

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA**

**ESTUDO SOBRE SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS DA  
PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RS PARA EMPREGO EM  
PAVIMENTAÇÃO ECONÔMICA**

DÉBORA FELTEN

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Cezar Augusto Burkert Bastos

Rio Grande, outubro de 2005.

A meus pais, em especial a meu marido **Ciro**  
e a meu filho **Bruno** que está preste a nascer.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Cezar Bastos pela compreensão e paciência que teve comigo nos momentos de dificuldades que passei durante a elaboração da minha dissertação, e por ter acreditado e confiado sempre no meu trabalho quando alguns já não acreditavam mais, por nunca ter desistido de me incentivar e por ter sempre me apoiado rendo-lhe os meus sinceros agradecimentos.

Ao coordenador do curso da Pós-Graduação de Engenharia Oceânica, Cláudio Dias por ter acreditado e confiado em mim.

As minhas amigas Agnese, Cleuza, Nilza e Rosane pelo carinho e disposição em me ajudar a qualquer hora.

Aos bolsistas de iniciação científica Márcio Antônio Sapper de Souza, Vagner Jian Mota da Silva, Everton Bittencourt das Neves, Silvana Vasconcelos, Michele Freitas e também ao técnico Celço Mendonça pelo apoio na realização dos ensaios.

Também gostaria de agradecer ao professor Juan Antonio Flores (IG/UFRGS) pelo auxílio na interpretação dos difratogramas de raios X, os professores Glauco Fabbri (EESC/USP) e Marcos Musso pelas dicas a respeito do uso do ensaio de adsorção de azul de metileno, e o professor André Guimarães por disponibilizar o laboratório de química dos materiais do DMC para realização dos ensaios de azul de metileno.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

Por fim agradeço a meu pai Alcindo a minha mãe Edeli e a meu marido Ciro por nunca me deixarem desistir não importando o tamanho do obstáculo, a minha irmã Patrícia pelo carinho e a todos os meus familiares.

## ABSTRACT

In the Southern Coastal Plain of the RS, the large distances of rock's transport materials have been making unfeasible the economic paving of roads characterized by the low volume of traffic. Aiming the cost's reduction, alternatives are looked to substitute the noble materials by local soils in the project and execute of the pavement's structures. In this dissertation are presented results about the investigation of physical, mineralogical and technological properties of fine sandy soils in a geotechnical grouping denominated "lateritic sands" (Bastos, 2002). These soils which constitute the horizon's subsuperficial profiles of Argissolo Vermelho-Amarelo developed on the Coastal Barrier BII (Pleistocene), with physical and morphologic characteristics similar to the lateritic fine sandy soils (SAFL) found in the southeast of Brazil, they were submitted to the criterion of choice based on MCT Methodology (Villibor and Nogami, 1982). Any researched soils assists in totally the proposal criterion. The ARMAR soil, although presents expansion above the limit of the specification, is the one that presents better acting in support's capacity, and is the one of the soils that less stands back of the suitable superior limit as the capillary sorption. This fact, ally to the same belong to a commercial's place, motivated their utilization in the measurements by the PMSP (PMSP, 1992) method, of the hypothetical pavement structure with base in SAFL accomplished in this work. The results show that no soil of this nature can be used indiscriminately like SAFL, without a discerning technological control for MCT Methodology tests is accomplished and that all the recommended executive procedures, in matter that they guarantee that the base doesn't suffer "softening" for saturation effect, be assisted. In spite of, the employment of lateritic fine sandy soils constitutes an alternative technically viable for low cost paving in the Southern Coastal Plain of RS.

Keywords: soils coastal, paving economic, plain coastal, soils sandy fine, Methodology MCT.

## RESUMO

Na Planície Costeira do Sul do RS, as elevadas distâncias de transporte de materiais pétreos têm inviabilizado economicamente a pavimentação de vias caracterizadas pelo baixo volume de tráfego. Visando a redução destes custos, buscam-se alternativas para substituição dos materiais ditos nobres por solos locais no projeto e execução das estruturas de pavimentos. Nesta dissertação são apresentados resultados da investigação de propriedades físicas, mineralógicas e tecnológicas de solos arenosos finos de um agrupamento geotécnico denominado “areias lateríticas” por Bastos (2002). Estes solos, que constituem o horizonte subsuperficial de perfis de Argissolo Vermelho-Amarelo desenvolvido sobre a Barreira Litorânea BII pleistocênica, com características físicas e morfológicas similares aos solos arenosos finos lateríticos (SAFL) encontrados na região sudeste, foram submetidos ao critério de escolha de solos para bases pela Metodologia MCT (Villibor e Nogami, 1982). Nenhum dos solos pesquisados atende na totalidade o critério proposto. O solo ARMAR, embora apresente expansão acima do limite da especificação, é aquele que apresenta melhor desempenho quanto a capacidade de suporte, e é um dos solos que menos se afasta do limite superior indicado quanto a infiltrabilidade. Este fato, aliado ao mesmo pertencer a uma jazida comercial, motivou a utilização do mesmo no dimensionamento pelo Método da PMSP (PMSP, 1992) de uma hipotética estrutura de pavimento com base em SAFL realizado neste trabalho. Os resultados mostram que nenhum solo desta natureza pode ser indiscriminadamente utilizado como SAFL, sem que um criterioso controle tecnológico pelos ensaios da Metodologia MCT seja realizado e que todos os procedimentos executivos recomendados, em particular que garantam que a base não sofra “amolecimento” por efeito de saturação, sejam atendidos. Não obstante, o emprego de solos arenosos finos de comportamento laterítico constitui uma alternativa tecnicamente viável para pavimentação de baixo custo na Planície Costeira Sul.

Palavras-Chave: solos costeiros, pavimentação econômica, planície costeira, solos arenosos finos, Metodologia MCT.

# SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	16
LISTA DE ABREVIATURAS.....	19
LISTA DE TABELAS.....	21
LISTA DE FIGURAS.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS E SUA APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO.....	30
2.1. SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS.....	30
2.2. OCORRÊNCIA E HISTÓRICO DE USO DE SAFL EM PAVIMENTAÇÃO.....	30
2.3. METODOLOGIA MCT NO ESTUDO DOS SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS.....	31
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS COM O USO DA METODOLOGIA MCT.....	34
2.5. ESPECIFICAÇÕES PARA USO DE SAFL EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS COM BASE NA METODOLOGIA MCT.....	37
2.6. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E HIDRÁULICAS DAS BASES DE SAFL...	38
2.7. PECULIARIDADES SOBRE O COMPORTAMENTO DE PAVIMENTOS COM BASES SAFL.....	39
2.8. TÉCNICA CONSTRUTIVA E DE CONTROLE DE BASES DE SAFL.....	40
2.9. PRINCIPAIS DEFEITOS ASSOCIADOS A FALHAS OU INADEQUAÇÃO DO PROJETO E/OU TÉCNICA CONSTRUTIVA.....	49
2.10. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO COM SAFL.....	55
3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E PEDOLÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS	56
3.1. DEFINIÇÃO DA OCORRÊNCIA DOS SOLOS ESTUDADOS.....	56

3.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS.....	58
3.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS.....	60
4. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS JAZIDAS DE SOLOS ESTUDADOS.....	67
4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS JAZIDAS .....	67
4.2. DESCRIÇÃO DAS JAZIDAS.....	69
5. MÉTODOS DE ENSAIO EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS	76
5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS.....	76
5.1.1. Caracterização Geotécnica Convencional.....	76
5.1.2. Caracterização Mineralógica, Química e da Atividade da Fração Argilosa dos Solos.....	77
5.1.3. Caracterização MCT dos Solos.....	82
5.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS.....	84
5.3. ENSAIOS PARA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE PAVIMENTO SEGUNDO O MÉTODO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP).....	91
6. RESULTADOS OBTIDOS NA AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS.....	92
6.1. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	92
6.1.1. Caracterização Geotécnica.....	92
6.1.2. Caracterização Mineralógica, Química e da Atividade Coloidal da Fração Fina.....	95
6.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS.....	104
6.2.1. Resultados dos Ensaio de Compactação Mini-Proctor.....	105
6.2.2. Capacidade de Suporte e Expansão.....	106
6.2.3. Contração por Secagem.....	113

6.2.4. Infiltrabilidade.....	114
6.2.5. Análise Geral frente ao Critério de Seleção de SAFL.....	116
7. PROPOSTA E DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE PAVIMENTO..	118
7.1. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DA PMSP.....	118
7.1.1. Categorias de Tráfego.....	118
7.1.2. Capacidade de Suporte do Subleito.....	119
7.1.3. Espessura Total do Pavimento ( $H_{SL}$ ).....	120
7.1.4. Espessura da Camada de Rolamento (R).....	120
7.1.5. Espessura das Demais Camadas.....	121
7.1.6. Espessura Mínima e Materiais Recomendados para as Diversas Camadas do Pavimento.....	123
7.2. DIMENSIONAMENTO COM BASE NO MÉTODO DA PMSP DE UMA HIPOTÉTICA ESTRUTURA DE PAVIMENTO ECONÔMICO COM EMPREGO DO SOLO ARMAR.....	123
7.3. Considerações finais sobre a aplicação realizada.....	127
8. CONCLUSÕES.....	129
ANEXO A. PROCEDIMENTO REALIZADO PARA SE OBTER A CLASSIFICAÇÃO DO SOLO ARMAR.....	131
A.1. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-MCV (DNER-ME 258/94).....	131
A.2. ENSAIO DA PERDA DE MASSA POR IMERSÃO (DNER-ME 256/94).....	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141



## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Horizonte superficial de solo
A	Área da seção da amostra no ensaio de infiltrabilidade
Acb	Índice de Adsorção do Azul de Metileno
An - A4n	Diferença entre alturas do corpo de prova para n e 4n golpes no ensaio mini-MCV
B	Espessura da base
B	Horizonte subsuperficial de solo
B/A	Horizonte de transição entre os horizontes A e B
Bi	Número de golpes correspondente ao cruzamento de cada curva de deformabilidade com o valor de diferença de altura $(A_n - A_{4n}) = 2$ mm no ensaio mini-MCV
BII	Barreira Litorânea II
Bt	Horizonte B textural
C	Horizonte de solo
c'	Coefficiente classificatório da Metodologia MCT (coeficiente de deformabilidade)
C1 e C2	Valores de carga correspondentes às penetrações de 2 e 2,5 mm no ensaio mini-CBR
Ca	Cálcio
CA	Coefficiente de Atividade
CBR <sub>B</sub>	Índice de Suporte Califórnia da base
CBR <sub>REF</sub>	Índice de Suporte Califórnia do reforço do subleito
CBR <sub>SB</sub>	Índice de Suporte Califórnia da sub-base
CBR <sub>SL</sub>	Índice de Suporte Califórnia do subleito
CM-30 e CM-70	Asfaltos diluídos com querosene
d'	Coefficiente classificatório da Metodologia MCT
D1 e D2	Valores de carga para penetrações específicas (0,84 e 1,7 mm) no ensaio mini-CBR

E	Horizonte eluvial de solo
E	Expansão
$e'$	Coefficiente classificatório da Metodologia MCT
h	Altura inicial do corpo de prova no ensaio de expansão
$H_{SL}$	Espessura total do pavimento em termos equivalentes de material granular
Ia	Atividade coloidal de Skempton
IP	Índice de plasticidade
K	Coefficiente de equivalência estrutural
K	Coefficiente de tolerância experimental unilateral
$K_B$	Coefficiente de equivalência estrutural da base
$K_i$ e $K_r$	Relações moleculares
$K_R$	Coefficiente de equivalência estrutural do revestimento
$K_{REF}$	Coefficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito
$K_{SL}$	Coefficiente de equivalência estrutural do subleito
LA	Areia laterítica (classificação MCT)
LA'	Solo arenoso laterítico (classificação MCT)
LG'	Solo argiloso laterítico (classificação MCT)
Mg	Magnésio
mini-CBR <sub>ci</sub>	Índice de Suporte Califórnia do ensaio miniatura com imersão
mini-CBR <sub>cs</sub>	Índice de Suporte Califórnia do ensaio miniatura com sobrecarga
mini-CBR <sub>hm</sub>	Índice de Suporte Califórnia do ensaio miniatura no teor de umidade de moldagem
mini-CBR <sub>si</sub>	Índice de Suporte Califórnia do ensaio miniatura sem imersão
mini-CBR <sub>ss</sub>	Índice de Suporte Califórnia do ensaio miniatura sem sobrecarga
N	Número de passagens previstas de veículos comerciais (ônibus e caminhões) por dia
N	Número de experimentos
n	Número de golpes aplicados (ensaio mini-MCV)
NA	Areia Não Laterítica (classificação MCT)
NA'	Solo arenoso não laterítico (classificação MCT)
NA <sub>máx</sub>	Nível de água máximo
NA <sub>mín</sub>	Nível de água mínimo
NG'	Solo argiloso não laterítico (classificação MCT)

NP	Não plástico
NS'	Solo não laterítico silteoso (classificação MCT)
P <sub>F</sub>	Porcentagem da dada fração
P <sub>i</sub>	Perda por imersão
PI	Proctor Intermediário
PN	Proctor Normal
R	Espessura da camada de rolamento
RIS	Índice de perda de suporte com a imersão
RR-2C	Emulsão asfáltica
S	Área da seção do tubo capilar no ensaio de infiltrabilidade
S	Grau de saturação
S	Desvio padrão
s	Coefficiente de sorção capilar
V	Volume da solução padrão de azul de metileno absorvido
V <sub>a</sub>	Valor de Azul (procedimento de Fabbri)
Valor S	Bases permutáveis
Valor T	Capacidade de troca de cátions
Valor V	Saturação de bases
V <sub>b</sub>	Valor de Azul (procedimento de Pejon)
w	Teor de umidade
w <sub>l</sub>	Limite de liquidez
W <sub>ótimo</sub> , W <sub>ót</sub>	Umidade ótima de compactação
X	Média experimental
Δh	Acréscimo de altura do corpo de prova no ensaio de expansão
ΔL	Distância percorrida pela água no tubo capilar no ensaio de infiltrabilidade
Δt	Intervalo entre valores da raiz quadrada do tempo de ensaio de infiltrabilidade
γ <sub>dmáx</sub>	Peso específico aparente seco máximo
γ <sub>s</sub>	Peso específico real dos grãos

## LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARMAR	Identificação da jazida Areia do Mar
BFAL	Identificação da jazida Barra Falsa
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto betuminoso usinado à quente
CECO-UFRGS	Centro de Estudos Costeiros do Instituto de Geociências da UFRGS
CNPS	Centro Nacional de Pesquisa de Solos
COTO	Identificação da jazida Cotovelo
CP	Corpo de prova
CRET	Identificação da jazida Casa do Retiro
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EESC-USP	Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FURG	Fundação Universidade Federal do Rio Grande
HRB	<i>Highway Research Board</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LAC	Identificação da jazida Las Acácias
MCT	Miniatura, Compactado, Tropical
MCV	<i>Moisture Condition Value</i>
NBR	Normas brasileiras registradas
PETRO	Identificação da jazida Domingos Petrolini
PMQ	Pré-misturado à quente
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PREFE	Identificação da jazida Prefeitura
RCS	Resistência à compressão simples
SAFL	Solo arenoso fino laterítico

SNLCS	Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
TS ou TSS	Camada anticravameto
TSD	Tratamento superficial duplo
TST	Tratamento superficial triplo invertido
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USACE	<i>U.S. Army Corps of Engineers</i>
USCS	<i>Unified Soil Classification System</i>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Propriedades tecnológicas recomendadas aos SAFL empregados em bases de pavimento de baixo custo (referentes a energia do Proctor Intermediário do mini-Proctor).....	38
Tabela 2.2 - Procedimento construtivo e controle tecnológico de bases de SAFL (Villibor <i>et al.</i> , 2000).....	42
Tabela 2.3 - Recomendações para determinar a taxa e o tipo da imprimadura impermeabilizante (Villibor e Nogami, 2001).....	47
Tabela 2.4 - Relação das propriedades físicas da base e principais defeitos construtivos (modificado de Nogami e Villibor, 1995).....	49
Tabela 3.1 - Características Gerais da Unidade de Mapeamento Tuiá (Embrapa, 1973).....	64
Tabela 4.1 - Jazidas de solos estudados.....	67
Tabela 5.1 - Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno – comparação entre os procedimentos de Pejon e Fabbri.....	81
Tabela 6.1 - Caracterização geotécnica dos solos estudados quanto a granulometria, plasticidade e classificação geotécnica tradicional (SUCS e AASHTO-HRB).....	92
Tabela 6.2 - Classificação MCT dos solos estudados e respectivos coeficientes classificatórios.....	93
Tabela 6.3 - Minerais identificados nos ensaios de difratometria de raios X nas diferentes análises e tratamentos aplicados – solo ARMAR.....	95
Tabela 6.4 - Resultados das análises químicas (teores de óxidos e relações moleculares) – solo ARMAR.....	99
Tabela 6.5 - Parâmetros obtidos a partir de Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno segundo os procedimentos de Pejon e Fabbri e Índice de Atividade de Skempton dos solos estudados.....	100
Tabela 6.6 - Parâmetros de compactação dos solos estudados obtidos em ensaios mini-Proctor.....	106
Tabela 6.7 - Resultados de mini-CBR para ensaios com e sem imersão, <u>sem sobrecarga</u> – CPs na umidade ótima compactados na energia equivalente do Proctor Normal e Intermediário.....	107

Tabela 6.8 - Resultados de mini-CBR para ensaios com e sem imersão, <u>com sobrecarga</u> – CPs na umidade ótima compactados na energia equivalente do Proctor Normal e Intermediário.....	108
Tabela 6.9 - Valores de expansão medida nos ensaios de mini-CBR.....	108
Tabela 6.10 - Resultados de mini-CBR e expansão frente ao critério de seleção de SAFL.	109
Tabela 6.11 - Contração ao ar por secagem dos solos estudados (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário).....	114
Tabela 6.12 - Coeficientes de sorção (s) obtidos em ensaios de infiltrabilidade (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário).....	115
Tabela 6.13 - Resumo dos resultados obtidos na avaliação tecnológica dos solos estudados frente ao critério de seleção de solos para bases de SAFL proposto por Villibor e Nogami (1982).....	117
Tabela 7.1 - Espessura mínima de revestimento (PMSP, 1992).....	121
Tabela 7.2 - Coeficientes de equivalência estrutural (Villibor <i>et al.</i> , 2000).....	122
Tabela 7.3 - Características das camadas de pavimentos de baixo custo (modificado de Villibor <i>et al.</i> 2000).....	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Ocorrência dos agrupamentos geotécnicos de solos encontrados na Planície Costeira Sul e entorno com potencial uso em obras de terra e pavimentação (Bastos 2002).....	28
Figura 2.1 - Perfil esquemático exemplifica a ocorrência de solos em ambiente tropical (em destaque solos de peculiaridades tropicais) (modificado de Villibor <i>et al.</i> , 2000).....	32
Figura 2.2 - Ensaio da Metodologia MCT (Villibor <i>et al.</i> , 2000).....	33
Figura 2.3 - Gráfico da Classificação MCT (Nogami e Villibor, 1995).....	34
Figura 2.4 - Exemplo de curvas de deformabilidade do mini-MCV na obtenção do coeficiente $c'$ .....	35
Figura 2.5 - Exemplo de curvas de compactação do mini-MCV na obtenção do coeficiente $d'$ .....	36
Figura 2.6 - Faixa granulométrica recomendada para SAFL empregado em bases de pavimento de baixo custo.....	37
Figura 2.7 - Hierarquização dos SAFL com base na classificação MCT (Nogami e Villibor 1995).....	39
Figura 2.8 - Detalhes construtivos de bases de SAFL (Villibor e Nogami, 2001).....	43
Figura 2.9 - Exemplo de seção transversal típica de um pavimento rodoviário com base de SAFL (Nogami e Villibor, 1995).....	44
Figura 2.10 - Penetração do asfalto na base (Villibor e Nogami, 2001).....	45
Figura 2.11 - Detalhes do processo executivo da camada de revestimento betuminoso (Villibor e Nogami, 2001).....	48
Figura 2.12 - Fluxograma de causas, ocorrência, evoluções e serviços de conservação dos defeitos de pavimentos de baixo custo (modificado de Nogami e Villibor, 1995).....	53
Figura 2.13 - Detalhes dos defeitos de pavimentos com base de SAFL (Villibor e Nogami, 2001).....	54
Figura 3.1 - Ocorrência dos solos da unidade PVa7, segundo IBGE (1986), na Planície Costeira Sul (modificado de IBGE, 1986).....	57
Figura 3.2 - Unidade de Mapeamento Tuiá, segundo Embrapa (1973), na Planície Costeira Sul (modificado de Embrapa, 1973).....	58



Figura 3.3 - Mapa geológico-geomorfológico de Rio Grande (Botelho, 2002).....	59
Figura 3.4 - Mapa geológico-geomorfológico desenvolvido pelo CECO/UFRGS (modificado de Tagliani, 2002).....	60
Figura 3.5 - Mapa de solos generalizado para a região (Tagliani, 2002).....	62
Figura 3.6 - Esquema de um perfil de solo de potencial SAFL na Planície Costeira Sul....	62
Figura 3.7 - Foto do perfil de solo da jazida ARMAR ilustrando os horizontes encontrados.....	63
Figura 3.8 - Exemplo de paisagem de ocorrência da Unidade de Mapeamento Tuiá. Destaque a vegetação e relevo típicos e a ocorrência de cobertura eólica recente (dunas interiores).....	65
Figura 4.1 - Áreas de provável ocorrência de SAFL na Planície Costeira Sul, com base em dados de IBGE (1986), e localização aproximada das jazidas.....	68
Figura 4.2 - Foto ilustrando perfil de solo da jazida CRET.....	69
Figura 4.3 - Extração comercial e armazenagem do solo estudado.....	70
Figura 4.4 - Perfil típico da jazida PREFE.....	71
Figura 4.5 - Perfil da jazida COTO.....	72
Figura 4.6 - Talude da jazida PETRO.....	73
Figura 4.7 - Perfil da jazida BFAL.....	74
Figura 4.8 - Fotos ilustrando (a) o afloramento do solo estudado na jazida LAC e (b) processos erosivos instalados junto às obras de infraestrutura do loteamento.....	75
Figura 5.1 - Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno em execução com destaque aos equipamentos utilizados (Fabbri e Sória, 1994).....	79
Figura 5.2 - Teste da mancha de azul de metileno (Fabbri e Sória, 1994).....	79
Figura 5.3 - Equipamento de compactação miniatura utilizado nos ensaios de compactação da Metodologia MCT.....	82
Figura 5.4 - Ensaio de perda por imersão da Metodologia MCT.....	83
Figura 5.5 - Detalhe do ensaio de penetração mini-CBR.....	85
Figura 5.6 - Exemplo de curva mini-CBR – correção de início e obtenção de C1, C2, D1 e D2.....	87
Figura 5.7 - Ensaio de expansão do mini-CBR.....	88
Figura 5.8 - Ensaio de contração por secagem ao ar da Metodologia MCT.....	88
Figura 5.9 - Ensaio de infiltrabilidade da Metodologia MCT.....	89

Figura 5.10 - Curva típica $L \times t^{1/2}$ e elementos para estimativa do coeficiente de sorção (s) no ensaio de infiltrabilidade da Metodologia MCT.....	90
Figura 5.11 - Retirada da amostra de solo do subleito para ensaio CBR: (a) vista geral do local e (b) detalhe da amostragem.....	91
Figura 6.1 - Solos estudados frente aos tipos de SAFL hierarquizados pela classificação MCT.....	93
Figura 6.2 - Granulometria dos solos estudados frente a faixa granulométrica recomendada para bases de SAFL.....	94
Figura 6.3 – Difratoograma do pó (fração passante peneira #200) – solo ARMAR.....	96
Figura 6.4 - Difratoograma da fração coloidal (amostra natural) – solo ARMAR.....	97
Figura 6.5 - Difratoograma da fração coloidal (amostra glicolada) – solo ARMAR.....	97
Figura 6.6 - Difratoograma da fração coloidal (amostra calcinada) – solo ARMAR.....	98
Figura 6.7 - Aplicação dos critérios de Gomes e Rodrigues (1998) e Costa e Gandolfi (1998) na estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos estudados com base no parâmetro $A_{cb}$ no Método de Adsorção do Azul de Metileno – procedimento Pejon.....	101
Figura 6.8 - Solos estudados frente ao diagrama das atividades das argilas pelo Método do Azul de Metileno (procedimento Pejon).....	101
Figura 6.9 - Aplicação do critério de Fabbri e Sória (1994) na estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos estudados com base no parâmetro Valor de Azul – procedimento Fabbri.....	102
Figura 6.10 - Caracterização da atividade coloidal dos solos estudados com base nos resultados pelo Método do Azul de Metileno (procedimento de Fabbri).....	103
Figura 6.11 - Análise da identificação do comportamento laterítico a partir do Método do Azul de Metileno e do índice $e'$ da classificação MCT.....	104
Figura 6.12 - Curvas de compactação dos solos estudados obtidas em ensaios mini-Proctor na energia do Proctor Normal (PN) e Intermediário (PI). Curva de saturação, $S=90\%$ e $S=70\%$ para $\gamma_s$ médio de $26,8 \text{ kN/m}^3$ .....	105
Figura 6.13 - Valores de mini-CBR na energia do Proctor Normal (PN) nas condições sem sobrecarga (ss), com sobrecarga (cs), sem imersão (si) e com imersão (ci).....	110
Figura 6.14 - Valores de mini-CBR na energia do Proctor Intermediário (PI) nas condições sem sobrecarga (ss), com sobrecarga (cs), sem imersão (si) e com imersão (ci).....	111

Figura 6.15 - Valores de mini-CBR na energia do Proctor Intermediário na condição sem sobrecarga (ss) e sem imersão (si) (aplicado o coeficiente de tolerância experimental).....	111
Figura 6.16 - Índice RIS para os solos estudados.....	112
Figura 6.17 - Valores de expansão dos solos estudados.....	112
Figura 6.18 - Valores de expansão dos solos estudados na energia do Proctor intermediário e sem sobrecarga (aplicado o coeficiente de tolerância experimental).....	113
Figura 6.19 - Curvas de infiltrabilidade obtidas de CPs compactados na umidade ótima e na energia do Proctor Intermediário para os solos estudados.....	115
Figura 7.1 - Ábaco de dimensionamento para obtenção da espessura total básica do pavimento em termos de material granular ( $H_{SL}$ ) (PMSP, 1992).....	120
Figura 7.2 - Seção transversal do pavimento dimensionado.....	127

# 1. INTRODUÇÃO

Na análise da malha rodoviária do sul do estado do Rio Grande do Sul destaca-se a pequena extensão em estradas pavimentadas. A razão para tal está diretamente relacionada à escassez de recursos públicos e aos altos custos dos materiais usualmente empregados na pavimentação.

Em particular na Planície Costeira Sul, a distância de transporte para materiais considerados nobres (p.ex. brita graduada) é grande, encarecendo obras de pavimentação de pequeno a médio porte, que envolvem principalmente aquelas estradas encarregadas do escoamento das produções agrícolas do interior dos municípios da região, chamadas de estradas vicinais. A viabilidade econômica de pavimentação destas estradas, passa pela redução de custos de construção, através da adequação das mesmas às condições regionais, seja com a melhoria dos traçados atuais (reduzindo os volumes de corte e aterro), mas principalmente pela utilização de materiais locais na execução das estruturas dos pavimentos. Por serem destinadas ao tráfego leve, as estradas vicinais são bastante tolerantes quanto às especificações para materiais constituintes das camadas de seus pavimentos. Estas soluções alternativas são extensíveis a outras obras viárias também caracterizadas pelo tráfego leve como pavimentação urbana em bairros, pátios de manobras e estacionamentos.

Cabe a comunidade técnico-científica a responsabilidade por pesquisar soluções alternativas que atendam a dois critérios básicos: qualidade e baixo custo, justificando pesquisas no sentido de se conhecer o comportamento compactado dos solos regionais. O Grupo de Pesquisa Geotecnia – FURG tem se empenhado no sentido de estudar os solos regionais com potencial de uso em obras de pavimentação

Trabalhos de campo na identificação e amostragem de perfis típicos de solos regionais com potencial de uso como material de empréstimo foram iniciados no ano de 2001. Segundo Bastos (2003), em função da origem geológica e pedogênese, estes solos regionais foram reunidos em cinco agrupamentos geotécnicos: solos graníticos lateríticos, saibros graníticos, areias lateríticas, plintossolos e planossolos (figura 1.1).

A presença de areias lateríticas despertou o interesse do Grupo de Pesquisa em avaliar o potencial desses solos em pavimentação de baixo custo. Estes solos constituem SOLOS ARENOSOS FINOS encontrados em uma das barreiras litorâneas formadoras do litoral sul. A

destacada coloração avermelhada originada pelos sesquióxidos de ferro indicam um presumível comportamento laterítico a estes solos. Segundo Bastos (2003), as características físicas preliminarmente identificadas para estes solos vislumbraram a possibilidade da aplicação da Metodologia MCT e do critério tecnológico estabelecido na escolha de solos arenosos finos lateríticos (SAFL) do interior de São Paulo para construção de bases de chamados pavimentos econômicos.

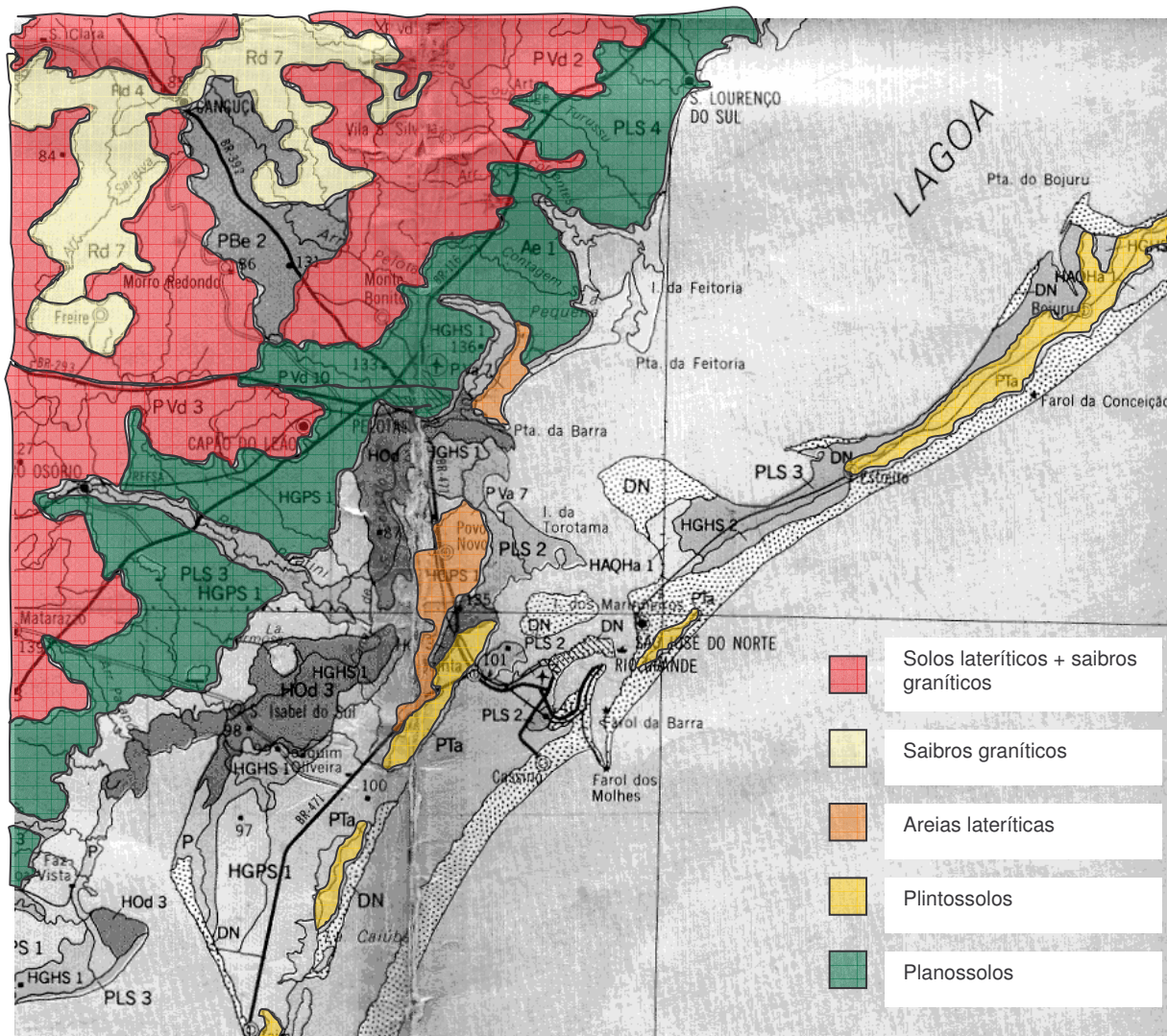


Figura 1.1- Ocorrência dos agrupamentos geotécnicos de solos encontrados na Planície Costeira Sul e entorno com potencial uso em obras de terra e pavimentação (Bastos 2002).

Esta dissertação teve por objetivo principal caracterizar e avaliar o potencial de solos arenosos finos encontrados na Planície Costeira Sul na construção de bases de pavimentos econômicos destinados a baixo volume de tráfego. Os objetivos específicos foram:



- Identificar e caracterizar jazidas de solos arenosos finos com presumível comportamento laterítico (areias lateríticas);
- Caracterizar os solos destas jazidas pelas propriedades-índices convencionais, características químicas e mineralógicas e pela Metodologia MCT;
- Aplicar aos solos estudados os critérios estabelecidos com base na Metodologia MCT para seleção de solos arenosos finos lateríticos (SAFL) empregados na construção de bases de pavimentos econômicos;
- Em um hipotético estudo de caso, realizar o dimensionamento de uma estrutura de pavimento para baixo volume de tráfego, utilizando como elemento da estrutura uma base executada com um dos solos arenosos finos estudados.

Esta dissertação tem início com uma abrangente revisão bibliográfica sobre solos arenosos finos lateríticos, apresentada no capítulo 2, discorrendo sobre a ocorrência e histórico de uso destes solos em pavimentação, sobre o emprego da Metodologia MCT na caracterização e especificação destes materiais, sobre as características mecânicas e hidráulicas e peculiaridades de comportamento de bases de solos arenosos finos, sobre as técnicas construtivas e de controle recomendadas e ainda sobre os principais defeitos associados a estas bases.

Afim de se atingir os objetivos propostos, foram identificadas sete jazidas de areias lateríticas. Nestas jazidas foram amostrados solos que constituem o horizonte B de perfis de Podzólicos Vermelho-Amarelo (Argissolo Vermelho-Amarelo, segundo Embrapa, 1999) desenvolvidos sobre a Barreira Litorânea BII nos municípios de Rio Grande e Pelotas. A completa caracterização geológica e pedológica dos solos estudados é apresentada no capítulo 3, enquanto a descrição completa das jazidas é realizada no capítulo 4.

Os métodos de ensaios empregados na caracterização e avaliação tecnológicas dos solos amostrados são apresentados no capítulo 5. Os resultados obtidos são apresentados e analisados no capítulo 6.

No capítulo 7 é apresentada uma proposta de estrutura de pavimento destinado a baixo volume de tráfego, utilizando como material para base um dos solos arenoso finos estudados. O método de dimensionamento proposto pela Prefeitura Municipal de São Paulo é adotado. O estudo de caso idealizado tem como subleito o solo arenoso de um acesso interno no Campus Carreiros da FURG.

Por fim, as conclusões deste estudo e as sugestões para futuras pesquisas são apresentadas no capítulo 8.

## **2. SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS E SUA APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO**

### **2.1. SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS**

No Brasil existem vastas áreas cobertas por espesso manto de solos arenosos finos, sejam de origem sedimentar ou produto da decomposição de arenitos. No horizonte subsuperficial, devido à atuação de processos pedogenéticos típicos de clima tropical e subtropical, ocorre a chamada laterização dos solos, isto é, desenvolvem-se condições para acúmulo de sesquióxidos de ferro e alumínio, responsável por propriedades geotécnicas particulares a estes solos. Muitos destes solos constituem jazidas naturais de solos arenosos finos lateríticos, denominados abreviadamente de SAFL, apropriados para emprego em bases de pavimentos (Villibor *et al.*, 2000).

