5		12,2	1,3	surgimento de
500	11,0	0,6	Excelente!	12,5	1,6	lombadas
1000	11,0	0,6	OK!!	13,1	2,2	destruição total

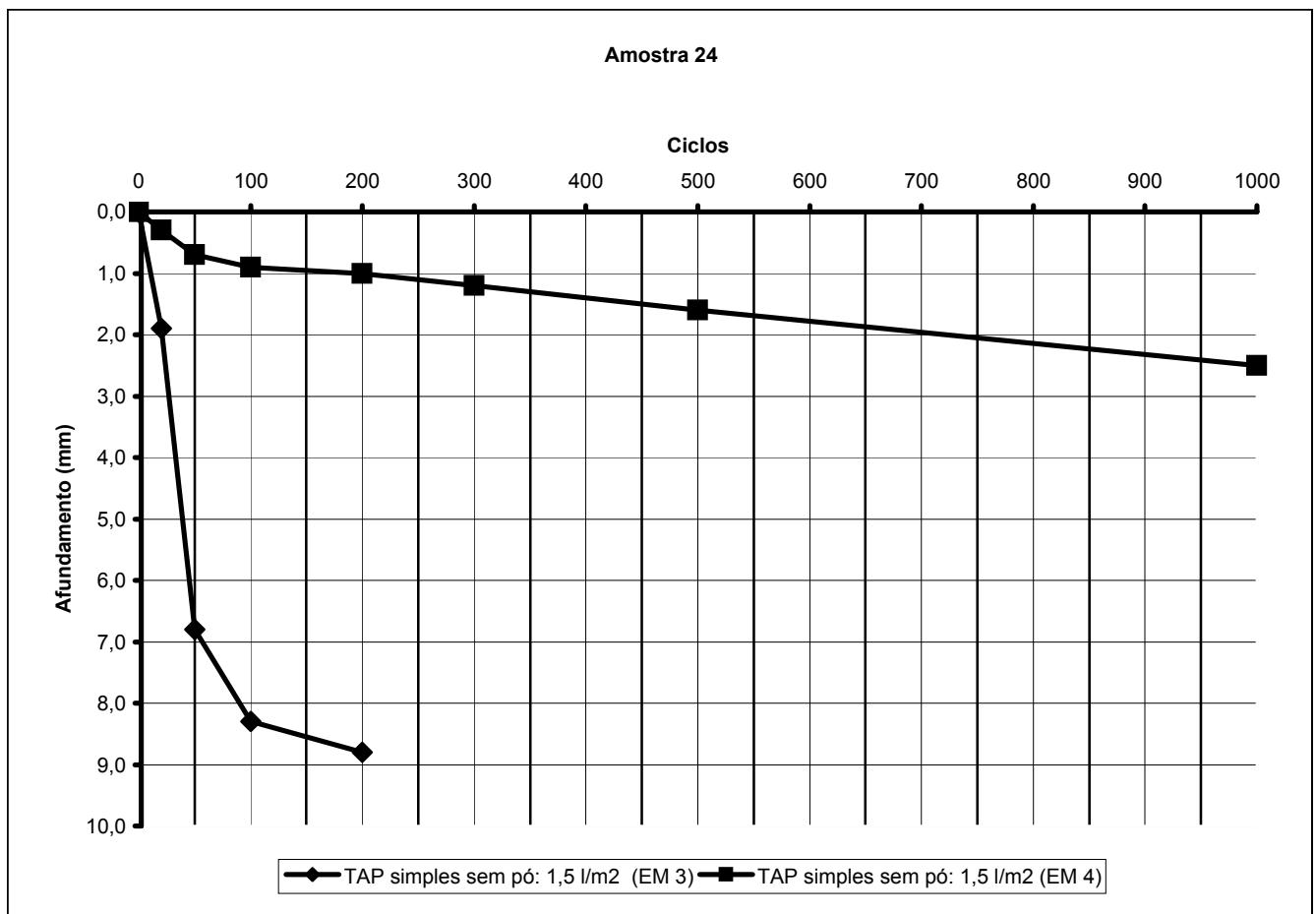


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 24**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	12,2	0,0		11,2	0,0	exudação
20	14,1	1,9		11,5	0,3	
50	19,0	6,8		11,9	0,7	
100	20,5	8,3	destruição total	12,1	0,9	
200	21,0	8,8		12,2	1,0	
300			ensaio interrompido	12,4	1,2	
500				12,8	1,6	arrancamento de
1000				13,7	2,5	60% da penetração

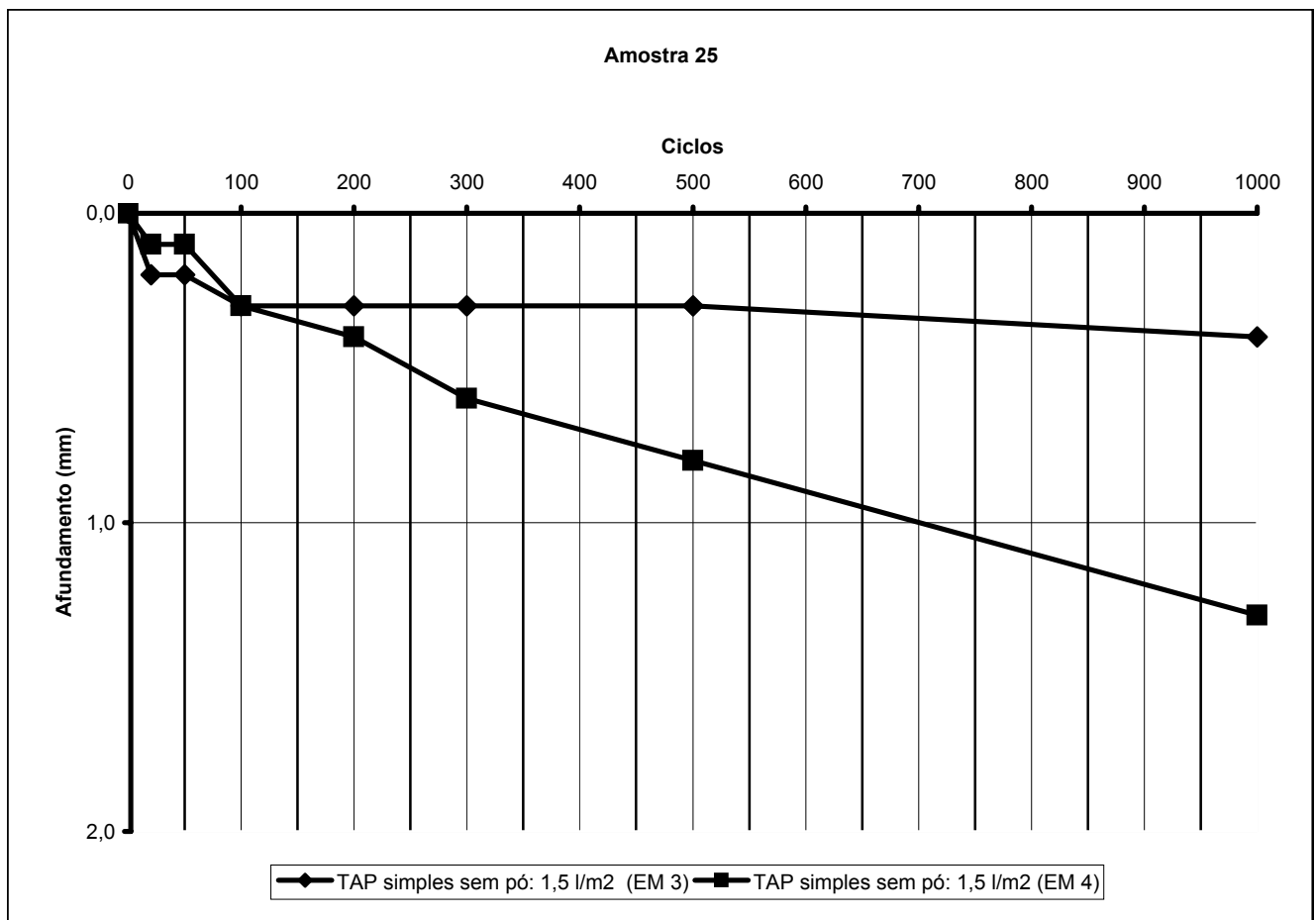


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 25**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	10,3	0,0		11,1	0,0	pequena exudação
20	10,5	0,2		11,2	0,1	
50	10,5	0,2		11,2	0,1	
100	10,6	0,3		11,4	0,3	surgimento de
200	10,6	0,3		11,5	0,4	pequenos buracos
300	10,6	0,3		11,7	0,6	
500	10,6	0,3	Excelente!	11,9	0,8	arrancamento de
1000	10,7	0,4	OK!!	12,4	1,3	50% da penetração



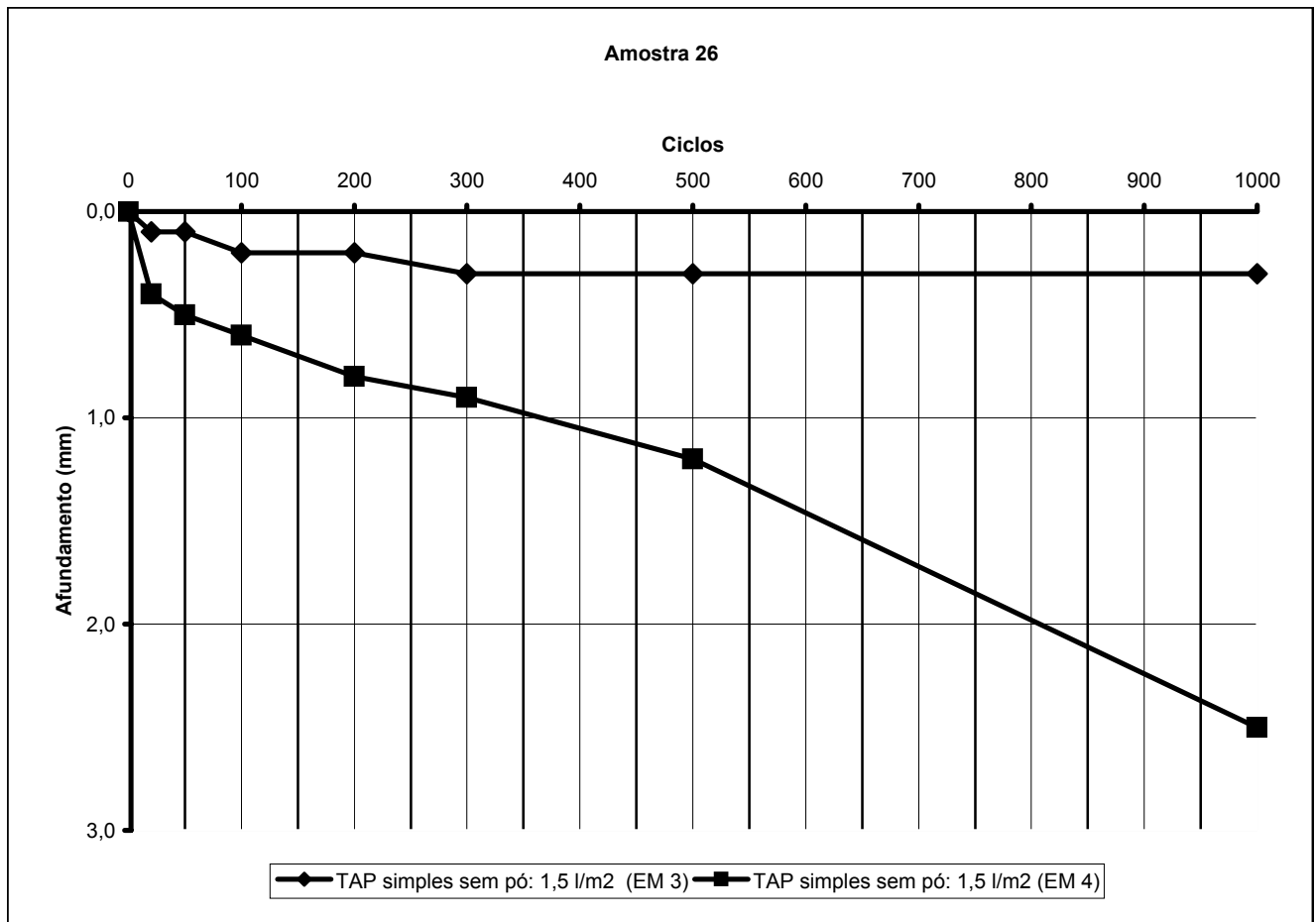
LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 26**

Altura da camada de solo: **4cm**

Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	11,0	0,0		12,2	0,0	exudação
20	11,1	0,1		12,6	0,4	
50	11,1	0,1		12,7	0,5	
100	11,2	0,2		12,8	0,6	
200	11,2	0,2		13,0	0,8	
300	11,3	0,3		13,1	0,9	pequenos buracos
500	11,3	0,3	Excelente!	13,4	1,2	arrancamento total
1000	11,3	0,3	OK!!	14,7	2,5	da penetração

Obs.: EM 3: 15000 ciclos - Ok!

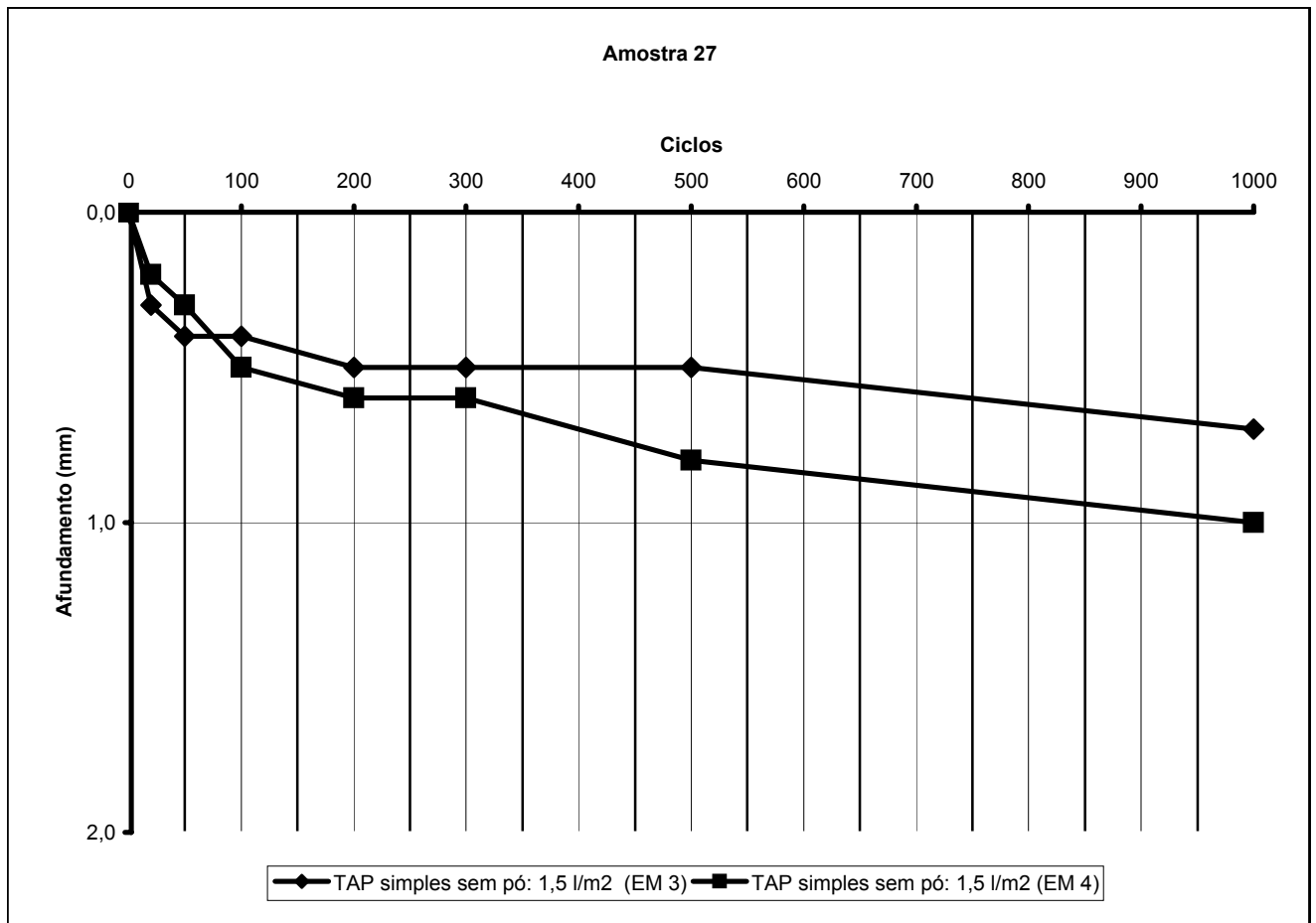


LWT - Determinação do excesso de asfalto

Amostra: **Amostra 27**

Altura da camada de solo: **4cm**

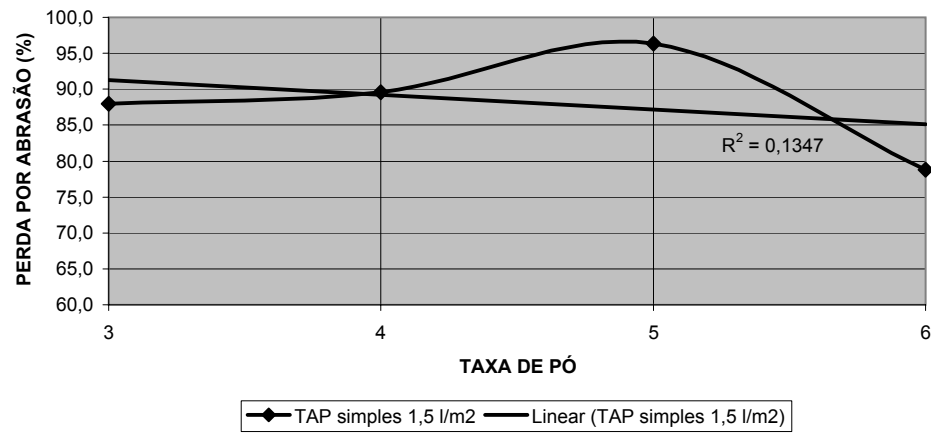
Ciclos	TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 3)			TAP simples sem pó: 1,5 l/m ² (EM 4)		
	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações	Altura (mm)	Afundamento (mm)	Observações
0	11,2	0,0		10,1	0,0	
20	11,5	0,3		10,3	0,2	
50	11,6	0,4		10,4	0,3	
100	11,6	0,4		10,6	0,5	
200	11,7	0,5		10,7	0,6	
300	11,7	0,5		10,7	0,6	
500	11,7	0,5	Excelente!	10,9	0,8	arrancamento de
1000	11,9	0,7	OK!!	11,1	1,0	50% da penetração