Conceitua-se tecnologicamente como SAFL aqueles solos que pertençam à classe de solos de comportamento laterítico (LA, LA' e LG') segundo a classificação geotécnica MCT, e que contenham menos de 50% passante na peneira de abertura 0,075 mm (#200) e no mínimo 90% passante na peneira de abertura 2 mm (#10), sendo esta fração arenosa constituída predominantemente por grãos de quartzo.

### **2.2. OCORRÊNCIA E HISTÓRICO DE USO DE SAFL EM PAVIMENTAÇÃO**

No estado de São Paulo, o uso rotineiro de bases de solo arenoso fino laterítico deu-se após 1975. Não obstante, existem registros de que desde 1950 estes solos já eram usados “in natura” como camadas de reforço de subleito ou sub-bases. Este uso era justificado pelo elevado valor de capacidade de suporte que estes solos apresentavam, apesar de possuírem outras características consideradas não muito favoráveis pelos procedimentos tradicionais de classificação dos solos.

A ocorrência de solos arenosos finos lateríticos promissores para emprego em bases de pavimentos perfaz cerca de 57% da área do estado de São Paulo. Outras ocorrências significativas são registradas nos estados do Paraná, Goiás, Mato Grosso, Bahia e Minas Gerais. Segundo dados de 2000 (Villibor *et al.*, 2000), já haviam sido executados mais de 8.000 km de estradas com bases de SAFL, sendo 5.500 km no estado de São Paulo. Alguns destes pavimentos apresentam-se em boas condições após mais de 25 anos de serviço. Em termos de vias urbanas já foram construídos mais de 10 milhões de metros quadrados de bases em SAFL em todo o território nacional.

As pesquisas em levantamentos pedológicos e geológicos têm revelado a possibilidade de novas ocorrências de SAFL, até mesmo no Rio Grande do Sul. Passos *et al.* (1991) estudaram a ocorrência de solos arenosos finos no Rio Grande do Sul, com destaque a Latossolos Vermelho-Escuros, ocorrentes no Planalto Médio e associados à presença do arenito Tupanciretã.

### **2.3. METODOLOGIA MCT NO ESTUDO DOS SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS**

Os critérios tradicionais para a escolha de solos para bases adotados pelos organismos rodoviários brasileiros foram fundamentados em materiais e condições ambientais de clima temperado e frio, típicos do hemisfério norte. O emprego destes critérios a solos tropicais e subtropicais leva a inconsistências e dificuldades: pobreza de materiais granulares naturais que satisfaçam às especificações, necessidade de onerosas correções granulométricas e da plasticidade dos materiais e ausência de correlações entre as propriedades-índices (granulometria e limites de Atterberg) e características de suporte (Nogami, 1978).

Nogami (1978) já chamava a atenção para o fato de que os critérios tradicionais levam a conclusões contraditórias dos resultados obtidos em relação ao observado na prática. Os resultados dos critérios tradicionais demonstram-se pessimistas demais em relação aos solos lateríticos e otimistas demais em relação aos solos sapróliticos. Assim, muitos solos lateríticos, dentre os quais o SAFL poderia ser excluído apesar de constatado elevado índice CBR (*California Bearing Ratio*), baixa expansão e elevado módulo de resiliência. Já no caso dos solos sapróliticos que venham a possuir baixa capacidade de suporte, elevada expansão e muita resiliência, poderiam ser aceitos segundo os critérios tradicionais.



Segundo Nogami e Villibor (1995), os solos das regiões tropicais apresentam uma série de peculiaridades decorrentes das condições climáticas, sendo, portanto necessário caracterizar estes Solos de Peculiaridades Tropicais, ou seja, os tipos genéticos de solos encontrados em regiões tropicais e de comportamento diferenciado em relações aos solos tradicionais de clima temperado. A figura 2.1 ilustra um perfil esquemático que exemplifica a ocorrência destes tipos de solos.

Diante destas dificuldades, os pesquisadores Job Nogami e Douglas Villibor propuseram o emprego da Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), para o estudo e classificação de solos tropicais compactados (Nogami e Villibor, 1981).

A designação MINIATURA e COMPACTAÇÃO decorre do fato da metodologia ser baseada na determinação de propriedades de solos compactados em moldes de dimensões reduzidas, com 50 mm de diâmetro (excepcionalmente 26 mm de diâmetro no método subminiatura). A designação TROPICAL segundo Nogami é aquele que apresenta peculiaridades de propriedades e de comportamento, relativamente aos solos não tropicais, em decorrência da atuação no mesmo de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas (Committee on Tropical Soils of ISSMFE, 1985 apud Nogami e Villibor, 1995), foi adotada tendo em vista ao fato de que a metodologia aplica-se, especificamente, para o estudo de solos tropicais, sobretudo lateríticos e saprólíticos.

A figura 2.2 resume os principais ensaios da Metodologia MCT e as principais aplicações práticas dos resultados obtidos com os mesmos.

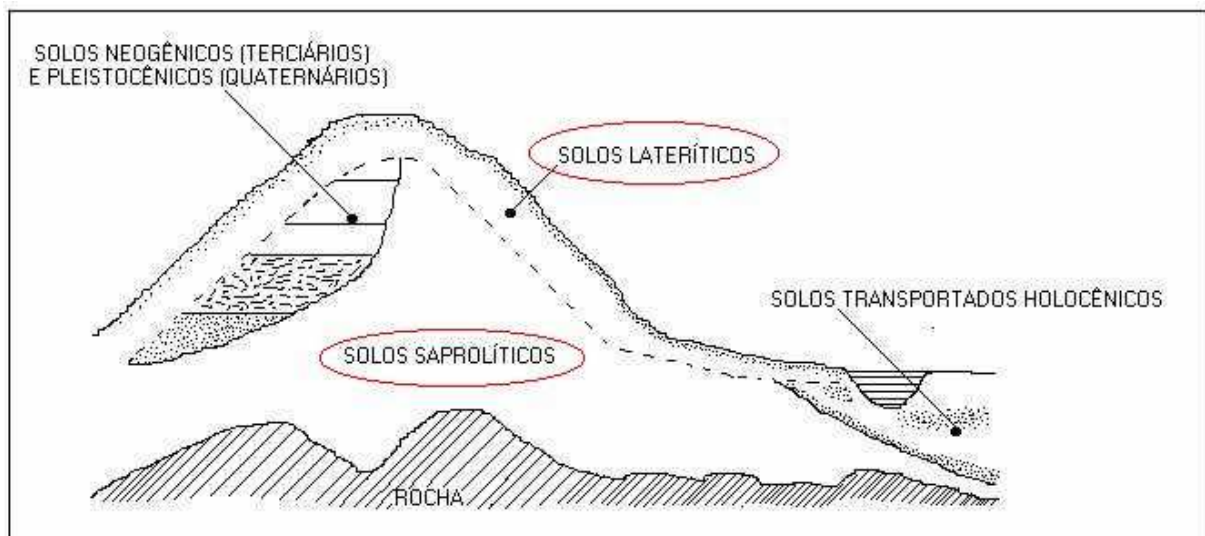


Figura 2.1 - Perfil esquemático exemplificando a ocorrência de solos em ambiente tropical (em destaque solos de peculiaridades tropicais) (modificado de Villibor *et al.*, 2000).

ENSAIO	APARELHAGEM	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES DOS RESULTADOS												
COMPACTAÇÃO		<p>COMPACTADOR: Soquete de pé, com área igual do molde e com dispositivo que mede a altura do corpo de prova após qualquer número de golpes do soquete.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO E SIGLA</th> <th>MOLDE <math>\phi</math> (mm)</th> <th>MASSA SOQUETE (g)</th> <th>ALTURA DE QUEDA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mini ou M</td> <td>50</td> <td>2270,4500</td> <td>305mm</td> </tr> <tr> <td>Sub-Mini ou S</td> <td>25</td> <td>1000</td> <td>200mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>PROCEDIMENTOS:                      * MINI- PROCTOR: Umidade variável, energia constante (normal, intermediária ou modificada)                      * MINI- MCV: Umidade e energia variáveis, massa úmida constante (200g no MINI, 30g no SUB-MINI; obtém-se uma família de curva de compactação.</p>	TIPO E SIGLA	MOLDE $\phi$ (mm)	MASSA SOQUETE (g)	ALTURA DE QUEDA	Mini ou M	50	2270,4500	305mm	Sub-Mini ou S	25	1000	200mm	<p>* Preparo de corpos de prova para ensaios diversos.                      * Obtenção de dados para classificação MCT de solos.                      * Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima para a energia de compactação escolhida.</p>
TIPO E SIGLA	MOLDE $\phi$ (mm)	MASSA SOQUETE (g)	ALTURA DE QUEDA												
Mini ou M	50	2270,4500	305mm												
Sub-Mini ou S	25	1000	200mm												
CAPACIDADE DE SUPORTE		<p>CAPACIDADE DE SUPORTE                      * PISTÃO: Mini (<math>\phi</math> 16 mm); Sub-Mini (<math>\phi</math> 8 mm)                      * CARGA:                      * Estática, penetração de 1,25 mm/min;                      * Dinâmica, 1 golpe de soquete compactador                      * IMERSÃO: 24 horas ou sem imersão                      * SOBRECARGA: padrão, sem ou especial                      * EXPANSÃO: determinada de maneira similar ao procedimento tradicional                      * MINI- CBR DE CAMPO: Determinação facilitada pelo uso de aparelhagem leve de fácil movimentação.</p>	<p>* Dimensionamento de pavimentos.                      * Escolha de solos para reforço do subleito, bases e acostamentos.</p>												
CONTRAÇÃO		<p>PROCEDIMENTO: Mede-se diretamente a variação do comprimento axial do corpo de prova compactado com auxílio do extensômetro, à medida que o mesmo é deixado perdendo lentamente o seu teor de umidade pela exposição ao ar.                      Quando necessário, o corpo de prova seco ao ar, resultante do ensaio, pode ser submetido ao ensaio de sorção de água, objetivando a avaliação do efeito benéfico da secagem prévia das camadas compactadas.</p>	<p>* Escolha de solos para aterro, bases, reforços do subleito, acostamentos, sobretudo quando os mesmos ficam sujeitos à secagem, intencional ou não durante ou após a construção.</p>												
INFILTRABILIDADE		<p>PROCEDIMENTO: Mede-se no tubo horizontal a quantidade de água que penetra no corpo de prova, através de sua base, em função da raiz quadrada do tempo. Para isso, a base do corpo de prova é colocada sobre a placa porosa que delimita o recipiente cheio de água e que se comunica com o tubo horizontal de medida da água penetrada.</p>	<p>* Escolha de solos para aterro, bases, reforços do subleito, acostamentos, sobretudo quando os mesmos ficam sujeitos à secagem, intencional ou não durante ou após a construção.</p>												
PERMEABILIDADE		<p>PROCEDIMENTO: Mede-se a quantidade de água que percola no corpo de prova (solo) através do deslocamento do menisco d'água no tubo vertical graduado, em função do tempo.                      Geralmente, utiliza-se o corpo de prova previamente submetido ao ensaio de infiltrabilidade.                      O valor obtido é apresentado em coeficiente de permeabilidade, geralmente expresso em cm/s</p>	<p>* Utiliza-se em cálculos de escoamento de água em meio saturado, tais como camadas drenantes, filtrantes, impermeabilizantes, etc.</p>												
PERDA DE MASSA POR IMERSÃO EM ÁGUA		<p>PROCEDIMENTO: O corpo de prova (solo) compactado é parcialmente extraído de seu molde, de maneira que fique saliente 10 mm (5 mm para <math>\phi</math> 26 mm) e, em seguida, submerso em água em posição horizontal. Recolhe-se a parte eventualmente desprendida e determina-se a sua massa seca. A perda de massa por imersão <math>P_i</math> é expressa em porcentagem relativamente à massa seca da parte primitivamente saliente do corpo de prova.</p>	<p>* Classificação MCT de solos.                      * Avaliação da erodibilidade de solos em presença de lâmina d'água.</p>												

Figura 2.2 - Ensaios da Metodologia MCT (Villibor *et al.*, 2000).

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS COM O USO DA METODOLOGIA MCT

Como já descrito no item 2.3, a Metodologia MCT foi desenvolvida especialmente para o estudo de solos tropicais baseada em propriedades mecânicas e hídricas, obtidas de corpos de prova de dimensões reduzidas compactados. A classificação dos solos pela Metodologia MCT não utiliza a granulometria, os limites de Atterberg e o índice de plasticidade, como acontece no caso das classificações geotécnicas tradicionais. Em lugar disso, efetuam-se ensaios mecânicos e hídricos simplificados, mais diretamente correlacionáveis com o comportamento dos solos tropicais.

A figura 2.3 ilustra o gráfico utilizado para classificar os solos tropicais em duas grandes classes, os de comportamento laterítico (classes identificadas pela letra L) e os de comportamento não laterítico (classes identificadas pela letra N). Entende-se comportamento laterítico aquele creditado a solos de clima tropical e subtropical com substancial acúmulo de sesquióxidos de ferro e alumínio: boa compactibilidade, elevada capacidade de suporte, baixa expansão e elevado módulo de resiliência (Nogami e Villibor, 1995). Este gráfico foi elaborado a partir da experiência acumulada na obtenção dos coeficientes  $c'$  (eixo das abscissas) e  $e'$  (eixo das ordenadas) para um grande universo de solos tropicais.

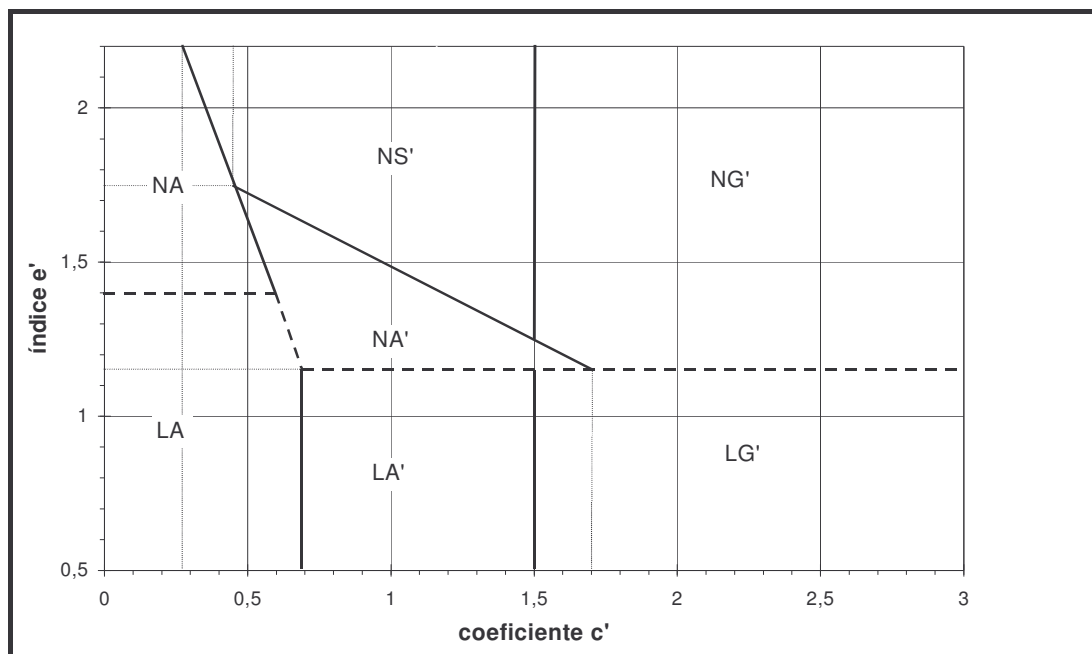


Figura 2.3 - Gráfico da Classificação MCT (Nogami e Villibor, 1995).

O coeficiente  $c'$  (coeficiente de deformabilidade) é obtido através do ensaio de compactação mini-MCV (*Moisture Condition Value*). Como descrito na figura 2.2, o procedimento de compactação do método consiste, basicamente, na aplicação de golpes sucessivos crescentes medindo-se as respectivas alturas dos corpos de prova. O ensaio é realizado para amostras com cinco teores de umidade uniformemente crescentes. Desta forma, obtém-se uma relação entre o número de golpes aplicados (1, 2, 3, 4, 6, 12, ..., n, ..., 4n) e as alturas do corpo de prova ( $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, \dots, A_{4n}$ ). Calculam-se, então, as diferenças de alturas e em função disso o peso específico aparente seco.

Com os dados obtidos para as cinco amostras deve ser plotado um gráfico onde na abcissa é indicado o número de golpes na escala logarítmica e na ordenada a correspondente diferença de altura ( $A_n - A_{4n}$ ) como está demonstrado na figura 2.4. O número de golpes correspondentes ao cruzamento de cada curva com o valor de diferença de altura ( $A_n - A_{4n}) = 2$  mm é definido como  $B_i$ , e o valor mini-MCV para cada umidade de compactação é então definido como mostra a expressão 2.1:

$$\text{mini-MCV} = 10 \cdot \log B_i \tag{2.1}$$

O coeficiente  $c'$  é obtido pela inclinação do trecho intermediário reto da prevista curva de deformabilidade para  $B_i = 10$ .

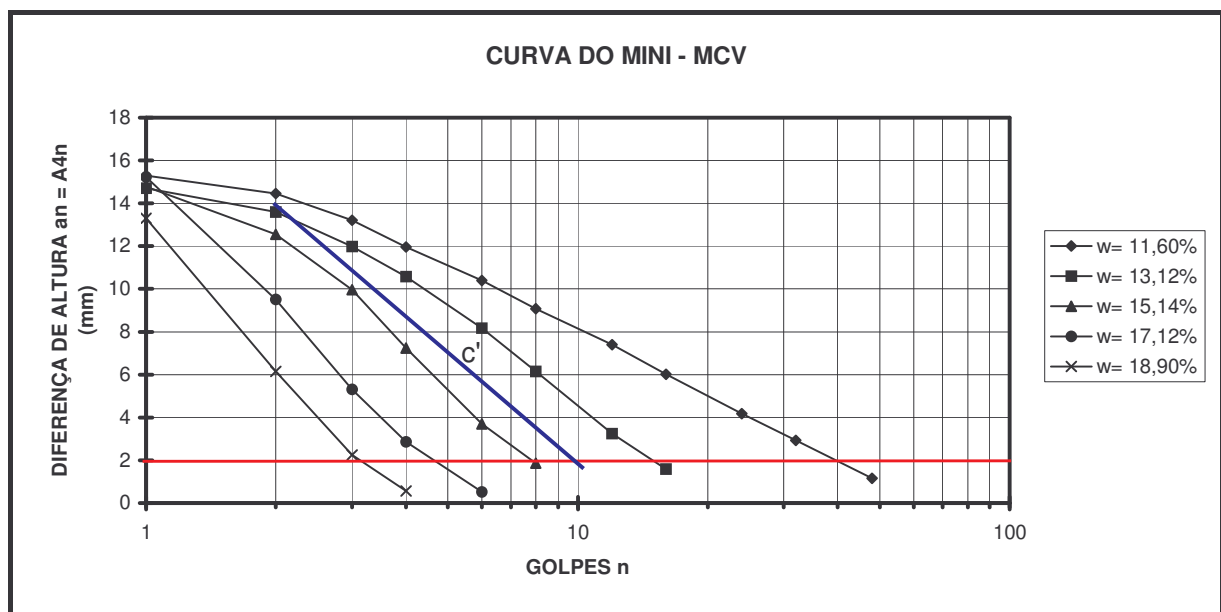


Figura 2.4 - Exemplo de curvas de deformabilidade do mini-MCV na obtenção do coeficiente  $c'$ .

O coeficiente  $e'$  é calculado a partir do coeficiente  $d'$ , inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação, correspondente a 12 golpes do ensaio de mini-MCV, e da perda por imersão  $P_i$ , porcentagem da massa desagregada em relação a 10 mm expostos do corpo de prova quando submetido à imersão em água após o ensaio de mini-MCV. O parâmetro  $e'$  é calculado pela expressão (2.2):

$$e' = \sqrt[3]{\left(\frac{20}{d'}\right) + \left(\frac{P_i}{100}\right)} \quad (2.2)$$

A determinação deste índice  $e'$  é de grande importância, pois permite identificar se um solo tem ou não comportamento geotécnico laterítico. O simples fato de um solo ter um comportamento laterítico significa que o mesmo, quando adequadamente compactado, possui várias peculiaridades de interesse à pavimentação.

A figura 2.5 exemplifica a família de curvas de compactação de onde se obtém o coeficiente  $d'$ .

No anexo desta dissertação encontra-se o procedimento de cálculo do  $c'$ ,  $e'd'$  e  $P_i$  do solo ARMAR.

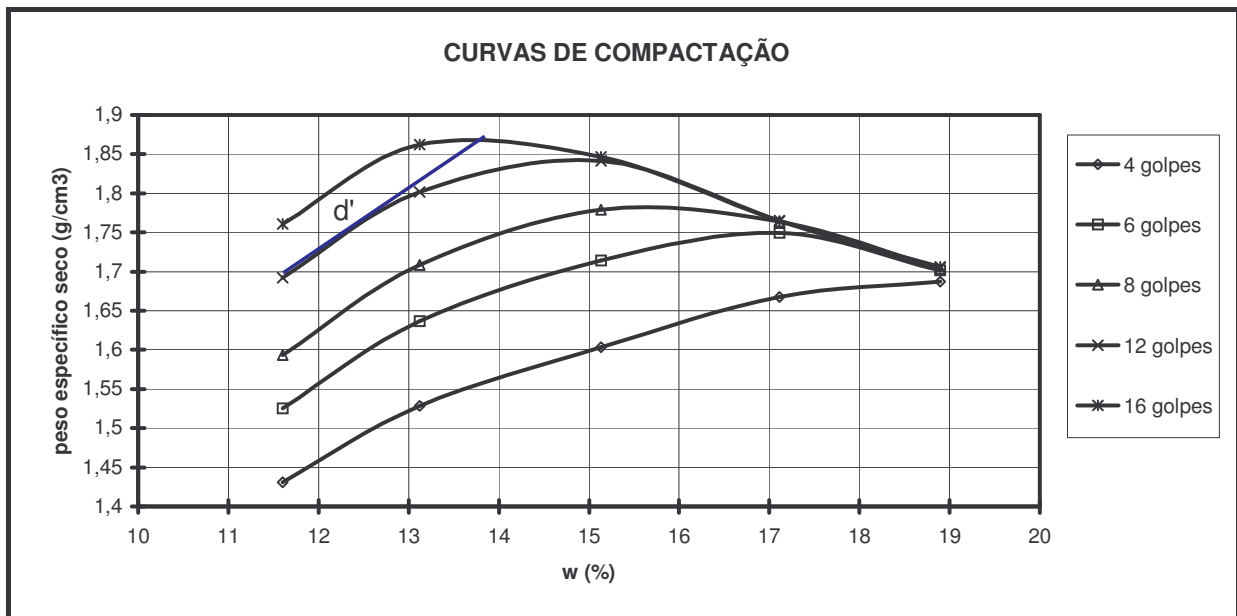


Figura 2.5 - Exemplo de curvas de compactação do mini-MCV na obtenção do coeficiente  $d'$ .

## 2.5. ESPECIFICAÇÕES PARA USO DE SAFL EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS COM BASE NA METODOLOGIA MCT

Em 1982, os pesquisadores Job Nogami e Douglas Villibor propuseram o emprego da Metodologia MCT na especificação de SAFL para bases de pavimentos de baixo custo (Villibor e Nogami, 1982), onde um SAFL é reconhecido através de sua granulometria e propriedades tecnológicas mecânicas e hídricas, obtidas pelo critério da Metodologia MCT, a saber:

- O solo deve apresentar granulometria tal que seja aplicável a Metodologia MCT, ou seja, o material deve ter no máximo 5 a 10% retido na peneira de abertura 2 mm;
- A curva granulométrica deve ser descontínua, devendo se enquadrar na faixa recomendada apresentada na figura 2.6;
- Deve pertencer a classe dos solos de comportamento laterítico segundo a classificação MCT (LA, LA' ou LG');
- Deve possuir, quando compactado na energia do Proctor Intermediário do ensaio mini-Proctor, as propriedades tecnológicas indicadas no tabela 2.1.

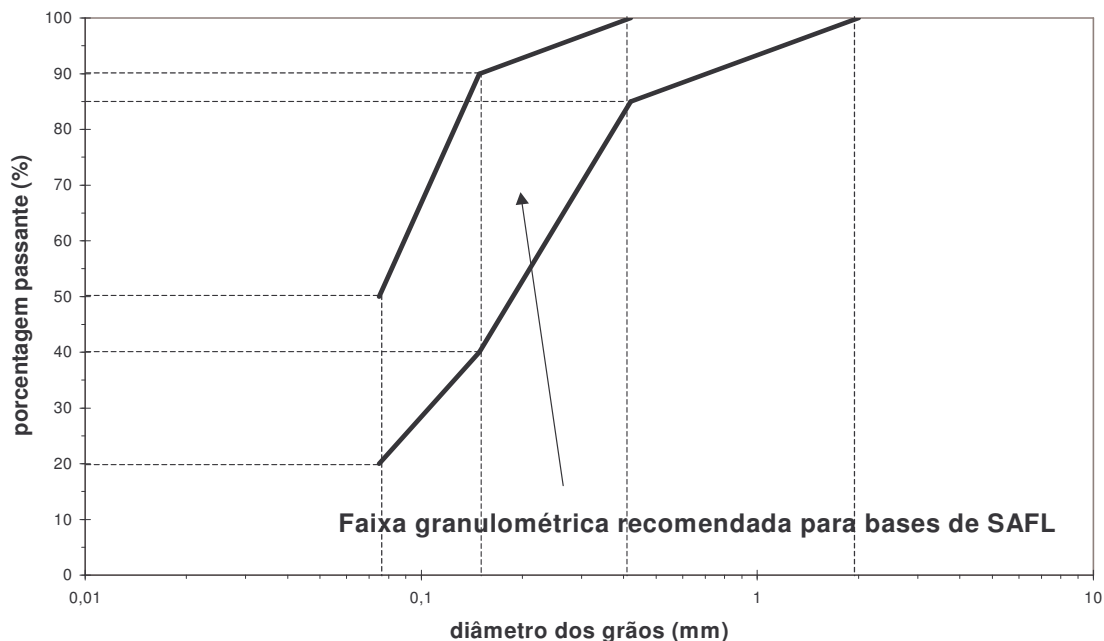


Figura 2.6 - Faixa granulométrica recomendada para SAFL empregado em bases de pavimento de baixo custo.

Tabela 2.1 - Propriedades tecnológicas recomendadas aos SAFL empregados em bases de pavimento de baixo custo (referentes a energia do Proctor Intermediário do mini-Proctor).

Propriedade	Parâmetro	Valores recomendados
Capacidade de suporte	mini-CBR sem imersão	$\geq 40\%$
Perda da capacidade de suporte	Índice RIS = $(\text{mini-CBR}_{\text{imerso}}/\text{mini-CBR}_{\text{s/imersão}}).100\%$	$\geq 50\%$
Expansão em água	Expansão	$\leq 0,3\%$
Contração por secagem ao ar	Contração por secagem	0,1 a 0,5%
Infiltrabilidade (sorção capilar)	Coefficiente de sorção (s)	$10^{-2}$ a $10^{-4}$ cm/min <sup>1/2</sup>

## 2.6. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E HIDRÁULICAS DAS BASES DE SAFL

Apesar de apresentarem granulometria descontínua e fina e propriedades-índices fora dos limites estabelecidos pelas especificações tradicionais, as bases de SAFL, acompanhando o comportamento apresentado pelos solos lateríticos (item 2.4), caracteriza-se pelas seguintes propriedades: elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa expansibilidade, coesão elevada e baixo coeficiente de sorção. Além destas características, cabe destacar a boa aderência do revestimento, resistência aos esforços provenientes do tráfego e à ação das intempéries. Estas boas propriedades são atribuídas às peculiaridades mineralógicas e à micro-estrutura inerentes aos solos lateríticos.

Entretanto, o que a experiência acumulada relatada em trabalhos técnicos tem mostrado é que alguns cuidados básicos devem ser seguidos quando da execução de bases em SAFL, principalmente para se evitar a saturação destes materiais:

- Escolha de solos adequados respeitando os limites de sorção capilar;
- Compactação adequada, evitando a formação de lamelas;
- Secagem ou cura da base, que propicia um trincamento, aumento irreversível da capacidade de suporte, movimento descendente da água na estrutura e maior penetração da imprimadura;

- Uso de imprimadura apropriada (taxa e viscosidade adequados);
- Necessário acostamento devidamente compactado, imprimado e revestido, executado com material de baixo coeficiente de sorção e permeabilidade;
- Emprego de revestimento flexível e impermeável;
- Drenagem adequada para evitar ao máximo a presença de água livre.

## 2.7. PECULIARIDADES SOBRE O COMPORTAMENTO DE PAVIMENTOS COM BASES SAFL

Quando da construção de bases de SAFL, verificou-se que os solos apresentavam problemas construtivos variados, de forma que os solos comumente utilizados foram separados em quatro grupos, localizados em áreas distintas do gráfico de classificação MCT, como apresentados em Nogami e Villibor (1995) (figura 2.7).

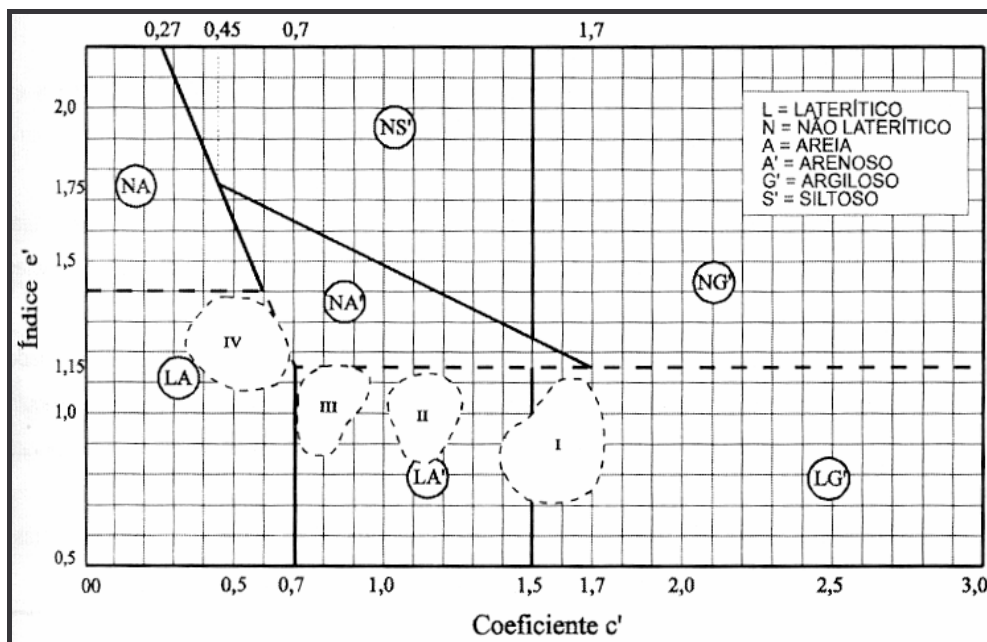


Figura 2.7 - Hierarquização dos SAFL com base na classificação MCT (Nogami e Villibor 1995).

A hierarquização com base na experiência acumulada com obras no interior de São Paulo permite identificar as seguintes peculiaridades aos diferentes tipos:



1º) SAFL dos tipos I e II, com prioridade àqueles próximos a interface entre os mesmos – apresentam excelente compactabilidade, alcançando grau de compactação de 100% na energia do Proctor Intermediário, fácil acabamento da superfície, satisfatória receptividade à imprimadura e superfície e bordas resistentes ao amolecimento por umedecimento, resultando em boa resistência hídrica. O SAFL do tipo I pode apresentar excessiva contração por secagem e demasiados danos na superfície da base pelo tráfego de serviço associados ao trincamento excessivo;

2º) SAFL dos tipos III e IV, com prioridade aos primeiros – apresentam pior compactabilidade, alcançando no campo um máximo grau de compactação de 90% na energia do Proctor Intermediário, propensão a formação de lamelas, dificuldade de acabamento superficial da base, desgaste intenso sob ação do tráfego de serviço e superfícies e bordas muito susceptíveis ao amolecimento por absorção excessiva de umidade. Segundo os autores, o tipo IV só é indicado para base de pavimentos urbanos, com execução de solo-cimento junto às bordas.

## **2.8. TÉCNICA CONSTRUTIVA E DE CONTROLE DE BASES DE SAFL**

Como já descrito no item 2.2, no estado de São Paulo o uso rotineiro de bases de solos arenosos finos lateríticos em pavimentação, deu-se somente após 1975. Até então esses solos “in natura” só eram usados rotineiramente como camadas de reforço do subleito ou sub-bases. Por conseqüência, a técnica conhecida, empregada e testada para a construção dessas camadas, era aquela compatível com as funções de camadas inferiores de pavimento. Como essas camadas são confinadas pela base e, eventualmente, pela sub-base, não havia preocupação do meio técnico com outros aspectos tais como trincamento, qualidade do acabamento da superfície, entre outros. Para aferir a qualidade dos subleitos e sub-bases limitava-se à obtenção de um grau de compactação que garantiria um suporte, expresso em termos do índice CBR especificado para a camada (Villibor et al , 1987).

Quando o SAFL passou a ser utilizado como base, outras características se tornaram decisivas para o sucesso da utilização desse solo em pavimentos econômicos. A camada de base, embora seja construída com o solo “in natura”, não mais terá o confinamento superior, pois recebe apenas uma camada delgada de revestimento betuminoso esbelto (com espessura de no máximo 3 cm), e deve resistir aos esforços da construção desse revestimento e ligar-se

bem a ele. A base também estará sujeita a uma maior transferência de esforços verticais e horizontais decorrentes do tráfego, além de estar mais exposta à ação de intempéries.

Para a construção de camadas que atendam essas propriedades, Villibor e Nogami (1987) apresentaram recomendações técnicas construtivas para bases de solos arenosos finos lateríticos.

Segundo os autores, mesmo sendo tipicamente arenosos finos os solos usados em bases de SAFL, a amplitude da variação nas propriedades mecânicas e hidráulicas desses materiais é grande. A qualidade da camada pode diferir substancialmente e a técnica construtiva não deve ser a mesma para todas as variedades. Desse modo, os pesquisadores desenvolveram procedimentos construtivos e de controle dessas bases considerando a divisão dos 4 grupos de solos de comportamento lateríticos, conforme já ilustrado na figura 2.7 (item 2.7). Para os solos de cada uma dessas áreas da figura 2.7, foram estudados detalhes da técnica construtiva mais adequada a fim de se evitarem defeitos e minimizar o custo da construção. A tabela 2.2 ilustra o procedimento construtivo e de controle de bases de SAFL proposto pelos autores. Outros detalhes construtivos de bases de SAFL se encontram na figura 2.8.

Segundo os mesmos autores, a experiência lhes mostrou que alguns fatores como a largura da plataforma e o tratamento adequado das bordas são fundamentais para o sucesso dos pavimentos com base de SAFL, o que os levou a especificarem uma seção transversal e largura de plataforma como mostrado na figura 2.9, sendo que a declividade longitudinal mínima deverá ser de 1 %.

Tabela 2.2 - Procedimento construtivo e controle tecnológico de bases de SAFL (Villibor *et al.*, 2000).