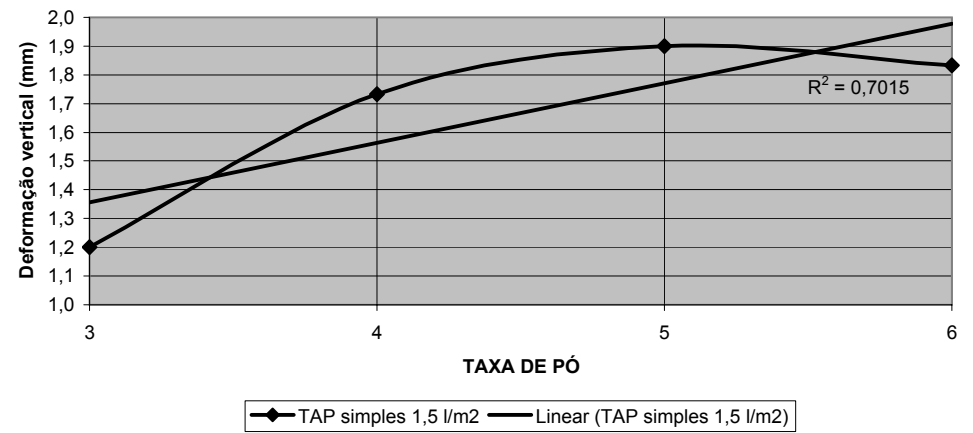
Anexo VI: Planilhas dos Ensaios de Desgaste – WTAT

AMOSTRA 02

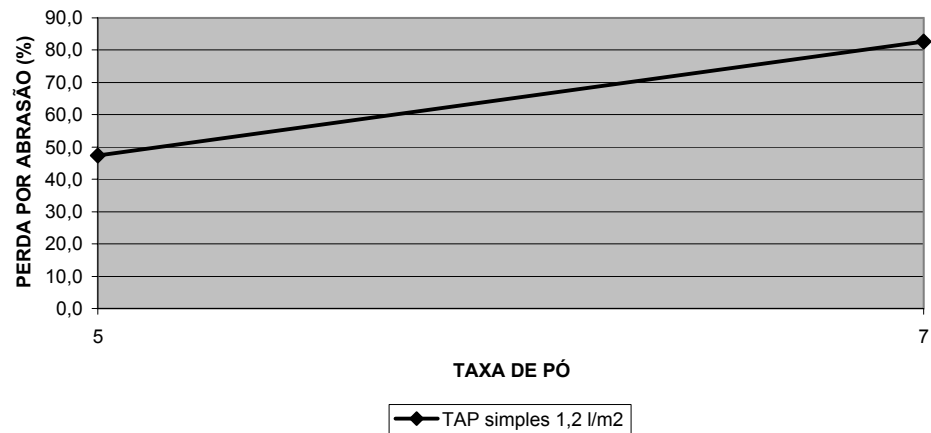
TAP SIMPLES 1,5 l/m2



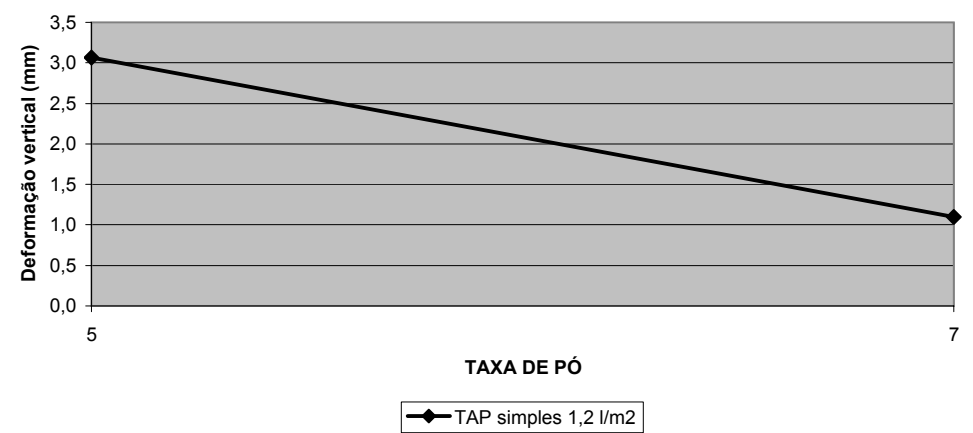
TAP SIMPLES 1,5 l/m2



TAP SIMPLES 1,2 l/m2

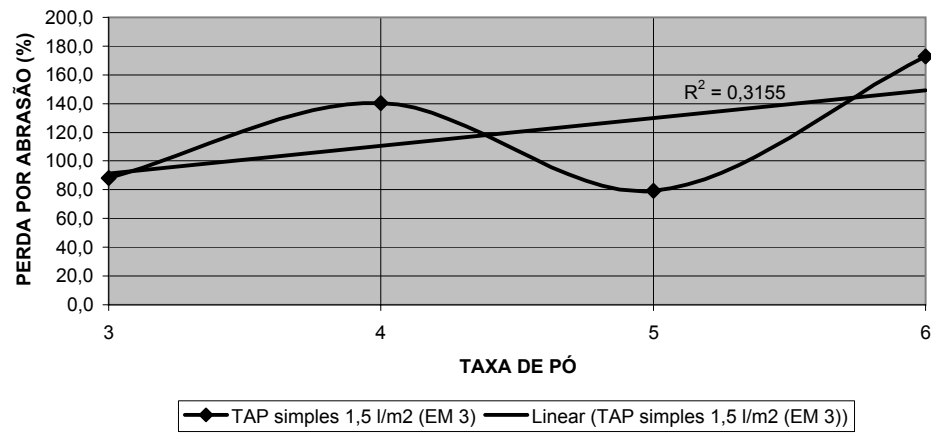


TAP SIMPLES 1,2 l/m2

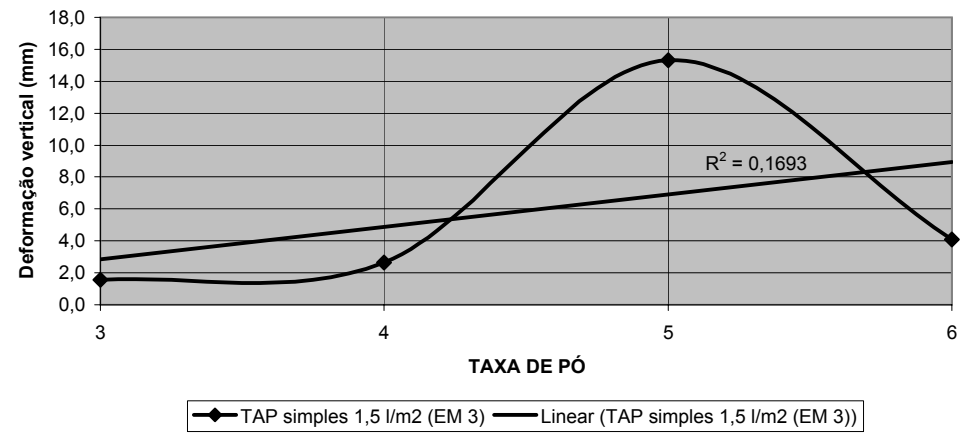


AMOSTRA 03

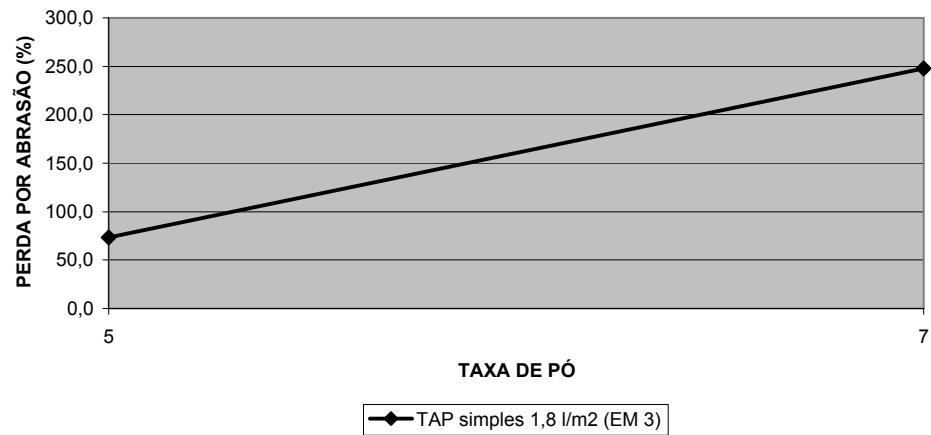
TAP SIMPLES 1,5 l/m2



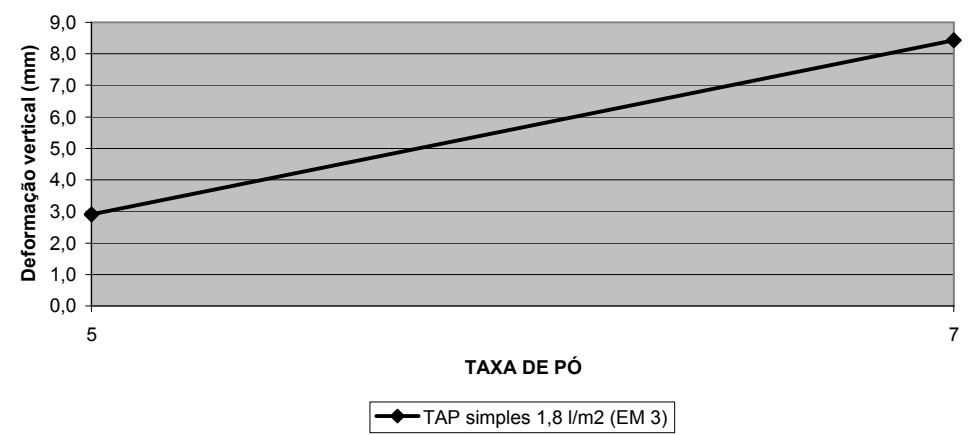
TAP SIMPLES 1,5 l/m2



TAP SIMPLES 1,8 l/m2



TAP SIMPLES 1,8 l/m2



WTAT - perda por abrasão

Amostra: **AMOSTRA 04**
 Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Taxa pó	Qtde pó	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão			Observações
					Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	% mat solto	%	gramas	
duplo c/ pó	EM 3	1,5 + 1,0	7	494,8	11560	11460	10990	11,0	11,5	13,0	11,8	17,2	21,0	19,0	19,1	7,2	20,2	176,6	470	Arranc. de 100% pó e 50% penetr
duplo c/ pó	EM 3	1,8 + 1,0	7	494,8	11420	11370	10780	13,0	14,5	13,3	13,6	20,0	23,0	21,0	21,3	7,7	10,1	221,7	590	Arranc. de 100% pó e 100% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,5 + 1,0	7	494,8	11270	11250	10880	15,5	13,5	16,2	15,1	18,0	18,0	25,5	20,5	5,4	4,0	139,0	370	Arranc. de 100% pó e 30% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,8 + 1,0	7	494,8	11390	11380	10960	16,5	14,2	16,0	15,6	20,5	22,5	21,7	21,6	6,0	2,0	157,8	420	Arranc. de 100% pó e 30% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,0 + 1,0	7	494,8	11300	11260	10880	14,5	14,5	16,0	15,0	24,5	19,5	19,0	21,0	6,0	8,1	142,8	380	Arranc. de 100% pó e 40% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,2 + 1,0	7	494,8	11270	11240	10880	15,0	15,0	17,0	15,7	21,5	18,5	18,3	19,4	3,8	6,1	135,3	360	Arranc. de 100% pó e 50% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,8	7	494,8	11160	11070	10690	15,5	15,0	18,0	16,2	23,2	19,1	18,5	20,3	4,1	18,2	142,8	380	Arranc. de 100% pó e 10% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,5	7	494,8	11290	11150	10840	14,5	14,0	16,0	14,8	21,5	17,5	18,2	19,1	4,2	28,3	116,5	310	Arranc. de 100% pó e 10% penetr