Controle do solo e da base	Procedimento construtivo para solos das áreas I e II.
<p><b>Controle do solo a cada 100m</b></p> <p>-Granulometria: peneiras 0,42, 0,15 e 0,75 mm.</p> <p>- mini-CBR<sub>hm</sub></p> <p>- Contração</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar o solo e pulverizá-lo, deixando a camada solta (colchão) na faixa de umidade de projeto;</li> <li>- Iniciar a compactação com rolo pé de carneiro pata longa, seis passadas e se necessário, complementá-la com rolo vibratório corrugado, dando no máximo três passadas;</li> <li>- Preferencialmente não patrolar o solo para o ajuste de espessura da base durante o processo de compactação, que deverá terminar quando o grau de compactação de campo for <math>\geq</math> ao de projeto;</li> <li>- Após irrigá-la, efetuar o acabamento final da base com a moto-niveladora, cortando-a numa espessura de <math>\pm 2</math> cm e também cortando as laterais. Executar a rolagem final com rolo de pneu ou dar no máximo uma passada com o rolo vibratório liso;</li> <li>- Deixar a base perder umidade, por secagem, num período de 48 a 60 horas ou até a ocorrência de trincas com largura de <math>\pm 2</math> mm.</li> </ul>
Controle do solo e da base	Procedimento construtivo para solos das áreas III e IV.
<p><b>Controle do solo a cada 40m</b></p> <p>- Verificação do grau de compactação <math>\geq 100\%</math> da energia intermediária.</p> <p>- Verificação do teor de umidade na fase de compactação (<math>w_{\text{ótimo}} \pm 2\%</math>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar o solo e pulverizá-lo na faixa de umidade de projeto;</li> <li>- Iniciar a compactação com rolo de pneu, oito passadas e completá-la, se necessário, dando no máximo uma passada com rolo liso vibratório;</li> <li>- Não patrolar o solo para o ajuste de espessura da base durante o processo de compactação;</li> <li>- Acabamento final da base: após irrigá-la, efetuar o acabamento com a moto-niveladora, cortando-a numa espessura de <math>\pm 2</math> cm e também cortando as laterais, porém dando a rolagem final com o rolo de pneu;</li> <li>- Deixar a base perder umidade, por secagem, num período de 48 a 60 horas ou até a ocorrência de trincas com largura de <math>\pm 2</math>mm.</li> </ul>
<p>Recomendações gerais:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Espessura mínima da base é de 12,5 cm e a máxima de 17,0 cm;</li> <li>2. A uniformização do teor de umidade do colchão de solo para compactação deverá ser efetuado no final da tarde, e sua compactação deverá ser executada no período da manhã;</li> <li>3. A imprimação da base deve ser precedida de uma leve irrigação.</li> </ol>	



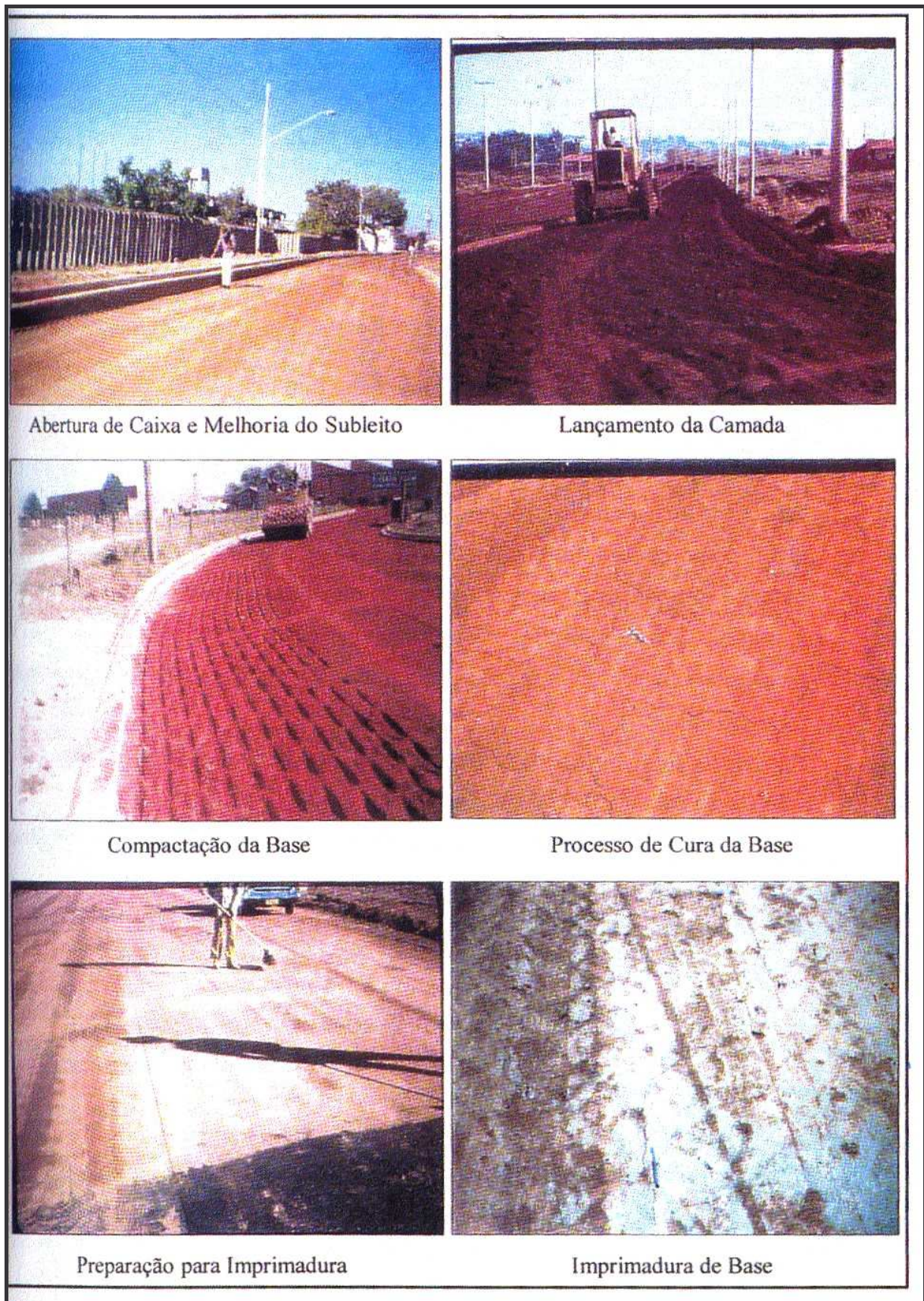


Figura 2.8 - Detalhes construtivos de bases de SAFL (Villibor e Nogami, 2001).



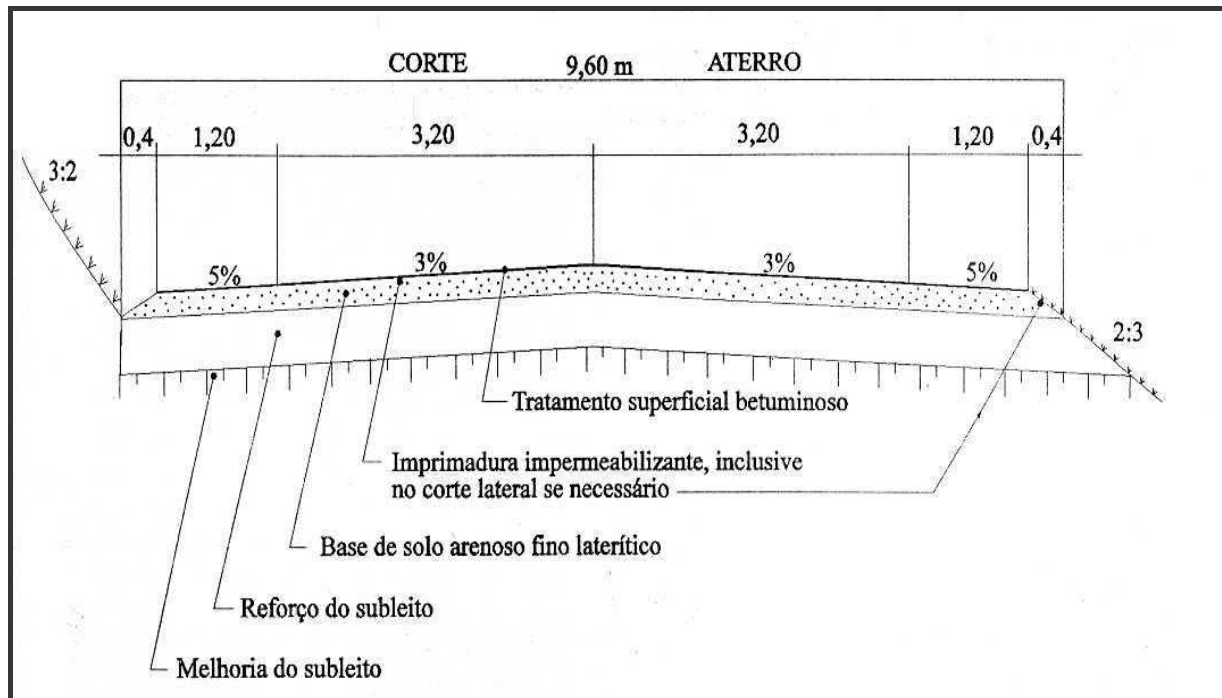


Figura 2.9 - Exemplo de seção transversal típica de um pavimento rodoviário com base de SAFL (Nogami e Villibor, 1995).

Além dos procedimentos mostrados no tabela 2.2, outros detalhes construtivos devem ser considerados para execução de pavimentos de baixo custo utilizando SAFL, tais como:

- **Acostamento:**

É imprescindível a execução de acostamento em pavimentos que utilizam bases de SAFL.

A largura mínima do acostamento deve ser de 1,0 m de cada lado da pista, devidamente compactado, imprimado e revestido, constituído de solos de baixos coeficientes de sorção e de permeabilidade.

- **Drenos:**

Deve possuir drenos apropriados para evitar ao máximo a presença d'água livre à profundidade, tal que também elimine o efeito da migração d'água pelo gradiente térmico. Conforme o caso, há necessidade da construção de drenos interceptantes para aquíferos permanentes ou periódicos (que aparecem somente na estação chuvosa), e drenos para rebaixamento de lençol freático.

- **Imprimadura betuminosa:**

A imprimadura betuminosa consiste na aplicação de uma camada contínua de material betuminoso sobre a superfície da base concluída, que tem por objetivo:

- Aumentar a coesão da superfície da base e impermeabilizá-la superficialmente;
- Preencher tanto quanto possível as trincas que ocorrem na base de SAFL e promover aderência entre a base e a camada de rolamento.

A imprimação deverá ser efetuada obrigatoriamente com a utilização de asfalto diluído do tipo CM-30 e CM-70 (asfalto diluído com querosene) por apresentar baixa viscosidade, infiltrando na base e permitindo que a parte residual (betume) penetre convenientemente na superfície da base. Com a evaporação do solvente, esta superfície é impregnada de betume produzindo um “solo betume”, ficando impermeabilizada o quanto possível, além de proporcionar uma ligação adequada com tratamentos superficiais.

Para que o fenômeno ocorra, é necessário que a imprimação da base seja precedida de uma secagem prévia e, posteriormente, uma varredura enérgica (vassouras rotativas e ou jatos de ar comprimido) seja executada com o objetivo de eliminar toda a poeira e material solto em sua superfície. Após este procedimento, deve-se realizar uma leve irrigação com taxa de água entre 0,5 e 1,0 l/m<sup>2</sup>. Somente após este serviço, deve-se imprimir a base com taxa e tipo de imprimadura indicada em projeto. Essa taxa deve ser adequada e ter viscosidade que permita uma penetração entre intervalos de 3 a 10 mm de espessura. A figura 2.10 ilustra os aspectos acima referidos.

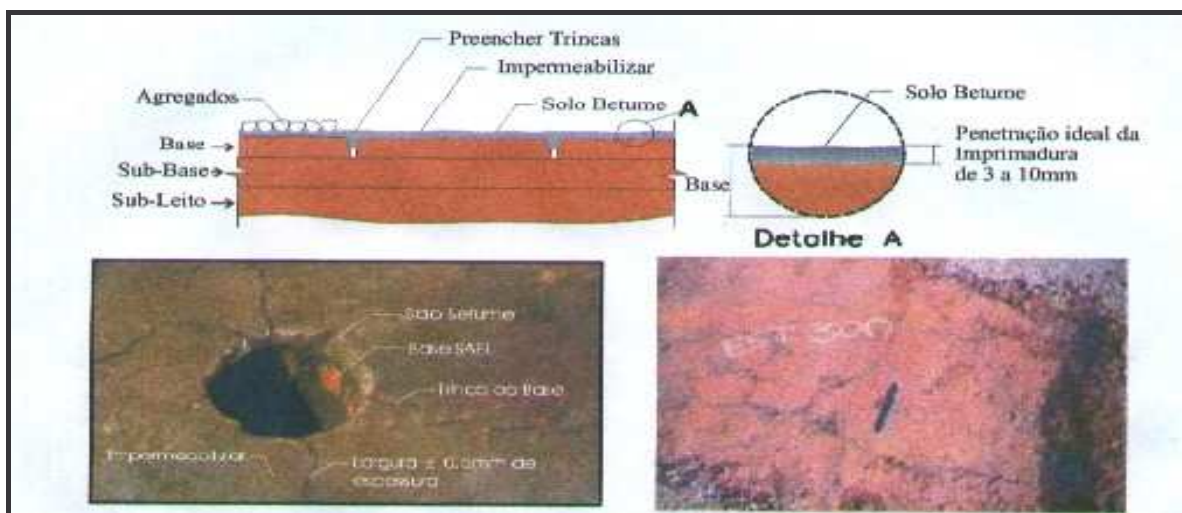


Figura 2.10 - Penetração do asfalto na base (Villibor e Nogami, 2001).

Para dosar em laboratório o tipo e taxa de imprimadura que deve ser adotado sobre uma base de SAFL, pode-se utilizar o critério proposto por Villibor *et al.* (1988) que sugere o seguinte roteiro para a fixação do tipo e da taxa de material asfáltico a ser utilizado na imprimadura:

- a) Ensaiar o solo em questão com CM-30, à taxa de  $1,2 \text{ l/m}^2$ ;
- b) Traçar a curva penetração da imprimadura versus teor de umidade e determinar a penetração no teor de umidade correspondente ao  $w_{ót} - 2\%$ ;
- c) Se a penetração obtida no item b) for inferior a 4 mm, utilizar CM-30 para a imprimação, aplicado na temperatura de  $30^\circ \text{ C}$ , à taxa de 0,8 a  $1,0 \text{ l/m}^2$ . Se a penetração obtida no item b) estiver de 4 a 10 mm, utilizar CM-30, aplicado na temperatura de  $30^\circ \text{ C}$ , à taxa de 1,0 a  $1,2 \text{ l/m}^2$ ;
- d) Nos casos em que a penetração da imprimadura obtido no item b) for superior a 10 mm, reensaiar o solo utilizando CM-70, viscosidade Saybolt-Furol entre 80 e 100 s. Com os resultados traçar o gráfico penetração da imprimadura versus teor de umidade, determinar a penetração da imprimadura no teor de umidade correspondente a  $w_{ót}$  e proceder à determinação da taxa conforme indica o item c), porém com a utilização de CM-70, na temperatura de  $40^\circ \text{ C}$ .

Também é possível dosar o tipo e taxa da imprimadura experimentalmente sobre um segmento da ordem de 100 m, segundo as seguintes etapas apresentadas em Villibor e Nogami (2001):

- Após a secagem da base irriga-la levemente com  $0,8 \text{ l/m}^2$ ;
- Após 15 minutos, efetuar a imprimação com asfalto diluído tipo CM-30 em uma temperatura entre  $30$  e  $50^\circ \text{ C}$ , com uma das taxas indicadas abaixo:
  - Bases com solo tipo I e II ..... taxa: 0,8 a  $1,0 \text{ l/m}^2$
  - Bases com solo tipo III e IV ..... taxa: 1,0 a  $1,2 \text{ l/m}^2$
- Esperar a imprimadura curar por 48 horas e medir sua espessura de penetração na base através de no mínimo 9 furos executados com talhadeira na superfície da mesma;
- Taxa e tipo de material betuminoso: com a espessura de penetração média, obtida no campo, têm-se as recomendações da tabela 2.3:

Tabela 2.3 - Recomendações para determinar a taxa e o tipo da imprimadura impermeabilizante (Villibor e Nogami, 2001).

Espessura da penetração c/ CM-30	Recomendação		
	Asfalto diluído	Temperatura de aplicação	Taxa
4 – 10 mm	CM-30	30 a 50° C	1,0 l/m <sup>2</sup>
> 12 mm	CM-70	45 a 50° C	0,9 l/m <sup>2</sup>
< 4 mm	CM-30	45 a 50° C	0,8 l/m <sup>2</sup>

A taxa e o tipo de material betuminoso indicados na tabela 2.3 deverão, se necessário, ser ajustados no campo para atender às recomendações citadas.

- **Revestimento:**

Uma das características peculiares na execução de pavimentos de baixo custo é a utilização de camada de rolamento de pequena espessura, de no máximo 3,0 cm. O revestimento deve ser flexível e impermeável, a fim de evitar ao máximo a penetração da água pela superfície superior do pavimento, sendo recomendável que, na primeira etapa, comece por um tratamento superficial duplo (TSD) ou triplo invertido (TST), com o uso de cimento asfáltico de petróleo ou emulsão asfáltica RR-2C.

Segundo Villibor *et al.*(2000), tem-se também usado como camada de rolamento em pavimentos de baixo custo, concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), com espessura de 2,5 cm. Antes da aplicação do CBUQ, é recomendável a execução de uma camada anticravageamento ou de bloqueio (TS ou Pé de Moleque) com o objetivo de melhorar a interface base/revestimento. A aplicação de CBUQ deverá ser efetuada através de vibroacabadora e a compactação feita com rolo de pneus e rolo tandem liso e leve. O processo executivo de revestimento betuminoso dos tipos tratamento superficial e concreto betuminoso usinado a quente no estado de São Paulo tem seguido as especificações de serviço do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP). A figura 2.11 ilustra detalhes do processo executivo da camada de revestimento betuminoso.



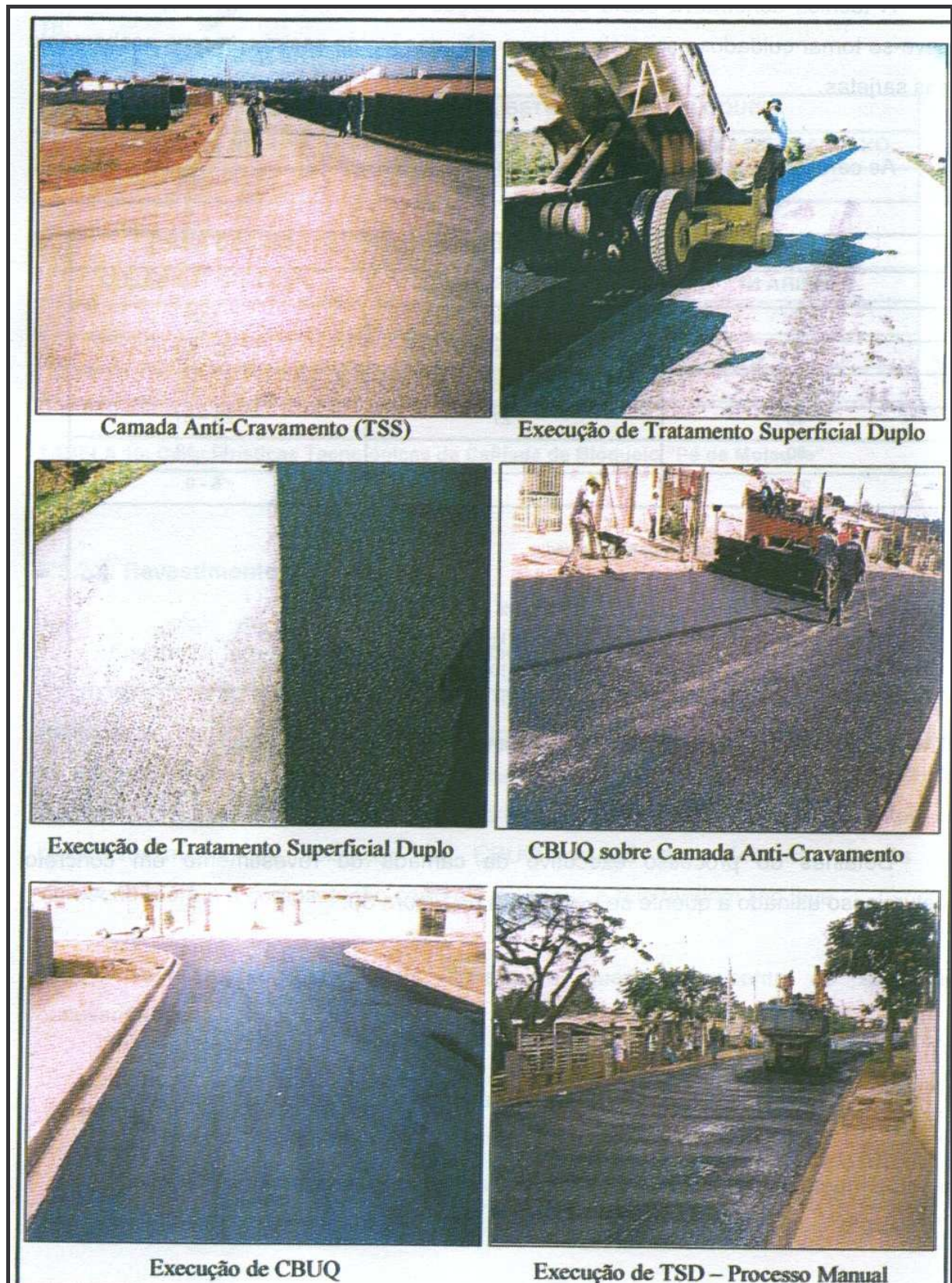


Figura 2.11 - Detalhes do processo executivo da camada de revestimento betuminoso (Villibor e Nogami, 2001).

## 2.9. PRINCIPAIS DEFEITOS ASSOCIADOS A FALHAS OU INADEQUAÇÃO DO PROJETO E/OU TÉCNICA CONSTRUTIVA

Segundo Villibor *et al.* (1987) e Nogami Villibor (1995), o desempenho do pavimento está diretamente relacionado às propriedades mecânicas e hidráulicas da base de SAFL. Muitos defeitos podem ser atribuídos a uma ou mais de suas propriedades. A tabela 2.4 demonstra a relação das propriedades da base consideradas com os defeitos do pavimento.

Tabela 2.4 - Relação das propriedades físicas da base e principais defeitos construtivos (modificado de Nogami e Villibor, 1995).

Propriedades físicas da base	Principais problemas e defeitos construtivos associados
Capacidade de suporte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação excessiva do pavimento;</li> <li>- Ruptura do pavimento.</li> </ul>
Aumento de volume com o teor de umidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação excessiva do pavimento;</li> <li>- Ruptura do pavimento;</li> <li>- Trincamento do revestimento.</li> </ul>
Movimentação da água em camadas de base não saturadas. Envolve a consideração do coeficiente de sorção, a velocidade de deslocamento da frente de umidade e coeficiente de permeabilidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amolecimento da parte superior da base, devido às chuvas na fase construtiva;</li> <li>- Amolecimento da borda da base, do reforço e do subleito, causando deformação excessiva e ruptura do pavimento;</li> <li>- Camada drenante ocasionando aumento excessivo do teor de umidade das camadas adjacentes, provocando deformação excessiva e ruptura do pavimento.</li> </ul>
Diminuição do volume por perda de umidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desagregação das bordas;</li> <li>- Trincas na fase construtiva da base. Trincas de reflexão no revestimento que podem aumentar o teor de umidade do pavimento, ocasionando deformação excessiva e ruptura.</li> </ul>
Massa específica aparente e teor de umidade de compactação para camada de base.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teores de umidade e grau de compactação inadequados podem ocasionar deformação excessiva e ruptura do pavimento.</li> </ul>
Espessura e quantidade de material betuminoso penetrado na superfície de base.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escorregamento do revestimento;</li> <li>- Exsudação de asfalto no revestimento.</li> </ul>

Os principais defeitos relacionados a pavimentos econômicos com bases de SAFL são descritos a seguir:

**a) Recalques longitudinais:**

Segundo Villibor e Nogami (2001), tanto nas rodeiras como nas bordas dos pavimentos podem ocorrer afundamento longitudinais, que são causados por:

- Deficiência de compactação da base e/ou camadas subjacentes que, sob a ação do tráfego, provocam afundamentos permanentes que atingem geralmente profundidades da ordem de 1 a 2 cm. Estes afundamentos geralmente estabilizam-se sem ocasionar problemas mais sérios ao pavimento;
- Perda de suporte por umedecimento excessivo provocado pela entrada da água através das bordas do pavimento. Os afundamentos originados deste modo tendem a evoluir para a formação de painéis ou para ruptura da base, com o deslocamento lateral do SAFL;
- Deformação com deslocamento lateral de material da base que se fragmenta horizontalmente em lamelas, provocado pelo tráfego excessivamente pesado para a estrutura do pavimento. A evolução depende da intensidade do tráfego.

Esses defeitos são mais comuns nos solos do grupo III e IV, e onde o acostamento é de largura insuficiente para as características de infiltrabilidade d'água e regime de equilíbrio hídrico prevalecente no trecho. Além disso, o aumento do teor de umidade, decorrente da infiltração lateral d'água, pode ser provocado pela presença, junto das bordas, de solo mal compactado ou leiras de material terroso.

**b) Ruptura da base nas bordas do pavimento**

Nas bordas do pavimento, as dificuldades de compactação acarretam camadas com graus de compactação menores. Sendo mais próximas das valetas laterais de drenagem, as bordas mal compactadas são mais sujeitas à infiltração lateral das águas pluviais.

O grau de compactação insuficiente acarreta uma maior absorção de água, provocando uma drástica redução na capacidade de suporte e dando origem a deformações acentuadas que, em alguns casos, chegam a provocar ruptura da base. Este defeito também é mais frequente nos solos que se enquadram nos tipos III e IV e onde o acostamento pavimentado possui largura inferior a 1,0 m.



**c) Ondulações no revestimento**

A existência desse defeito está ligada frequentemente à ocorrência de lamelas na parte superficial da base de SAFL, os quais, sob a ação do tráfego, produzem ondulações no revestimento, com fendilhamento e posterior desprendimento ou deslizamento do mesmo. Dependendo do estágio de evolução desse defeito, a base pode ficar exposta ao tráfego, ocasionando a formação de painéis. Essas painéis evoluem rapidamente no SAFL que se encaixa nos tipos III e IV e podem exigir reconstrução da parte afetada pelo defeito. As ondulações podem ocorrer associadas a recalques.

As lamelas nas bases de SAFL podem ser provocadas por três fatores diferentes, que podem ocorrer isoladamente ou em conjunto:

- Superposição de camada de pequena espessura (menor que cerca de 5 cm) sobre outra já compactada. Isso pode ocorrer na fase de acabamento, quando depois de cortar a base verifica-se que há locais onde falta material. Não podem ser preenchidos com solo porque fatalmente causarão defeitos. O acabamento da base deve, obrigatoriamente, ser em corte e durante a compactação deve-se evitar o acerto de camadas finas com motoniveladora;
- Uso excessivo de rolo vibratório na compactação;
- Supercompactação para o teor de umidade da camada, mesmo sem uso de rolo vibratório.

**d) Painéis**

As painéis são defeitos localizados, conseqüentes ao desaparecimento do revestimento e formação de uma depressão na base, com forma aproximadamente circular. Em geral, elas decorrem de deficiências da imprimadura, em pontos alinhados ou isolados (defeitos de falhas de bico na distribuição da imprimadura), quando o material betuminoso não adere convenientemente à base de SAFL.

As painéis podem também resultar de lamelas que se desprendem, soltando a parte superior da base junto com o revestimento ou, ainda, ter sua origem nos defeitos apontados nos itens anteriores. Evoluem aumentando seu diâmetro e causando umedecimento prejudicial da base nas suas vizinhanças, com conseqüentes deformações localizadas.

**e) Trincas de reflexão**

Quando a base de SAFL perde umidade logo após a compactação, ocorre um trincamento, devido à contração, que normalmente não causa problemas, podendo até mesmo

identificar o tipo de solo quanto ao seu desempenho como base. Mas se a base é compactada com umidade acima da ótima, esse trincamento pode ser excessivo, principalmente quanto à largura das trincas.

As trincas consideradas podem refletir no revestimento betuminoso, esse fenômeno ocorre, sobretudo no SAFL que se encaixa nos tipos I e II, com maior intensidade quando os tratamentos betuminosos são esbeltos e sistematicamente nas capas de concreto asfáltico. Através das trincas há infiltração de água que pode provocar um aumento prejudicial de umidade da base, além de provocar a quebra de suas bordas com conseqüente desprendimento de agregado da capa. O processo intensifica-se nos períodos de chuva.

Desde que o padrão do trincamento seja aceitável, o aparecimento das trincas de reflexão, por si só, não causa preocupação e o pavimento pode conviver com elas.

#### **f) Exsudação de material betuminoso**

A exsudação, ou seja, o aparecimento de material betuminoso sem o respectivo agregado na superfície da camada de rolamento, pode se dar por diversos motivos, dentre os quais:

- Material betuminoso excessivo na execução da imprimadura ou do revestimento. As bases de SAFL, principalmente com solos dos tipos I e II, podem apresentar exsudação porque a penetração da imprimadura tende a ser baixa e faz sobrar resíduos em excesso na superfície. Neste caso, é essencial que se determine criteriosamente a taxa de ligante a ser aplicada;
- Execução do tratamento superficial sobre imprimadura mal curada ou logo após chuvas, sem esperar a secagem completa da imprimadura, e também a aplicação da imprimadura sobre a base muito úmida;
- Penetração do agregado do tratamento superficial na base, com deslocamento de material betuminoso para cima, juntamente com o SAFL da base. Esse tipo de exsudação é provocado diretamente pelo tráfego, em função de sua intensidade. A possibilidade dessa ocorrência deve levar à colocação de camada anticravamento.

#### **g) Erosões na borda do pavimento**

Erosões muito intensas podem ocorrer quando não são protegidas adequadamente as bordas do pavimento. A drenagem superficial, o plantio de grama imediatamente após a construção de cada trecho e, em especial nos solos dos tipos III e IV, o corte a 45° da borda da base e sua imprimação betuminosa, são as garantias contra esses defeitos.

A figura 2.12, através de um fluxograma de causas, ocorrência, evoluções e serviços de conservação dos defeitos de pavimentos de baixo custo, particulariza a inter-relação entre os defeitos construtivos relacionados à base de SAFL e a interface entre esta e o revestimento.

Detalhes dos principais defeitos do pavimento estão ilustrados na figura 2.13.

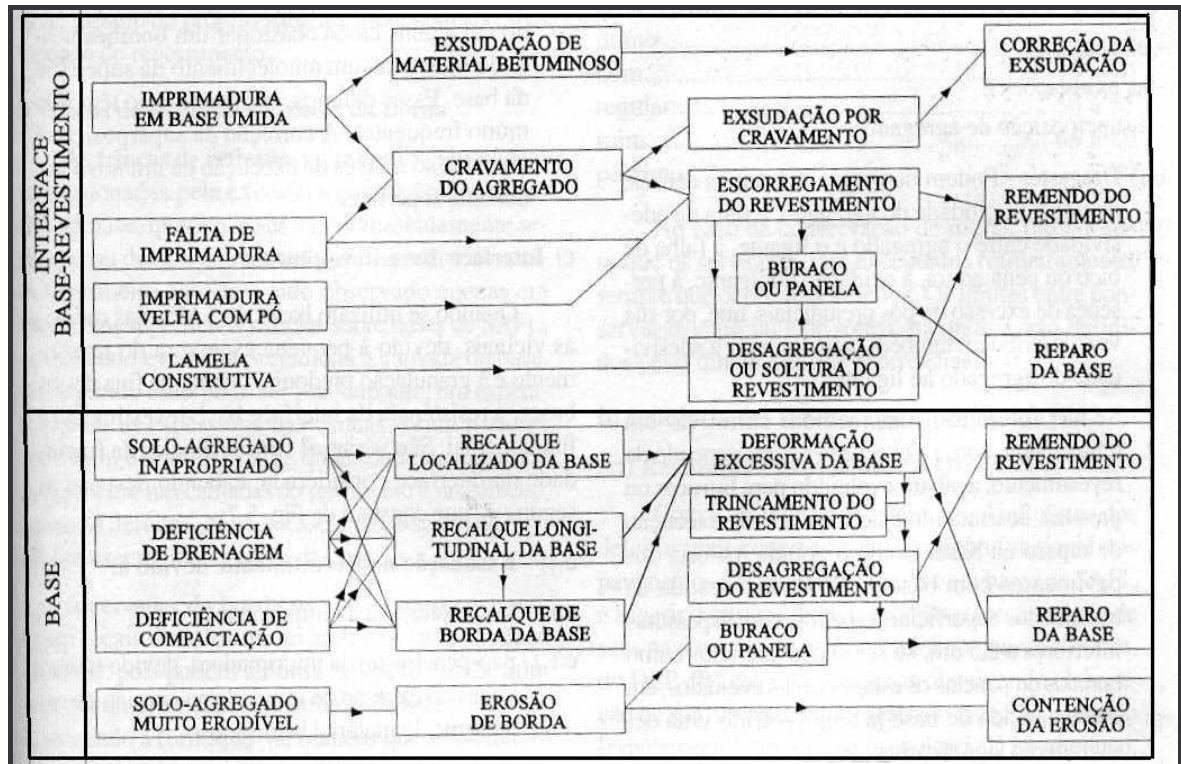


Figura 2.12 - Fluxograma de causas, ocorrência, evoluções e serviços de conservação dos defeitos de pavimentos de baixo custo (modificado de Nogami e Villibor, 1995).



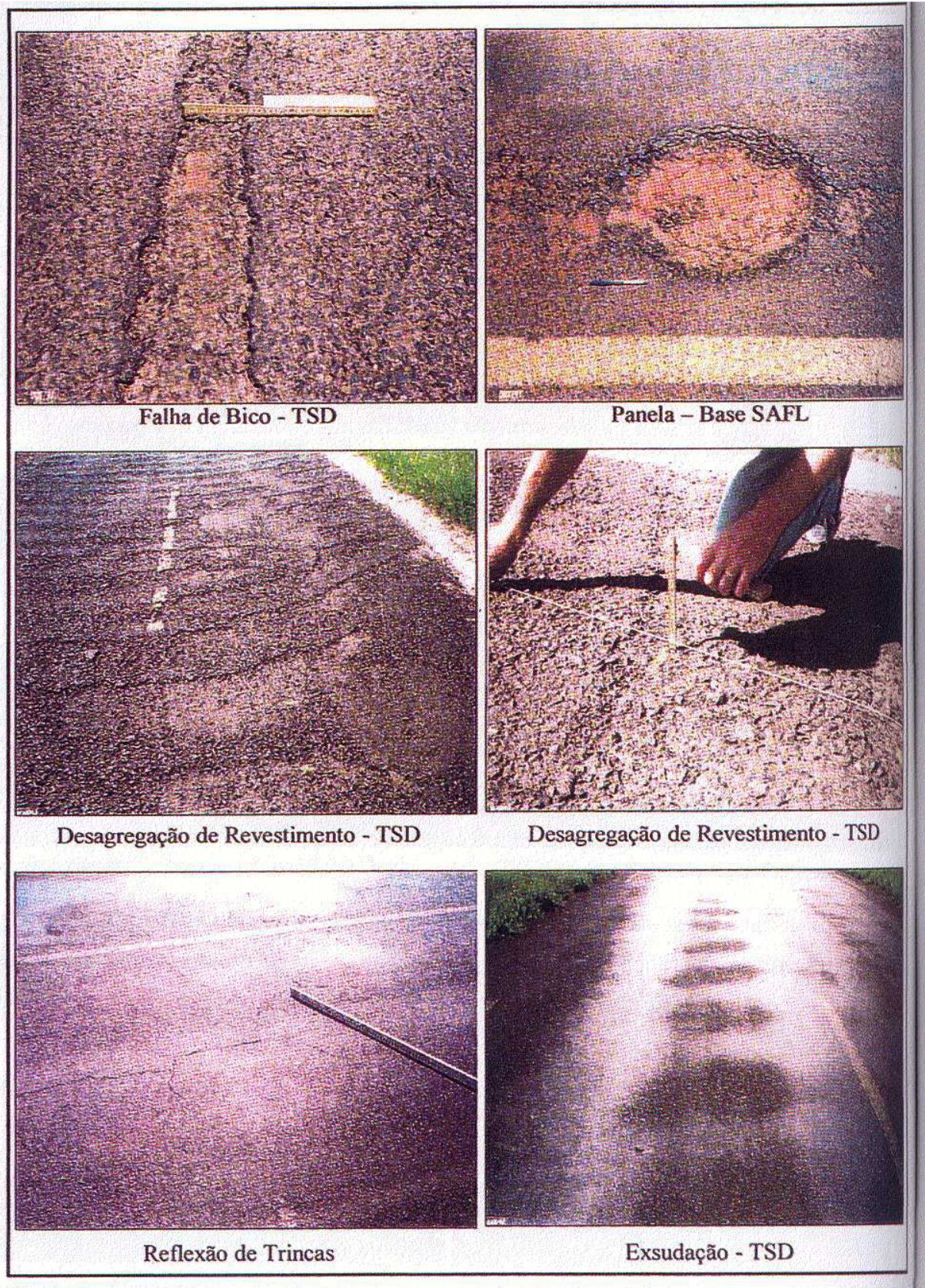


Figura 2.13 - Detalhes dos defeitos de pavimentos com base de SAFL

(Villibor e Nogami, 2001).