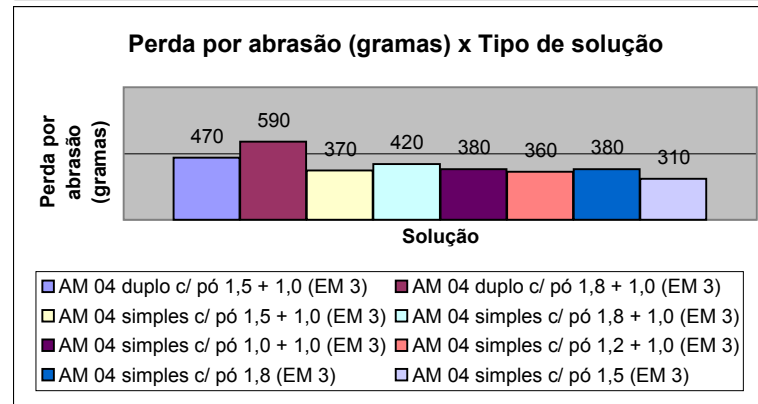
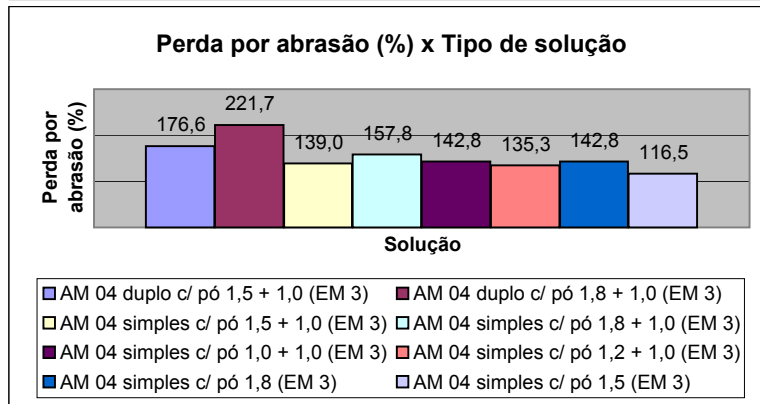
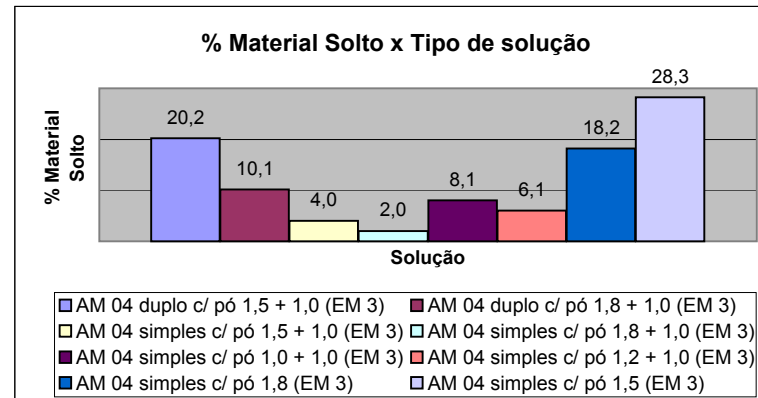
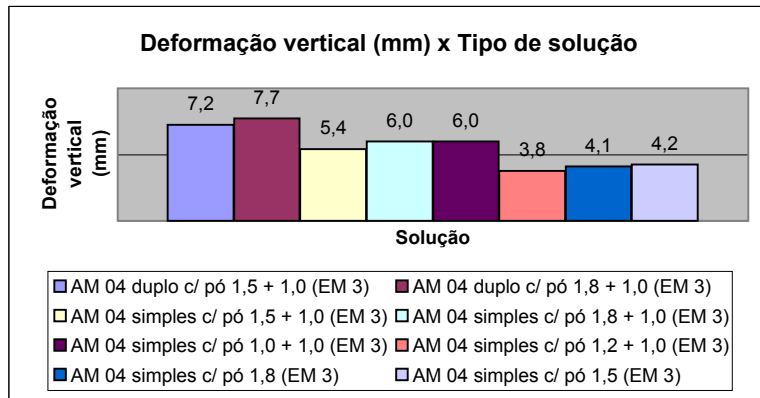
Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, e aplicação do pó após 12 horas (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

TAP duplo: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, retirada da bandeja da estufa e espera a temperatura ambiente de laboratório por 6 horas, aplicação da 2ª taxa de emulsão, espera de 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Amostra: **AMOSTRA 04**
Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Taxa areia	Qtde pó	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão			Observações
					Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	% mat solto	%	gramas	
duplo c/ pó	EM 3	1,8 + 1,0	7	494,8	11280	11080	10680	13,2	13,5	14,5	13,7	23,2	18,9	21,0	21,0	7,3	40,4	150,3	400	Arranc. de 100% areia e 0% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,8	7	494,8	10850	10630	10090	18,0	15,0	17,5	16,8	26,9	26,5	22,0	25,1	8,3	44,5	202,9	540	Arranc. de 100% areia e 80% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,0	7	494,8	10780	10400	9740	19,2	18,5	19,0	18,9	29,0	30,5	24,5	28,0	9,1	76,8	248,0	660	Arranc. de 100% areia e 100% penetr

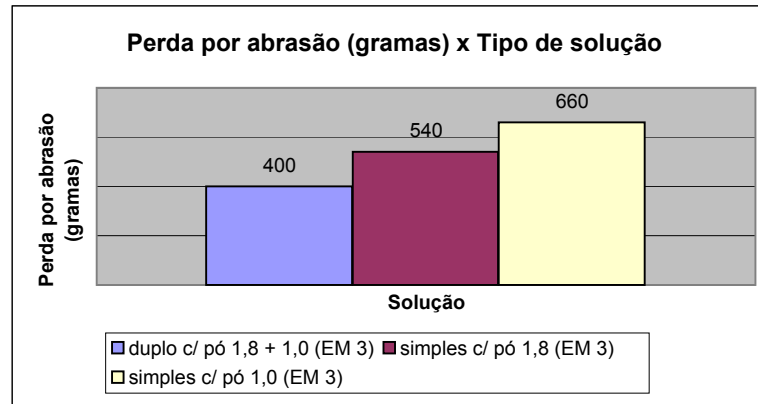
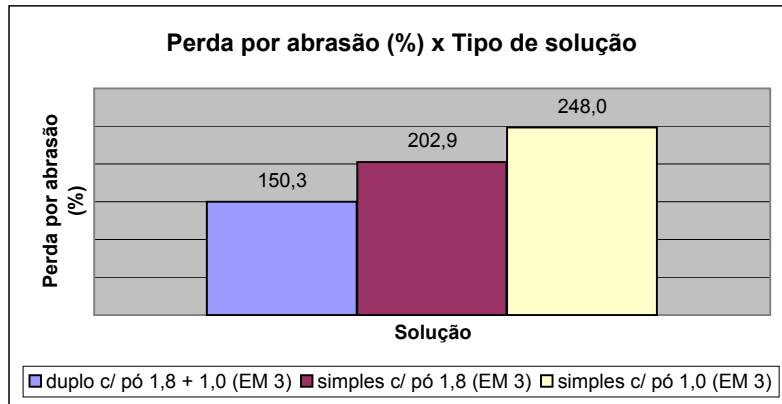
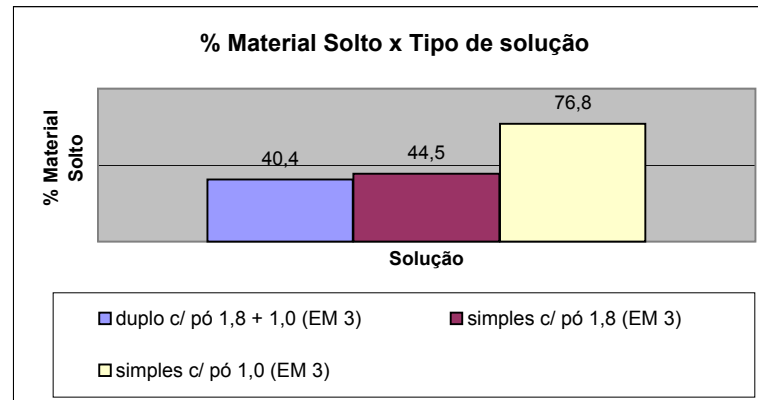
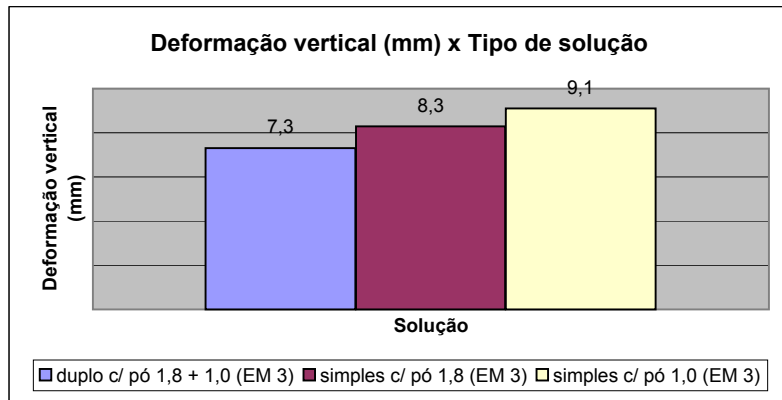
Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelada a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, e aplicação da areia após 12 horas (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

TAP duplo: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de 12 horas e aplicação da areia (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, retirada da bandeja da estufa e espera a temperatura ambiente de laboratório por 6 horas, aplicação da 2ª taxa de emulsão, espera de 12 horas e aplicação da areia (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

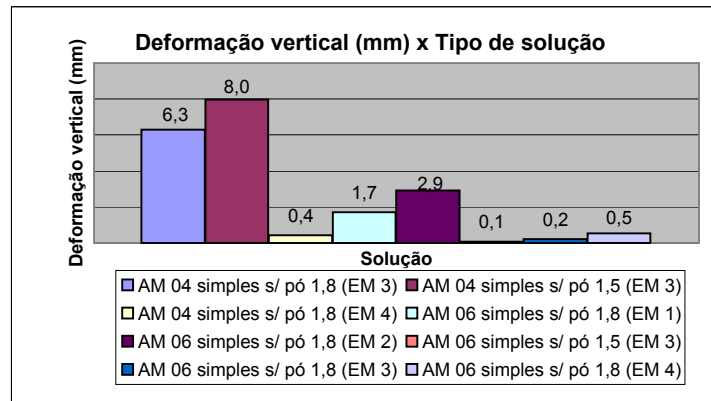
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas	
simples s/ pó	EM 3	1,8	04	10410	10410	10060	19,7	18,1	16,5	18,1	24,2	27,0	22,0	24,4	6,3	62,7	188,2	Arranc. 50% penetr
simples s/ pó	EM 3	1,5	04	10440	10440	9950	20,0	20,0	17,0	19,0	26,3	28,7	25,9	27,0	8,0	87,8	263,5	Arranc. 100% penetr
simples s/ pó	EM 4	1,8	04	10160	10160	10150	23,3	24,9	23,9	24,0	22,6	26,5	24,3	24,5	0,4	1,8	5,4	Arranc. 10% penetr
simples s/ pó	EM 1	1,8	06	11050	11050	10970	19,1	18,9	18,4	18,8	22,7	20,4	18,4	20,5	1,7	14,3	43,0	Arranc. 30% penetr
simples s/ pó	EM 2	1,8	06	11000	11000	10875	18,8	18,4	18,4	18,5	24,5	20,5	19,4	21,5	2,9	22,4	67,2	Arranc. 20% penetr
simples s/ pó	EM 3	1,5	06	10900	10900	10870	16,9	16,8	18,5	17,4	16,9	16,6	18,9	17,5	0,1	5,4	16,1	Arranc. 10% penetr
simples s/ pó	EM 3	1,8	06	10780	10780	10760	20,2	16,0	16,5	17,6	19,8	16,9	16,6	17,8	0,2	3,6	10,8	Arranc. 10% penetr
simples s/ pó	EM 4	1,8	06	10950	10950	10910	19,9	18,5	23,0	20,5	23,7	21,5	17,8	21,0	0,5	7,2	21,5	Arranc. 10% penetr

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

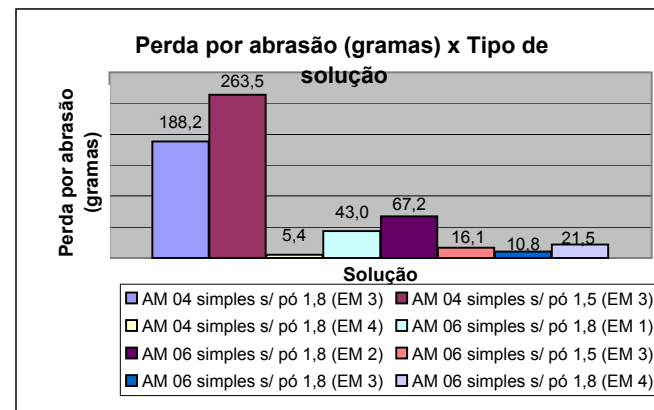
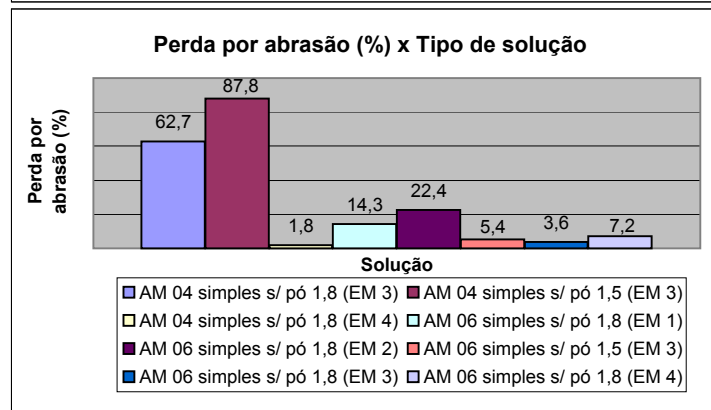


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Amostra: **AMOSTRA 06**
 Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

Tipo	Emulsão	Taxa emulsão	Taxa pó	Qtde pó	Massa1	Massa2	Massa3	Leitura inicial				Leitura final				Perda por Abrasão			Observações	
								h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas		
simples c/ pó	EM 3	1,5	7	494,8	11340	11180	10920	13,4	13,8	15,2	14,1	18,5	18,9	18,9	18,8	4,6	32,3	97,7	260	Arranc. de 100% pó e 20% penetr
simples c/ pó	EM 3	1,8	7	494,8	11300	11210	10940	12,5	15,4	14,8	14,2	16,7	19,4	19,0	18,4	4,1	18,2	101,5	270	Arranc. de 100% pó e 10% penetr

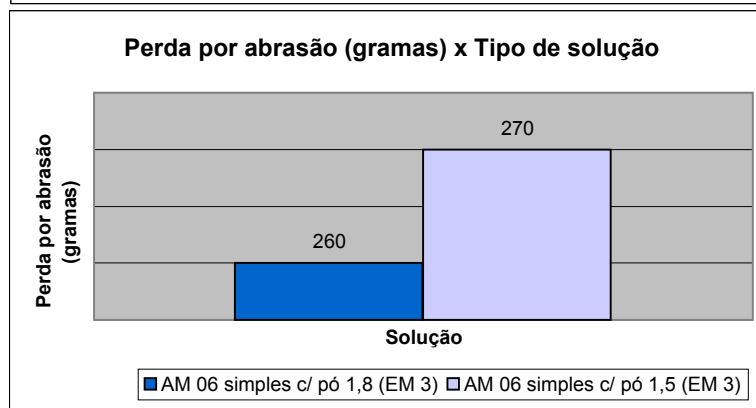
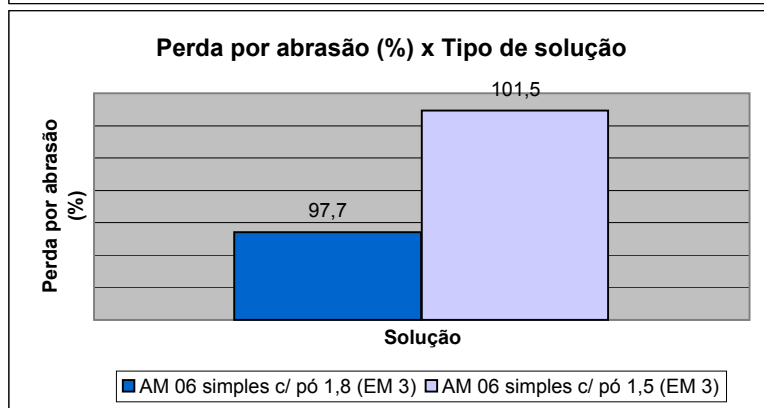
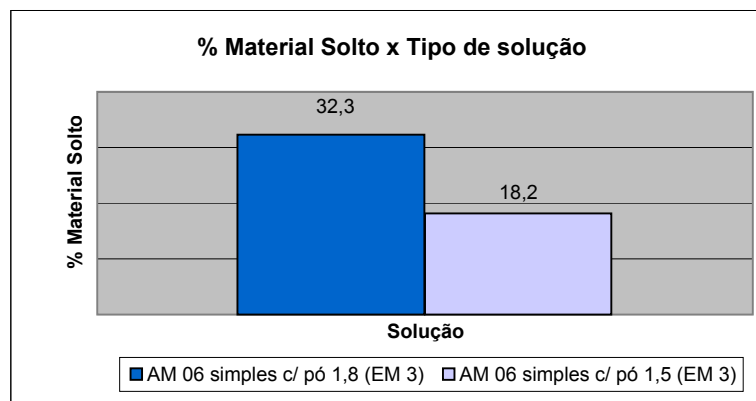
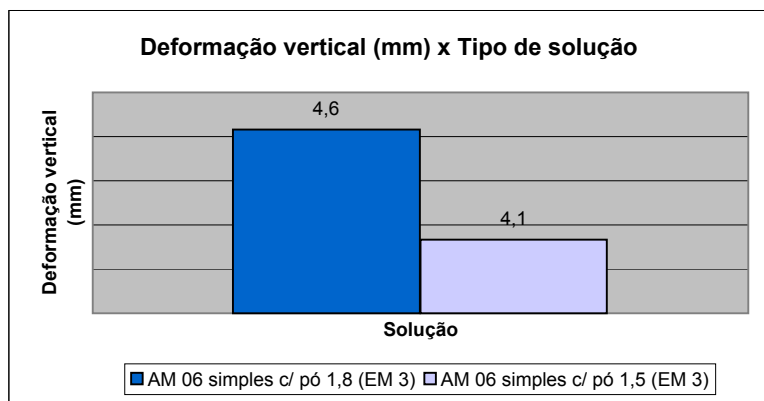
Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, e aplicação do pó após 12 horas (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

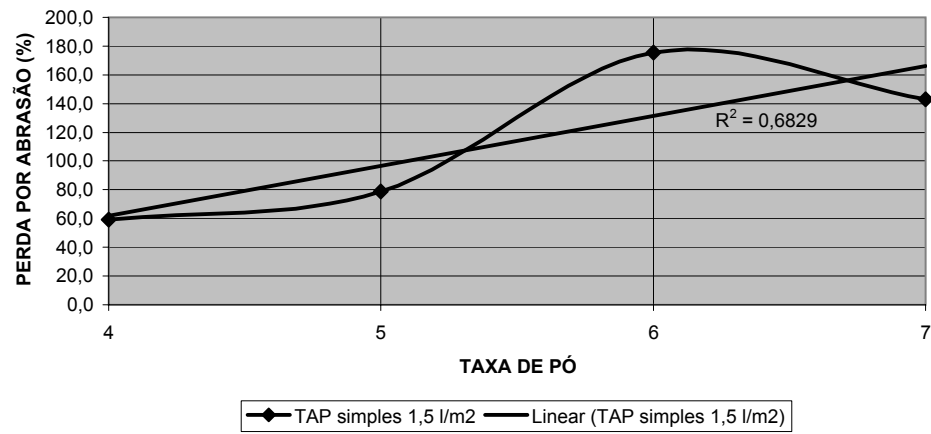
TAP duplo: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, retirada da bandeja da estufa e espera a temperatura ambiente de laboratório por 6 horas, aplicação da 2ª taxa de emulsão, espera de 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

OBS.: Utilização de borracha de menor rigidez.

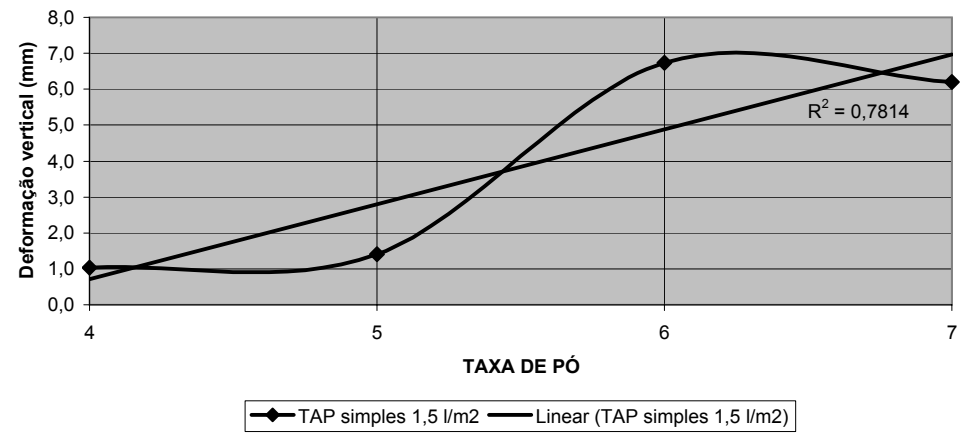


AMOSTRA 18

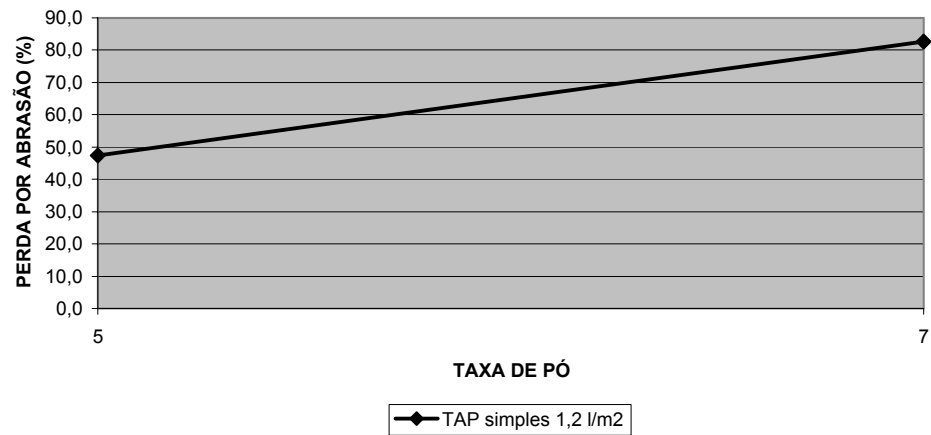
TAP SIMPLES 1,5 l/m2



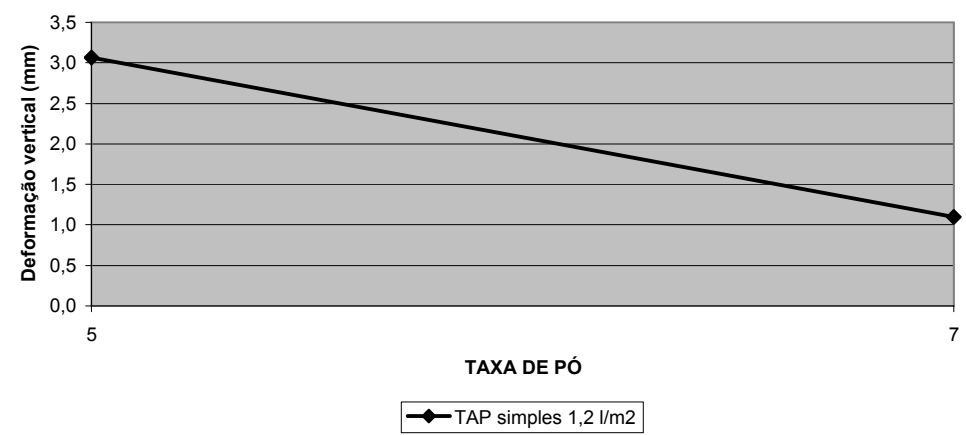
TAP SIMPLES 1,5 l/m2



TAP SIMPLES 1,2 l/m2



TAP SIMPLES 1,2 l/m2



WTAT - perda por abrasão

Amostra: **AMOSTRA 18**

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

Deformação após WTAT

Tipo de Solução	Taxa pó	Qtde pó	Massa1	Massa2	Massa3	Leitura inicial				Leitura final				Perda por Abrasão			Observações visuais	
						h1	h2	h3	hmédio	h1	h2	h3	hmédio	mm	Def vert	% mat solto		%
TAP simples 1,5 + 1,0 + pó	7	494,8	11090,0	10810,0	10750,0	14,3	12,5	15,8	14,2	15,0	15,4	16,6	15,7	1,5	56,6	22,5	60,0	Arrancamento de 15% do pó
TAP simples 1,5 + 1,5 + pó	7	494,8	11130,0	10940,0	10910,0	13,2	13,2	16,5	14,3	14,0	15,5	16,6	15,4	1,1	38,4	11,3	30,0	Arrancamento de 10% do pó

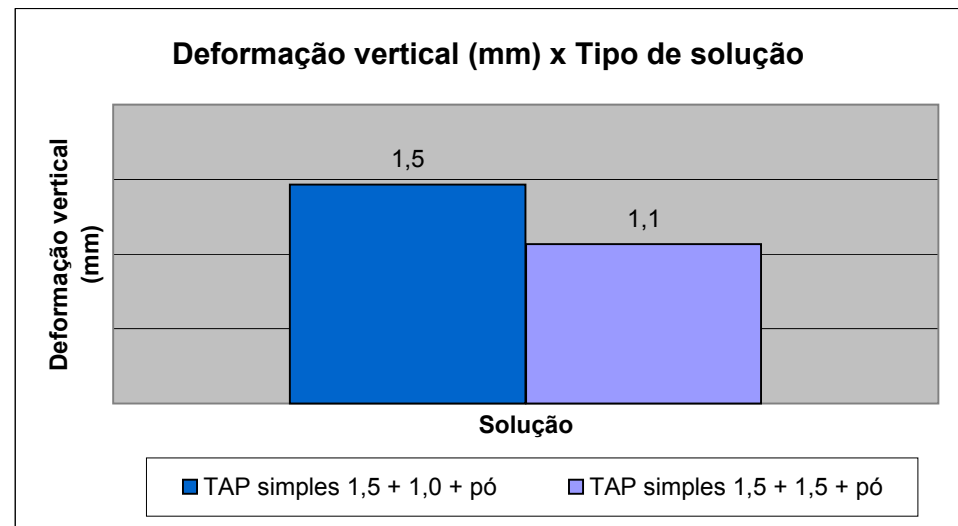
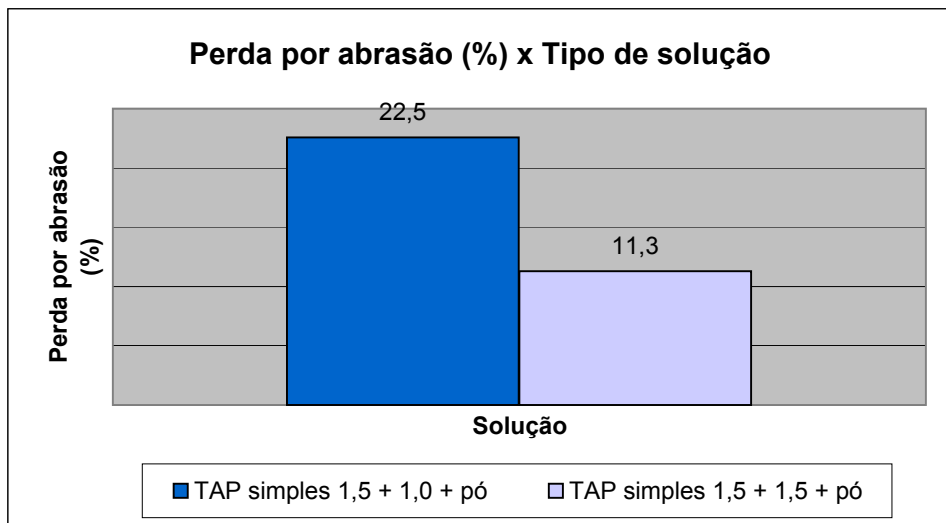
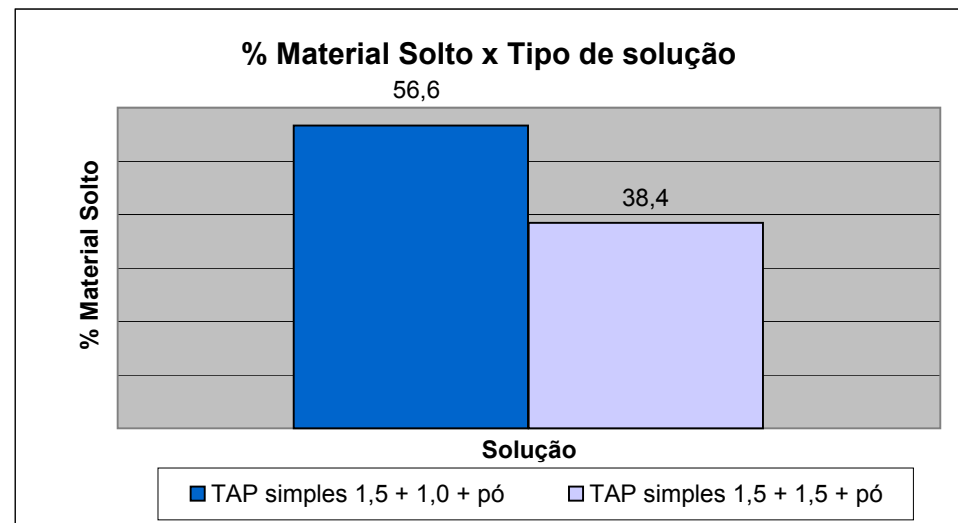
- Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas, aplicação de: 2ª taxa de emulsão e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), realização do ensaio após 72 horas (tempo necessário para ruptura completa e parte da cura da emulsão)

TAP duplo: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas e aplicação do p (compactado com 30 golpes Marshall), espera de 72 horas para cura, aplicação da 2ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), realização do ensaio após 72 horas (tempo necessário para ruptura completa e parte da cura da emulsão)

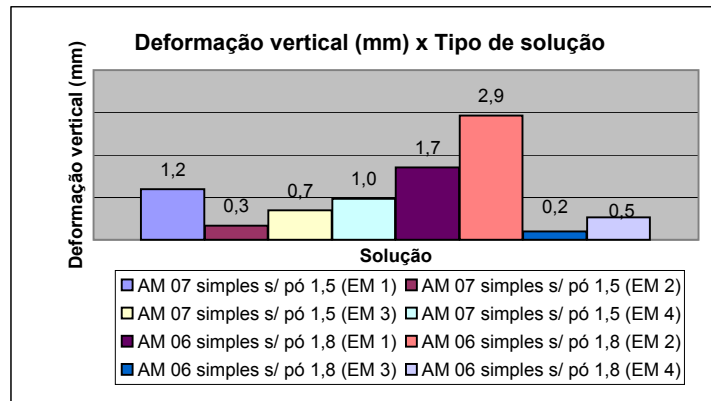
Obs.: Foi utilizado na 1ª taxa emulsão anti-pó e na 2ª taxa emulsão RM-1C



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas	
simples s/ pó	EM 1	1,5	07	10270	10270	10250	23,0	20,5	19,5	21,0	24,0	22,1	20,5	22,2	1,2	3,6	10,8	Exudação e Arranc. 50% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,5	07	10140	10140	10130	23,6	21,3	19,7	21,5	24,0	21,8	19,8	21,9	0,3	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 15% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	07	9870	9870	9865	22,4	22,5	21,8	22,2	23,5	23,2	22,1	22,9	0,7	0,9	2,7	Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	07	10400	10400	10360	22,7	20,5	19,5	20,9	23,5	22,1	20,0	21,9	1,0	7,2	21,5	Exudação e Arranc. 75% penetração
simples s/ pó	EM 1	1,8	06	11050	11050	10970	19,1	18,9	18,4	18,8	22,7	20,4	18,4	20,5	1,7	14,3	43,0	Arranc. 30% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,8	06	11000	11000	10875	18,8	18,4	18,4	18,5	24,5	20,5	19,4	21,5	2,9	22,4	67,2	Arranc. 20% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,8	06	10780	10780	10760	20,2	16,0	16,5	17,6	19,8	16,9	16,6	17,8	0,2	3,6	10,8	Arranc. 10% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,8	06	10950	10950	10910	19,9	18,5	23,0	20,5	23,7	21,5	17,8	21,0	0,5	7,2	21,5	Arranc. 10% penetração

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

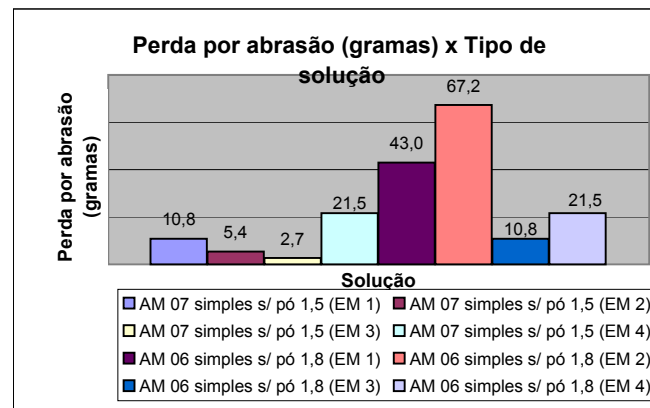
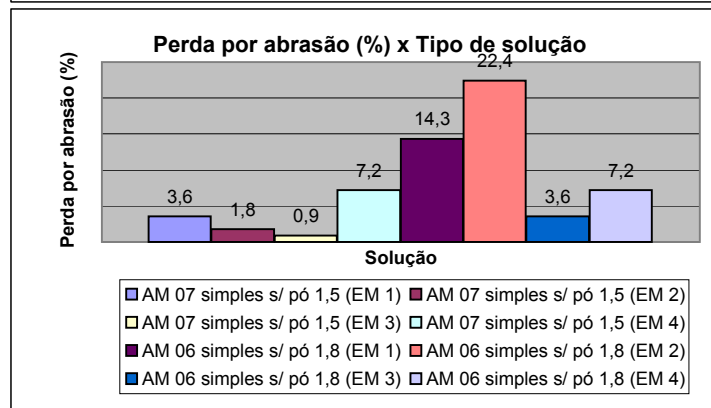