## 2.10. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO COM SAFL

A seguir será apresentado um breve comentário sobre o método de dimensionamento da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP), empregado no presente estudo. Informações técnicas mais detalhadas sobre o método são apresentadas no capítulo 7, onde é realizado o dimensionamento da estrutura de pavimento proposta como estudo de caso.

Este método foi desenvolvido por volta de 1967, sendo baseado nos resultados do método do DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem). Sua principal característica, segundo Silveira (2000), é a adequação do dimensionamento para vias urbanas. Em 1979 e posteriormente em 1992 esse método passou por revisões, sendo a última sob a consultoria técnica dos engenheiros J. S. Nogami e D. F. Villibor e com verificações mecanísticas realizadas pelo engenheiro L. P. V. Andreatini.

Segundo a publicação técnica Normas de Pavimentação da PMSP (1992), percebe-se que o tráfego e a classificação geotécnica são pontos relevantes do método. A publicação destaca que a importância da correta classificação do tipo de tráfego a que a via será submetida durante seu período de vida útil está diretamente relacionada com a adoção da curva de dimensionamento e, conseqüentemente, com as solicitações locais. Também ressalta que a adoção de critérios mais reais de projeto pressupõe uma cuidadosa caracterização geotécnica do subsolo onde será implantado o pavimento, de forma a não comprometer sua segurança e vida útil.

Como conseqüência da preocupação com a correta caracterização do solo são exigidas amostragens sistemáticas e elaboração do perfil geotécnico. No que se refere ao conhecimento sobre solos tropicais a supra citada publicação técnica acrescenta:

*“Aproveitando a evolução e desenvolvimento tecnológico para a geotécnica de solos tropicais, esta instrução possibilita a utilização da metodologia MCT, que fornece resultados comprovadamente mais apropriados que as tradicionais para aplicação aos solos formados nas condições ambientais tropicais”.*



### **3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E PEDOLÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS**

#### **3.1. DEFINIÇÃO DA OCORRÊNCIA DOS SOLOS ESTUDADOS**

A ocorrência de solos arenosos finos avermelhados de potencial comportamento laterítico na Planície Costeira Sul do Rio Grande Sul está associada ao horizonte subsuperficial B de perfis de Argissolo Vermelho-Amarelo, por Embrapa (1999), (Podzólico Vermelho-Amarelo, Embrapa 1973), desenvolvidos sobre barreiras litorâneas pleistocênicas. Estes perfis são representativos da unidade de mapeamento PVa7 (segundo IBGE, 1986) e da unidade de mapeamento Tuiá (segundo Embrapa, 1973), ilustrados nas figuras 3.1 e 3.2. Estes solos são encontrados nos municípios de Rio Grande, São José do Norte, Mostardas, Osório e Pelotas.

A ocorrência mais destacada dos solos da unidade de mapeamento de solos Tuiá dá-se entre os municípios de Pelotas e Rio Grande, nas localidades de Povo Novo e Domingos Petrolini (Rio Grande) e Laranjal (Pelotas). Nestas áreas foram concentradas as pesquisas das jazidas para este estudo.

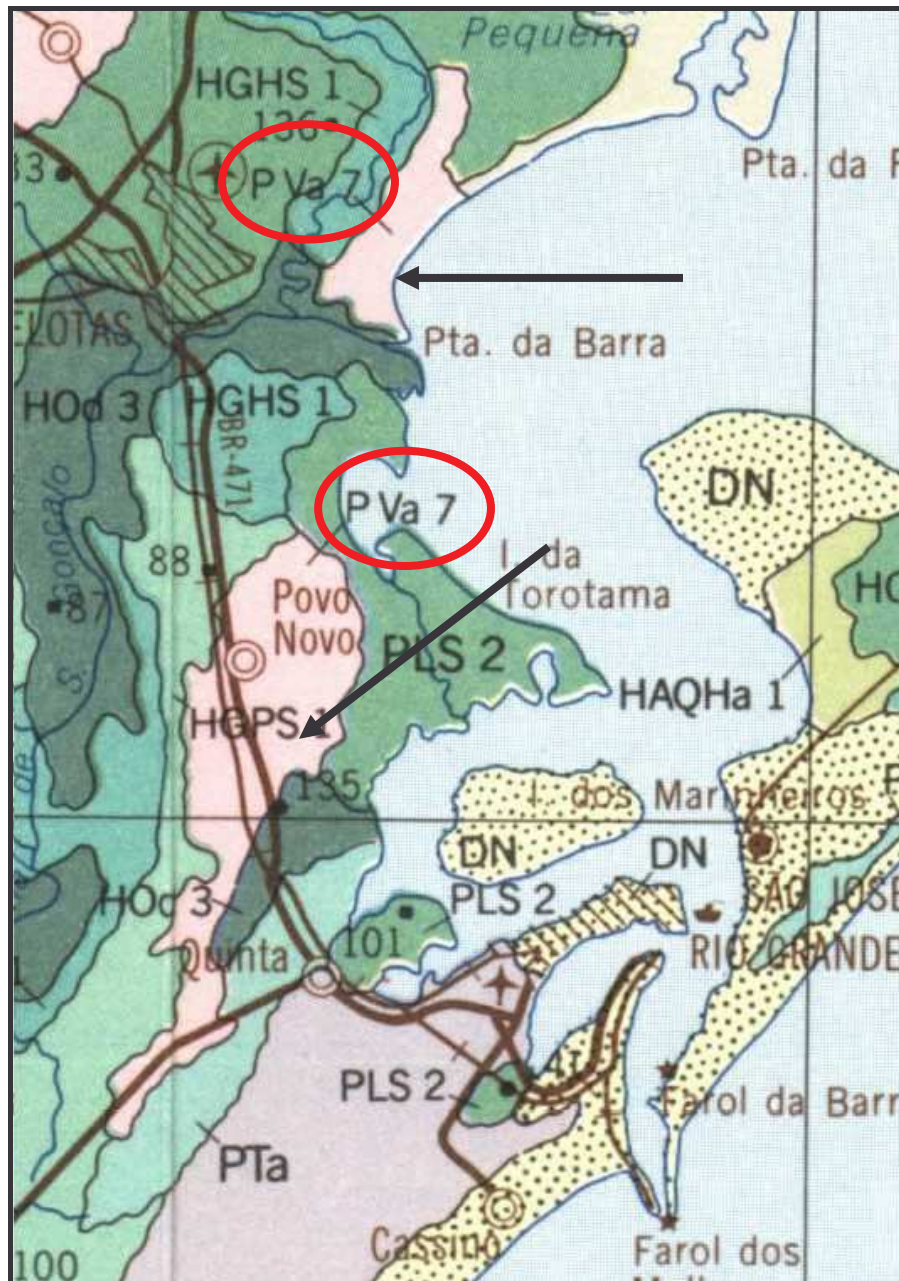


Figura 3.1 - Ocorrência dos solos da unidade PVa7, segundo IBGE (1986), na Planície Costeira Sul (modificado de IBGE, 1986).

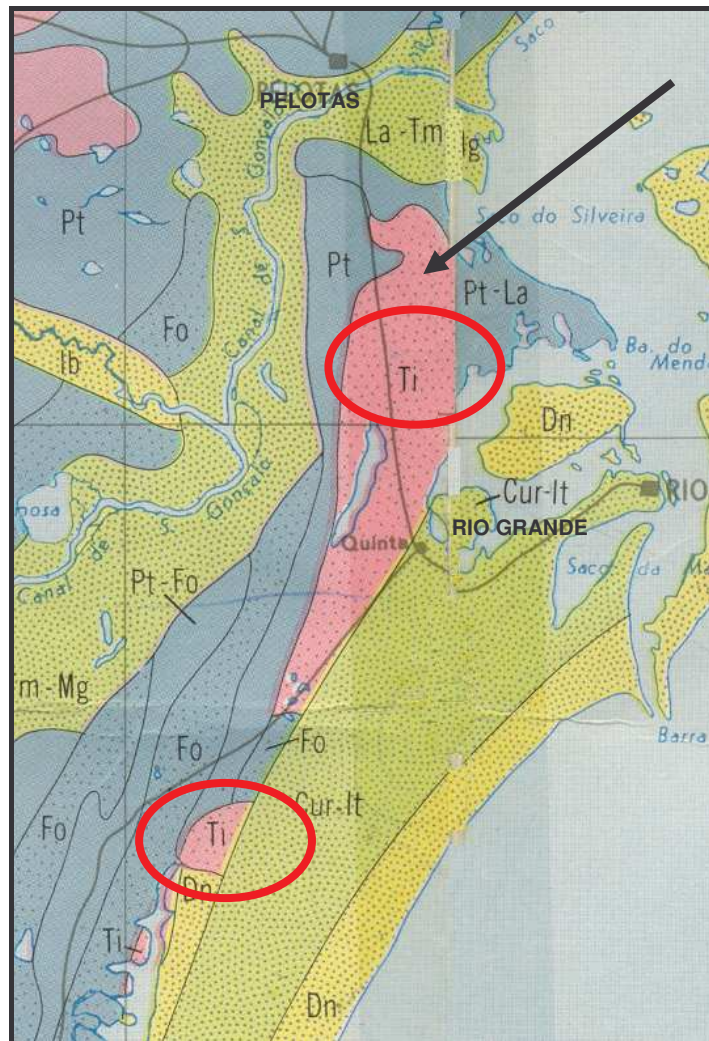


Figura 3.2 - Unidade de Mapeamento Tuiá, segundo Embrapa (1973), na Planície Costeira Sul (modificado de Embrapa, 1973).

### 3.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

O substrato geológico dos solos estudados é formado por sedimentos arenosos finos eólicos (paleodunas) e praias de barreira litorânea (Barreira Litorânea BII), em relevo suave ondulado com cotas em torno de 15m.

Segundo Botelho (2002), a Barreira Litorânea BII é o resultado do segundo dos eventos transgressivo-regressivos pleistocênicos responsáveis pela formação da Planície Costeira do RS. É formada por deposições praias, marinhas e eólicas. Este sistema de ilhas de barreiras foi responsável pelo primeiro isolamento da Lagoa Mirim. No mapa geológico-



geomorfológico do município de Rio Grande apresentado na figura 3.3 (Tagliani, 1997 apud Botelho, 2002, a partir do trabalho de Long, 1989), a Barreira BII é indicada pela cobertura eólica de mantos de aspersão.

Em Tagliani (2002), a partir mapeamento geológico-geomorfológico realizado pelo Centro de Estudos Costeiros da UFRGS (CECO/UFRGS), tem-se equivalência à unidade Qbd2, descrita como remanescentes de depósitos eólicos de dunas litorâneas, associados ao desenvolvimento da Barreira BII, do Pleistoceno Médio. Segundo o autor, são constituídos por areias quartzosas finas e médias, bem selecionadas, cores castanho-avermelhados bem arredondadas, com raras laminações plano-paralelas ou cruzadas de alto ângulo.

Na figura 3.4 é possível visualizar a ocorrência da Qbd2 tanto no município de Rio Grande quanto no município de Pelotas.

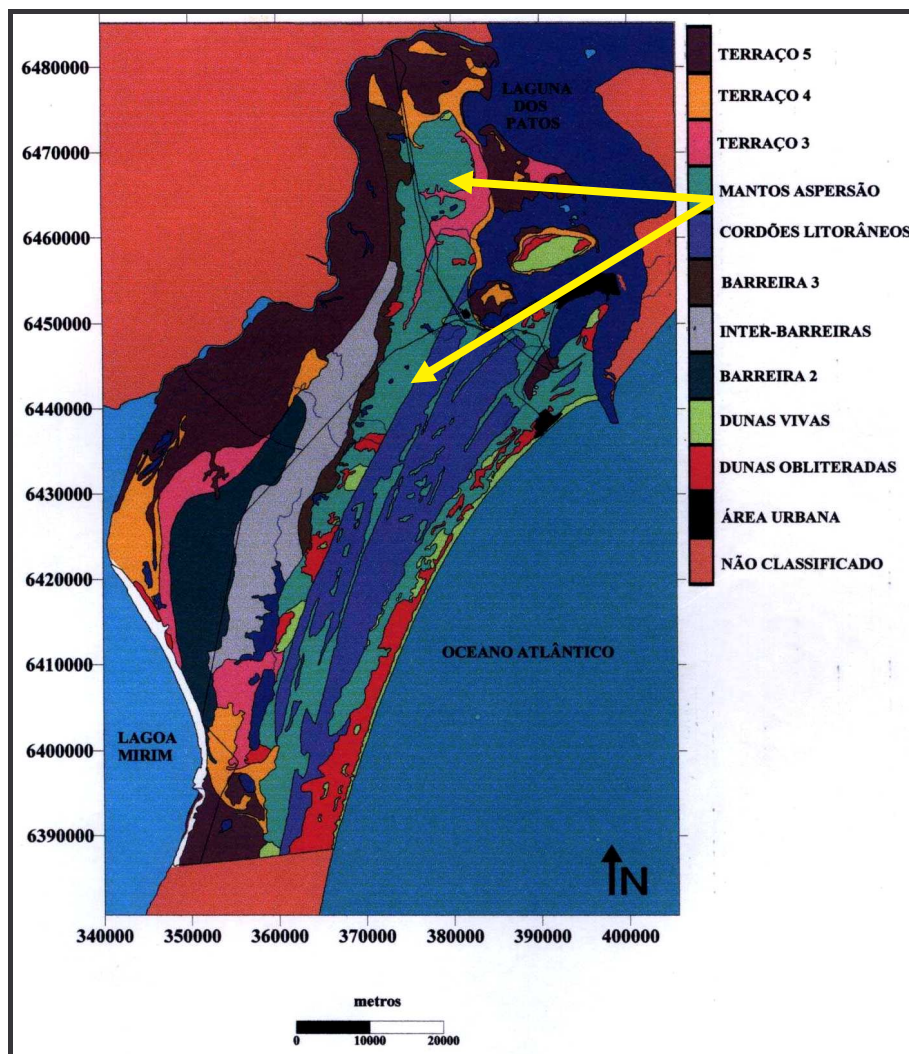


Figura 3.3 - Mapa geológico-geomorfológico de Rio Grande (Botelho, 2002).

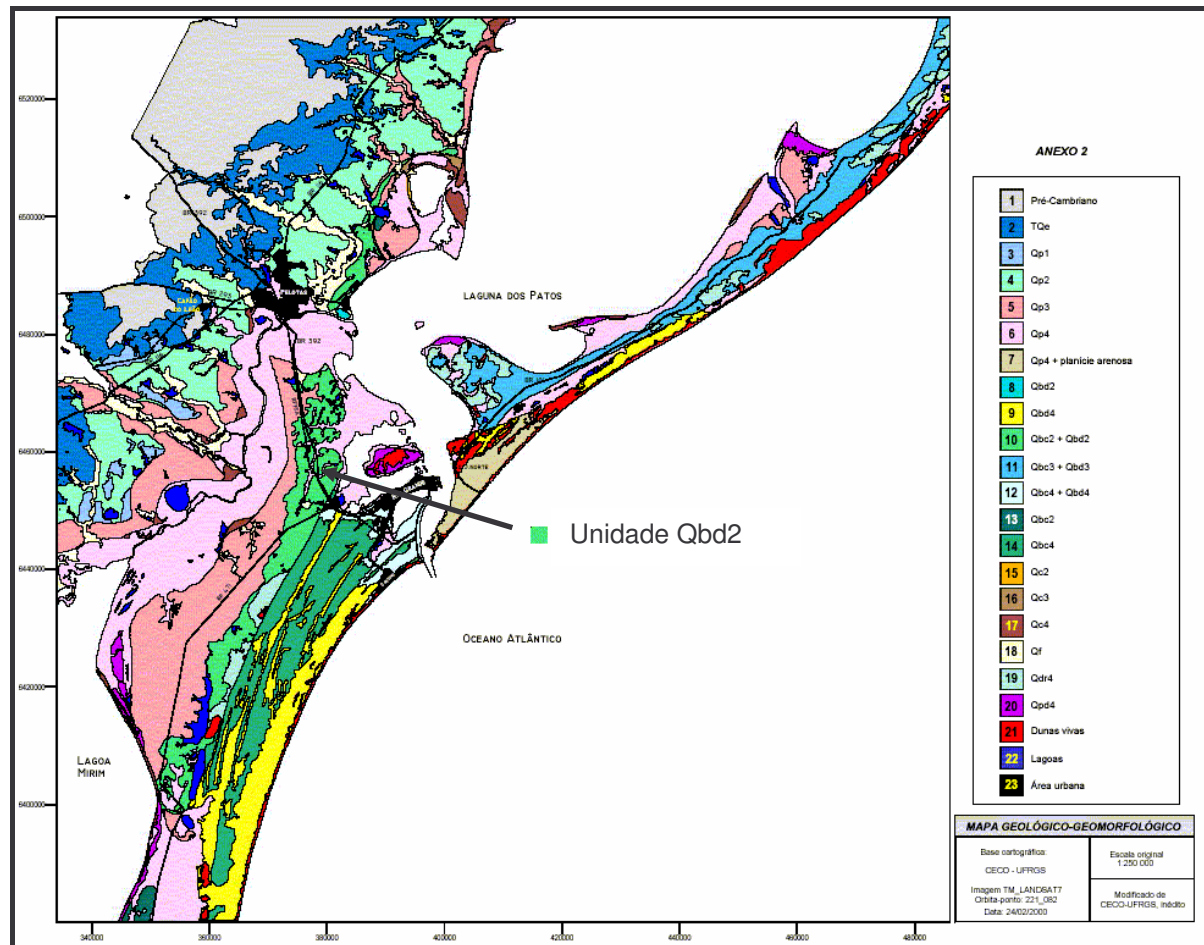


Figura 3.4 - Mapa geológico-geomorfológico desenvolvido pelo CECO/UFRGS (modificado de Tagliani, 2002).

### 3.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

Os solos estudados pertencem à classe dos Argissolos Vermelho-Amarelo (Podzólicos Vermelho-Amarelo). Esta classificação refere-se a um tipo de solo mineral não-hidromórfico, com horizonte A ou E, seguido de horizonte B textural (Bt), com iluviação de argila. O horizonte A pode ser fraco, proeminente ou moderado e o E, quando presente, tende a ser alábico.

Estes solos apresentam-se em perfis profundos, arenosos, com boa drenagem, geralmente, com presença de argila de atividade baixa. Outra característica notável é a lixiviação de materiais como argila e óxidos no perfil, em virtude da facilidade proporcionada pelo horizonte A de textura arenosa. Ocorre concentração destes materiais no horizonte

subsuperficial B espesso, areno-argiloso a argilo-arenoso, bruno-avermelhado a bruno-amarelado (dentro dos matizes 5YR a 10YR, segundo a escala de cores Munsell, Munsell, 1954), com possível ocorrência de mosqueados nas zonas de redução de drenagem e/ou oscilação do lençol freático. O horizonte B, normalmente mais argiloso e de cores vermelhas a amarelas, diferencia-se do C subjacente pela textura menos argilosa e cores menos vivas deste último. Quanto a saturação em alumínio e bases, tanto podem ser álicos (álico é a classificação referente à porcentagem da saturação com alumínio, quando a porcentagem saturação com Al  $\geq$  50% ele é classificado como álico), eutróficos (saturação das bases Ca, Na, Mg, K  $\geq$  50% )ou distróficos(saturação das bases Ca, Na, Mg, K  $<$  50%). Verifica-se mudança textural abrupta B/A. Dependendo das características locais, podem ocorrer solos cascalhentos, abruptos e/ou plínticos.

Segundo o novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 1999) estes solos estão correlacionados aos Argissolos Vermelho-Amarelo e menos freqüente aos Luvisolos Hipocrômicos.

As ocorrências mais destacadas no litoral sul dão-se entre os municípios de Pelotas e Rio Grande, nas localidades de Povo Novo e Domingos Petrolini (Rio Grande) e Laranjal (Pelotas). A figura 3.5 apresenta uma carta generalizada de solos publicada por Tagliani (2002) a partir de levantamentos pedológicos de municípios da região, onde se pode observar as áreas em estudo deste trabalho. Em Rio Grande, os Podzólicos Vermelho-Amarelos ocupam as partes mais altas do relevo, são oriundos de sedimentos pleistocênicos e estão associados a Solos Orgânicos e Gleis Pouco Húmicos nas áreas deprimidas do relevo.

É bastante comum estes perfis encontrarem-se recobertos por sedimentos eólicos recentes constituídos por dunas interiores ativas ou obliteradas e mantos de aspersão eólica. A figura 3.6 ilustra um esquema para o perfil destes solos, enquanto que figura 3.7 ilustra o perfil de um dos solos estudados neste trabalho.

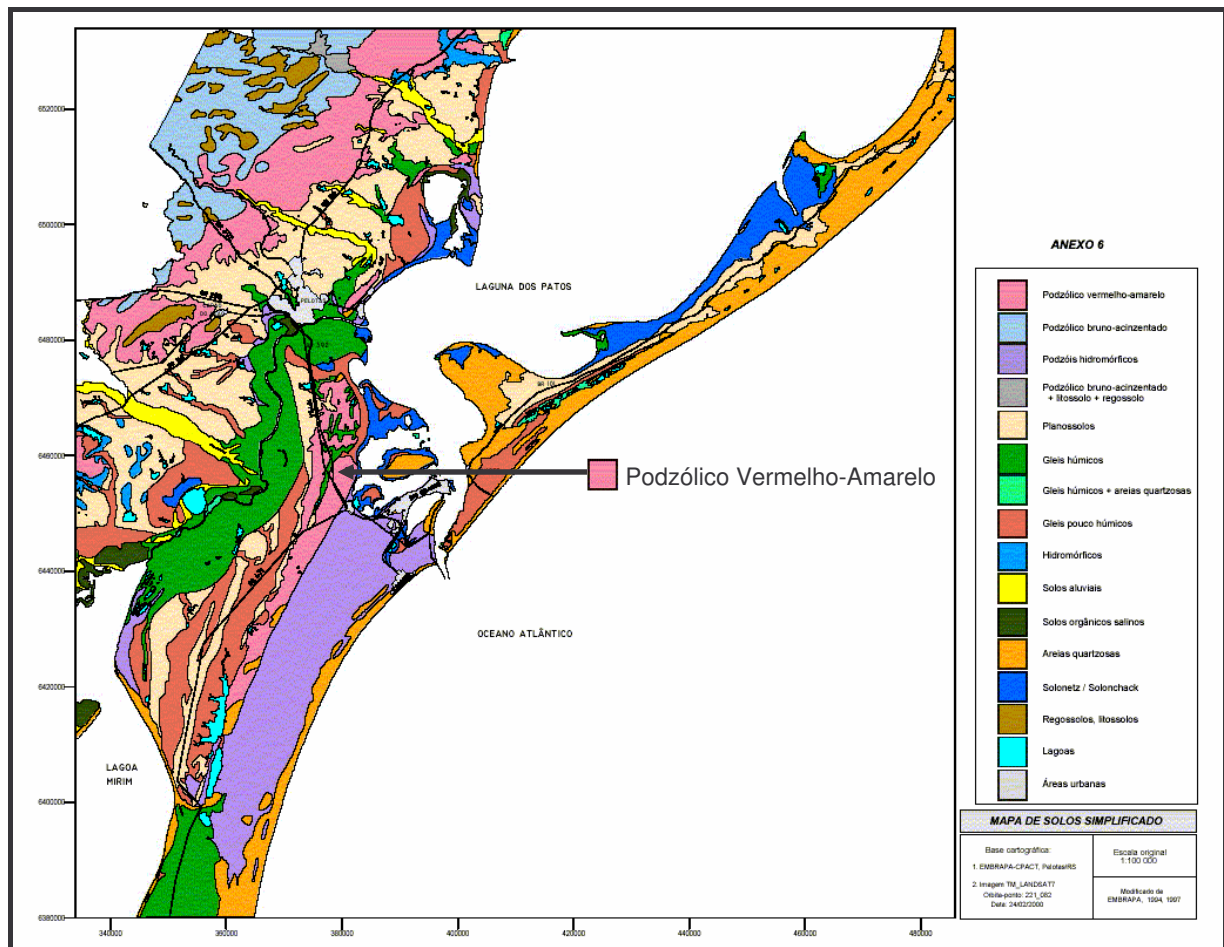


Figura 3.5 - Mapa de solos generalizado para a região (Tagliani, 2002).

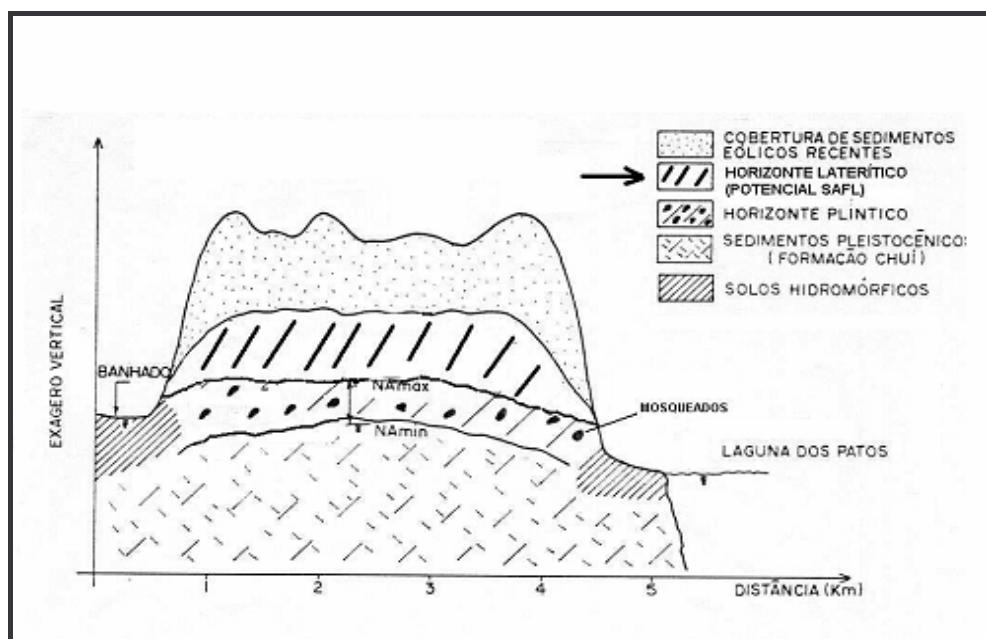


Figura 3.6 - Esquema de um perfil de solo de potencial SAFL na Planície Costeira Sul.



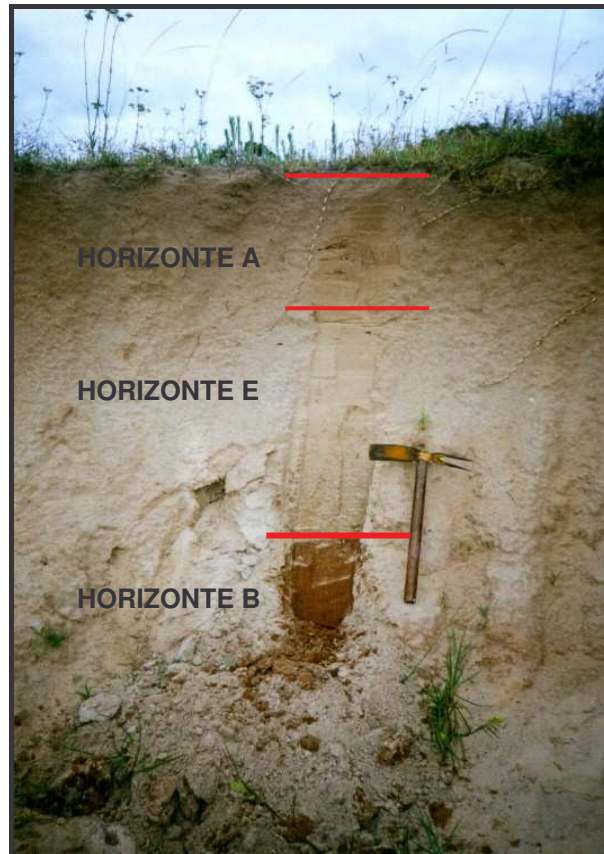


Figura 3.7 - Foto do perfil de solo da jazida ARMAR ilustrando os horizontes encontrados.

A tabela 3.1 mostra as principais características descritas em Embrapa (1973) para a unidade de mapeamento Tuiá.



Tabela 3.1 - Características Gerais da Unidade de Mapeamento Tuiá (Embrapa, 1973).

<b>UNIDADE DE MAPEAMENTO TUIÁ</b>	
<b>CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA</b>	- Podzólico Vermelho-Amarelo abrupto, textura média, relevo suavemente ondulado, substrato sedimentos costeiros arenosos.
<b>MATERIAL DE ORIGEM</b>	- Solos derivados de sedimentos costeiros, os valores altos de Mg, em relação às outras bases (Mg/Ca=1,2), indicam a origem marinha destes solos.
<b>RELEVO</b>	- São encontrados ocupando coxilhas baixas (lombadas costeiras). O relevo geral da área é o suave ondulado quase plano. Na área são encontrados alguns olhos d'água. Situam-se numa altitude em torno de 15 metros.
<b>VEGETAÇÃO</b>	- A vegetação natural é a de campo de pastagem de gramíneas e leguminosas, ralo, infestado pelo falso mio-mio e com arbustos esparsos e cactáceas. Entre as leguminosas encontram-se o gênero <i>Stilosantis</i> e nas gramíneas o gênero <i>Aristida</i> .

A figura 3.8 ilustra paisagem de ocorrência dos solos estudados, onde se observa os tipos de vegetação e relevo encontrados nesta unidade e destaca-se a ocorrência de cobertura eólica recente (dunas interiores) cobrindo os perfis de solos.



Figura 3.8 - Exemplo de paisagem de ocorrência da Unidade de Mapeamento Tuiá. Destaque a vegetação e relevo típicos e a ocorrência de cobertura eólica recente (dunas interiores).

Além das características gerais descritas na tabela 3.1, pode-se destacar que os solos constituintes da Unidade de Mapeamento Tuiá são moderadamente ácidos no horizonte A e ácidos no B, com soma de bases baixa e pobres em matéria orgânica. Os solos deste unidade apresentam as seguintes características morfológicas principais:

- Horizonte A profundo (cerca de 100cm), subdividido em A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, bruno escuro no horizonte superficial e bruno no A<sub>2</sub>, textura areia, sem estrutura - grãos simples, não plástico e não pegajoso; a transição para o B, é abrupta e plana;
- Horizonte B profundo, subdividido em Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>3</sub> (horizontes de acumulação de argila iluvial), vermelho amarelado, sendo bruno avermelhado no B<sub>2</sub>, franco argilo-arenoso, com estrutura bem desenvolvida em blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição para o C, difusa e plana;

- Horizonte C vermelho amarelado, abundantemente mosqueado e de textura franco arenosa.

As principais características químicas são:

- Capacidade de troca de cátions: O valor T é baixo no horizonte A (de 1,6 a 0,9 mE/100g de solo) e médio a alto no horizonte B;
- Saturação de bases: O valor V é médio a alto no horizonte A (44-67%) e baixo no horizonte B. Os altos valores no horizonte A, não têm realmente muita importância devido ao caráter extremamente arenoso destes solos;
- Bases permutáveis: O valor S é muito baixo no horizonte A, não alcançando 1,0 mE/100g de solo. No horizonte B, embora superiores, podem ser ainda considerados baixos os teores de bases. Os teores de cálcio são iguais aos de magnésio na maioria dos horizontes e os valores de potássio são baixos;
- Matéria orgânica: Solos arenosos e extremamente pobres em matéria orgânica;
- pH: Moderadamente ácidos no horizonte A (5,7 a 6,0) e ácidos no horizonte B (em torno de 5,0).

As variações destes solos dizem respeito à textura do horizonte A, que pode ser ligeiramente mais pesada, e à coloração do perfil que pode ser mais acinzentada.

Como inclusões na unidade Tuiá, tem-se Planossolos e outros solos, tais como Gleis e Solos Orgânicos, ocupando pequenas depressões e partes baixas do relevo.

## 4. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS JAZIDAS DE SOLOS ESTUDADOS

### 4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS JAZIDAS

Nos trabalhos de campo realizados quando da identificação e amostragem de perfis típicos de solos regionais com potencial uso como material de empréstimo, iniciados no ano de 2001 por Bastos, foram identificados e amostrados sete perfis representativos de solos arenosos finos com presumível comportamento laterítico (provável SAFL). Estes solos representam as jazidas até então estudadas neste trabalho.

A tabela 4.1 identifica as jazidas estudadas, enquanto na figura 4.1 é indicada a localização aproximada das mesmas. A localização exata destas jazidas, bem como a descrição das mesmas é apresentada no item 4.2 deste capítulo.

Tabela 4.1 - Jazidas de solos estudados.

<b>Perfil ou jazida</b>	<b>Localização</b>	<b>Identificação</b>
Casa do Retiro	Barro Vermelho – Rio Grande	<b>CRET</b>
Areal Areia do Mar	Domingos Petrolini – Rio Grande	<b>ARMAR</b>
Jazida Prefeitura	Arraial – Rio Grande	<b>PREFE</b>
Cotovelo	Cotovelo – Pelotas	<b>COTO</b>
Petrolini	Domingos Petrolini – Rio Grande	<b>PETRO</b>
Barra Falsa	Barra Falsa – Rio Grande	<b>BFAL</b>
Las Acácias	Las Acácias – Pelotas	<b>LAC</b>

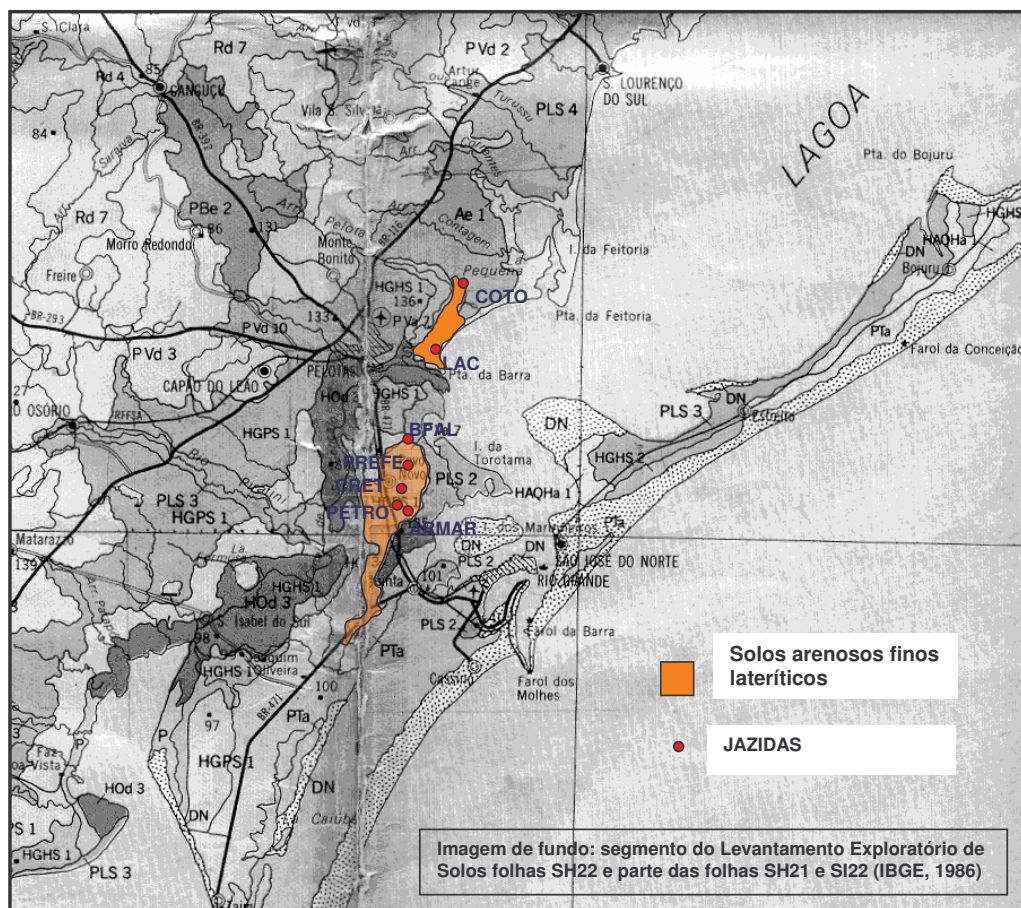


Figura 4.1 - Áreas de provável ocorrência de SAFL na Planície Costeira Sul, com base em dados de IBGE (1986), e localização aproximada das jazidas.