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

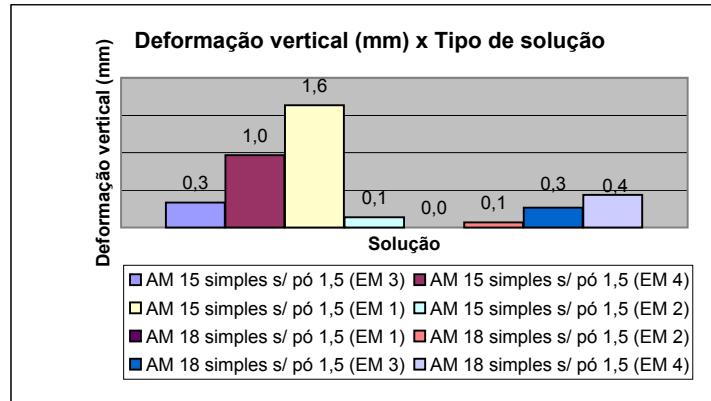
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas	
simples s/ pó	EM 3	1,5	15	10740	10740	10710	14,4	15,2	16,0	15,2	16,4	13,9	16,3	15,5	0,3	5,4	16,1	Arranc. 30% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	15	11050	11050	10950	15,3	14,5	16,0	15,3	14,9	18,1	15,7	16,2	1,0	17,9	53,8	Arranc. 100% penetração
simples s/ pó	EM 1	1,5	15	11095	11095	11060	19,0	17,1	18,1	18,1	21,1	20,0	18,0	19,7	1,6	6,3	18,8	Exudação e Arranc. 60% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,5	15	10910	10910	10900	18,0	17,0	16,5	17,2	18,1	17,1	16,7	17,3	0,1	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 10% penetração
simples s/ pó	EM 1	1,5	18	10990	10990	10985	39,6	39,2	39,5	39,4	39,6	39,0	39,7	39,4	0,0	0,9	2,7	Exudação e Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,5	18	10960	10960	10960	38,4	39,3	39,2	39,0	38,8	38,7	39,6	39,0	0,1	0,0	0,0	Exudação e Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	18	10520	10520	10505	18,3	18,5	18,0	18,3	18,6	18,7	18,3	18,5	0,3	2,7	8,1	Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	18	10480	10480	10470	18,0	18,1	18,5	18,2	18,1	18,3	19,5	18,6	0,4	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 15% penetração

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

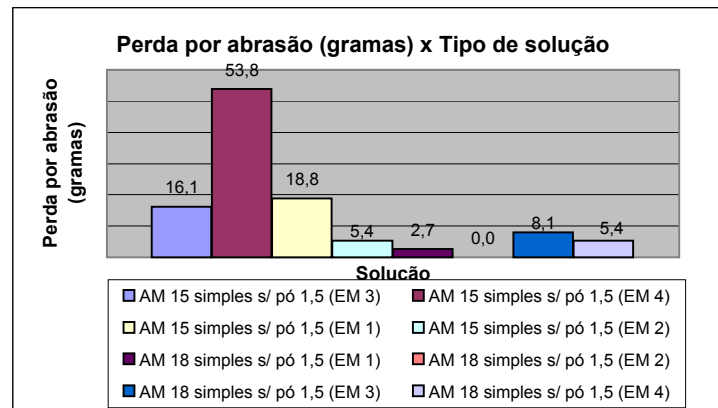
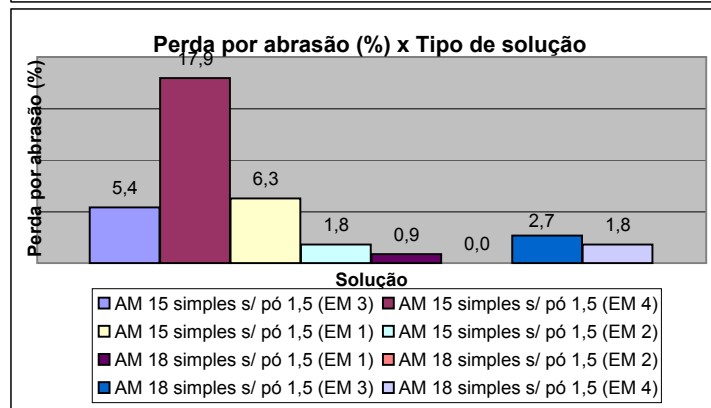


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

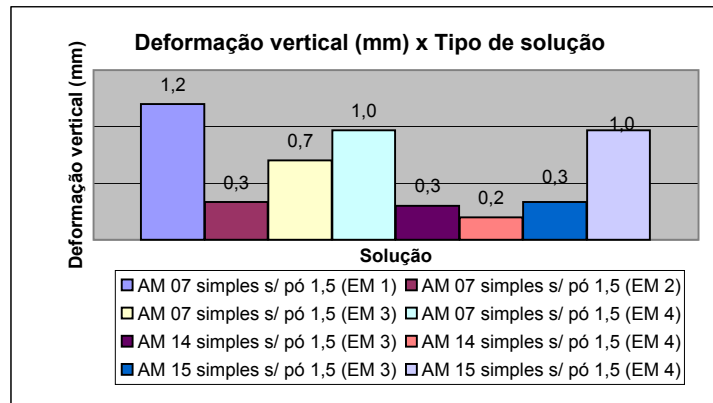
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas	
simples s/ pó	EM 1	1,5	07	10270	10270	10250	23,0	20,5	19,5	21,0	24,0	22,1	20,5	22,2	1,2	3,6	10,8	Exudação e Arranc. 50% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,5	07	10140	10140	10130	23,6	21,3	19,7	21,5	24,0	21,8	19,8	21,9	0,3	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 15% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	07	9870	9870	9865	22,4	22,5	21,8	22,2	23,5	23,2	22,1	22,9	0,7	0,9	2,7	Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	07	10400	10400	10360	22,7	20,5	19,5	20,9	23,5	22,1	20,0	21,9	1,0	7,2	21,5	Exudação e Arranc. 75% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	14	10660	10660	10645	15,9	16,9	19,0	17,3	16,3	16,8	19,6	17,6	0,3	2,7	8,1	Arranc. 60% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	14	10980	10980	10940	19,9	19,3	19,2	19,5	20,3	19,4	19,3	19,7	0,2	7,2	21,5	Arranc. 60% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	15	10740	10740	10710	14,4	15,2	16,0	15,2	16,4	13,9	16,3	15,5	0,3	5,4	16,1	Arranc. 30% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	15	11050	11050	10950	15,3	14,5	16,0	15,3	14,9	18,1	15,7	16,2	1,0	17,9	53,8	Arranc. 100% penetração

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

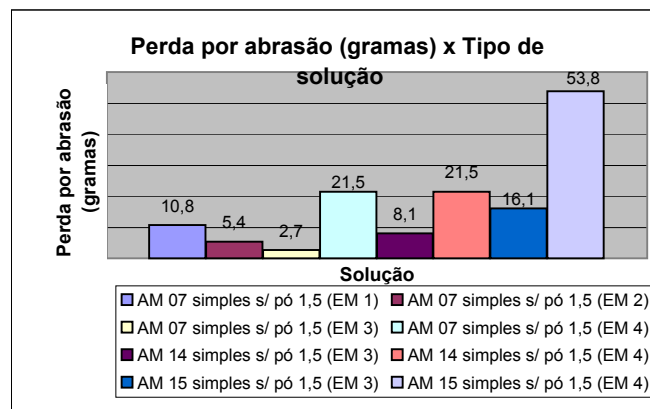
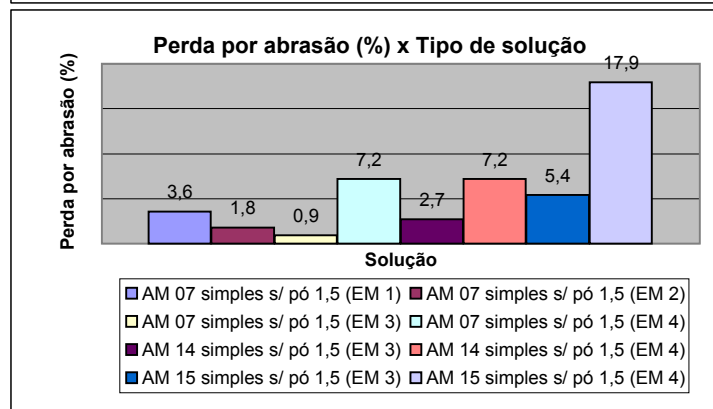


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

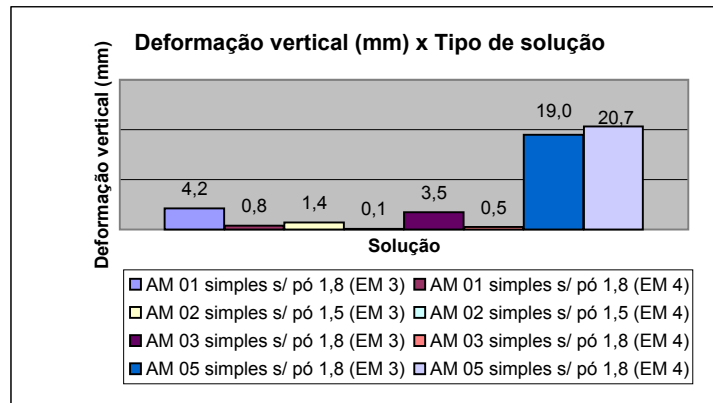
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão			Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas		
simples s/ pó	EM 3	1,8	01	9785	9785	9580	24,5	24,9	25,5	25,0	30,0	31,5	26,0	29,2	4,2	36,7	110,2	Arranc. 90% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,8	01	10960	10960	10960	20,9	17,0	17,5	18,5	22,5	18,3	17,0	19,3	0,8	0,0	0,0	Exudação e Arranc. 5% penetração	
simples s/ pó	EM 3	1,5	02	9600	9600	9500	22,5	23,1	26,0	23,9	26,2	26,0	23,7	25,3	1,4	17,9	53,8	Arranc. 35% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,5	02	9980	9980	9970	22,5	23,1	21,9	22,5	24,1	22,5	21,3	22,6	0,1	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 20% penetração	
simples s/ pó	EM 3	1,8	03	10920	10920	10550	22,4	19,7	17,7	19,9	23,1	29,0	18,2	23,4	3,5	66,3	199,0	Arranc. 100% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,8	03	10935	10935	10930	21,0	19,0	19,3	19,8	21,7	19,8	19,4	20,3	0,5	0,9	2,7	Arranc. 20% penetração	
simples s/ pó	EM 3	1,8	05	10270	10270	9000	16,0	15,4	16,7	16,0	35,0	35,0	35,0	35,0	19,0	227,7	683,0	Destruição Total em poucos ciclos	
simples s/ pó	EM 4	1,8	05	10530	10530	9410	12,0	12,0	13,0	12,3	33,0	33,0	33,0	33,0	20,7	200,8	602,3	Destruição Total	

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

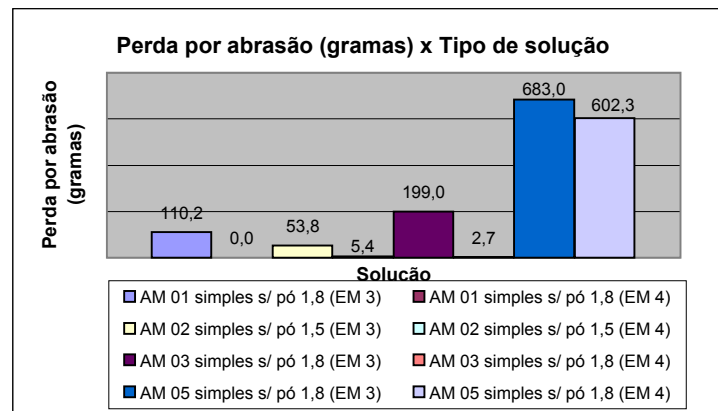
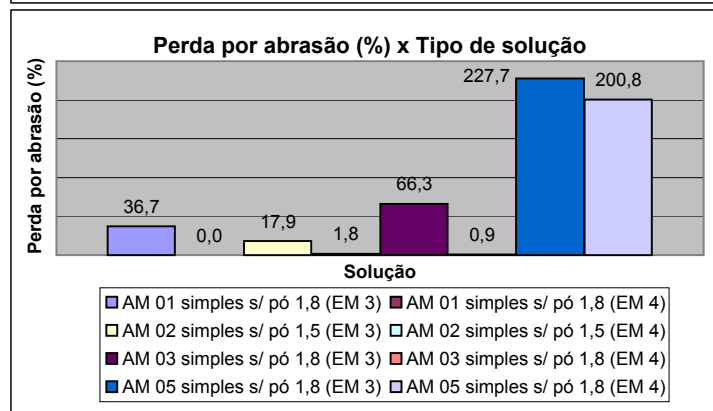


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

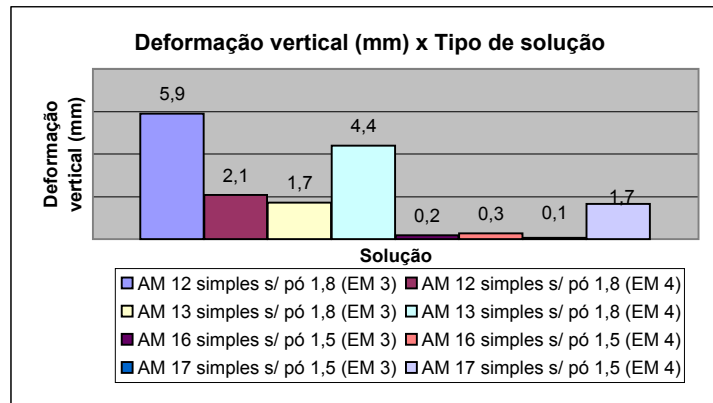
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão			Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas		
simples s/ pó	EM 3	1,8	12	10685	10685	10340	17,5	17,5	19,3	18,1	24,6	27,8	19,6	24,0	5,9	61,8	185,5	Arranc. 50% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,8	12	10905	10905	10850	17,7	17,3	18,6	17,9	21,4	19,5	18,9	19,9	2,1	9,9	29,6	Arranc. 20% penetração	
simples s/ pó	EM 3	1,8	13	10890	10890	10805	20,0	17,6	19,0	18,9	23,1	20,6	18,0	20,6	1,7	15,2	45,7	Arranc. 50% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,8	13	10910	10910	10730	18,6	17,8	18,2	18,2	20,0	25,5	22,3	22,6	4,4	32,3	96,8	Arranc. 70% penetração	
simples s/ pó	EM 3	1,5	16	10810	10810	10780	20,0	17,0	15,6	17,5	19,5	18,0	15,6	17,7	0,2	5,4	16,1	Arranc. 5% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,5	16	10980	10980	10970	20,0	17,0	15,6	17,5	17,5	17,8	18,1	17,8	0,3	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 5% penetração	
simples s/ pó	EM 3	1,5	17	10710	10710	10695	22,4	17,7	18,7	19,6	22,2	19,5	17,3	19,7	0,1	2,7	8,1	Arranc. 10% penetração	
simples s/ pó	EM 4	1,5	17	11000	11000	10980	19,0	17,0	17,0	17,7	19,9	20,4	17,7	19,3	1,7	3,6	10,8	Exudação e Arranc. 25% penetração	

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

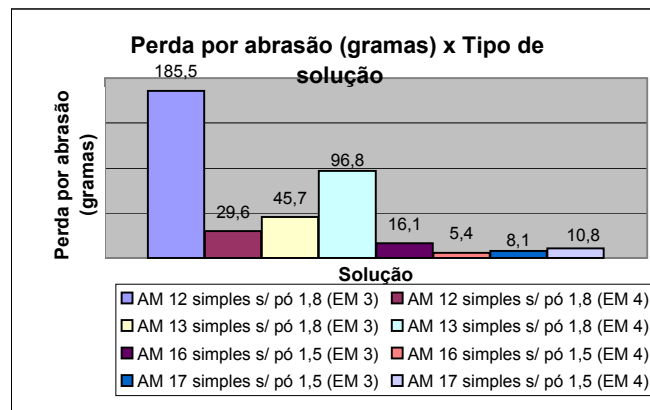
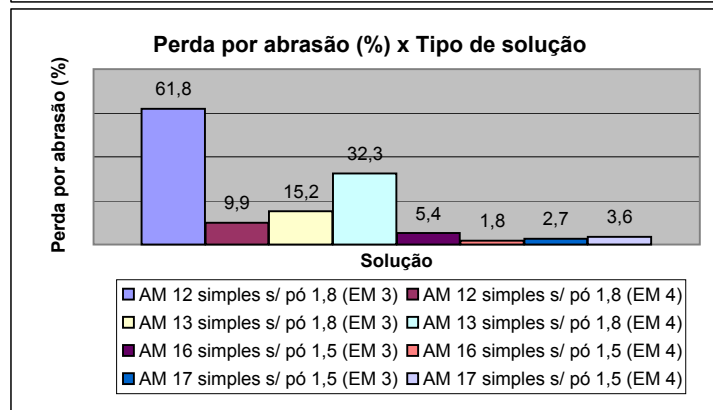