## 4.2. DESCRIÇÃO DAS JAZIDAS

- **Jazida Casa do Retiro (CRET)**

**Localização:**

- *Localização:* Barro Vermelho/ Rio Grande-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31° 57' 55,8" / W 52°15' 15,4"
- *Coordenadas UTM:* S 381483,7 / W 6462642,0

**Descrição Geral da Jazida:**

Jazida abandonada (desde 1996 não apresenta sinais de exploração) onde observa-se exposto apenas um talude de meia elevação, que caracteriza atividades exploratórias no passado. Possivelmente, o material explorado tenha sido do horizonte B, destinado a obras emergenciais de melhoria das estradas vicinais do entorno.

A figura 4.2 ilustra o perfil da jazida investigada.



Figura 4.2 - Foto ilustrando perfil de solo da jazida CRET.

- **Jazida Areia do Mar (ARMAR)**

**Localização:**

- *Localização:* Domingos Petrolini/ Rio Grande-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31° 59' 41,2" / W52° 17' 04,6"
- *Coordenadas UTM:* S 378634,2 / W 6459375,0

**Descrição Geral da Jazida.:**

Jazida comercial de areia argilosa avermelhada (chamada de “argila”) situada junto a BR-392 (trecho Pelotas-Rio Grande). O material explorado, correspondente ao horizonte B, é atualmente comercializado para obras de terraplenagem em geral e, principalmente, para indústria de fertilizantes do município, onde é utilizado no processo de granulação do adubo. Com vistas a se adequar a demanda da indústria, o material é beneficiado por secagem em secador a lenha e estocado em estrutura de armazenagem.

A figura 4.3 ilustra a exploração e a estocagem do material



Figura 4.3 - Extração comercial e armazenagem do solo estudado.



- **Jazida Prefeitura (PREFE)**

**Localização:**

- *Localização:* Arraial / Rio Grande-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31° 55' 06,8" / W 52° 14' 19,2"
- *Coordenadas UTM:* S 382894,3 / W 6467864,0

**Descrição Geral da Jazida:**

Jazida desativada supostamente por implicações ambientais. Informações colhidas na época da amostragem davam conta de tentativas pela Prefeitura Municipal do Rio Grande para sua reativação. O material potencialmente explorável é o horizonte B, bem como a areia de cobertura eólica recente que recobre o perfil.

A figura 4.4 ilustra o perfil da jazida estudada.



Figura 4.4 - Perfil típico da jazida PREFE.

- **Jazida Cotovelo (COTO)**

**Localização:**

- *Localização:* Cotovelo / Pelotas-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31°40' 15,6" / W 52° 13' 22,7"
- *Coordenadas UTM:* S 384069,0 / W 6495369,0

**Descrição Geral da Jazida:**

Jazida abandonada adjacente a estrada vicinal. Desde 1996 não apresenta sinais de exploração, estando exposto apenas o pequeno talude que caracteriza atividades exploratórias no passado.

A figura 4.5 ilustra o perfil da jazida explorada.



Figura 4.5 - Perfil da jazida COTO

- **Jazida Domingos Petrolini (PETRO)**

**Localização:**

- *Localização:* Domingos Petrolini / Rio Grande-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31° 59' 15,0" / W 52° 17' 33,0"
- *Coordenadas UTM:* S 377990,0 / W 6460168,0

**Descrição Geral da Jazida:**

Talude a beira da BR-392 (trecho Pelotas-Rio Grande). Não constitui possibilidade de jazida comercial, entretanto, representa o perfil típico dos solos do entorno.

A figura 4.6 ilustra o talude que representa a jazida.



Figura 4.6 - Talude da jazida PETRO.

- **Jazida Barra Falsa (BFAL)**

**Localização:**

- *Localização:* Domingos Petrolini / Rio Grande-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31° 51' 12,6" / W 52° 16' 21,9"
- *Coordenadas UTM:* S 379588,0 / W 6475085,0

**Descrição Geral da Jazida:**

Talude à beira de estrada vicinal mostrando em destaque o horizonte B laterizado. Não constitui possibilidade de jazida comercial, entretanto, situa-se próximo à antiga área de exploração de areia, hoje protegida por razões ambientais (presença de dunas interiores parcialmente fixadas pela vegetação) e arqueológicas (descoberta de vestígios de atividade indígena).

A figura 4.7 ilustra o talude que representa a jazida.



Figura 4.7 - Perfil da jazida BFAL.

- **Jazida Las Acácias (LAC)**

**Localização:**

- *Localização:* Loteamento Las Acácias / Pelotas-RS
- *Coordenadas Geográficas:* S 31° 46' 01,0" / W 52° 15' 45,2"
- *Coordenadas UTM:* S 380439,0 / W 6484689,0

**Descrição Geral da Jazida:**

Afloramento de solo arenoso fino laterítico em área de loteamento. O material foi empregado nas obras de terraplenagem envolvidas na pavimentação interna e na implantação dos sistemas de esgoto pluvial. Atualmente, fortes processos erosivos vêm degradando as obras de infra-estrutura realizadas no local.

A figura 4.8 ilustra a jazida e os processos erosivos que vêm degradando a área urbanizada.



(a)



(b)

Figura 4.8 - Fotos ilustrando (a) o afloramento do solo estudado na jazida LAC e (b) processos erosivos instalados junto às obras de infraestrutura do loteamento.



## **5. MÉTODOS DE ENSAIO EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS**

### **5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS**

Em pavimentação a caracterização dos solos torna-se uma ferramenta importantíssima e decisiva na escolha dos solos a constituírem os pavimentos projetados.

A utilização de classificação de solos adequada para os solos tropicais e para as finalidades viárias é fundamental para a escolha correta de jazidas para seu aproveitamento como material de base de pavimentos de baixo custo, conforme já descrito no item 2.3.

São descritos os métodos ensaios empregados na caracterização geotécnica convencional, na caracterização mineralógica e da atividade da coloidal da fração argilosa e na classificação MCT dos solos estudados.

#### **5.1.1. Caracterização Geotécnica Convencional**

Depois de coletadas as amostras dos solos, as mesmas foram secas ao ar e logo após começaram a serem ensaiadas. Primeiramente foi feita a caracterização geotécnica convencional, com os ensaios de análise granulométrica, de limites de Atterberg e de determinação do peso específico real dos grãos.

Para a realização dos ensaios clássicos de caracterização geotécnica foram coletadas amostras deformadas, preparadas para os ensaios de acordo com a norma ABNT NBR 6457/86 (Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização).

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação dos solos foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 7181/84 (Solo – Análise granulométrica). Os resultados são

expressos em função da escala granulométrica da ABNT dada pela NBR 6502/95 (Rochas e Solos).

Os ensaios de limites de Atterberg: limite de liquidez e limite de plasticidade foram realizados de acordo com as especificações das normas ABNT, NBR 6459/84 (Solo – Determinação do limite de liquidez) e NBR 7180/84 (Solo – Determinação do limite de plasticidade), respectivamente.

A determinação do peso específico real dos grãos foi realizada pelo método do picnômetro, conforme a norma ABNT NBR 6508/84 (Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica).

Com os resultados obtidos para as propriedades-índices, os solos foram classificados segundo o sistema HRB–AASHTO (*Highway Research Board - American Association of State Highway Transportation Officials*) e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (USCS - *Unified Soil Classification System*).

### **5.1.2. Caracterização Mineralógica, Química e da Atividade da Fração Argilosa dos Solos**

Com o objetivo de caracterizar a fração fina dos solos estudados, foram realizados a determinação mineralógica da fração argilosa por meio de ensaio de difratometria de raios X, a determinação dos teores de óxidos (sílica e óxidos de ferro e alumínio) com vistas a avaliar o grau de laterização e a determinação da atividade da argila presente nos solos estudados com o emprego do ensaio de Adsorção de Azul de Metileno.

- **Difratometria de raios X**

Com o objetivo de conhecer a constituição mineralógica da fração argilosa dos solos estudados, foram realizados ensaios de difratometria de raios-X com amostra da jazida ARMAR. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Difratometria de Raios-X do Instituto de Geociências da UFRGS. Foram realizados ensaios da fração coloidal segundo os três tratamentos padrões: amostra natural, amostra glicolada e amostra calcinada e também realizada a análise do pó (passante peneira #200).



- **Análise química – teor de óxidos**

Ensaio de determinação química dos óxidos presentes no solo foram realizados no Laboratório de Análises de Solo e Água da Faculdade de Agronomia da UFRGS. O objetivo da determinação dos teores de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e óxidos de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) é o cálculo das relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$ , indicativos do grau de laterização dos solos. Os métodos de ensaios adotados nestas determinações foram:

- Determinações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - ataque sulfúrico (terra fina) e determinação em espectrofotômetro de absorção atômica;
- Determinação de  $\text{SiO}_2$  - ataque bórico (terra fina) e determinação por gravimetria.

Estas determinações foram realizadas de acordo com Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa – SNLCS, 1979).

- **Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno**

A necessidade de melhor caracterizar a atividade da fração argila dos solos estudados levou a busca de um método mais indicado ao estudo de solos tropicais. O emprego da convencional Atividade Coloidal de Skempton ( $I_a$ ), calculada em função do índice de plasticidade (IP), não tem se mostrada adequada a caracterização de solos tropicais (lateríticos e saprolíticos) (Fabbri e Sória, 1995). A dispersão dos resultados de limites de Atterberg obtidos para solos tropicais é uma das razões atribuídas. O Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno é um ensaio originalmente utilizado na determinação da Capacidade de Troca de Cátions e da Área Superficial Específica de argilas utilizadas na indústria cerâmica (Chen *et al.*, 1974). Pesquisas realizadas no *Laboratoires des Ponts et Chaussées* foram pioneiras na utilização do azul de metileno para fins de caracterização e classificação de solos para finalidades rodoviárias (Lan, 1977 *apud* Fabbri e Sória, 1995). No Brasil, pesquisas conduzidas na Escola de Engenharia de São Carlos/USP acumulam a maior experiência no emprego do ensaio.

O método consiste na titulação de uma solução de azul de metileno a uma porção de solo fino em água destilada. Determina-se o máximo de adsorção de corante pelo argilomineral através da adição sucessiva de pequenas quantidades de azul de metileno em uma solução aquosa contendo o solo a ensaiar (figura 5.1). O excesso de azul de metileno na suspensão é indicado pelo aparecimento de uma “aura” azulada em torno do núcleo de uma gota da suspensão (solo+água+azul) pingada em uma folha de papel filtro (teste da gota ou “*spot test*”) (figura 5.2).

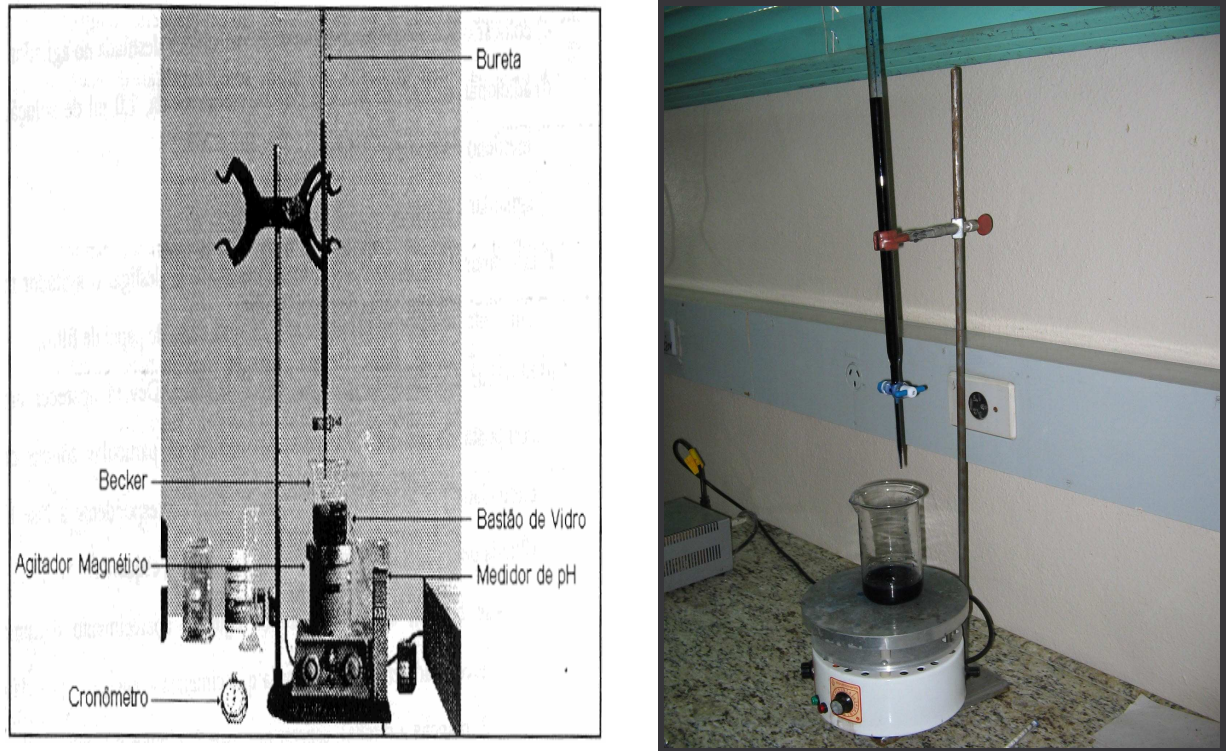


Figura 5.1 – Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno em execução com destaque aos equipamentos utilizados (Fabbri e Sória, 1994).

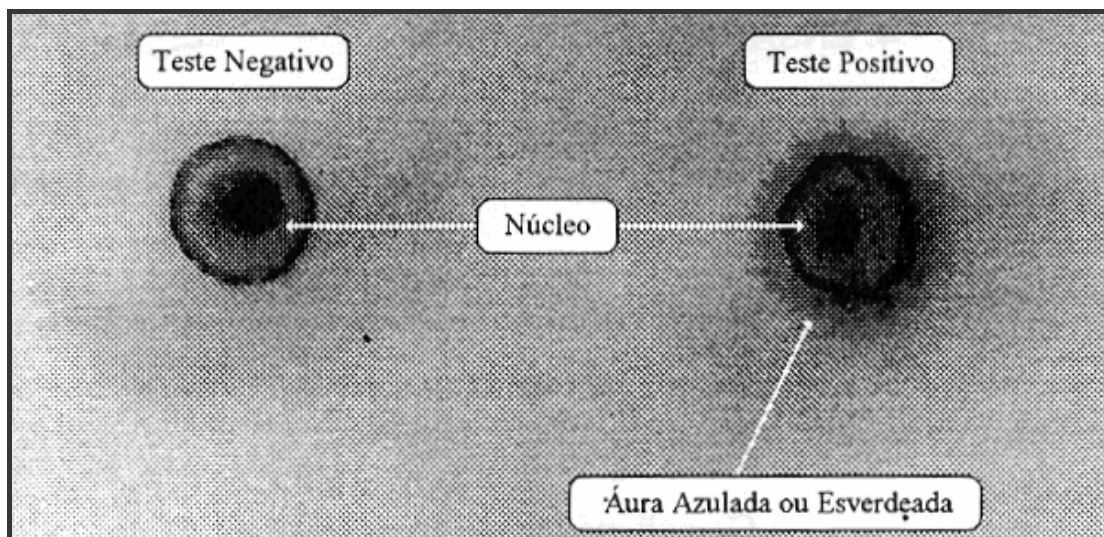


Figura 5.2 - Teste da mancha de azul de metileno (Fabbri e Sória, 1994).

O azul de metileno é constituído de uma molécula orgânica polar que, quando em contato com um argilomineral em meio aquoso, forma uma camada monomolecular quase que completa sobre sua superfície. Quanto maior a superfície específica do argilomineral, maior a

quantidade de metileno adsorvida. A partir do volume de azul de metileno adsorvido, é possível caracterizar o solo quanto ao seu comportamento laterítico ou não laterítico, assim como prever os tipos de argilominerais predominantes. Quanto a esta última possibilidade, o método leva uma vantagem em relação aos difratogramas de raios X porque, apesar de não apresentar a identificação mineralógica do argilomineral, traz uma avaliação quantitativa da presença de minerais ativos na fração argilosa dos solos.

Existem duas técnicas de ensaio usualmente empregadas no Brasil, procedimentos de Pejon (Pejon, 1992 *apud* Costa e Gandolfi, 1998) e de Fabbri (Fabbri e Sória, 1994), que diferem em pequenos detalhes, entretanto, fornecem diferentes parâmetros para análise (Costa e Gandolfi, 1998). A tabela 5.1 resume a diferença entre os procedimentos.

Segundo o procedimento de Pejon, a quantidade de azul de metileno adsorvida é representada pelo índice  $V_b$ , quantidade de azul de metileno consumida por 100 g do solo integral (expresso em g/100g de solo), dado pela equação 5.1:

$$V_b = \frac{\left[ V \cdot \left( \frac{P\#10}{100} \right) \cdot \left( \frac{100}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{W}{100} \right) \right] \cdot 1,5}{1000} \quad (5.1)$$

onde:  $V$  = volume da solução padrão de azul de metileno adicionado à suspensão de 2 g de solo até o teste positivo da mancha;  $P\#10$  = porcentagem passante na peneira #10;  $w$  = teor de umidade da amostra ensaiada.

A atividade da fração argila ( $\% < 0,002$  mm) é analisada pelo Índice  $A_{cb}$ , quantidade de azul de metileno consumida por 100 g de argila (expresso em g/100g de argila), dada pela equação 5.2:

$$A_{cb} = 100 \cdot \left( \frac{V_b}{\% < 0,002mm} \right) \quad (5.2)$$

Tabela 5.1 - Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno – comparação entre os procedimentos de Pejon e Fabbri.

Técnica de ensaio	Procedimento de Pejon	Procedimento de Fabbri
Amostra	2 g de solo passante na peneira #10	1 g de solo passante na peneira #200
Concentração da solução	1,5 g de sal anidro/litro	1 g de sal anidro/litro
Tempo de agitação na observação do “ponto de virada”	3 min (1 <sup>a</sup> verificação) e 6 min (confirmação)	1 min (1 <sup>a</sup> verificação) e 4 min (confirmação)

Segundo o procedimento de Fabbri, a quantidade de azul de metileno adsorvida é representada pelo Valor de Azul ( $V_a$ ), quantidade de azul de metileno consumida por 1 g do solo integral (expresso em ml/g de solo ou  $10^{-3}$ g/g de solo), dado pela equação 5.3:

$$V_a = V \cdot \left( \frac{P\#200}{100} \right) \cdot \left( 1 + \frac{w}{100} \right) \quad (5.3)$$

onde:  $V$  = Volume da solução padrão de azul de metileno adicionado à suspensão até o teste positivo da mancha;  $P\#200$  = porcentagem passante na peneira #200;  $w$  = teor de umidade da amostra ensaiada.

A atividade da fração argila (considerada  $\% < 0,005\text{mm}$ ) é analisada pelo Coeficiente de Atividade ( $CA$ ), quantidade de azul de metileno consumida por g de argila (expresso em  $10^{-3}$ g/g de argila), dado pela equação 5.4:

$$CA = 100 \cdot \left( \frac{V_a}{\% < 0,005\text{mm}} \right) \quad (5.4)$$

onde:  $CA$  = coeficiente de atividade de uma dada fração granulométrica e  $P_F$  = porcentagem da dada fração (geralmente  $\% < 0,005 \text{ mm}$ ).



### 5.1.3. Caracterização MCT dos Solos

Após a caracterização geotécnica convencional, foi feita a classificação MCT dos solos estudados. Para classificação dos solos estudados foram realizados os seguintes ensaios da Metodologia MCT: ensaio de compactação mini-MCV e ensaio de perda por imersão.

- **Ensaio de compactação mini-MCV.**

Idealizado no *Moisture Condition Value* de Parsons (Parsons, 1976 *apud* Nogami e Villibor, 1995), este ensaio de compactação utiliza, como os demais ensaios da Metodologia MCT, aparelhagem de dimensões reduzidas (figura 5.3), utilizando corpos de prova de 50 mm de diâmetro e aproximadamente 50 mm de altura. O ensaio consiste na aplicação de energias crescentes, até se conseguir atingir a densidade máxima para corpos de prova com teores de umidade diferentes. Foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela norma DNER-ME 258/94.



Figura 5.3 - Equipamento de compactação miniatura utilizado nos ensaios de compactação da Metodologia MCT.



Com este ensaio, obtém-se uma família de curvas de compactação e as denominadas de curvas de deformabilidade ou de mini-MCV. A inclinação do ramo seco da curva de compactação referente a 12 golpes corresponde ao parâmetro classificatório  $d'$ . Da curva de deformabilidade correspondente ao mini-MCV igual a 10, encontra-se o coeficiente  $c'$ . A obtenção dos coeficientes  $c'$  e  $d'$  é detalhada no capítulo 2 (item 2.4).

- **Ensaio de perda por imersão.**

Foi realizado segundo a norma DNER-ME 256/94. O corpo de prova compactado é parcialmente extraído de seu molde de maneira que fique saliente 10 mm e, em seguida, submerso em água na posição horizontal, como mostrado na figura 5.4. Recolhe-se a parte eventualmente desprendida e determina-se a sua massa seca. A perda de massa por imersão  $P_i$  é expressa em porcentagem relativa à massa seca da parte saliente do corpo de prova, com este parâmetro, em conjunto com  $d'$ , é possível determinar o coeficiente  $e'$ , a obtenção destes coeficientes é descrita no capítulo 2 (item 2.4).



Figura 5.4 - Ensaio de perda por imersão da Metodologia MCT.

## 5.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Com o objetivo de verificar as propriedades dos solos arenosos finos estudados frente aos critérios tecnológicos apresentados no capítulo 2 (item 2.5), foram executados os seguintes ensaios pela Metodologia MCT: mini-Proctor, mini-CBR e expansão, contração ao ar e infiltrabilidade.

O ensaio de compactação é um dos principais ensaios da Metodologia MCT, pois a partir de seus parâmetros básicos (umidade ótima e peso específico aparente seco máximo) são moldados corpos de prova para a determinação de outras propriedades geotécnicas pela Metodologia MCT. O ensaio de compactação utiliza, como já descrito anteriormente, aparelhagem de dimensões reduzidas.

- **Método mini-Proctor.**

Os parâmetros de compactação dos solos estudados foram determinados por ensaios de compactação dinâmica mini-Proctor, executados em equipamento de compactação de corpos de prova miniatura ilustrado na figura 5.3. O ensaio consiste em fixar uma determinada energia, na qual são compactados corpos de prova com diferentes teores de umidade. Através deste procedimento é possível construir a curva de compactação do solo. Da curva, determina-se o peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) e o teor de umidade ótimo correspondente ( $w_{\acute{o}t}$ ). Foram utilizadas as energias equivalentes do Proctor Normal (12 golpes) e do Proctor Intermediário (24 golpes).

- **Capacidade de suporte e expansão.**

Para avaliar a capacidade de suporte e expansão, foram executados ensaios mini-CBR e expansão segundo indicações da norma DNER-ME 254/97. Análogo ao tradicional ensaio CBR, o ensaio consiste na medida da resistência à penetração de um pistão padrão de diâmetro 16 mm a uma velocidade constante de 1,25 mm/min em um corpo de prova miniatura compactado (diâmetro: 50 mm e altura:  $\pm 50$  mm), confinado lateralmente pelo seu molde. Esta medida de capacidade de suporte pode ser realizada com ou sem prévia imersão por 24 horas do corpo de prova e com ou sem sobrecarga anelar padrão de 490g. Para a avaliação em questão, foram ensaiados ao puncionamento corpos-de-prova compactados na

umidade ótima, nas energias do Proctor Normal e do Proctor Intermediário, com e sem imersão, com e sem sobrecarga, em prensa elétrica com medida de carregamento por meio de célula de carga e aquisição automática dos dados gerenciada por microcomputador. A figura 5.5 ilustra o ensaio de punção em execução.



Figura 5.5 - Detalhe do ensaio de penetração mini-CBR.

O principal parâmetro obtido do ensaio é o índice de suporte mini-CBR. Ele pode ser determinado de duas maneiras: segundo a indicação da norma DNER-ME 254/97 e segundo o uso de carga padrão, de forma análoga ao ensaio CBR convencional, conforme Nogami e Villibor (1995).

Segundo a norma, o valor do índice mini-CBR é obtido a partir dos valores correspondentes às penetrações de 2 e 2,5 mm (C1 e C2) na curva carga x penetração após realizadas as correções necessárias (figura 5.6), através das equações 5.5 e 5.6. Como índice de suporte mini-CBR é tomado o maior entre os valores 1 e 2.:

$$\log (\text{mini-CBR } 1) = -0,254 + 0,896 \cdot \log C1 \quad (5.5)$$

$$\log (\text{mini-CBR } 2) = -0,356 + 0,937 \cdot \log C2 \quad (5.6)$$

Alternativamente, o valor do mini-CBR pode ser obtido como no ensaio CBR convencional, isto é, comparando os valores de carga para penetrações específicas (D1 e D2) com o correspondente valor de carga padrão para a brita graduada. Os valores de penetração para o ensaio mini-CBR são 0,84 e 1,7 mm (figura 5.6). Os valores de referência para a brita graduada correspondentes a estas penetrações são 72,6 e 108,9 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Como índice mini-CBR é tomado o maior valor obtido das equações 5.7 e 5.8.

$$\text{min } i - \text{CBR1} = \left( \frac{D1}{72,6} \right) \cdot 100\% \quad (5.7)$$

$$\text{min } i - \text{CBR2} = \left( \frac{D2}{108,9} \right) \cdot 100\% \quad (5.8)$$

Outro parâmetro associado ao ensaio mini-CBR, de relevante importância na avaliação tecnológica dos solos tropicais pela Metodologia MCT, é o índice RIS. Este índice, que representa a perda de suporte do solo com a imersão, é dado pela equação 5.9:

$$\text{RIS} = \left( \frac{\text{min } i - \text{CBR}_{\text{imerso}}}{\text{min } i - \text{CBR}_{\text{s/imersão}}} \right) \cdot 100\% \quad (5.9)$$

onde: mini-CBR<sub>imerso</sub> = valor medido no ensaio com imersão prévia por 24h do corpo de prova e mini-CBR<sub>s/imersão</sub> = valor medido no ensaio realizado sem imersão do corpo de prova.

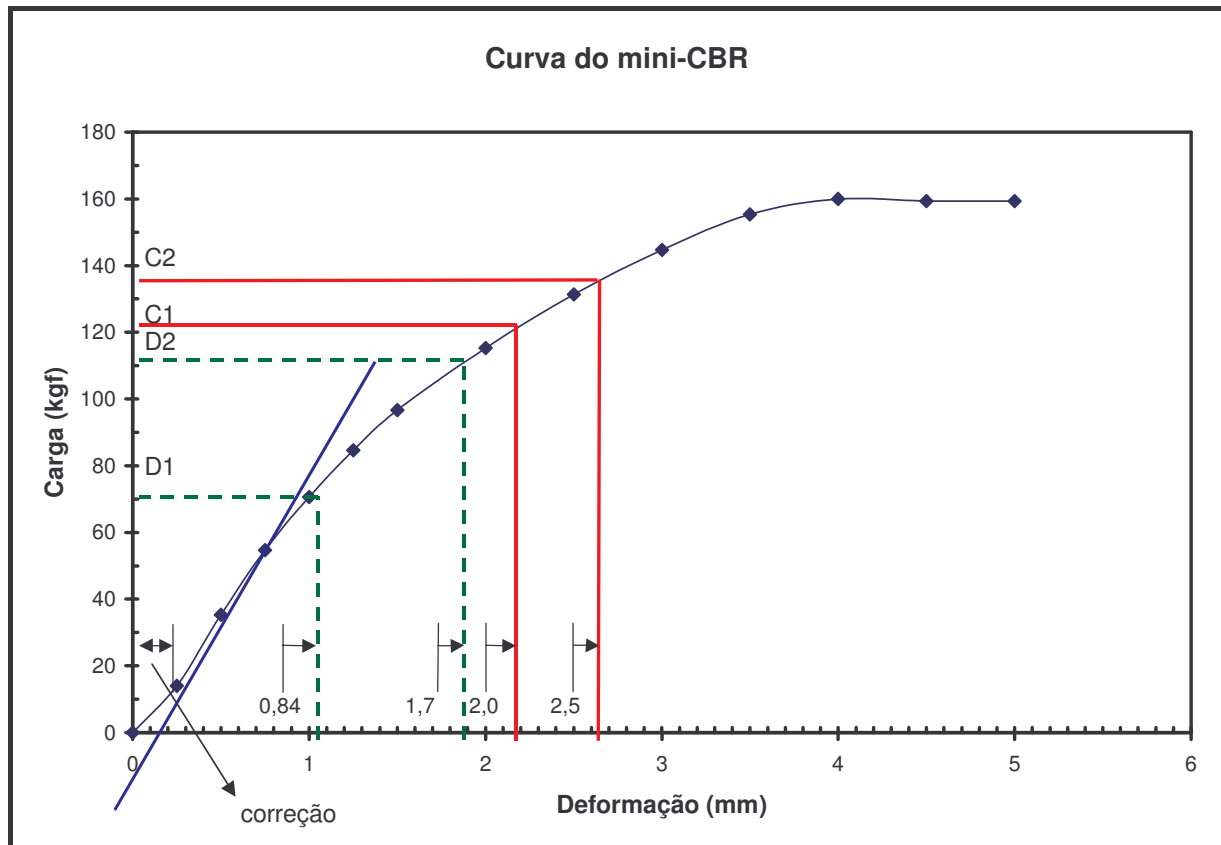


Figura 5.6 - Exemplo de curva mini-CBR – correção de início e obtenção de C1, C2, D1 e D2.

A expansão sob imersão é avaliada previamente ao ensaio de puncionamento na obtenção do mini-CBR com imersão. Após um período de 24 horas de imersão em água, é medida a variação de altura do corpo de prova sob o efeito da submersão (figura 5.7). A expansão (E) é dada pela razão entre o acréscimo de altura ( $\Delta h$ ) e a altura inicial do corpo de prova (h), expresso em porcentagem (equação 5.10).

$$E = \left( \frac{\Delta h}{h} \right) \cdot 100\% \quad (5.10)$$





Figura 5.7 - Ensaio de expansão do mini-CBR.

- **Contração por secagem**

A contração por secagem ao ar dos solos estudados foi avaliada pelo ensaio de contração por secagem, integrante da Metodologia MCT. Este ensaio é descrito em Nogami e Villibor (1995) e discutido em Nogami *et al.*(1995). Consiste em deixar um corpo de prova compactado (diâmetro: 50 mm e altura:  $\pm 50$  mm) perdendo lentamente seu teor de umidade pela exposição ao ar livre e medir a variação de comprimento axial com auxílio de um extensômetro (ou paquímetro de precisão) até sua constância. O resultado é expresso em porcentagem da altura inicial do corpo de prova de maneira análoga a expansão do mini-CBR (equação 5.10). A figura 5.8 ilustra corpos de prova no processo de secagem ao ar.



Figura 5.8 - Ensaio de contração por secagem ao ar da Metodologia MCT.

- **Infiltrabilidade**

A última propriedade avaliada na validação dos solos estudados frente ao critério de seleção dos SAFL pela Metodologia MCT foi a infiltrabilidade. Esta propriedade relaciona-se à velocidade com que uma frente de umidade pode migrar pela estrutura do pavimento a partir, por exemplo, de uma valeta lateral não revestida.

O ensaio que quantifica esta propriedade tem mesmo nome e consiste na medida do coeficiente de sorção ( $s$ ), que representa a velocidade de ascensão capilar em um corpo de prova compactado confinado no molde (diâmetro: 50 mm e altura:  $\pm 50$  mm), disposto sobre uma superfície de água livre estabelecida numa placa porosa conectada a um tubo capilar. Este ensaio é descrito em Nogami e Villibor (1995) e ilustrado na figura 5.9.



Figura 5.9 - Ensaio de infiltrabilidade da Metodologia MCT.

O procedimento de ensaio adotado foi o seguinte: sobre o sistema tubo capilar – placa porosa saturada - é disposta a amostra compactada na umidade ótima e na energia equivalente a do Proctor Intermediário, confinada em seu molde. O fluxo ascendente da água na amostra, por força das tensões capilares relacionadas à sucção do solo, determina o movimento da água ao longo do tubo capilar. Com auxílio de uma régua graduada e de um cronômetro, são registradas as distâncias percorridas pelo menisco capilar no tubo, em intervalos de tempo que

seguem uma relação quadrática (1, 2, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 min e assim por diante), até o movimento estabilizar em uma velocidade muito lenta.

Os resultados são expressos em função da distância percorrida no tubo capilar (L em cm) e da raiz quadrada do tempo ( $t^{1/2}$  em  $\text{min}^{1/2}$ ). As curvas L x  $t^{1/2}$  definidas têm a configuração típica da figura 5.10, onde se observa um nítido comportamento bilinear, com um íngreme trecho retilíneo inicial seguido por outro de tendência quase horizontal, significando que a frente de umidade atingiu o topo da amostra. A inclinação da curva no seu trecho inicial, definida pela equação 5.11, determina o coeficiente de sorção (s em  $\text{cm}/\text{min}^{1/2}$ ):

$$s = \frac{(\Delta L.S)}{(10.\Delta t.A)} \quad (5.11)$$

onde:  $\Delta L$  = distância percorrida medida na régua graduada ( $L_b - L_a$ ), S = área da seção do tubo capilar,  $\Delta t$  = intervalo entre valores da raiz quadrada do tempo de ensaio ( $t_b - t_a$ ) e A é a área da seção da amostra.

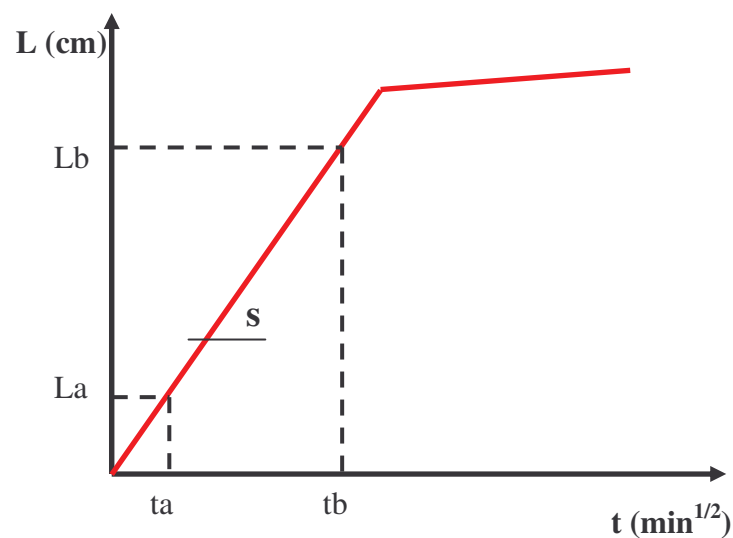


Figura 5.10 - Curva típica L x  $t^{1/2}$  e elementos para estimativa do coeficiente de sorção (s) no ensaio de infiltrabilidade da Metodologia MCT.

### 5.3. ENSAIOS PARA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE PAVIMENTO SEGUNDO O MÉTODO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP)

Para o dimensionamento de estrutura de pavimento para tráfego leve, segundo o Método da Prefeitura Municipal de São Paulo, foram necessários dados de Índice de Suporte Califórnia (ISC) do solo a ser empregado na construção da base e do solo do subleito.

O Método da PMSP recomenda o uso de dados de capacidade de suporte do mini-CBR ou do CBR convencional, sem especificar a equivalência entre os parâmetros obtidos por um ou outro ensaio. Experimentos buscando uma relação entre estes parâmetros foram realizados (Souza, 2005), sendo que não houve êxito na obtenção de uma correlação estatística satisfatória. Os resultados destes experimentos deixam de ser apresentados por fugir ao escopo deste trabalho. Fabbri (2004), em comunicação pessoal, relatou insucessos na determinação de correlações desta natureza em pesquisas realizadas na EESC-USP. A opção escolhida foi utilizar dados de ensaios CBR convencionais como parâmetro de projeto para o Método da PMSP. Foram realizados ensaios CBR convencionais com imersão, segundo a norma NBR 9895/87 (Solo – Índice de Suporte Califórnia).

O material do subleito foi coletado no Campus Carreiros da FURG, junto ao traçado do futuro acesso às novas dependências do Departamento de Química. A figura 5.11 ilustra o local e a obtenção da amostra do subleito em campo.



(a)



(b)

Figura 5.11 - Retirada da amostra de solo do subleito para ensaio CBR: (a) vista geral do local e (b) detalhe da amostragem.

## 6. RESULTADOS OBTIDOS NA AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS

### 6.1. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

#### 6.1.1. Caracterização Geotécnica

Os solos foram caracterizados e classificados em laboratório pelos métodos tradicionais, conforme descritos no capítulo 5, item 5.1.1, e pela Metodologia MCT, abordada no capítulo 2. A tabela 6.1 apresenta aos resultados da granulometria, dos parâmetros de plasticidade e a correspondente classificação geotécnica tradicional (sistemas SUCS e AASHTO-HRB). Já a tabela 6.2 traz os coeficientes classificatórios e a decorrente classificação MCT dos solos.

Tabela 6.1 - Caracterização geotécnica dos solos estudados quanto a granulometria, plasticidade e classificação geotécnica tradicional (SUCS e AASHTO-HRB).

Solo	Granulometria com defloculante						Plasticidade		Classif. geotécnica	
	Pedregulho >2mm (%)	Areia grossa 0,6-2mm (%)	Areia média 0,2-0,6mm (%)	Areia fina 0,06-0,2mm (%)	Silte 0,002-0,06mm (%)	Argila <0,002mm (%)	wl (%)	IP (%)	SUCS	HRB
<b>COTO</b>	0	1	29	30	13	27	32	12	SC	A6
<b>LAC</b>	0	0	41	33	4	22	-	NP	SM	A2-4
<b>BFAL</b>	0	0	34	42	5	19	-	NP	SM	A2-4
<b>PETRO</b>	0	0	44	41	1	14	-	NP	SM	A2-4
<b>CRET</b>	0	0	44	35	4	17	-	NP	SM	A2-4
<b>ARMAR</b>	0	0	33	39	2	26	32	16	SC	A2-6
<b>PREFE</b>	0	0	32	39	3	26	27	12	SC	A2-6



Tabela 6.2 - Classificação MCT dos solos estudados e respectivos coeficientes classificatórios.

Solo	Coeficientes				Classificação MCT
	c'	d'	e'	Pi (%)	
COTO	1,7	72,4	1,03	82	LG'
LAC	0,6	62,7	1,12	110	LA
BFAL	0,5	30,0	1,22	114	LA
PETRO	0,2	14,8	1,63	300	NA
CRET	0,2	13,3	1,66	305	NA
ARMAR	1,5	29,8	1,13	110	LA'/LG'
PREFE	1,1	46,6	1,10	90	LA'

A figura 6.1 apresenta os solos estudados no gráfico de classificação MCT, onde são demarcados os tipos de SAFL hierarquizados pela classificação MCT.

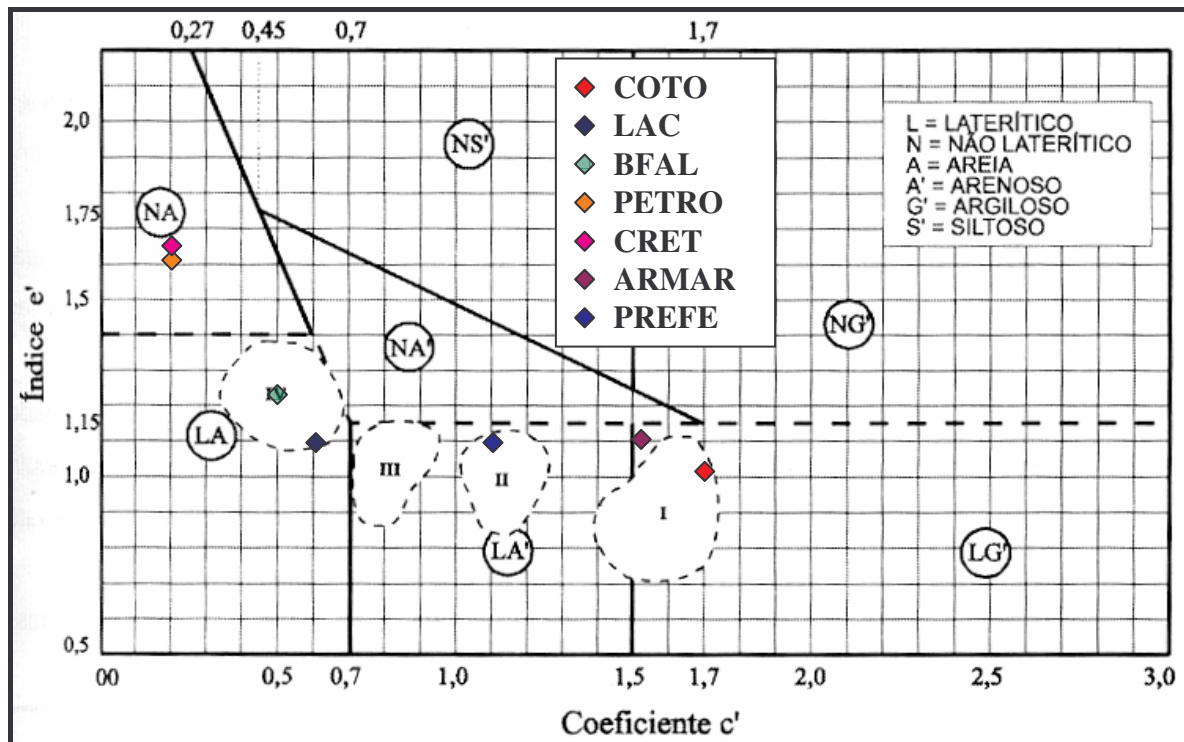


Figura 6.1 - Solos estudados frente aos tipos de SAFL hierarquizados pela classificação MCT.

Observa-se que, dos solos estudados, cinco demonstraram comportamento laterítico. Destes, o solo COTO, com maior teor de argila pertence ao tipo I, o solo ARMAR entre o tipo I e II, o solo PREFE ao tipo II e os solos BFAL e LAC, mais arenosos, ao tipo IV.

Quanto a granulometria dos solos estudados, a figura 6.2 evidencia que os solos CRET e PETRO, além de não lateríticos, não se enquadram na faixa granulométrica indicada para bases de SAFL, apresentando carência de finos.

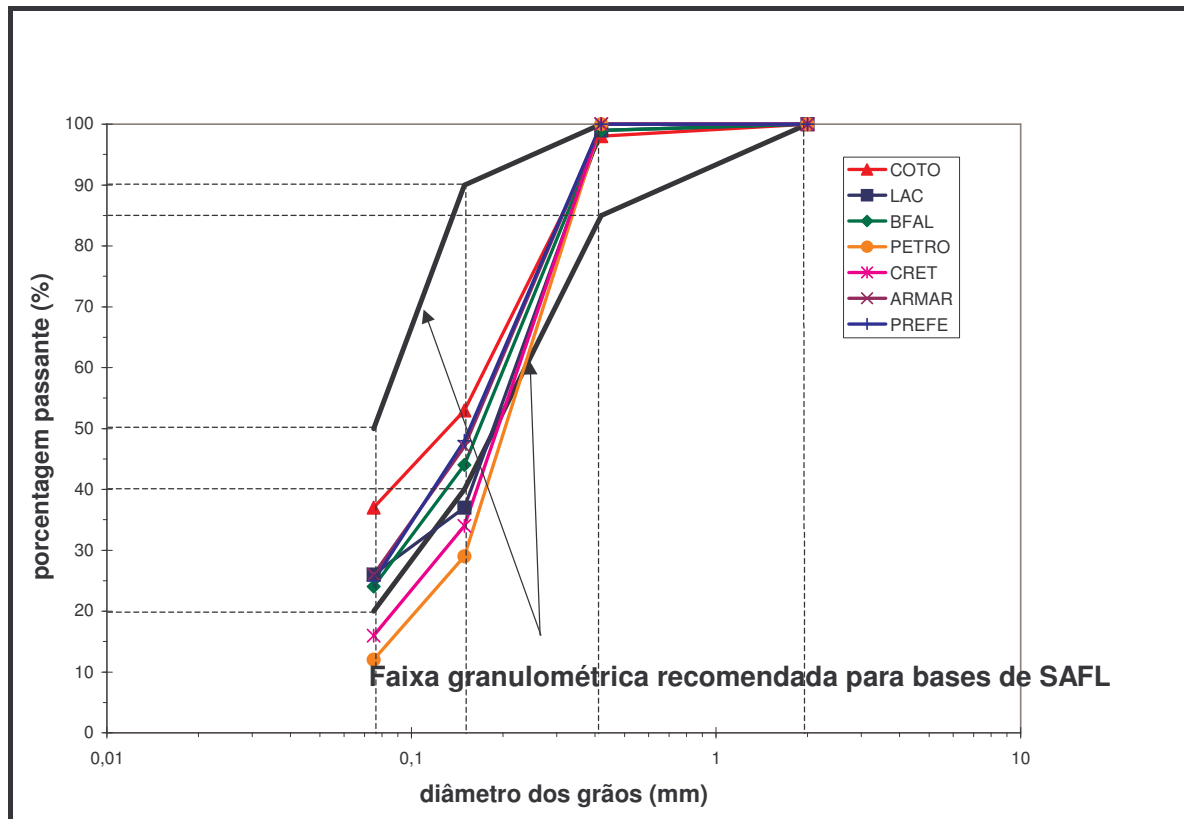


Figura 6.2 - Granulometria dos solos estudados frente a faixa granulométrica recomendada para bases de SAFL.

### 6.1.2. Caracterização Mineralógica, Química e da Atividade Coloidal da Fração Fina

Os ensaios de difratometria de raios X realizados com o solo da jazida ARMAR apresentaram os resultados sumarizados na tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Minerais identificados nos ensaios de difratometria de raios X nas diferentes análises e tratamentos aplicados – solo ARMAR.

Minerais identificados	Análise do pó	Análise da fração coloidal		
		Amostra natural	Amostra glicolada	Amostra calcinada
Quartzo	X	X	X	X
Feldspato alcalino	X			
Caulinita	X	X	X	
Ilita		X	X	X
Vermiculita		X	X	X
Esmectita		X		

O difratograma obtido na análise do pó (figura 6.3) revela a presença subordinada de argilominerais, com pequeno volume de caulinita no total do solo. Um aspecto não revelado no difratograma é a presença de hidróxidos de ferro, que poderia ser responsável pela coesão natural apresentada pelo solo na jazida.

O difratograma da fração coloidal (material sobrenadante) na condição natural (figura 6.4) revela, entre os argilominerais, o pico mais evidente da ilita e também a presença de caulinita. Entretanto, é possível que a ilita seja, na realidade, fragmentos de mica muscovita, resistente ao ciclo sedimentar (Flores, 2004). Na condição de amostra glicolada (figura 6.5), não é confirmada a presença de esmectita, enquanto vermiculita é razoavelmente evidente. Segundo Flores (2004), é possível imaginar que esta última seja derivada da alteração de biotitas, entretanto, somente análises petrográficas do sedimento poderiam confirmar estas hipóteses. Já a amostra calcinada (figura 6.6) confirma a ilita (ou fragmentos de mica muscovita).

Ainda segundo a opinião de Flores (2004), a participação e o efeito dos argilominerais no comportamento do solo é subordinado. O fato de que os hidróxidos de ferro não são detectados na análise por difração de raios X sugere que os mesmos ocorram como amorfos. Técnicas minerográficas em luz refletida de seções polidas a partir de concreções ferruginosas ou petrografia convencional em diferentes níveis do solo poderiam melhor caracterizar os hidróxidos e seus efeitos na cimentação natural do solo.

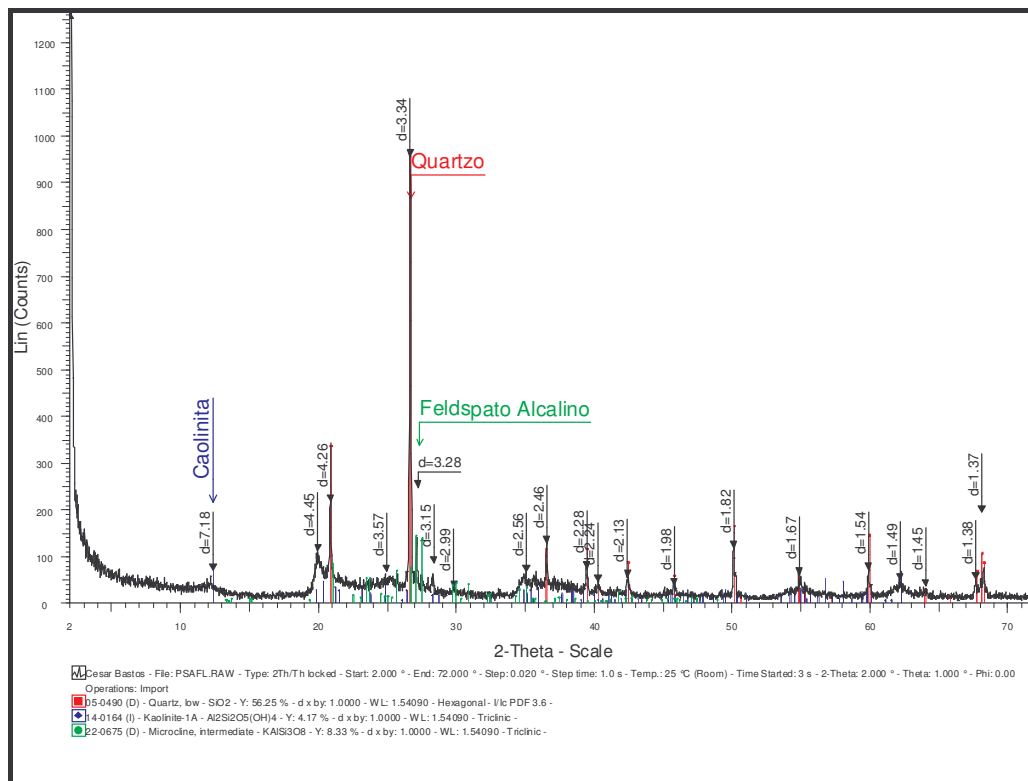


Figura 6.3 – Difratoograma do pó (fração passante peneira #200) – solo ARMAR.

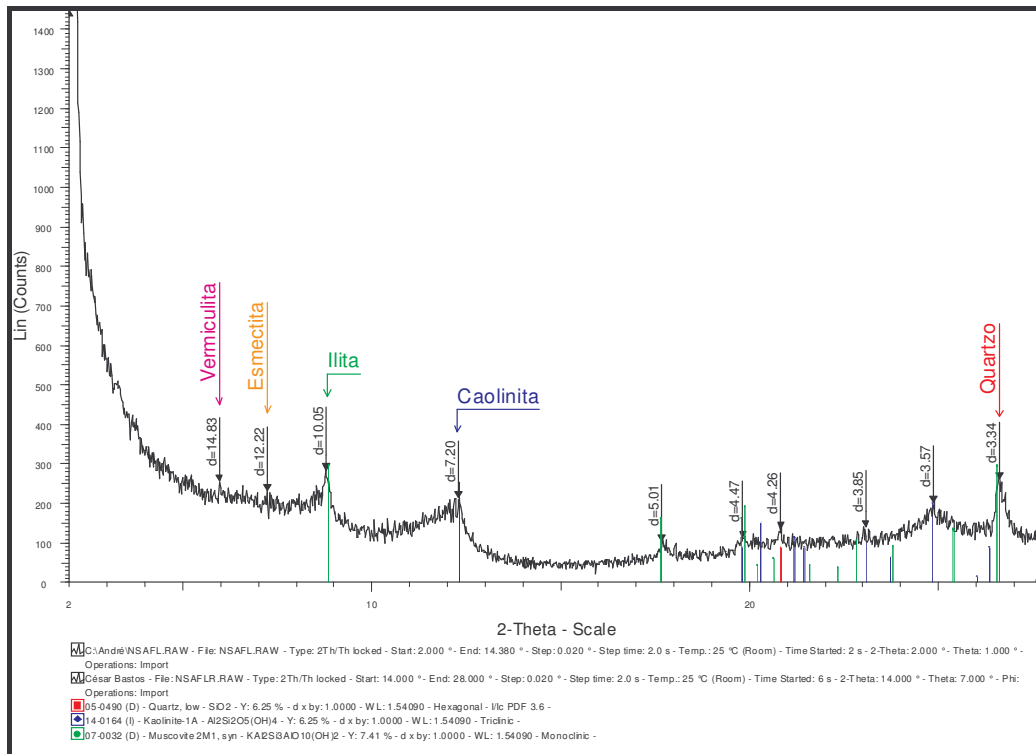


Figura 6.4 - Difratograma da fração coloidal (amostra natural) – solo ARMAR.

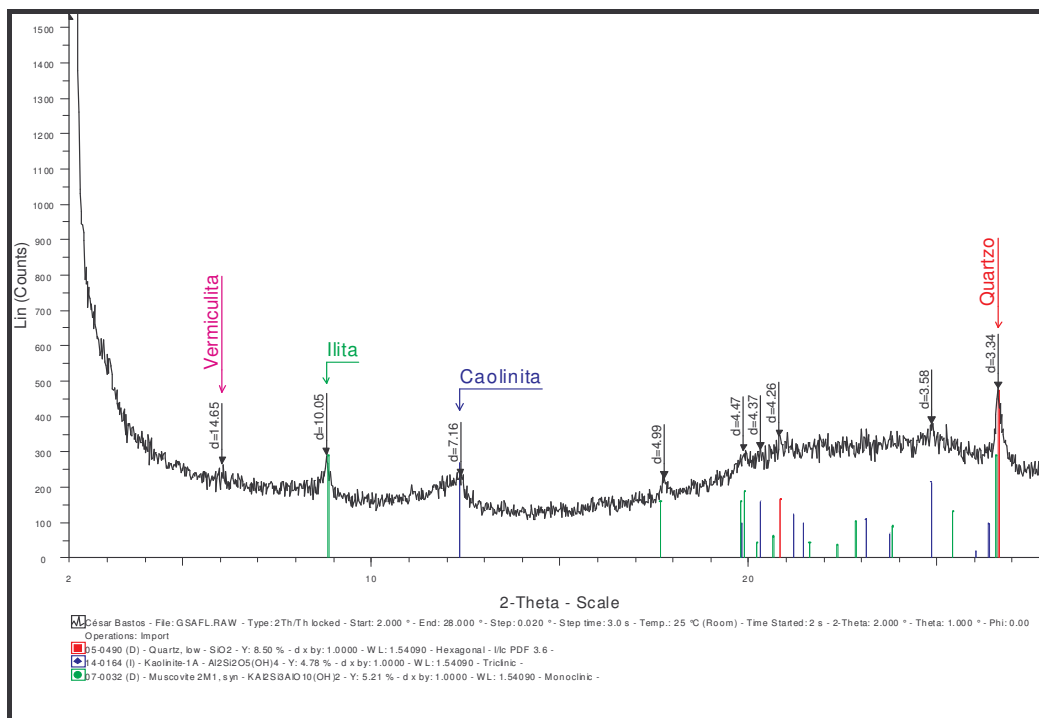


Figura 6.5 - Difratograma da fração coloidal (amostra glicolada) – solo ARMAR.



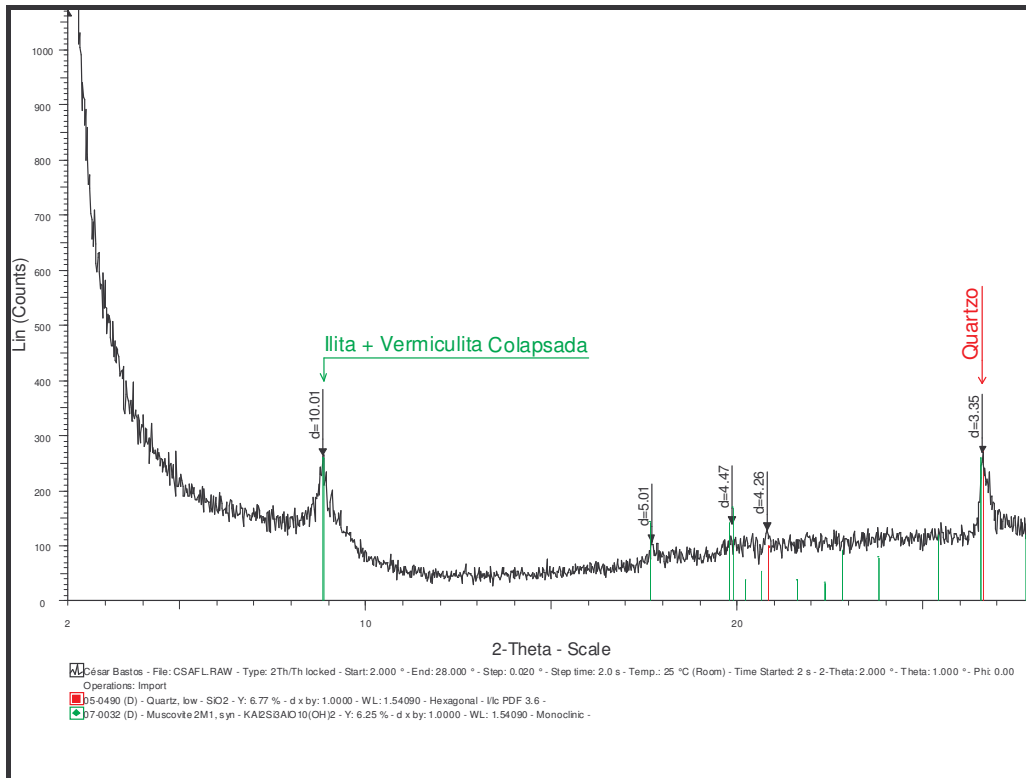


Figura 6.6 - Difratoograma da fração coloidal (amostra calcinada) – solo ARMAR.

As análises químicas conduzidas com o solo ARMAR forneceram os resultados apresentados na tabela 6.4 para os teores de óxidos. A tabela também apresenta as relações moleculares  $K_i$ ,  $K_r$  e  $Al_2O_3/Fe_2O_3$ , onde, segundo Embrapa - SNLCS (1997):

$$K_i = \frac{\%SiO_2 \cdot 1,70}{\%Al_2O_3} \tag{6.1}$$

$$K_r = \frac{\left( \frac{\%SiO_2}{0,60} \right)}{\left[ \frac{\left( \frac{\%Al_2O_3}{1,02} \right)}{\left( \frac{\%Fe_2O_3}{1,60} \right)} \right]} \tag{6.2}$$

$$Relação \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = \frac{\%Al_2O_3 \cdot 1,57}{\%Fe_2O_3} \tag{6.3}$$

Tabela 6.4 - Resultados das análises químicas (teores de óxidos e relações moleculares) – solo ARMAR.

Solo	Teor de óxidos			Relações moleculares		
	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ARMAR	11,3	5,7	1,5	3,37	2,89	5,97

Os solos lateríticos, mais intemperizados e pedogeneticamente mais evoluídos, tendem a valores baixos de Ki e Kr (Embrapa, 1979), sendo caracterizados por  $Ki < 2,2$ . Logo, sob o aspecto geoquímico, o solo investigado não tem o caráter laterítico verificado pelo seu comportamento geotécnico, avaliado pela Metodologia MCT. Entretanto, os teores relativamente elevados de sílica são justificados pelo material de origem dos perfis, essencialmente sedimentos areno-quartzosos.

Os resultados pouco conclusivos dos difratogramas de raios X quanto ao papel da natureza dos argilominerais no comportamento dos solos estudados e a incerteza associada a resultados de ensaios de plasticidade conduzidos com solos predominantemente arenosos (empregados na determinação do clássico Índice de Atividade Coloidal de Skempton), motivaram a identificação da atividade coloidal da fração fina pelo Método de Adsorção do Azul de Metileno. Esta técnica, recém introduzida na rotina de ensaios de caracterização do Laboratório de Geotecnia da FURG, foi descrita em detalhe no Capítulo 5 (item 5.1.2). Os resultados dos ensaios realizados segundo os procedimentos de Pejon e Fabbri em conjunto com a Atividade Coloidal de Skempton (para solos com plasticidade) são apresentados na tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Parâmetros obtidos a partir de Ensaios de Adsorção de Azul de Metileno segundo os procedimentos de Pejon e Fabbri e Índice de Atividade de Skempton dos solos estudados.

Solo	Método Azul de Metileno – procedimento Pejon		Método Azul de Metileno – procedimento Fabbri		Índice de atividade de Skempton (Ia)
	Vb (g/100g solo)	Acb (g/100g argila)	Va (10 <sup>-3</sup> g/g solo)	CA (10 <sup>-3</sup> g/g argila)	
<b>ARMAR</b>	0,155	0,595	2,084	8,015	0,615
<b>BFAL</b>	0,177	0,931	0,998	4,750	NP
<b>COTO</b>	0,285	1,054	2,271	5,676	0,444
<b>CRET</b>	0,127	0,748	1,387	7,707	NP
<b>LAC</b>	0,203	0,925	1,657	7,533	NP
<b>PETRO</b>	0,127	0,907	0,675	4,497	NP
<b>PREFE</b>	0,232	0,893	2,025	7,500	0,462

Obs: 1. Vb – Valor de Azul (Pejon); Acb – Índice de Adsorção do Azul de Metileno; Va – Valor de Azul (Fabbri); CA – Coeficiente de Atividade.

2. NP – solos não plásticos.

3. Os resultados representam médias de 3 ensaios.

Os parâmetros obtidos a partir do procedimento de Pejon são correlacionados ao comportamento laterítico dos solos por critérios apresentados por Gomes e Rodrigues (1998) e Costa e Gandolfi (1998). A figura 6.7 apresenta os solos estudados frente aos referidos critérios. Os resultados mostram que os solos de todas as jazidas apresentam atividade da fração coloidal característica de solos de comportamento laterítico.

Ainda Gomes e Rodrigues (1998) propõem um diagrama das atividades das argilas pelo Método do Azul de Metileno (procedimento Pejon). Os solos estudados junto a este diagrama são ilustrados na figura 6.8, sendo classificados todos como solos inativos.

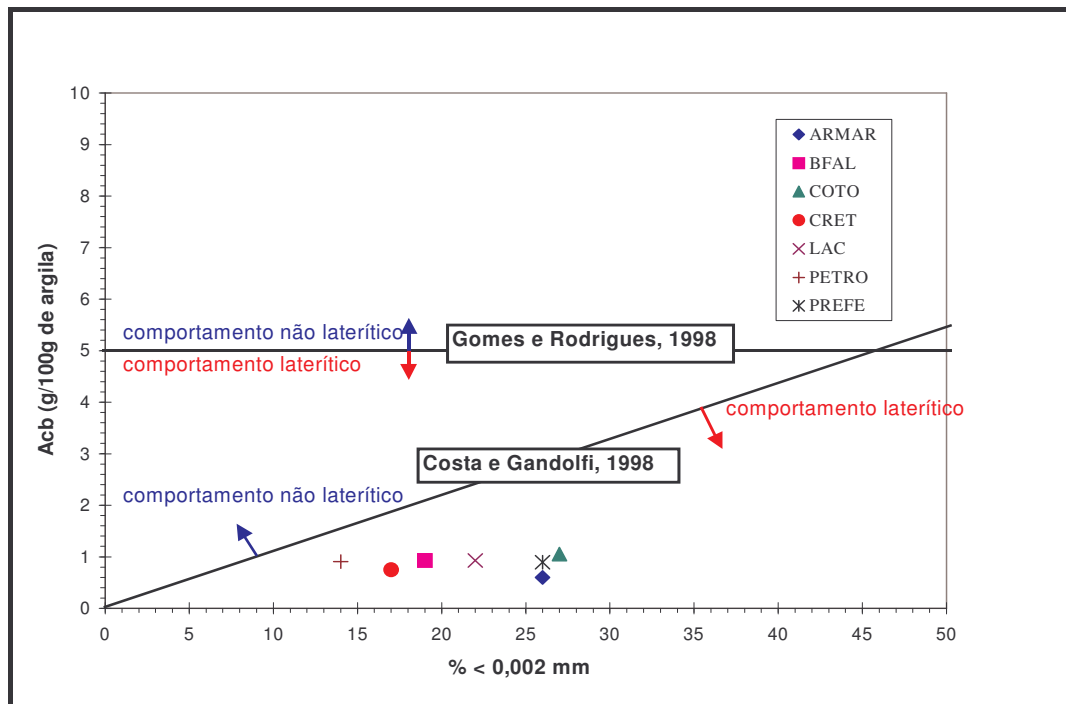


Figura 6.7 - Aplicação dos critérios de Gomes e Rodrigues (1998) e Costa e Gandolfi (1998) na estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos estudados com base no parâmetro Acb no Método de Adsorção do Azul de Metileno – procedimento Pejon.

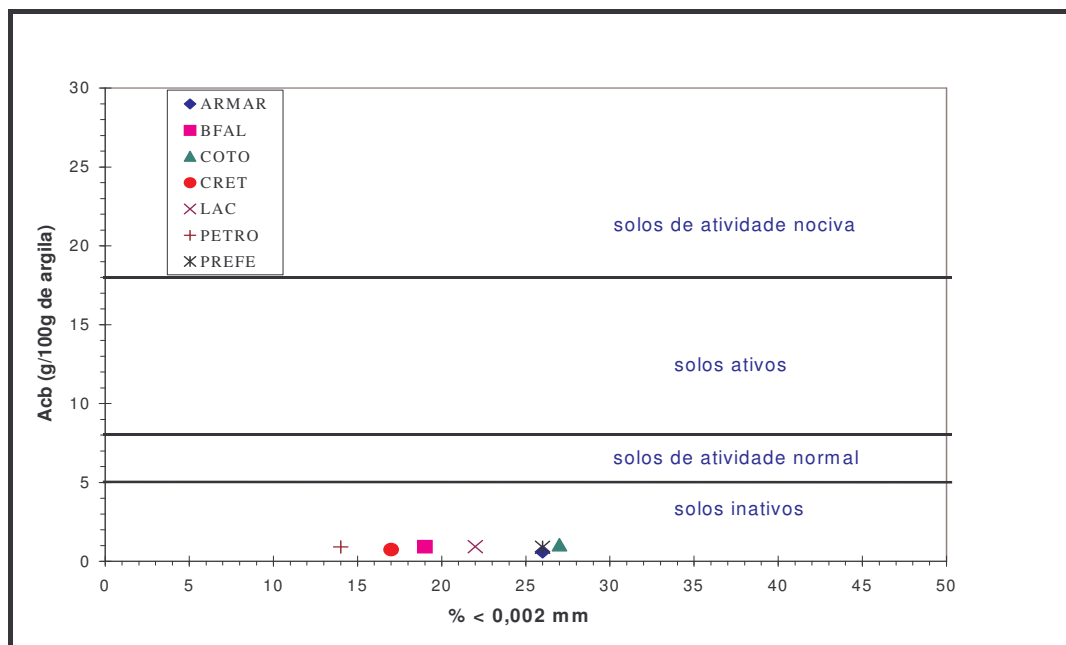


Figura 6.8 - Solos estudados frente ao diagrama das atividades das argilas pelo Método do Azul de Metileno (procedimento Pejon).

Tomando para análise os parâmetros do ensaios de adsorção de Azul de Metileno segundo procedimento de Fabbri, em Fabbri e Sória (1994) é proposto um critério para identificação do comportamento laterítico dos solos ( $CA < 11$ ). A figura 6.9 ilustra a aplicação do critério aos solos estudados a partir de um gráfico  $V_a \times \% < 0,005 \text{ mm}$ . Corroborando com a análise realizada na figura 6.7, para os solos estudados é identificado comportamento laterítico.

Fabbri e Sória (1994) também propõem a caracterização da atividade coloidal dos solos e estimam a mineralogia da fração fina a partir do gráfico  $V_a \times \% < 0,005 \text{ mm}$  (figura 6.10). Os solos estudados são caracterizados como pouco ativos (solos laterizados, solos inertes, etc...).

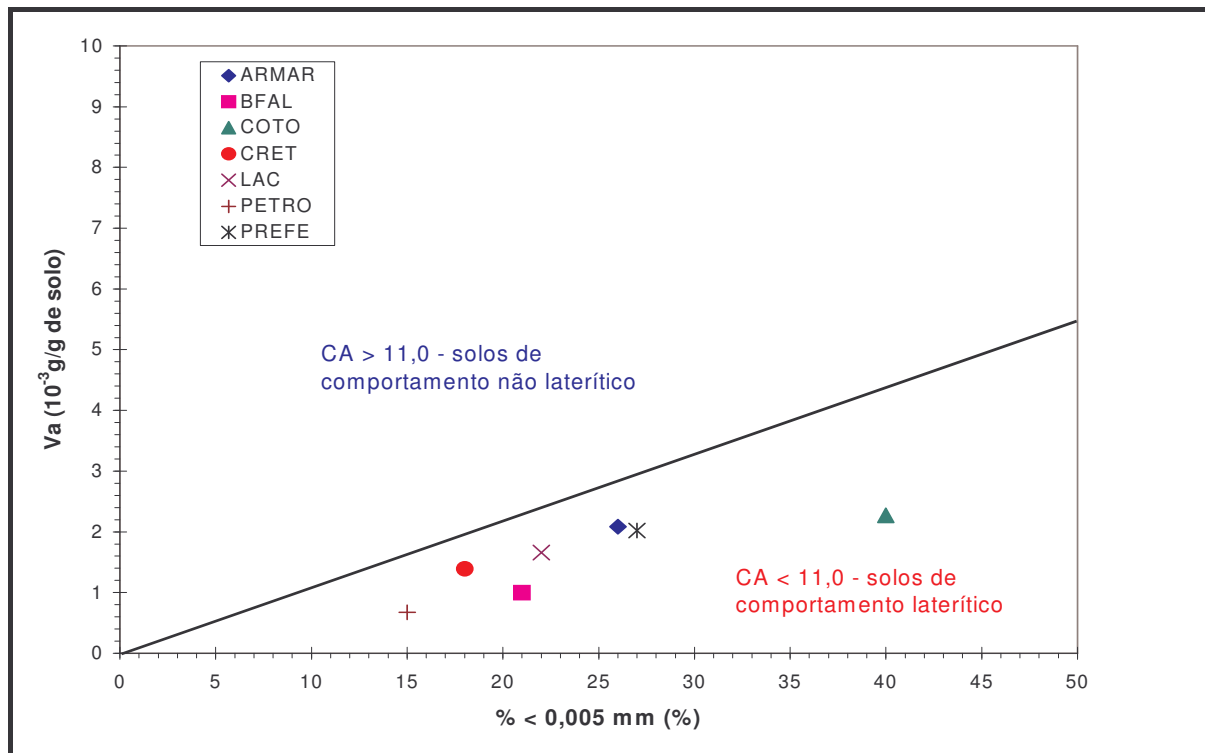


Figura 6.9 - Aplicação do critério de Fabbri e Sória (1994) na estimativa do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos estudados com base no parâmetro Valor de Azul – procedimento Fabbri.