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

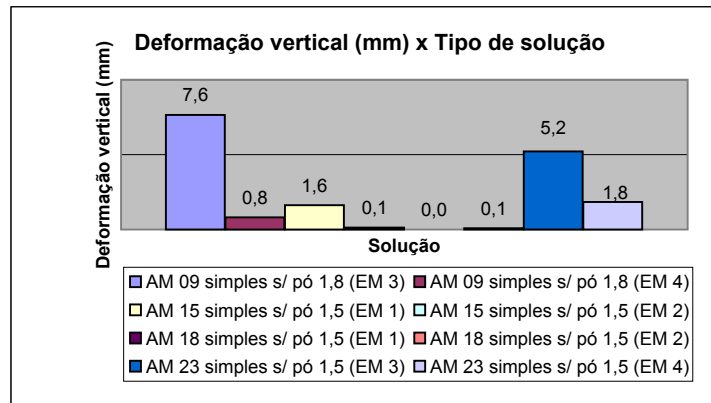
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial				Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais				
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3		hm	Def vert	%	gramas
simples s/ pó	EM 3	1,8	09	10890	10890	10370	20,6	18,0	18,0	18,9	28,5	30,5	20,5	26,5	7,6	93,2	279,6	Arrancamento Total
simples s/ pó	EM 4	1,8	09	10960	10960	10955	20,9	17,0	17,5	18,5	22,5	18,3	17,0	19,3	0,8	0,9	2,7	Exudação e Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 1	1,5	15	11095	11095	11060	19,0	17,1	18,1	18,1	21,1	20,0	18,0	19,7	1,6	6,3	18,8	Exudação e Arranc. 60% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,5	15	10910	10910	10900	18,0	17,0	16,5	17,2	18,1	17,1	16,7	17,3	0,1	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 10% penetração
simples s/ pó	EM 1	1,5	18	10990	10990	10985	39,6	39,2	39,5	39,4	39,6	39,0	39,7	39,4	0,0	0,9	2,7	Exudação e Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 2	1,5	18	10960	10960	10960	38,4	39,3	39,2	39,0	38,8	38,7	39,6	39,0	0,1	0,0	0,0	Exudação e Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	23	10760	10760	10700	19,1	17,4	18,0	18,2	22,0	24,0	24,2	23,4	5,2	10,8	32,3	Arranc. 30% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	23	10790	10790	10760	19,0	18,1	18,4	18,5	22,0	20,0	19,0	20,3	1,8	5,4	16,1	Exudação e Arranc. 20% penetração

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

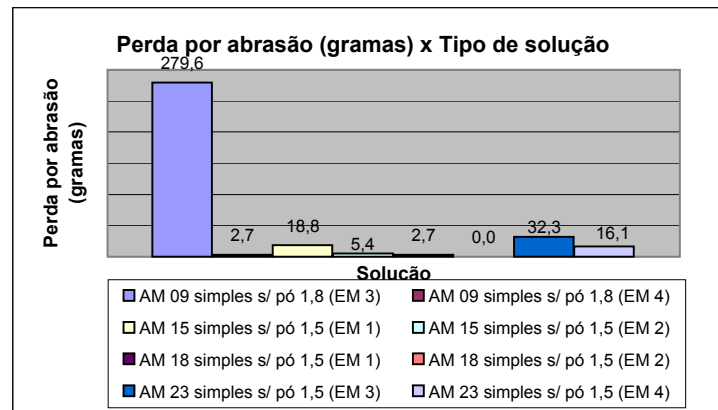
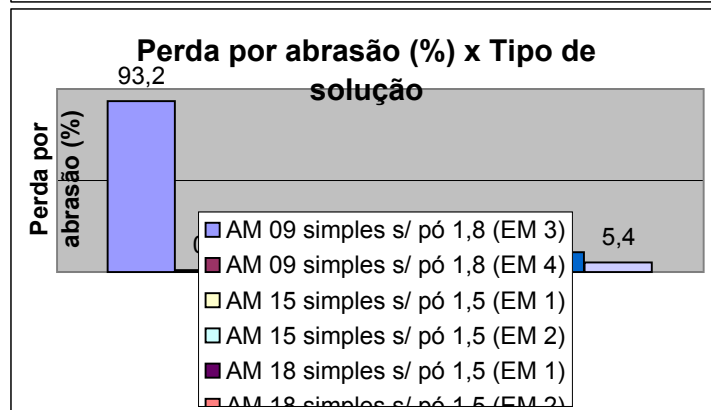


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

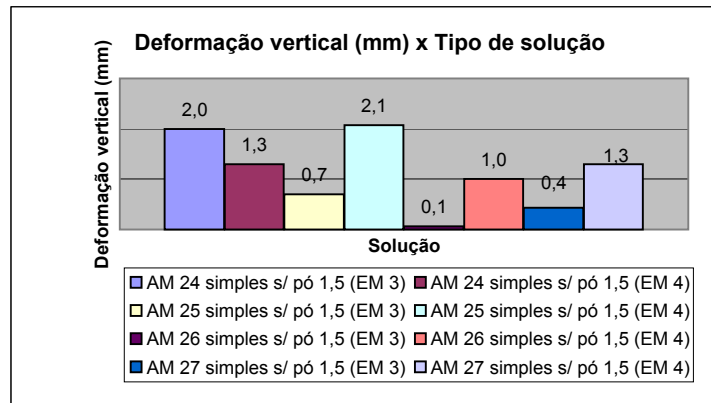
OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



WTAT - perda por abrasão

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial								Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1	h2	h3	hm	Def vert	%	gramas	
simples s/ pó	EM 3	1,5	24	11307	11307	11230	15,0	17,1	18,2	16,8	17,1	18,0	21,2	18,8	2,0	13,8	41,4	Arranc. 25% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	24	10610	10610	10590	22,9	21,8	22,4	22,4	22,5	24,6	23,9	23,7	1,3	3,6	10,8	Exudação e Arranc. 10% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	25	10730	10730	10722	19,0	18,3	18,2	18,5	18,5	20,3	18,8	19,2	0,7	1,4	4,3	Arranc. 15% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	25	11065	11065	11010	16,0	15,6	18,7	16,8	19,2	18,7	18,6	18,8	2,1	9,9	29,6	Exudação e Arranc. 50% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	26	11110	11110	11105	18,3	16,2	17,4	17,3	18,6	16,8	16,7	17,4	0,1	0,9	2,7	Arranc. 10% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	26	10707	10707	10670	22,8	21,3	22,3	22,1	23,6	23,4	22,4	23,1	1,0	6,6	19,9	Exudação e Arranc. 60% penetração
simples s/ pó	EM 3	1,5	27	11140	11140	11140	14,8	16,1	17,3	16,1	18,3	16,3	14,9	16,5	0,4	0,0	0,0	Arranc. 5% penetração
simples s/ pó	EM 4	1,5	27	10480	10480	10470	22,7	23,3	23,2	23,1	24,7	25,2	23,2	24,4	1,3	1,8	5,4	Exudação e Arranc. 50% penetração

Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

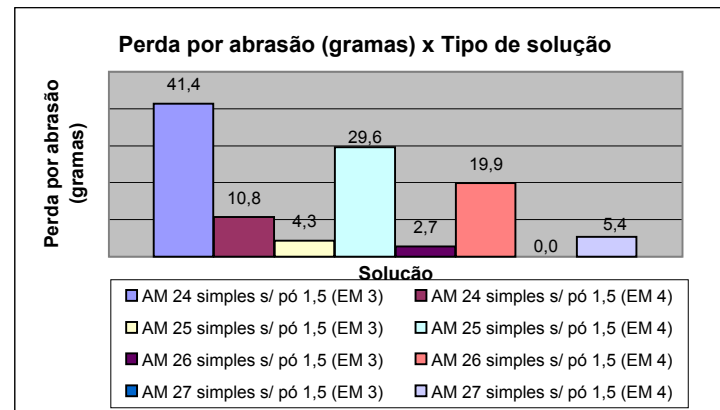
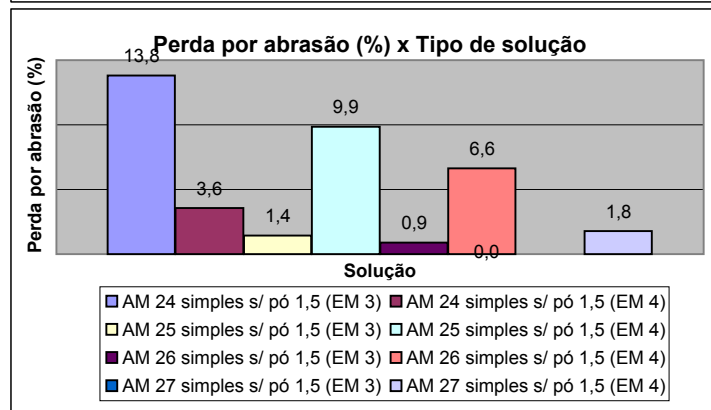


Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.

OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



Anexo VII: Planilhas dos Ensaios de Pêndulo Britânico

RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM PÊNULO BRITÂNICO

REVESTIMENTO: TAP DUPLO com emulsão ANTIPÓ
SOLO: AMOSTRA 03
TAXA DE PÓ: 7 Kg/m²
TAXA DE EMULSÃO: 1,5 L/m²

CORREÇÃO DO ZERO

LEITURAS:	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a
ANTES DO ENSAIO:	23	30	26	30	25	25	23	26	30	30
APÓS O ENSAIO:	30	27	39	40	35	34	41	38	28	30
ENSAIO:	60	75	68	74	72					

CORREÇÃO MÉDIA DAS LEITURAS ZERO: **30,5**
MÉDIA DO ENSAIO: **69,8**
COEFICIENTE DE ATRITO MEDIDO PELO S.R.T.: **39,3**

REVESTIMENTO: TAP DUPLO com emulsão ANTIPÓ
SOLO: AMOSTRA 03
TAXA DE PÓ: 5 Kg/m²
TAXA DE EMULSÃO: 1,5 L/m²

CORREÇÃO DO ZERO

LEITURAS:	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a
ANTES DO ENSAIO:	18	24	25	24	26	24	26	18	25	24
APÓS O ENSAIO:	24	21	23	28	25	28	23	21	25	24
ENSAIO:	44	51	60	63	58					

CORREÇÃO MÉDIA DAS LEITURAS ZERO: **23,8**
MÉDIA DO ENSAIO: **55,2**
COEFICIENTE DE ATRITO MEDIDO PELO S.R.T.: **31,4**

RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM PÊNDULO BRITÂNICO

REVESTIMENTO: TAP DUPLO com emulsão ANTIPÓ
SOLO: AMOSTRA 18
TAXA DE PÓ: 7 Kg/m²
TAXA DE EMULSÃO: 1,5 L/m²

CORREÇÃO DO ZERO

LEITURAS:	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a
ANTES DO ENSAIO:	28	29	30	30	26	30	30	29	26	28
APÓS O ENSAIO:	30	29	30	29	30	30	30	29	29	30
ENSAIO:	79	81	78	80	77					

CORREÇÃO MÉDIA DAS LEITURAS ZERO: **29,1**
MÉDIA DO ENSAIO: **79**
COEFICIENTE DE ATRITO MEDIDO PELO S.R.T.: **49,9**

REVESTIMENTO: TAP DUPLO com emulsão ANTIPÓ
SOLO: AMOSTRA 18
TAXA DE PÓ: 5 Kg/m²
TAXA DE EMULSÃO: 1,5 L/m²

CORREÇÃO DO ZERO

LEITURAS:	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a
ANTES DO ENSAIO:	32	30	15	39	35	35	17	39	32	32
APÓS O ENSAIO:	34	31	35	35	35	31	36	36	33	35
ENSAIO:	70	68	80	67	74					

CORREÇÃO MÉDIA DAS LEITURAS ZERO: **32,4**
MÉDIA DO ENSAIO: **71,8**
COEFICIENTE DE ATRITO MEDIDO PELO S.R.T.: **39,5**

Anexo VIII: Planilhas dos Ensaios Realizados no Trecho experimental

WTAT - perda por abrasão

Amostra: **JAZIDA**
 Diâmet.: 0,3 Área: 0,071

Deformação após WTAT

Tipo de Solução	Taxa pó	Qtde pó	Massa1	Massa2	Massa3	Leitura inicial				Leitura final				Perda por Abrasão		Observações visuais		
						h1	h2	h3	hmédio	h1	h2	h3	hmédio	mm	%		gramas	
TAP simples 1,8 + pó	7	494,8	10800,0	10750,0	10670,0	18,2	20,4	19,9	19,5	21,2	21,3	21,8	21,4	1,9	10,1	30,1	80,0	Arrancamento de 20% do pó
TAP simples 1,8 + 1,0 + pó	7	494,8	11110,0	11090,0	11020,0	18,8	18,4	17,2	18,1	20,6	18,8	18,5	19,3	1,2	4,0	26,3	70,0	Arrancamento de 5% do pó

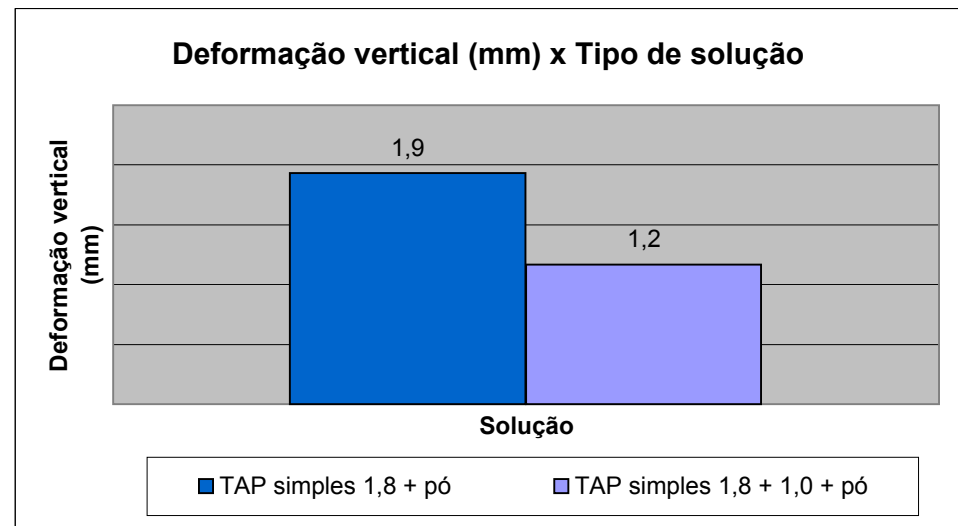
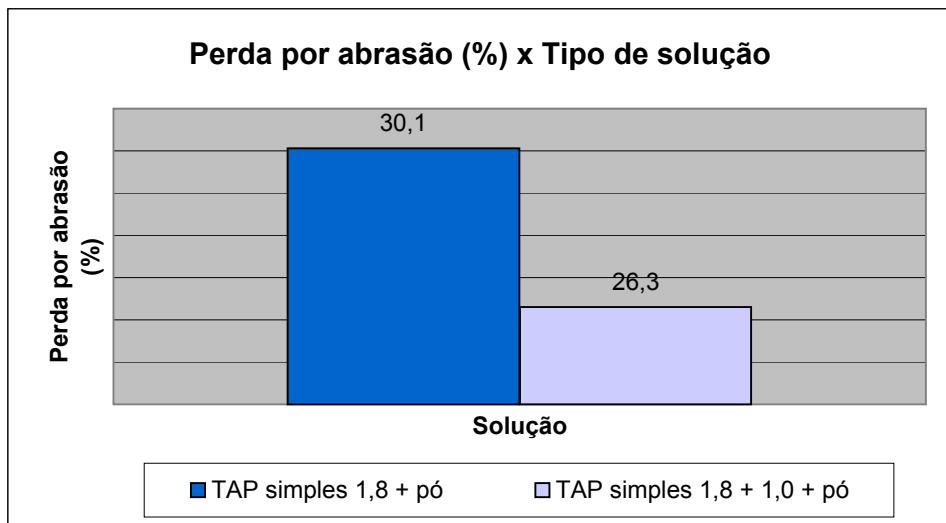
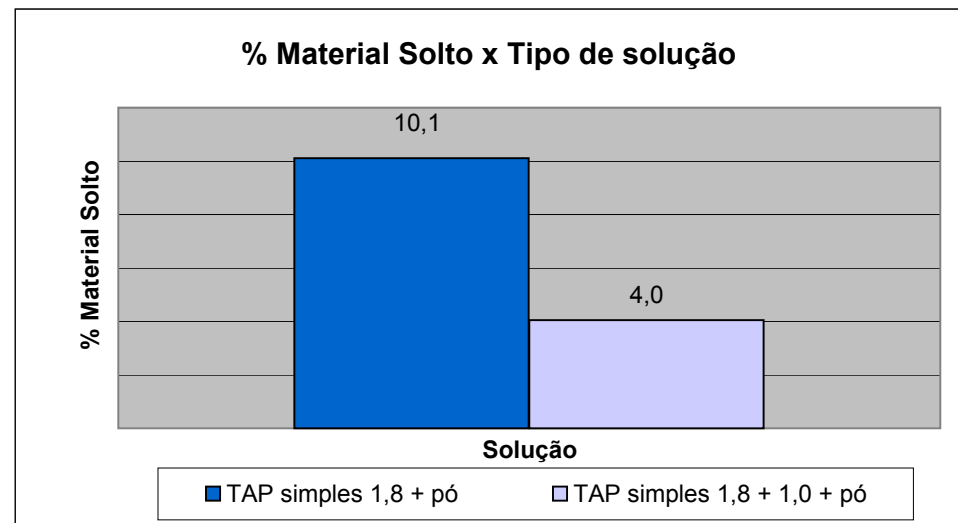
Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas, aplicação de: 2ª taxa de emulsão e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), realização do ensaio após 72 horas (tempo necessário para ruptura completa e parte da cura da emulsão)