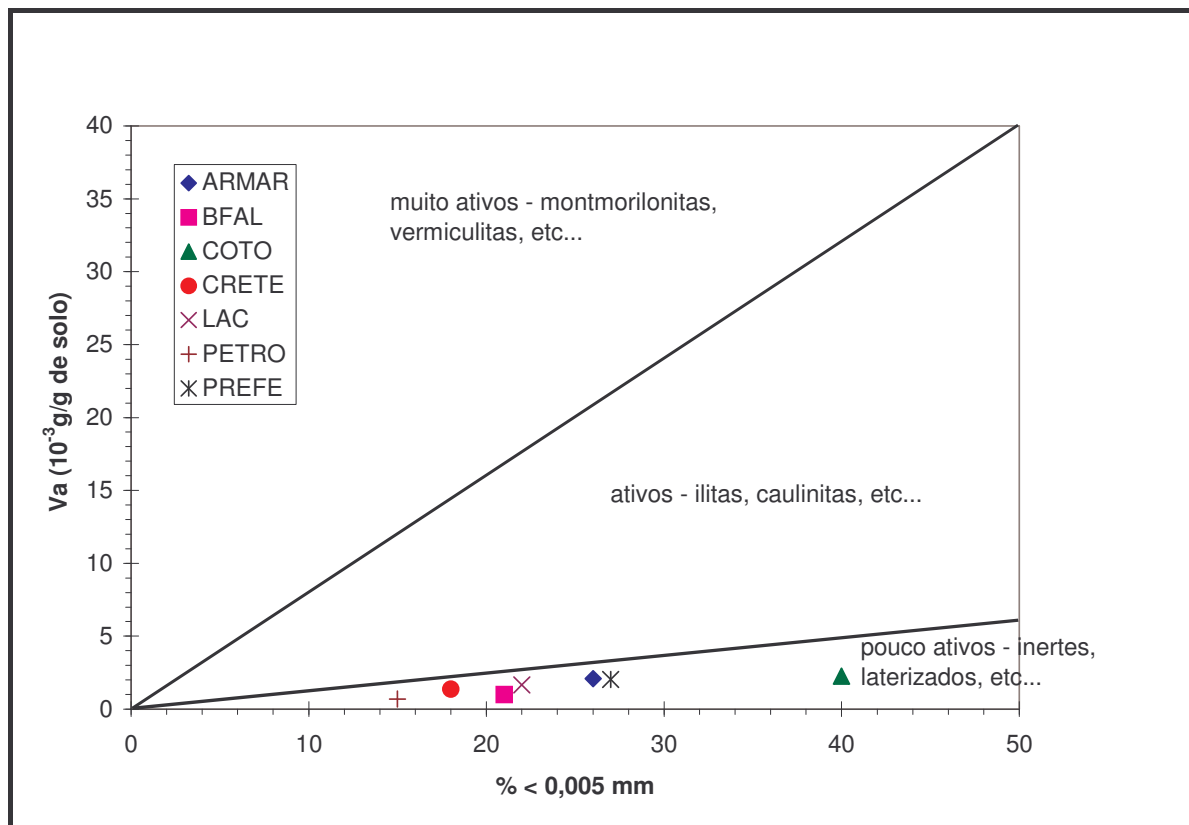


Figura 6.10 - Caracterização da atividade coloidal dos solos estudados com base nos resultados pelo Método do Azul de Metileno (procedimento de Fabbri).

Procurando relacionar a estimativa do comportamento laterítico pelo Método do Azul de Metileno (procedimento Fabbri) com o índice  $e'$  da classificação MCT dos solos tem-se o diagrama da figura 6.11. Cabe lembrar que o comportamento laterítico é creditado a solos com  $CA < 11$  e índice  $e' < 1,15$  (ou  $< 1,4$  para  $c' < 0,6$ ). A figura mostra que dos sete solos estudados, cinco deles (ARMAR, BFAL, COTO, LAC e PREFE) confirmaram a identificação como solo de comportamento laterítico. Resultados com os outros dois (CRET e PETRO) não mostraram consistência: comportamento laterítico pelo Método do Azul de Metileno ( $CA < 11$ ) e não laterítico pela classificação MCT. Coincidem serem estes últimos, os solos com menores teores de argila dentre os estudados.

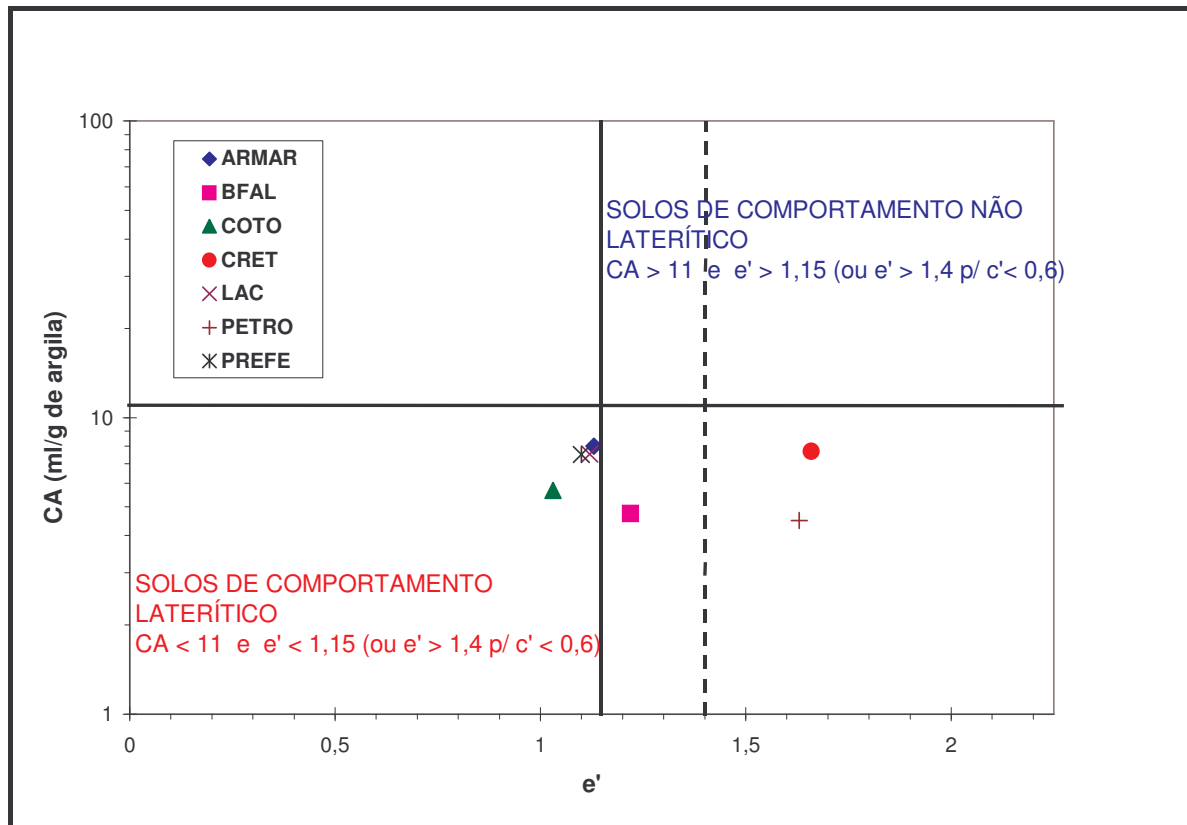


Figura 6.11 - Análise da identificação do comportamento laterítico a partir do Método do Azul de Metileno e do índice  $e'$  da classificação MCT.

## 6.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Com o objetivo de verificar as propriedades dos solos arenosos finos estudados frente ao critério apresentado no capítulo 2 (item 2.5), foram executados ensaios pela Metodologia MCT: mini-Proctor, mini-CBR e expansão, contração ao ar e infiltrabilidade, descritos no capítulo 5 (item 5.2).

### 6.2.1. Resultados dos Ensaios de Compactação Mini-Proctor

Os parâmetros de compactação dos solos estudados foram determinados por ensaios de compactação dinâmica em equipamento miniatura (ensaio mini-Proctor) na energia do Proctor Normal e Intermediário (DNER-ME 228/94) conforme já descritos nos capítulos 2 e 5.

As curvas de compactação obtidas são ilustradas em conjunto na figura 6.12 e os parâmetros  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  e  $w_{\acute{o}tima}$  apresentados na tabela 6.6.

As curvas demonstram o “comportamento mais arenoso” dos solos CRET e PETRO em relação aos demais. O solo compactado na umidade ótica atinge um grau de saturação entre 70 e 90%, destacando o comportamento não saturado em campo para os solos compactados nesta condição. Esta condição é importante na interpretação do comportamento geotécnico deste material sob variação de umidade no campo.

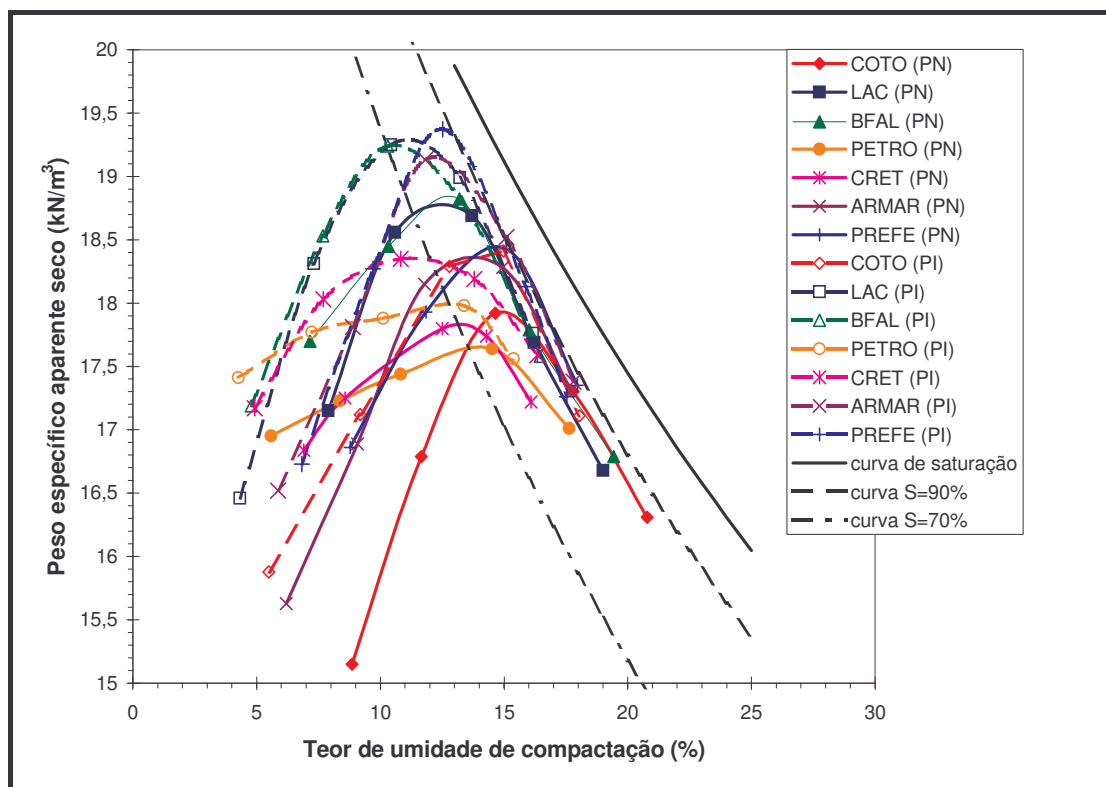


Figura 6.12 - Curvas de compactação dos solos estudados obtidas em ensaios mini-Proctor na energia do Proctor Normal (PN) e Intermediário (PI). Curva de saturação, S= 90% e S= 70% para  $\gamma_s$  médio de 26,8 kN/m<sup>3</sup>.

Tabela 6.6 - Parâmetros de compactação dos solos estudados obtidos em ensaios mini-Proctor.

Solo	Proctor Normal		Proctor Intermediário	
	W <sub>ót</sub> (%)	γ <sub>dmáx</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	W <sub>ót</sub> (%)	γ <sub>dmáx</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
<b>COTO</b>	15,3	17,8	14,4	18,5
<b>LAC</b>	12,4	18,9	11,3	19,3
<b>BFAL</b>	12,5	18,9	10,8	19,3
<b>PETRO</b>	14,2	17,7	12,8	18,0
<b>CRET</b>	12,4	17,9	11,3	18,4
<b>ARMAR</b>	13,5	18,4	12,5	19,4
<b>PREFE</b>	14,5	18,5	12,7	19,2

Em função da desqualificação dos solos PETRO e CRET frente ao critério granulométrico, estes solos foram excluídos da avaliação nos itens que seguem.

### 6.2.2. Capacidade de Suporte e Expansão

Para avaliar a capacidade de suporte e expansão, foram executados ensaios de mini-CBR e expansão. A descrição completa desses ensaios é apresentada no capítulo 5 (item 5.1.3).

No ensaio mini-CBR sem imersão foram moldados os corpos de prova miniatura de cada solo, na respectiva umidade ótima referente a energia do Proctor Normal e Proctor Intermediário, e logo após levados à prensa a fim de obter sua capacidade de suporte a partir do ensaio de puncionamento.

Para o ensaio de expansão, também foram moldados os corpos de prova miniatura de cada solo na respectiva umidade ótima referente ao Proctor Normal e ao Proctor Intermediário. Foram feitas medidas do tamanho do corpo de prova antes e após imersão por

24 horas. Após este procedimento, os corpos de prova eram levados à prensa para se obter a sua capacidade de suporte com imersão.

Para obter resultados representativos da capacidade de suporte dos solos estudados nas condições de aplicação do critério de seleção de solos para bases de SAFL, foram realizados ensaios mini-CBR e expansão em quantidade suficiente para se ter uma média de até cinco resultados e uma análise estatística foi realizada com vistas a eliminar resultados espúrios (distantes da média em mais de 1,65 vezes o desvio padrão).

Os resultados obtidos com os ensaios mini-CBR e expansão são apresentados na tabelas 6.7, 6.8 e 6.9.

Tabela 6.7 - Resultados de mini-CBR para ensaios com e sem imersão, sem sobrecarga – CPs na umidade ótima compactados na energia equivalente do Proctor Normal e Intermediário.

Solo	MINI-CBR (%)				
	Proctor Normal médias com base em três ensaios		Proctor Intermediário médias com base em cinco ensaios		
	s/imersão	c/imersão	s/imersão*	c/imersão*	RIS (%)*
<b>ARMAR</b>	21,1	18,8	51,2	25,6	50,0
<b>BFAL</b>	21,0	16,5	48,0	22,5	46,9
<b>COTO</b>	18,5	14,0	23,4	16,3	69,7
<b>LAC</b>	27,5	12,9	62,5	26,2	41,9
<b>PREFE</b>	13,3	11,4	25,9	15,4	59,5

\* Valores utilizados no critério de seleção de SAFL

Tabela 6.8 - Resultados de mini-CBR para ensaios com e sem imersão, com sobrecarga – CPs na umidade ótima compactados na energia equivalente do Proctor Normal e Intermediário.

Solo	MINI-CBR (%)			
	Proctor Normal médias com base em três ensaios		Proctor Intermediário médias com base em três ensaios	
	s/imersão	c/imersão	s/imersão	c/imersão
<b>ARMAR</b>	14,5	19,8	27,2	35,0
<b>BFAL</b>	16,2	17,2	50,0	30,3
<b>COTO</b>	17,1	15,3	17,8	17,5
<b>LAC</b>	19,0	18,0	48,3	45,3
<b>PREFE</b>	17,6	14,7	35,8	28,0

Tabela 6.9 - Valores de expansão medida nos ensaios de mini-CBR.

Solo	EXPANSÃO (%)			
	Proctor Normal médias com base em três ensaios		Proctor Intermediário	
	sem sobrecarga	com sobrecarga	sem sobrecarga* médias com base em cinco ensaios	com sobrecarga médias com base em três ensaios
<b>ARMAR</b>	0,18	0,10	0,50	0,18
<b>BFAL</b>	0,08	0,08	0,09	0,05
<b>COTO</b>	0,40	0,25	0,43	0,21
<b>LAC</b>	0,05	0,07	0,42	0,03
<b>PREFE</b>	0,06	0,05	0,28	0,07

\* Valores utilizados no critério de seleção de SAFL.



Quanto à capacidade de suporte e expansão, a especificação para SAFL empregado em bases de pavimentos de baixo custo, proposta por Villibor e Nogami (1982), indica:

- Mini-CBR (Proctor Intermediário, s/ imersão, s/ sobrecarga)  $\geq 40\%$
- Índice RIS  $\geq 50\%$
- Expansão  $\leq 0,3\%$

O DER/SP (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo) propõe, em seu Manual de Normas de Pavimentação (DER/SP, 1988), um fator de segurança referente às propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos. Este fator (K), minorador do mini-CBR e majorador da expansão, é calculado em função do desvio padrão (S) dos resultados experimentais para um mesmo solo e do número de amostras ensaiadas e é aplicado sobre a média experimental (X). Assim, a especificação para SAFL passa a ser:

- Mini-CBR (Proctor Intermediário, s/ imersão, s/ sobrecarga):  $X - K.S \geq 40\%$ .
- Expansão:  $X + K.S \leq 0,3\%$ .

A tabela 6.10 traz os resultados de mini-CBR e expansão aplicados os fatores minoradores da capacidade de suporte e majoradores da expansão. Os resultados grifados na tabela mostram condições de atendimento ao critério MCT para especificação de SAFL.

Tabela 6.10 - Resultados de mini-CBR e expansão frente ao critério de seleção de SAFL.

Solo	Mini-CBR (s/imersão e s/sobrecarga) (%)				Mini-CBR (c/imersão e s/sobrecarga) (%)				RIS (%)	Expansão (%)			
	X	S	N / K	X-K.S	X	S	N / K	X-K.S		X	S	N / K	X+K.S
<b>ARMAR</b>	51,2	5,9	5/0,89	<b>45,9</b>	25,6	4,9	5/0,89	21,2	<b>50,0</b>	0,50	0,15	5/0,89	<b>0,63</b>
<b>BFAL</b>	48,0	15,6	5/0,89	<b>34,1</b>	22,5	7,9	5/0,89	15,5	<b>46,9</b>	0,09	0,06	4/0,95	<b>0,15</b>
<b>COTO</b>	23,4	4,0	5/0,89	<b>19,8</b>	16,3	1,2	5/0,89	15,2	<b>69,7</b>	0,43	0,11	5/0,89	<b>0,53</b>
<b>LAC</b>	62,5	9,3	5/0,89	<b>54,2</b>	26,2	2,0	4/0,95	24,3	<b>41,9</b>	0,42	0,32	5/0,89	<b>0,70</b>
<b>PREFE</b>	25,9	5,8	4/0,95	<b>20,4</b>	15,4	2,5	5/0,89	13,2	<b>59,5</b>	0,28	0,29	5/0,89	<b>0,54</b>

X – valor médio experimental; S – desvio padrão; N – número de experimentos; K – coeficiente de tolerância unilateral – f(N)

Obs: Os valores dos índices RIS foram calculados a partir das médias experimentais (valores de X)

Os resultados obtidos são representados nas figuras 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 e 6.18. Observa-se que:

- os solos ARMAR e LAC atingem o valor mínimo para o mini-CBR sem imersão (figura 6.15);
- os solos ARMAR, COTO e PREFE atingem o valor mínimo para o índice RIS (figura 6.16);
- apenas o solo BFAL atende o critério quanto à expansão (figura 6.18).

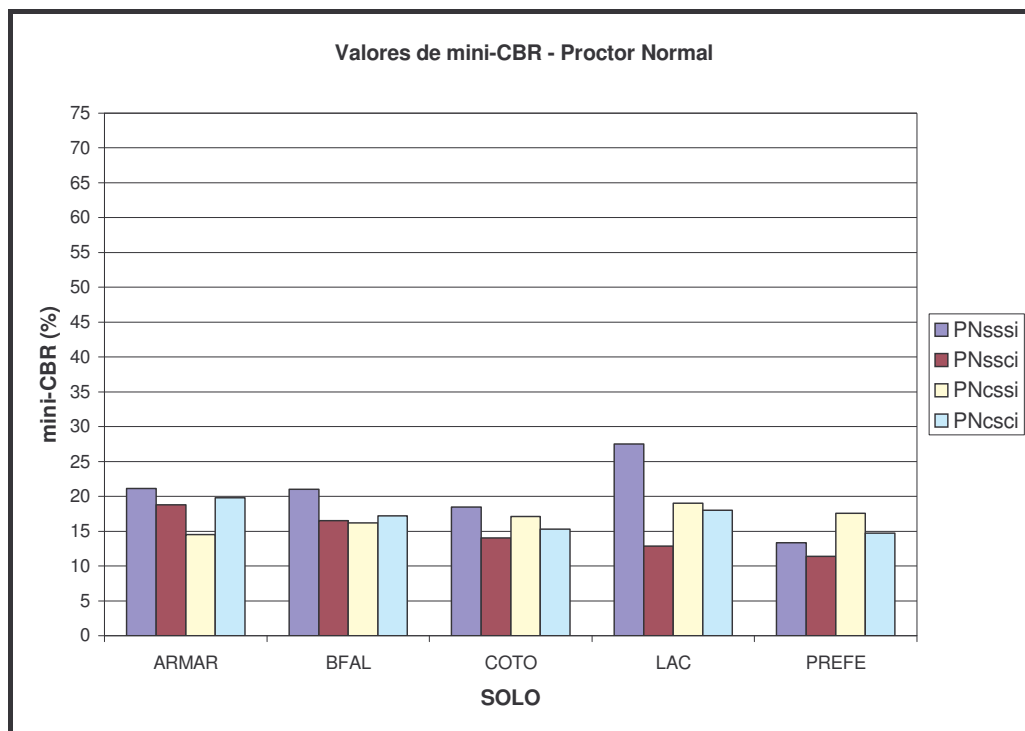


Figura 6.13 - Valores de mini-CBR na energia do Proctor Normal (PN) nas condições sem sobrecarga (ss), com sobrecarga (cs), sem imersão (si) e com imersão (ci).

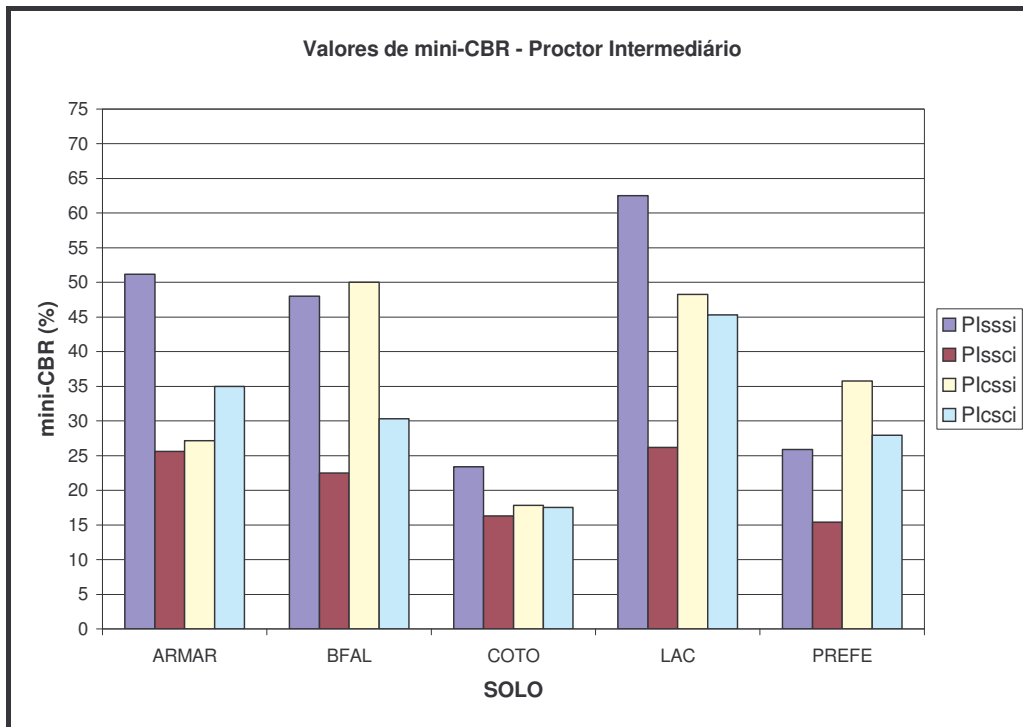


Figura 6.14 - Valores de mini-CBR na energia do Proctor Intermediário (PI) nas condições sem sobrecarga (ss), com sobrecarga (cs), sem imersão (si) e com imersão (ci).

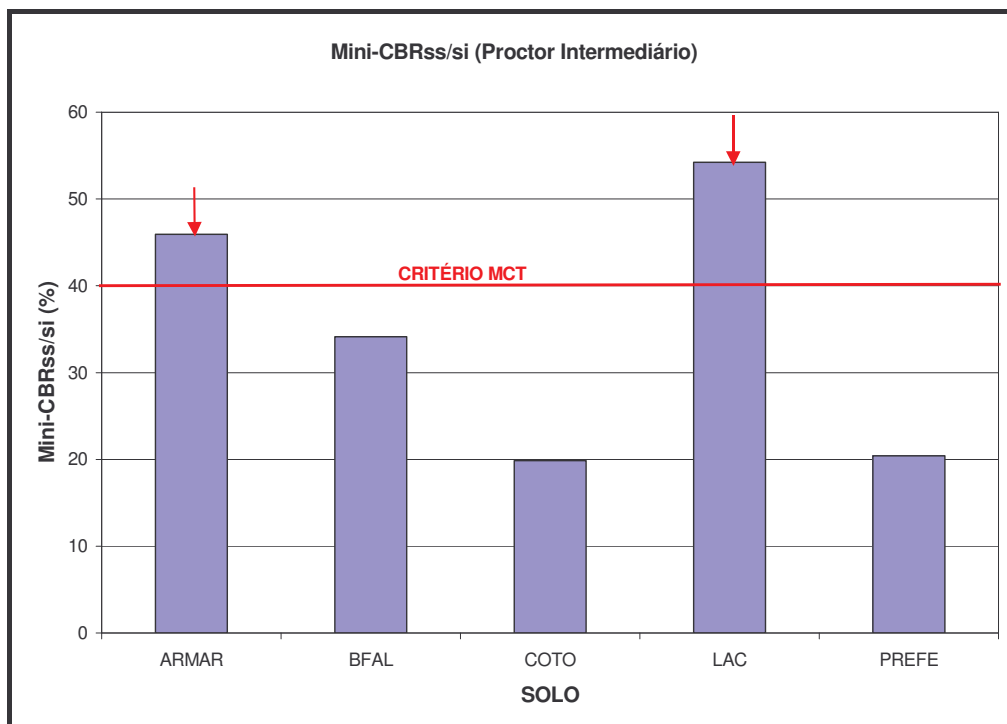


Figura 6.15 - Valores de mini-CBR na energia do Proctor Intermediário na condição sem sobrecarga (ss) e sem imersão (si) (aplicado o coeficiente de tolerância experimental).

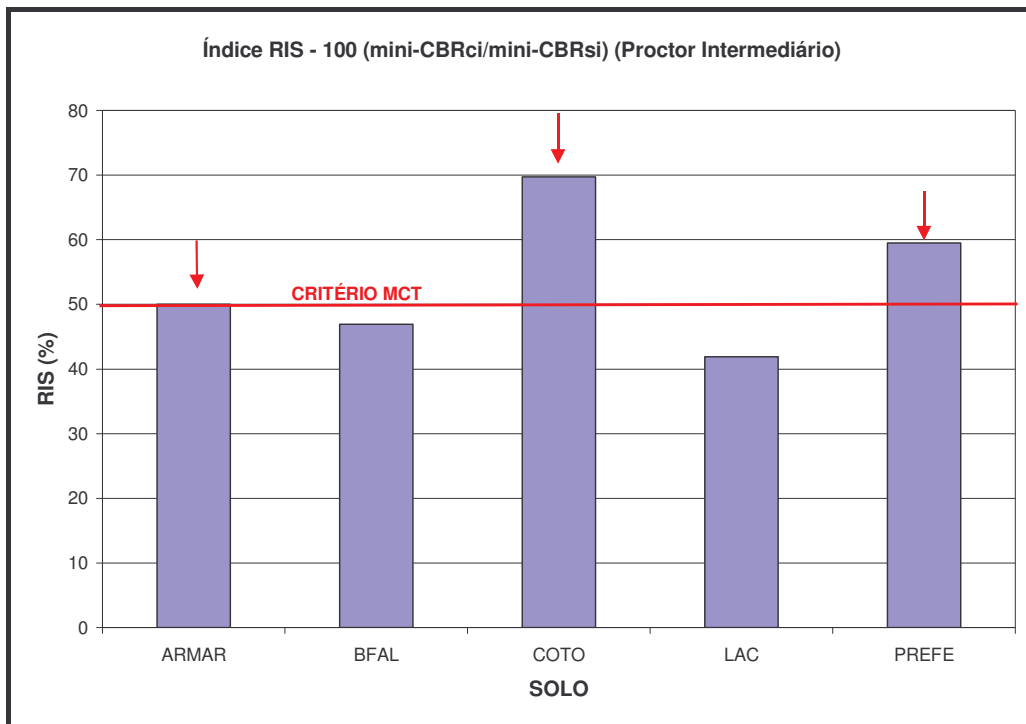


Figura 6.16 - Índice RIS para os solos estudados.

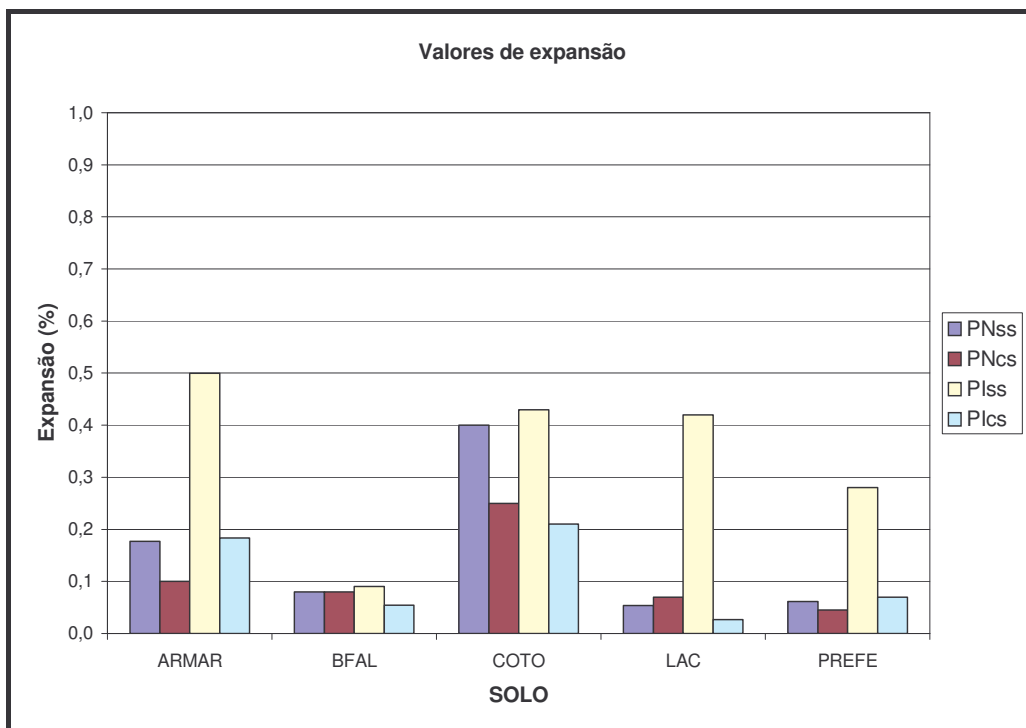


Figura 6.17 - Valores de expansão dos solos estudados.

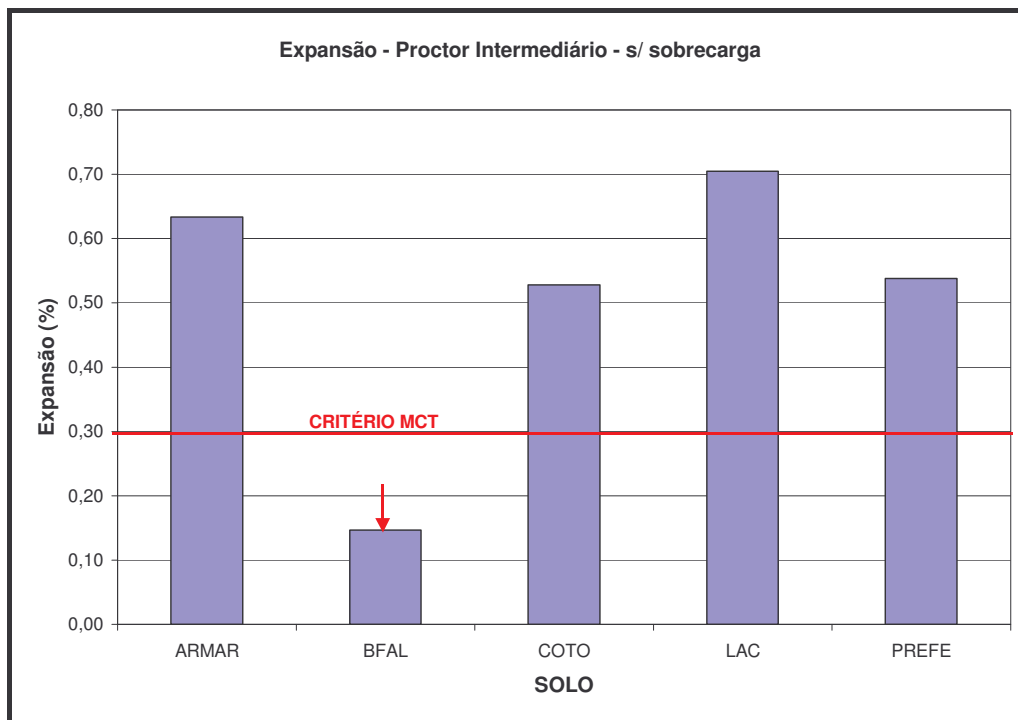


Figura 6.18 - Valores de expansão dos solos estudados na energia do Proctor intermediário e sem sobrecarga (aplicado o coeficiente de tolerância experimental).

Em resumo, apenas o solo ARMAR atende integralmente os quesitos referentes à capacidade de suporte, embora apresente expansão acima do limite da especificação para SAFL.

### 6.2.3. Contração por Secagem

A contração com a secagem ao ar dos solos estudados foi avaliada pelo ensaio de contração por secagem integrante da Metodologia MCT. Conforme já descrito no capítulo 5, no ensaio os corpos de prova compactados perdem lentamente seu teor de umidade pela exposição ao ar livre. A variação de comprimento axial é medida com auxílio de um extensômetro (ou paquímetro de precisão) até sua constância. O resultado é expresso em porcentagem da altura inicial do CP. A tabela 6.11 traz os resultados obtidos com os solos estudados compactados na energia do Proctor Intermediário e na umidade ótima.

Tabela 6.11 - Contração ao ar por secagem dos solos estudados (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário).

<b>Solo</b>	<b>Contração ao ar (%)</b>
<b>ARMAR</b>	0,2
<b>BFAL</b>	0,2
<b>COTO</b>	0,6
<b>LAC</b>	0,2
<b>PREFE</b>	0,3

Segundo o critério apresentado no capítulo 2, onde a contração por secagem deve estar entre 0,1 a 0,5%, apenas o solo COTO ultrapassa os limites estabelecidos. O resultado é coerente com o maior teor de finos deste solo.

#### **6.2.4. Infiltrabilidade**

A última propriedade avaliada para validação dos solos estudados frente ao critério de aceitação dos SAFL pela Metodologia MCT foi a infiltrabilidade. A destacada perda de suporte dos solos estudados com o umedecimento aumenta em importância a avaliação da infiltrabilidade. O umedecimento das bases pela ascensão de água do lençol freático e por fluxos horizontais a partir de suas bordas está associado à infiltrabilidade do solo compactado.

O ensaio de infiltrabilidade pela Metodologia MCT consiste na medida do coeficiente de sorção, que representa a velocidade de ascensão capilar do solo compactado. A completa descrição deste ensaio encontra-se no capítulo 5.

A tabela 6.12 apresenta os resultados obtidos para CPs ensaiados após compactação na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário, enquanto a figura 6.19 apresenta as curvas de infiltrabilidade obtidas nos ensaios.



Tabela 6.12 - Coeficientes de sorção (s) obtidos em ensaios de infiltrabilidade (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário).