TAP duplo: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas e aplicação do p (compactado com 30 golpes Marshall), espera de 72 horas para cura, aplicação da 2ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), realização do ensaio após 72 horas (tempo necessário para ruptura completa e parte da cura da emulsão)

Obs.: Foi utilizado na 1ª taxa emulsão anti-pó e na 2ª taxa emulsão RM-1C



WTAT - perda por abrasão

Amostra:

PISTA do trecho experimental

Diâmet.:

0,3 Área: 0,071

Deformação após WTAT

Tipo de Solução	Taxa pó	Qtde pó	Massa1	Massa2	Massa3	Leitura inicial				Leitura final				mm		Perda por Abrasão		Observações visuais
						h1	h2	h3	hmédio	h1	h2	h3	hmédio	Def vert	% mat solto	%	gramas	
TAP simples 1,8 + 1,0 + pó	7	494,8	10460,0	10400,0	10335,0	23,1	23,2	21,0	22,4	23,4	23,8	23,2	23,5	1,0	12,1	24,4	65,0	Arrancamento de 15% do pó

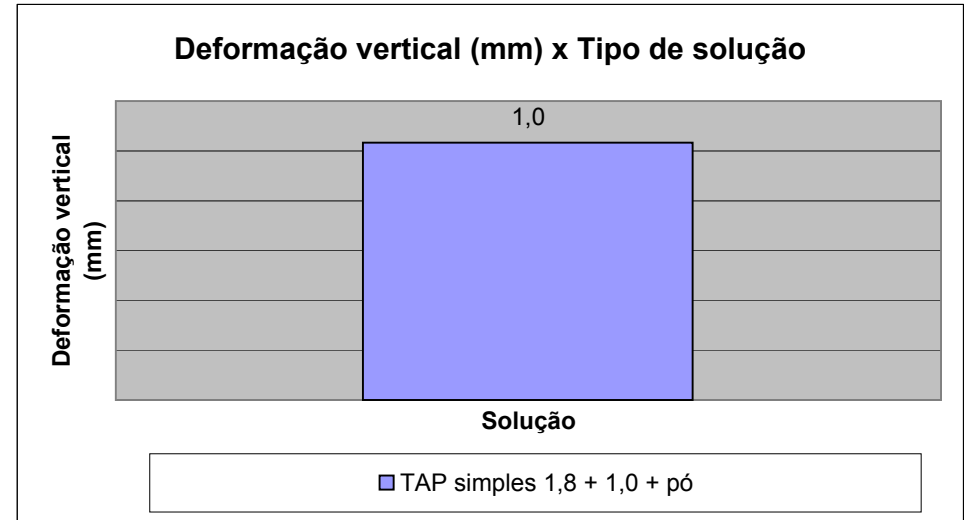
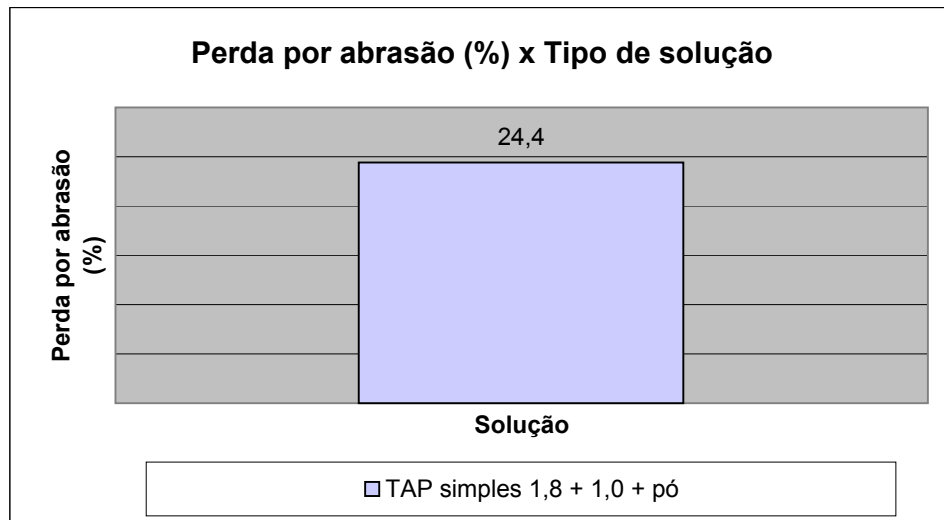
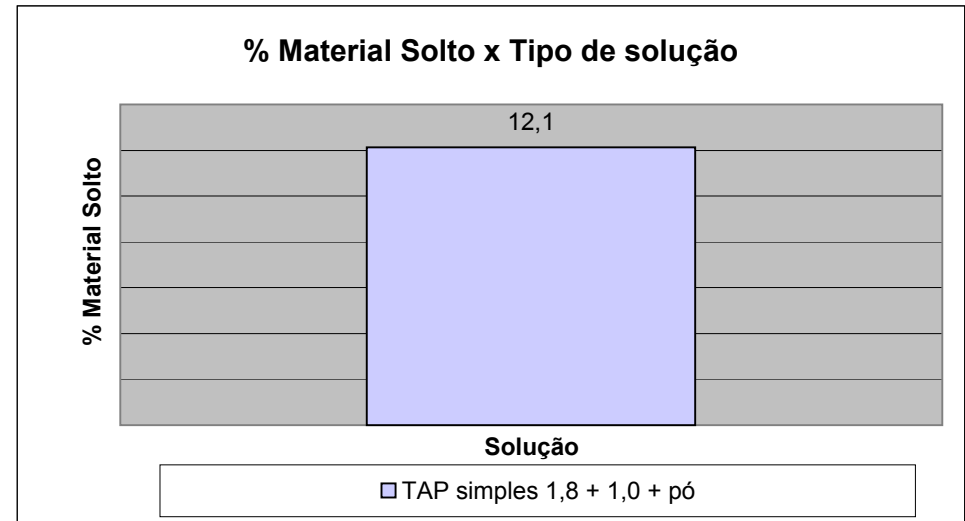
Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

TAP simples: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas, aplicação da 2ª taxa de emulsão e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), realização do ensaio após 72 horas (tempo necessário para ruptura completa e parte da cura da emulsão)

TAP duplo: compactação, aplicação da 1ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), espera de 72 horas para cura, aplicação da 2ª taxa de emulsão, espera de até 12 horas e aplicação do pó (compactado com 30 golpes Marshall), realização do ensaio após 72 horas (tempo necessário para ruptura completa e parte da cura da emulsão)

Obs.: Foi utilizado na 1ª taxa emulsão anti-pó e na 2ª taxa emulsão RM-1C

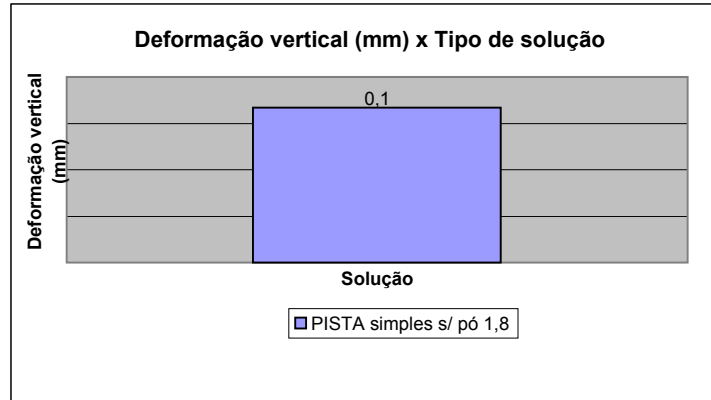


WTAT - perda por abrasão

Amostra: **Pista do trecho experimental**

Tipo de TAP	Emulsão	Taxa emulsão	Amostra:	Leitura inicial				Leitura final				mm	Perda por Abrasão			Observações visuais		
				Massa1	Massa2	Massa3	h1	h2	h3	hm	h1		h2	h3	hm		Def vert	%
simples s/ pó	anti-pó	1,8	PISTA	9700	9700	9670	26,7	26,2	28,4	27,1	26,3	27,8	27,4	27,2	0,1	5,4	16,1	Arranc. 20% penetração

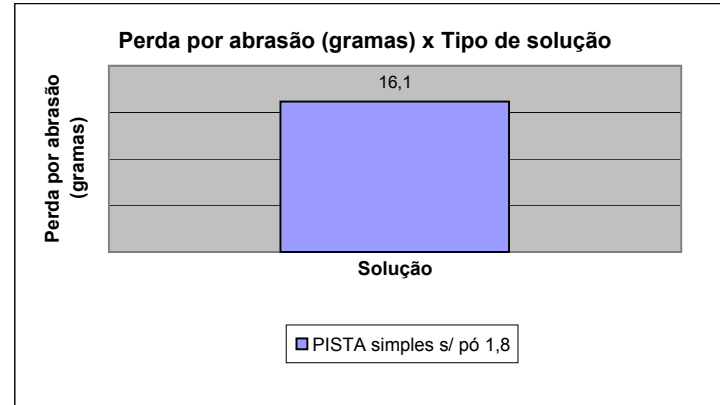
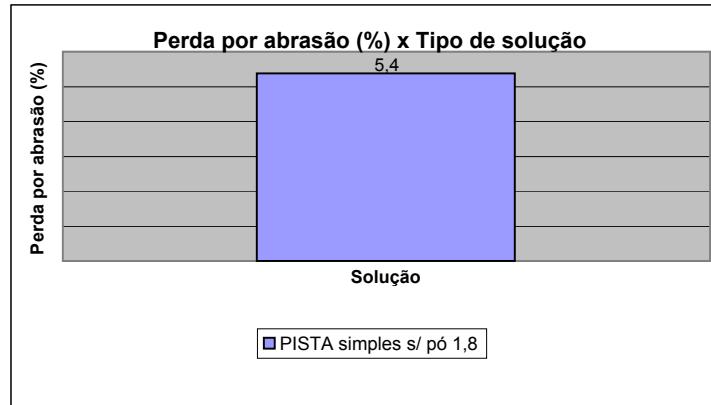
Diâmet.: 0,3 Área: 0,071



Massa 1: Peso do conjunto bandeja + solo + pó antes de começar o ensaio
 Massa 2: Peso do conjunto depois de pincelado a bandeja, antes de começar o ensaio
 Massa 3: Peso do conjunto depois do WTAT

Modo de execução:

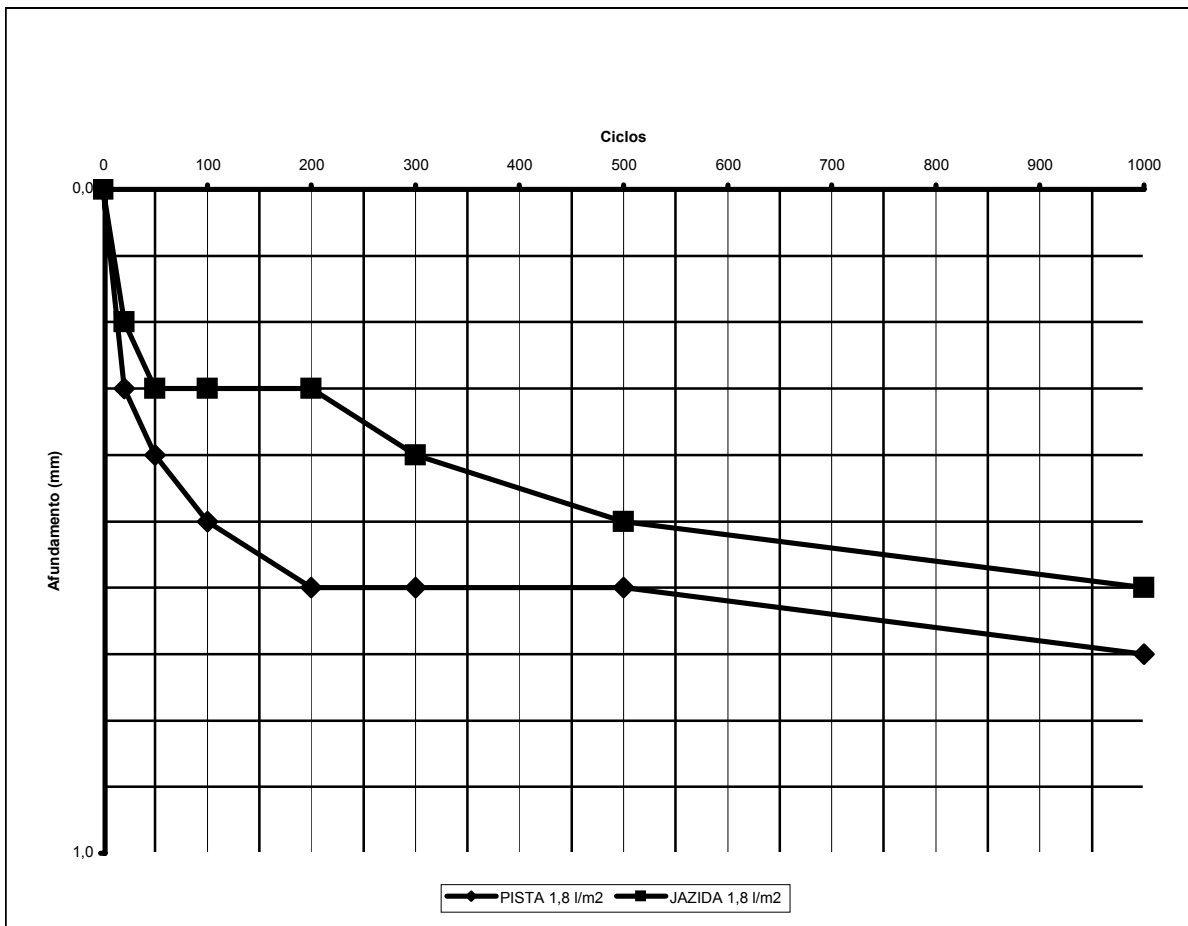
TAP simples: compactação, aplicação da taxa de emulsão, colocação da bandeja em estufa por 48 horas a uma temperatura de 40 °C, realização do ensaio após 6 horas de resfriamento em temperatura ambiente de laboratório.
 OBS.: Utilização de borracha padrão do ensaio.



LWT - Determinação do excesso de asfalto

Altura da camada de solo: 4cm

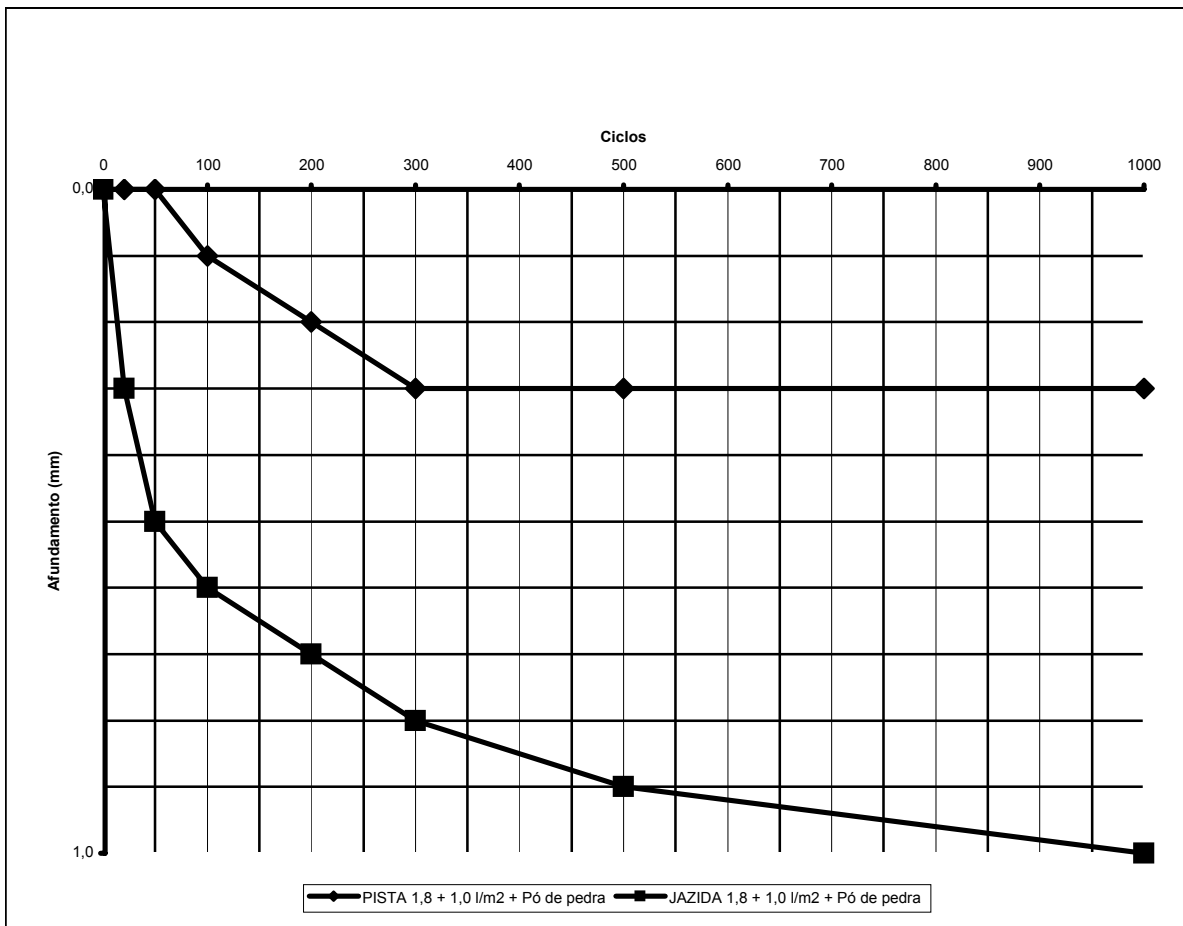
Ciclos	PISTA 1,8 l/m ²			JAZIDA 1,8 l/m ²		
	Altura	Afundam	Obs.	Altura	Afundam	Obs.
0	8,6	0,0		9,3	0,0	Pequena
20	8,9	0,3		9,5	0,2	exudação
50	9,0	0,4		9,6	0,3	
100	9,1	0,5		9,6	0,3	
200	9,2	0,6		9,6	0,3	
300	9,2	0,6		9,7	0,4	
500	9,2	0,6		9,8	0,5	
1000	9,3	0,7	Ok!!	9,9	0,6	Ok!!



LWT - Determinação do excesso de asfalto

Altura da camada de solo: 4cm

Ciclos	PISTA 1,8 + 1,0 l/m ² + Pó de pedra			JAZIDA 1,8 + 1,0 l/m ² + Pó de pedra		
	Altura	Afundam	Obs.	Altura	Afundam	Obs.
0	4,7	0,0		5,5	0,0	
20	4,7	0,0		5,8	0,3	
50	4,7	0,0		6,0	0,5	
100	4,8	0,1		6,1	0,6	
200	4,9	0,2		6,2	0,7	
300	5,0	0,3		6,3	0,8	
500	5,0	0,3		6,4	0,9	
1000	5,0	0,3	Ok!!	6,5	1,0	Ok!!



ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão ANTIPO

INTERESSADO:	Petrobras	DATA:	03/12/2003	pista/jazida.xls
--------------	-----------	-------	------------	------------------

Mini C.P.

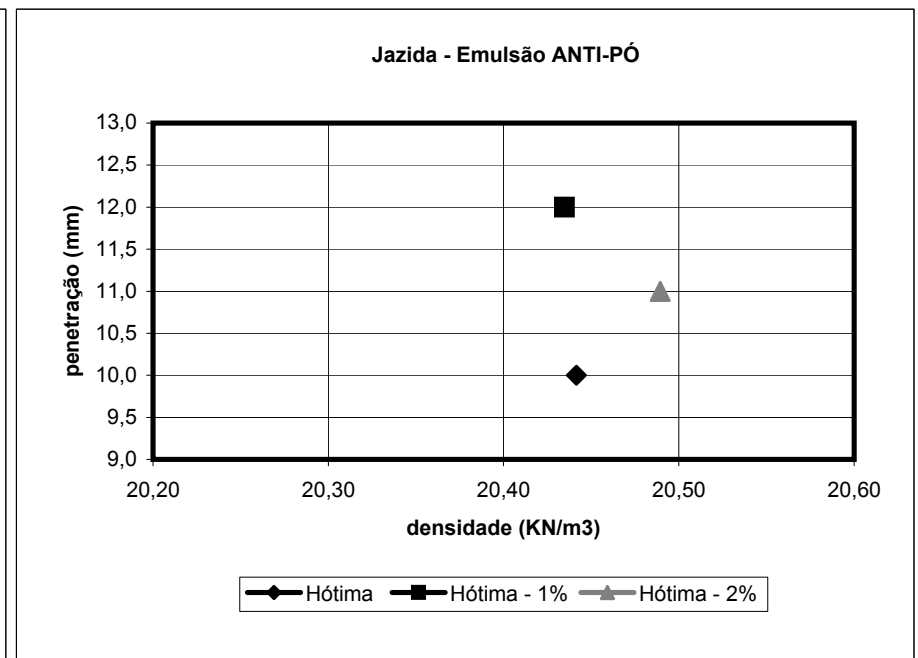
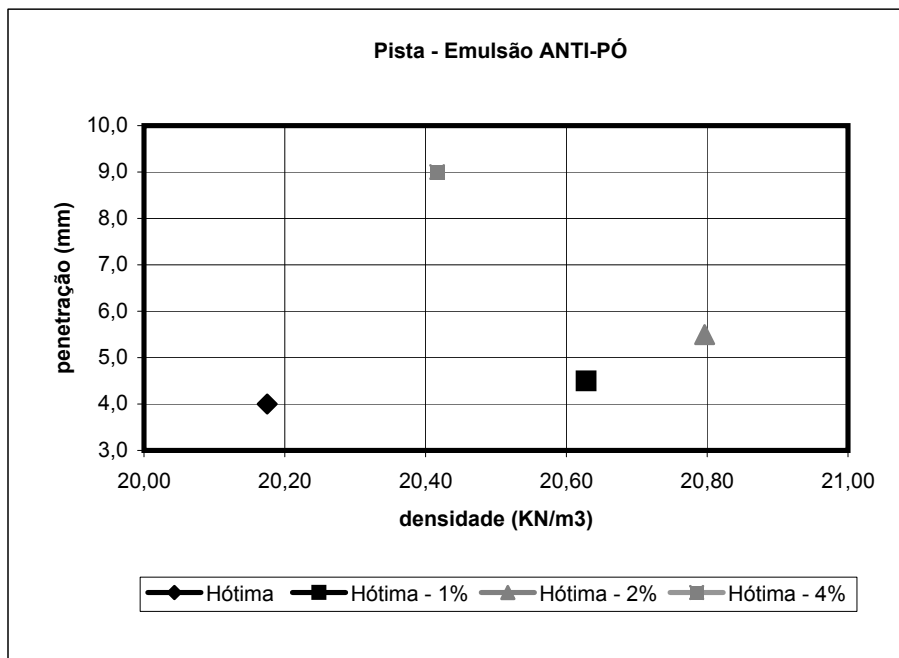
Ac - Altura cilindro padrão (mm)	50
Diâmetro do C.P. (mm)	50
Área do C. P. (mm ²)	1963,495
Energia	Intermediária 6 golpes / lado
Volume do rebaixo (mm ³)	4680,973
Volume do anel (mm ³)	588,67

Umidade	SOLO: PISTA				SOLO: JAZIDA									
	H _{ótima}		H _{ótima} - 1%		H _{ótima} - 2%		H _{ótima} - 4%		H _{ótima}		H _{ótima} - 1%		H _{ótima} - 2%	
Taxa de emulsão (l/m ²)	1,8		1,8		1,8		1,8		1,8		1,8		1,8	
Nº da Cápsula	22	58	3	19	41	17	11	89	81	10	84	31	91	12
Peso cápsula+solo úmido (g)	75,20	77,80	71,70	76,40	88,00	57,60	76,20	65,80	62,50	86,90	79,60	68,00	65,90	80,00
Peso cápsula+solo seco (g)	69,90	71,80	66,80	71,30	82,40	54,40	73,00	62,50	58,80	81,40	75,60	64,30	63,20	75,80
Peso cápsula (g)	19,00	17,00	17,20	16,80	16,70	17,40	18,10	17,90	17,90	17,20	18,20	17,20	19,30	17,70
Peso água (g)	5,30	6,00	4,90	5,10	5,60	3,20	3,20	3,30	3,70	5,50	4,00	3,70	2,70	4,20
Peso solo seco (g)	50,90	54,80	49,60	54,50	65,70	37,00	54,90	44,60	40,90	64,20	57,40	47,10	43,90	58,10
Umidade (%)	10,7		9,6		8,6		6,6		8,8		7,4		6,7	

Mini C.P.

La - Leitura de aferição (mm)	33,23	33,23	33,23	33,23	33,24	33,24	33,24
Lf - Leitura final (mm)	34,93	35,50	35,44	33,75	34,76	34,15	33,96
Densidade do C. P.	20,17	20,63	20,80	20,42	20,44	20,43	20,49
Exudação ou espelh > 50% área	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
Penetração (mm)	4,0	4,5	5,5	9,0	10,0	12,0	11,0

ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO DOS SOLOS - Emulsão ANTI-PÓ



Anexo IX: *Curriculum Vitae* do autor da pesquisa

A - DADOS PESSOAIS

NOME: Francisco da Silva Duque Neto

IDADE: 25 anos

ESTADO CIVIL: Solteiro

ENDEREÇO: Rua Sevelfort, nº 90, Bairro – Juiz de Fora - MG

CEP: 36050-020

CONTATO: Fone (21) 9388-1029

(32) 9934-5602

(32) 3233-2301

e-mail: frasilva@br-petrobras.com.br

chicocad@coc.ufrj.br

CREA: 81454/D

CARTEIRA DE MOTORISTA: 026020370

CATEGORIA - B

B - ESCOLARIDADE

2º GRAU: Colégio Técnico Universitário – Técnico em Mecânica – CTU – UFJF.

3º GRAU: Engenheiro Civil – Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF.

PÓS-GRADUAÇÃO: Mestrado em geotecnia/pavimentação na UFRJ/COPPE.

C - ATIVIDADE PROFISSIONAL - ESTÁGIOS

- Tese de mestrado: “Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de antipó com emulsão de xisto”.
- Desenvolvimento da tese no laboratório de geotecnia da COPPE/UFRJ, referente aos ensaios de módulo de resiliência (triaxial dinâmico), ensaios de desgaste (Loaded Wheel Test e Wet Track Abrasion Test), ensaios de imprimação e caracterização de solos, janeiro/dezembro de 2003.
- Estágio no CENPES/PETROBRAS – LPE - Laboratório de Lubrificantes e Produtos Especiais, 26/05 – 26/09/2003.
- Aprendizado da metodologia MCT no laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica – USP, no período de 14 – 18 de julho de 2003;
- Estágio na Companhia Paraibuna de Metais. (Acompanhamento da obra de perfuração de poços para monitoramento da qualidade da água do lençol freático)
- Estágio no Condomínio Edifício Milênio Center – Juiz de Fora. (obra vertical executada com laje nervurada e escoramento metálico)
- Estágio na Usina Termelétrica Cataguases-Leopoldina S.A. – Juiz de Fora. (Acompanhamento de terraplenagem e cravação de estacas do tipo Franki)
- Monitor do Departamento de Física – UFJF no 2º semestre/98. (Disciplina de Física II - (FIS 074) Método Keller)

D - CURSOS DE APERFEIÇOAMENTO - FORMAÇÃO

- CURSO DE INGLÊS (nível intermediário, no curso BRASAS)
- CURSO DE ALEMÃO (nível básico, no curso CLAC/UFRJ)
- Domínio de AutoCad 2000, FORTRAN e MAPLE.

- CURSO DE CONTROLE E RECEBIMENTO DE CONCRETO (ministrado pelo professor Antônio Eduardo Polisseni, com duração de 15 hs);
- CURSO DE GEOPROCESSAMENTO (ministrado pelo professor César Henrique Barra Rocha, com duração de 45 hs);
- CURSO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (promovido pelo PROCEL, ELETROBRÁS, CRITT e Faculdade de Engenharia, com duração de 40 hs); e MINI-CURSO em Energia Inteligente em Prédios Públicos e iluminação Eficiente (promovido pelo PROCEL e CEMIG, com duração de 6 hs);

E - CONGRESSOS, SEMINÁRIOS E PALESTRAS

- XVII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, 10 – 14 de novembro de 2003;
- 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, 25 – 28 de agosto de 2003;
- Conferência Internacional 2003 – Aeroportos: Planejamento, Infra-Estrutura e Meio Ambiente, 08 – 11 de junho;
- 16º Encontro de Asfalto, IBP, 03 – 05 de dezembro de 2002;
- 5º Seminário de Técnicas de Pavimentação com emulsões asfálticas, ministrado pela ABEDA, no dia 09 de julho de 2002;
- 3º ENCONTRO DE CÍRCULO DE CONTROLE DE QUALIDADE, promovido pela UBQ, realizado no dia 27 de setembro de 2001;
- SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE URBANO, realizado nos dias 21 – 22 de junho de 2001;
- Palestra SOLUÇÕES AMBIENTAIS NA ENGENHARIA GEOTÉCNICA E HIDRÁULICA, ministrada pela MACCAFERRI DO BRASIL LTDA, no dia 22 de março de 2001;
- IV CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, realizado no dia 25 de agosto de 2000;
- 2º ENCONTRO DE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, promovido pela UBQ, realizado nos dias 29 – 30 de junho de 2000;
- 5º SEMINÁRIO SOBRE ELEMENTOS FINITOS E MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA, realizado nos dias 3 – 4 de dezembro de 1998;

F - PUBLICAÇÕES

- PRÊMIO SOCIEDADE MINEIRA DE ENGENHEIROS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, EDIÇÃO 2001, pelo trabalho EXECUÇÃO E ACOMPANHAMENTO, ATRAVÉS DE ENSAIO DE CARGA DINÂMICO, DAS ESTACAS DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO DO TIPO FRANKI, realizado em setembro de 2001.
- PRÊMIO SOCIEDADE MINEIRA DE ENGENHEIROS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, EDIÇÃO 2000, pelo trabalho PROJETO, EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DE PAVIMENTO RÍGIDO EM TRÊS RIOS – RJ, realizado em dezembro de 2000.

Rio de Janeiro, 23 de março de 2004.

FRANCISCO DA SILVA DUQUE NETO

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)