Solo	Coeficiente de sorção s (cm/min <sup>1/2</sup> )
ARMAR	3,0.10 <sup>-2</sup>
BFAL	4,6.10 <sup>-2</sup>
COTO	5,0.10 <sup>-2</sup>
LAC	3,2.10 <sup>-2</sup>
PREFE	1,8.10 <sup>-2</sup>

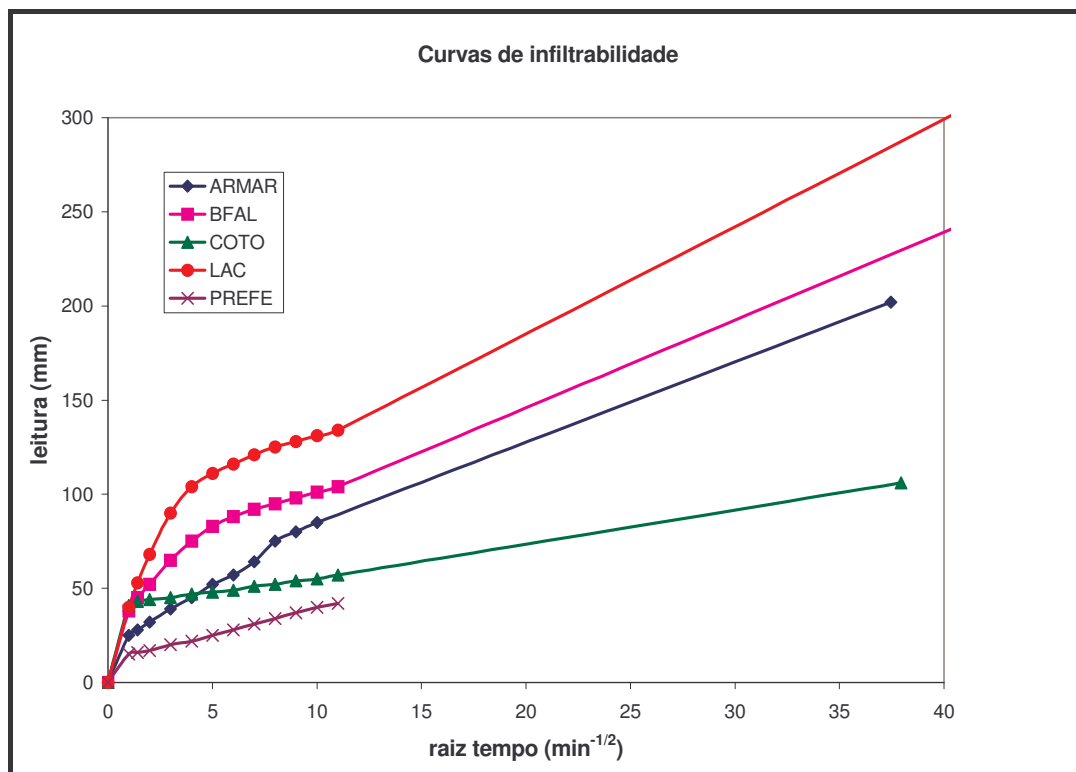


Figura 6.19 - Curvas de infiltrabilidade obtidas de CPs compactados na umidade ótima e na energia do Proctor Intermediário para os solos estudados.

Frente ao critério para especificação de SAFL apresentado no capítulo 2, todos os solos estudados apresentam maior velocidade de ascensão capilar que o limite estabelecido. Os solos PREFE e ARMAR foram aqueles que menos se afastaram do limite superior indicado.

Estes resultados indicam que a ascensão capilar constitui um importante limitante ao desempenho destes solos compactados como bases de SAFL. Villibor *et al.* (2000) alertam sobre o problema de “amolecimento” da base de SAFL por ascensão capilar em subleitos com nível d’água elevado e por migração lateral a partir do acostamento.

Tornam-se imprescindíveis medidas que garantam que as bases de SAFL não sejam afetadas pela água do subsolo e das chuvas. O emprego de camadas de sub-base drenantes e a execução de acostamento revestido constituem soluções que viriam, quanto a este aspecto, a viabilizar o emprego dos solos estudados.

### **6.2.5. Análise Geral frente ao Critério de Seleção de SAFL**

A tabela 6.13 resume os resultados obtidos frente ao critério de seleção de solos para bases de SAFL fundamentado na Metodologia MCT. São grifados os resultados que atendem ao critério.

De uma maneira geral, pode-se dizer que nenhum solo pertencente ao grupo das areias lateríticas atende a totalidade dos requisitos estabelecidos pelo critério proposto por Villibor e Nogami (1982). A capacidade de suporte, a expansão e, principalmente, a infiltrabilidade mostram-se como limitantes importantes ao uso indiscriminado destes solos como material para construção de bases de pavimentos econômicos.

Dos solos estudados, indica-se o solo ARMAR como aquele que atende a maior parte dos requisitos, satisfazendo o critério quanto a capacidade de suporte e contração. Quanto a infiltrabilidade, está entre os solos que menos se distanciam do limite superior do critério. Este solo foi selecionado ao dimensionamento proposto no capítulo 7, e para que haja um melhor entendimento da metodologia o Anexo A traz todo o procedimento de cálculo realizado para o solo ARMAR.

Os resultados apontam no sentido de que nenhum solo de mesma natureza dos estudados pode ser indicado ao uso como material para base de SAFL, sem que seja realizada sua criteriosa avaliação tecnológica pela Metodologia MCT .

Tabela 6.13 - Resumo dos resultados obtidos na avaliação tecnológica dos solos estudados frente ao critério de seleção de solos para bases de SAFL proposto por Villibor e Nogami (1982).

Solo	Capacidade de suporte		Expansão* (%)	Contração ao ar (%)	Infiltrabilidades (cm/min <sup>1/2</sup> )
	mini-CBR ss/si* (%)	índice RIS (%)			
<b>Critério SAFL</b>	<b>≥ 40</b>	<b>≥ 50</b>	<b>≤ 0,3</b>	<b>0,1 a 0,5</b>	<b>10<sup>-2</sup> a 10<sup>-4</sup></b>
<b>ARMAR</b>	<b><u>45,9</u></b>	<b><u>50,0</u></b>	0,63	<b><u>0,2</u></b>	3,0.10 <sup>-2</sup>
<b>BFAL</b>	34,1	46,9	<b><u>0,15</u></b>	<b><u>0,2</u></b>	4,6.10 <sup>-2</sup>
<b>COTO</b>	19,8	<b><u>69,7</u></b>	0,53	0,6	5,0.10 <sup>-2</sup>
<b>LAC</b>	<b><u>54,2</u></b>	41,9	0,70	<b><u>0,2</u></b>	3,2.10 <sup>-2</sup>
<b>PREFE</b>	20,4	<b><u>59,5</u></b>	0,54	<b><u>0,3</u></b>	1,8.10 <sup>-2</sup>

\* aplicados os coeficiente de tolerância unilateral (DER/SP, 1988)

## **7. PROPOSTA E DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE PAVIMENTO**

### **7.1. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DA PMSP**

O dimensionamento em questão visa exemplificar a utilização de um dos solos lateríticos finos estudados como material de base de um pavimento destinado a tráfego leve. O solo do subleito natural é utilizado como parte integrante da estrutura do pavimento. Com isso, procura-se reduzir consideravelmente as distâncias de transporte em relação aos materiais convencionalmente utilizados em obras desta natureza em municípios próximos ao litoral, integrantes da Planície Costeira Sul do RS.

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento propõe-se a utilização do Método de Dimensionamento da Prefeitura de São Paulo (PMSP, 1992). Este método utiliza, como parâmetros de projeto, as categorias de tráfego e a capacidade de suporte do subleito da via a ser pavimentada, além do coeficiente de equivalência estrutural dos materiais empregados, os quais serão apresentados detalhadamente a seguir juntamente com os tipos de tráfego. Neste item é ampliada a descrição do método iniciada no capítulo 5 (item 5.3).

#### **7.1.1. Categorias de Tráfego**

As categorias de tráfego distinguem-se basicamente pelo número de passagens previstas de veículos comerciais (ônibus e caminhões) por dia. Este número é representado pelo valor de “N”, indicando o número de solicitações previstas no período operacional do pavimento, por um eixo traseiro simples de rodagem dupla - com 82 kN, conforme o Método do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (*U.S. Army Corps of Engineers - USACE*).

Para efeito de dimensionamento de novos pavimentos considera-se a classificação de vias em: tráfego médio, leve e muito leve. No dimensionamento em questão considerou-se:

- **Tráfego leve:** Ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir, ocasionalmente, passagens de caminhões ou ônibus em número não superior a 50 por dia, por faixa de tráfego, caracterizando um número “N” típico de  $10^5$  solicitações do eixo simples padrão (8,2 t) para o período de 10 anos. Onde a função predominante é via secundária com volume inicial na faixa mais carregada de 100 a 400 veículos leves e de 4 a 20 caminhões e ônibus com N variando de  $2,8 \cdot 10^4$  a  $1,4 \cdot 10^5$ .

### 7.1.2. Capacidade de Suporte do Subleito

O parâmetro físico para representar a capacidade de suporte do subleito no presente método é o Índice de Suporte Califórnia ou, simplesmente, CBR (*Califórnia Bearing Ratio*). A determinação do CBR do subleito foi realizada com amostras coletadas através de cava de sondagem executada para amostragem do terreno. O ensaio foi realizado conforme especificações da NBR 9895/87 (vide capítulo 5, item 5.3).

Segundo Villibor *et al.* (2000), é indicada a substituição do material de subleito quando este apresentar  $CBR < 2\%$  por outro de  $CBR \geq 5\%$  e expansão  $< 2\%$ . Já para subleitos com expansão  $\geq 2\%$  e  $CBR < 2\%$ , o método determina a execução de uma camada de reforço do subleito de no mínimo 40 cm de espessura sobre a camada final de terraplenagem, executado com solo de  $CBR \geq 5\%$  e expansão  $< 2\%$ . Ainda no caso de  $CBR > 2\%$  e expansão  $\geq 2\%$ , indica-se a determinação em laboratório da mínima sobrecarga para que o solo apresente expansão  $< 2\%$ , sendo esta levada em conta no projeto do pavimento, de modo que o seu peso próprio transmita ao subleito uma pressão maior ou igual a esta sobrecarga.

### 7.1.3. Espessura Total do Pavimento ( $H_{SL}$ )

Depois de definido o tipo de tráfego do pavimento e determinado o suporte representativo do subleito, a espessura total básica do pavimento, em termos equivalente de material granular,  $H_{SL}$ , será fixada de acordo com a figura 7.1.

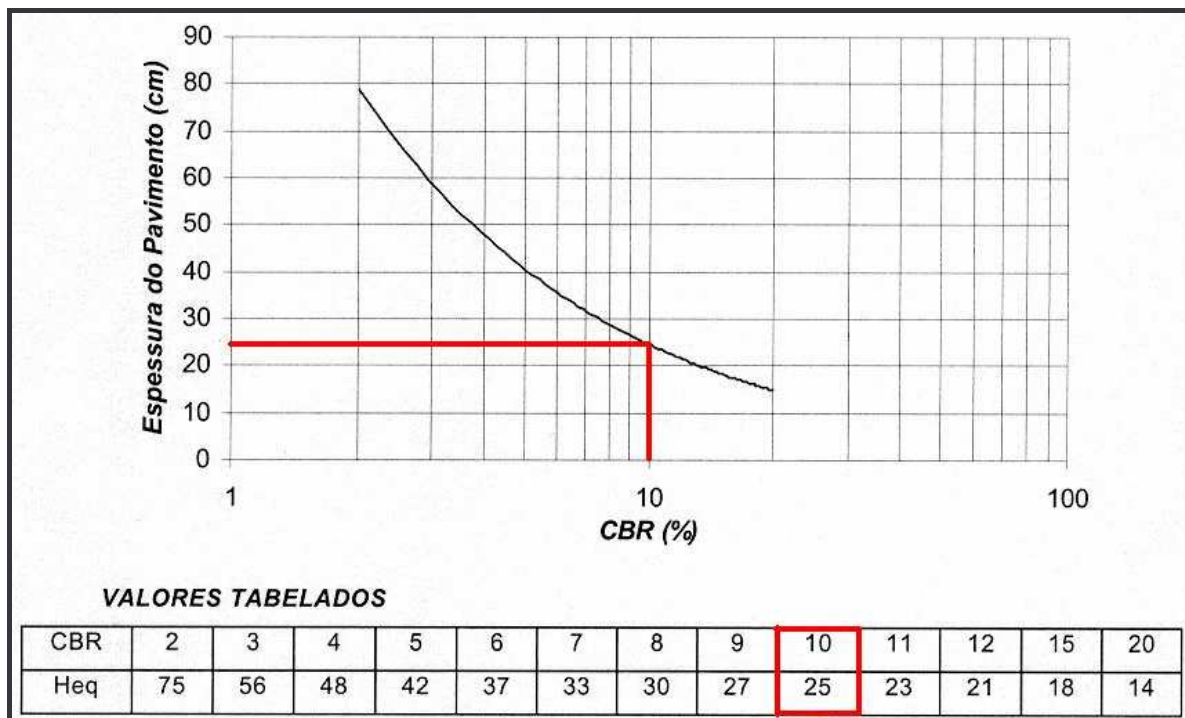


Figura 7.1 - Ábaco de dimensionamento para obtenção da espessura total básica do pavimento em termos de material granular ( $H_{SL}$ ) (PMSP, 1992).

### 7.1.4. Espessura da Camada de Rolamento (R)

O revestimento betuminoso prescrito pelo Método da PMSP é constituído por uma camada de Pré-Misturado à Quente (PMQ) ou Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), com espessura mínima (R) em função do tipo de tráfego, conforme tabela 7.1:



Tabela 7.1 – Espessura mínima de revestimento (PMSP, 1992).

Tráfego	Tipo de revestimento	Espessura (cm)
Leve	PMQ	4,0
	CBUQ	3,0

### 7.1.5. Espessura das Demais Camadas

Uma vez determinada a espessura total do pavimento ( $H_{SL}$ ), em termos de material granular, e fixada a espessura do revestimento ( $R$ ), procede-se ao dimensionamento das espessuras das demais camadas, ou seja, da base, sub-base e reforço do subleito. Se o pavimento vai ou não conter sub-base ou reforço do subleito, fica a critério do projetista, na exceção do subleito com expansão  $\geq 2\%$  e  $CBR < 2\%$ , para o qual o método exige reforço. Para o dimensionamento em questão, de um pavimento de baixo custo, será previsto a execução da base diretamente sobre o subleito. Nesta condição, a espessura da base é determinada pela resolução da inequação 7.1.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{SL} \quad (7.1)$$

onde:  $K_R$  e  $K_B$  representam os coeficientes estruturais do revestimento e da base valores obtidos na tabela 7.2;  $H_{SL}$  é a espessura equivalente em material granular fornecida pelo ábaco da figura 7.1.

O coeficiente de equivalência estrutural de um material é definido, segundo Villibor *et al.* (2000), como a relação entre espessuras de uma base granular e de uma camada do material considerado, que apresente o mesmo comportamento, ou seja, considera-se que, por exemplo, uma camada de 10 cm de material com coeficiente de equivalência estrutural igual a 1,5 apresente comportamento igual ao de uma camada de 15 cm de base granular.

Para as camadas de pavimentos projetadas conforme o Método da PMSP, são adotados os coeficientes de equivalência estrutural apresentados na tabela 7.2.

Os coeficientes estruturais da sub-base granular e do reforço do subleito são obtidos pelas expressões 7.2 e 7.3:

$$K_{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3CBR_{SL}}} \leq 1 \quad (7.2)$$

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3CBR_{SL}}} \leq 1 \quad (7.3)$$

onde:  $CBR_{SB}$ ,  $CBR_{REF}$  e  $CBR_{SL}$  são os Índices de Suporte Califórnia da sub-base, reforço do subleito e subleito, respectivamente.

Tabela 7.2 – Coeficientes de equivalência estrutural (Villibor *et al.*, 2000).

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso.	2,00
Base ou revestimento de concreto magro/pobre rolado.	2,00
Base ou revestimento pré-misturado à quente, de graduação densa/BINDER.	1,80
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,40
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 estabilizada granulometricamente.	1,00
Sub-bases granulares ou estabilizadas com aditivos	Variável
Reforço do subleito	Variável
Base de solo-cimento, com resistência a compressão simples (RCS) aos 7 dias, superior a 4,5 MPa.	1,70
Base de solo-cimento, com RCS aos 7 dias, entre 2,8 e 4,5 MPa.	1,40
Base de solo-cimento, com RCS aos 7 dias, entre 2,1 e 2,8 MPa.	1,20
Base de solo-cimento, com RCS aos 7 dias, menor que 2,1 MPa	1,00
Areia	1,00

### 7.1.6. Espessura Mínima e Materiais Recomendados para as Diversas Camadas do Pavimento

Segundo Villibor *et al.* (2000), a tabela 7.3 ilustra os diferentes tipos de camadas de base utilizadas em um pavimento de baixo custo com suas espessuras mínimas e características de capacidade de suporte e expansão recomendadas.

Tabela 7.3 – Características das camadas de pavimentos de baixo custo (modificado de Villibor *et al.* 2000).

TIPO DE BASE	CARACTERÍSTICAS		
	CBR (%)	EXPANSÃO (%)	ESPESSURA (cm)
Estabilizada Granulometricamente	≥ 80	≤ 0,5	≥ 10
Argila Laterítica	≥ 12	≤ 0,5	≥ 15
Solos Lateríticos “in natura”	≥ 40	≤ 0,3	≥ 15
Solo Laterita Agregado (SLAD) (Trafego Leve)	≥ 50	≤ 0,5	≥ 15
Solo Laterita Agregado (SLAD) (Trafego Médio)	≥ 80	≤ 0,5	≥ 15

## 7.2. DIMENSIONAMENTO COM BASE NO MÉTODO DA PMSP DE UMA HIPOTÉTICA ESTRUTURA DE PAVIMENTO ECONÔMICO COM EMPREGO DO SOLO ARMAR

Com o objetivo de demonstrar como foi feito o dimensionamento de uma estrutura de pavimento com base de SAFL, idealizada neste trabalho, bem como facilitá-lo para quaisquer outras estruturas diferentes da estrutura proposta, é apresentado neste item uma memória de cálculo de dimensionamento de uma estrutura de pavimento para tráfego leve pelo Método da PMSP.

**1ª ETAPA – Caracterização do tráfego segundo Villibor *et al.* (2000):**

**Tráfego:** Tipo Leve

**Função dominante:** Vias Secundárias

**Vida útil:** 10 anos

**Veículos pesados:** < 50 / dia

**Veículos leves:** 100 a 400 (conforme descrito no item 7.1.1)

**N característico:**  $10^5$  solicitações do eixo padrão (8,2 t)

**Carga máxima legal :** 10 t

**2ª ETAPA – Características do subleito:**

Caracterização, amostragem e execução de ensaios de CBR com o solo representativo do subleito predominante na via dentro de um universo de solo, conforme descrito no item 7.1.2. Os valores para CBR e expansão devem ser obtidos na umidade ótima e energia do Proctor Normal.

- **Características do subleito junto ao acesso do Departamento de Química – Campus Carreiros FURG** (resultados de ensaio CBR convencional, segundo capítulo 5, item 5.3)

**CBR:** 10%

**EXPANSÃO:** 0%

**3ª ETAPA – Definição dos materiais que constituirão a estrutura:**

De acordo com a disponibilidade de materiais para cada camada, montam-se diferentes opções de estruturas. Neste momento, deve-se dispor dos valores de equivalência estrutural dos materiais, bem como das propriedades tecnológicas do material a ser utilizado na base.

- **Características do solo arenoso fino selecionado, compactado na wót e na energia do Proctor Intermediário:**

**Jazida:** ARMAR (resultados de caracterização e avaliação tecnológica pela Metodologia MCT apresentados no capítulo 6).

**CBR:** 27% (resultado de ensaio CBR convencional, segundo capítulo 5, item 5.3)

**EXPANSÃO:** 0,1% (resultado de ensaio CBR convencional, segundo capítulo 5, item 5.3)

Na ausência de um valor tabelado para o coeficiente estrutural para base de SAFL, foi utilizado a relação estabelecida por PMSP (1992) para estimativa dos coeficientes de sub-base e reforço descritos no item 7.1.5:

$$K_B = \sqrt[3]{\frac{CBR_B}{3CBR_{SL}}} \leq 1,0$$

$$K_B = \sqrt[3]{\frac{27}{3 \times 10}} \leq 1,0$$

<b><math>K_B = 0,97</math></b>
--------------------------------

onde:  $K_B$  é o coeficiente estrutural do SAFL da base;  $CBR_B$  é o Índice de Suporte Califórnia do SAFL e  $CBR_{SL}$  é o Índice de Suporte Califórnia do subleito.

- **Características do revestimento:**

Para este dimensionamento em questão, idealizamos o emprego do revestimento por areia-asfalto, material alvo de pesquisas no Laboratório de Geotecnia da FURG. Por se tratar de um material não convencional, o valor do coeficiente estrutural de equivalência para areia-asfalto não se encontra tabelado. Neste caso, considerou-se o mesmo coeficiente estrutural do revestimento de pré-misturado à quente, indicado na tabela 7.2 ( $K_R = 1,80$ ), sendo a espessura mínima do revestimento obtida através da tabela 7.1 ( $R = 4$  cm).

**4ª ETAPA – Determinação da espessura básica necessária do pavimento ( $H_{SL}$ ):**

Encontra-se o valor da espessura básica necessária através do ábaco apresentado na figura 7.1. Considerando o valor de CBR do subleito e a curva para o tipo de tráfego leve, tem-se:  $H_{SL} = 25$  cm (figura 7.1).

**5ª ETAPA – Determinação da espessura da base:**

Por fim, faz-se a determinação da espessura da base com a resolução da inequação 7.1. Após a determinação da espessura da base, compara-se o valor encontrado com o valor mínimo recomendado na tabela 7.3, item 7.1.6.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{SB}$$

$$4 \cdot 1,8 + B \cdot 0,97 \geq 25$$

$$B = 18,35 \text{ cm}$$

$$\boxed{B = 19 \text{ cm}}$$

A espessura mínima da base é obedecida,  $\geq 15$  cm (tabela 7.3).



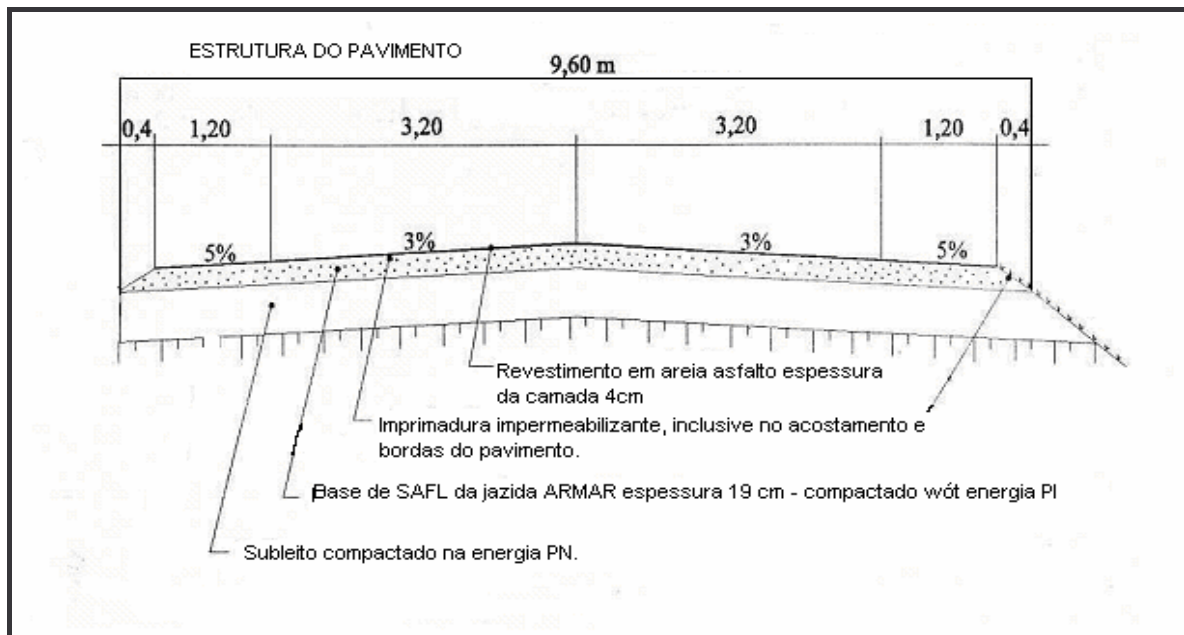
**6ª ETAPA - Estrutura do pavimento dimensionada:**

Figura 7.2 - Seção transversal do pavimento dimensionado.

**7.3. Considerações finais sobre a aplicação realizada**

Através do dimensionamento feito constatou-se que o hipotético pavimento econômico idealizado para tráfego leve, tendo como subleito o terreno do Campus Carreiros da FURG (junto ao acesso do Departamento de Química), poderá ter sua base em solo arenoso fino laterítico da jazida ARMAR com espessura de 19 cm e revestimento em areia asfalto com espessura de 4 cm. A espessura total do pavimento será, portanto, de 23 cm.

É importante salientar que toda a execução deste pavimento deverá ser feita conforme as recomendações construtivas discutidas no capítulo 2 deste trabalho, com destaque aos cuidados com a drenagem, visto o material da base, como todo o SAFL, ser susceptível a perda de suporte (“amolecimento”) com a saturação, agravado pelo elevado coeficiente de sorção dos solos estudados. A execução de acostamento com revestimento das bordas e, na situação de nível freático próximo a superfície, a execução de camada drenante, são recomendações de extrema importância.

## 8. CONCLUSÕES

A grande distância de transporte de materiais ditos “nobres” à pavimentação, aliada a necessidade de viabilizar estas obras a mais baixo custo, justificam a pesquisa de materiais alternativos para construção das bases de pavimentos na Planície Costeira do Sul do RS.

Os solos arenosos finos avermelhados presentes nesta região, que constituem o horizonte subsuperficial B de perfis de Argissolos Vermelho-Amarelo desenvolvidos sobre Barreira Litorânea Pleistocênica, podem constituir uma alternativa técnica viável de material para construção de bases de pavimento para tráfego leve. As ocorrências mais destacadas destes solos no litoral sul dá-se entre os municípios de Pelotas e Rio Grande, nas localidades de Povo Novo e Domingos Petrolini (Rio Grande) e Laranjal (Pelotas). Estes perfis estão relacionados à Unidade de Mapeamento Tuiá (Embrapa, 1973). Os solos apresentam características físico-morfológicas semelhantes ao SAFL, utilizado com sucesso na construção de bases para pavimentos de baixo custo, principalmente na região sudeste do país.

Os solos de sete jazidas foram estudados (COTO, LAC, BFAL, PETRO, CRET, ARMAR e PREFE). Essencialmente arenosos finos (teor de areia superior a 60% e passantes na peneira #10), os solos apresentam teor de argila de 14 a 27% e variam de não plásticos a medianamente plásticos. Quanto a classificação MCT, os solos apresentaram, na maioria, comportamento laterítico (LA, LA' ou LG'). Dois dos solos estudados (PETRO e CRET), classificados como não lateríticos (NA), também não atenderam a especificação granulométrica para SAFL, apresentando carência de finos. Os demais cinco solos foram submetidos a ensaios da Metodologia MCT para avaliação de suas propriedades tecnológicas frente ao critério de seleção de SAFL para construção de pavimentos de baixo custo (Nogami Villibor, 1982). As principais conclusões obtidas nesta avaliação foram:

- Os solos ARMAR e LAC atingem o valor mínimo para o mini-CBR sem imersão;
- Os solos ARMAR, COTO e PREFE atingem o valor mínimo para o índice RIS;
- Apenas o solo BFAL atende o critério quanto à expansão;
- Quanto à contração, na exceção do solo mais argiloso (COTO), os demais atenderam ao critério proposto;
- Já os ensaios de infiltrabilidade, indicaram que, frente ao critério proposto, os solos apresentam excessiva velocidade de ascensão capilar. Esta característica, em conjunto

com o potencial de “amolecimento” destes solos compactados com o umedecimento, pode comprometer o desempenho de bases de SAFL. Os resultados dos ensaios mostram que os solos ARMAR e PREFE são os que menos se afastaram do limite superior indicado.

A expansão e a perda de suporte destes solos com a imersão foi identificada como importantes limitantes ao uso destes solos em pavimentação. Para investigar se a expansão e perda de suporte estava associada à presença de minerais expansivos e ou a um rearranjo estrutural com a saturação destes solos arenosos finos compactados e buscar mais elementos para caracterizar o comportamento laterítico destes solos, foram realizados ensaios de difratometria de raios X e ensaios químicos de determinação de óxidos para o solo da jazida ARMAR. A partir dos resultados pôde-se concluir que:

- Os difratogramas sob diferentes tratamentos revelam a presença subordinada de argilominerais. Um aspecto não revelado no difratograma é a presença de hidróxidos de ferro, responsáveis pela coesão natural apresentada pelo solo na jazida. Os resultados indicam que a expansão não está relacionada a participação e efeito de argilominerais expansivos;
- O solo da jazida ARMAR sob o aspecto geoquímico, não tem o caráter laterítico evidenciado pelo seu comportamento geotécnico, avaliado pela Metodologia MCT. Os resultados são explicados pelos teores relativamente elevados de sílica, justificados pelo material de origem dos perfis, sedimentos essencialmente areno-quartzosos.

Os resultados pouco conclusivos dos difratogramas de raios X, quanto ao papel da natureza dos argilominerais no comportamento dos solos estudados, e a incerteza associada a resultados de ensaios de plasticidade conduzidos com solos predominantemente arenosos, empregados na determinação do clássico Índice de Atividade Coloidal de Skempton, motivaram a identificação da atividade coloidal da fração fina pelo Método de Adsorção do Azul de Metileno. Tomando para análise os parâmetros dos ensaios de adsorção de Azul de Metileno, segundo os procedimentos de Fabbri e Pejon, os resultados mostraram que para os solos estudados é identificado comportamento típico de solos lateríticos ou inertes.

Dentre os solos estudados, conclui-se que nenhum atende na totalidade o critério estabelecido por Villibor e Nogami (1982). Os resultados mostram que nenhum solo desta natureza pode ser indiscriminadamente empregado como SAFL, sem que um criterioso controle tecnológico pelos ensaios da Metodologia MCT seja realizado.

O solo ARMAR, embora apresente expansão acima do limite da especificação, é aquele que apresenta melhor desempenho quanto à capacidade de suporte, e é um dos que menos se afasta do limite superior indicado quanto à infiltrabilidade. Este fato, aliado ao mesmo pertencer a uma jazida comercial, foi o que motivou a utilização do mesmo para o dimensionamento pelo Método da PMSP (PMSP, 1992) de uma hipotética estrutura de pavimento com base em SAFL realizado neste trabalho.

Na condição de tráfego leve ( $N = 10^5$  solicitações) e do terreno de subleito encontrado no Campus Carreiros da FURG, a estrutura do hipotético pavimento é formada por: subleito compactado (energia Proctor Normal) + base do solo ARMAR compactado (energia Proctor Intermediário) – espessura = 19 cm + imprimadura + revestimento em areia-asfalto – espessura = 4 cm.

As especificações de serviço prescritas aos SAFL devem ser atendidas na construção de um pavimento como o idealizado, com destaque aos cuidados com drenagem e isolamento da base à presença de água. O emprego de camadas inferiores drenantes e o revestimento dos acostamentos e das valetas laterais são soluções com vistas a isolar a base de SAFL das águas do nível freático e das chuvas e assegurar um desempenho seguro do pavimento frente às intempéries.

### **SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS:**

- Ampliar a base de solos estudados, com a inclusão de novas jazidas e com a extensão do estudo aos solos de perfis classificados como Plintossolos;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica, comparando o custo de estruturas com base em SAFL, com estruturas baseadas em soluções convencionais para a região (bases de saibro ou brita graduada);
- Estudar as relações sucção x umidade destes solos compactados com o objetivo de melhor investigar a mudança de comportamento destes solos com a imersão em água;
- Avaliar a melhoria de propriedades destes solos com a estabilização físico-química com cal ou cimento, vindo a ser esta uma nova alternativa de uso destes solos em pavimentação.

# ANEXO A. PROCEDIMENTO REALIZADO PARA SE OBTER A CLASSIFICAÇÃO DO SOLO ARMAR

## A.1. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO MINI-MCV (DNER-ME 258/94)

- **Quantidade mínima da amostra:** 2500g de solo passante na peneira n. 10(#2mm)
  
- **Preparação da amostra:**
  1. Destorroar a amostra, homogeneizar e secar ao ar ou em estufa (temperatura  $\leq 60^{\circ}\text{C}$ ). Passar o solo na peneira n.10 (#2mm), obter a quantidade exigida de 2500g e determinar a umidade higroscópica;
  2. Obter em seguida 5 porções com cerca de 500g e adicionar água a cada uma delas de modo abranger a faixa de umidade tal que permita o traçado completo da curva de compactação. Os intervalos de umidade sugeridos: 3 a 4% - solos argilosos lateríticos;
  3. Homogeneizar cada porção e acondicionar em sacos plásticos vedados. Deixar em repouso por no mínimo 24 horas.
  
- **Determinação da leitura do extensômetro para a altura de 50mm (“zero” da leitura):** Com o cilindro padrão de aço sobre a base, instalar sobre este o soquete e tomar a medida com o extensômetro. O valor de leitura (Lo) corresponde a altura de 50 mm para o corpo de prova;
  
- **Realização do ensaio:** Para este ensaio foram preparados cinco CPs.
  1. Lubrificar os moldes com vaselina;
  2. Colocar os espaçadores envolvendo o pistão na base do compactador. Colocar os moldes sobre os mesmos. Colocar o disco de polietileno dentro do molde de modo a cobrir o topo do pistão;
  3. Homogeneizar e pesar para cada porção de solo a quantia de 200 g para o ensaio. Do restante obter amostras para aferição dos teores de umidade das misturas;

4. Despejar no molde o solo com auxílio de um funil e colocar o outro disco de polietileno dentro do molde, sobre o solo solto;
5. Efetuar a compactação como segue:
  - Posicionar o soquete sobre o solo solto e efetuar a primeira leitura como extensômetro. O valor lido corresponde à leitura para zero golpes;
  - dar golpes sucessivos e efetuar leituras no extensômetro segundo a seguinte série: 1,2, 3, 4, 6, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256 golpes;
  - interromper o processo quando: a diferença entre a leitura obtida após 4n golpes e aquela obtida para n golpes for menor que 2mm, houver intensa exsudação de água no topo e na base do corpo de prova ou o número de golpes atingir 256.

➤ **Cálculos Realizados:**

1. Altura do corpo de prova: Para cada leitura do extensômetro (L) é possível determinar a altura do corpo de prova:

$$\text{▪ Altura do CP} = (L - L_0) + 50 \text{ mm} \quad (\text{A.1})$$

2. Peso específico aparente seco: para cada leitura é possível calcular o peso específico aparente seco do CP:

$$\text{▪ } \gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\text{A.2}) \quad \quad \quad W_s = \frac{200 \text{ g}}{(1 + w)} \quad (\text{A.3})$$

onde w = teor de umidade da porção de solos compactada

V = Área do CP x altura do CP

V = 19,63 cm<sup>2</sup> x altura do CP

3. Diferença de altura (A<sub>n</sub> – A<sub>4n</sub>)

- Calcular para cada número de golpes n a diferença de altura do CP para este número de golpes (A<sub>n</sub>) e aquela para um número de golpes 4 vezes superior (A<sub>4n</sub>) (ex.: para n = 12, A<sub>n=12</sub> – A<sub>n=48</sub>).



**A.2. ENSAIO DA PERDA DE MASSA POR IMERSÃO (DNER-ME 256/94)****➤ Amostra:**

As amostras submetidas ao ensaio são corpos de prova compactados no equipamento miniatura. São geralmente aquelas resultadas do ensaio de compactação Mini-MCV.

**➤ Procedimento de Ensaio:**

1. Deslocar o corpo de prova contido no molde com o auxílio do extrator, de maneira que o seu topo (superfície em contato com o soquete) fique 10 mm para fora do molde como já mencionado no capítulo 2 item 2.4;
2. Retirar os discos de polietileno das extremidades do CP e transferir o molde para o recipiente de imersão, dipondo-o horizontalmente sobre o suporte;
3. Colocar os recipientes de coleta do material desagregado sob o molde de forma que seu centro coincida com a ponta exposta do CP;
4. Introduzir água no recipiente de imersão de maneira contínua e suave até que a lâmina d'água atinja pelo menos 1 cm acima da superfície externa do molde;
5. Observar, nos primeiros minutos, o comportamento do CP sob imersão, anotando eventuais peculiaridades, tais como: desagregação, desprendimento de bolhas, inchamento e trincamento;
6. Após pelo menos 20 horas retirar o molde de recipiente de imersão. Examinar e anotar a forma da porção de solo que permaneceu no molde;
7. Retirar o recipiente de coleta do material desagregado e com secagem em estufa determinar a quantidade de solo seco desprendida.

**➤ Cálculo Realizado:**

1. A perda de massa por imersão para CP ( $P_i$ ) é dada pela expressão (A.4):

$$\blacksquare \quad P_i = \left( \frac{M_d}{M_o} \right) \times 100\% \quad (\text{A.4})$$

Onde:  $M_d$  = peso de solo seco desprendido do CP

$M_o$  = peso de solo seco contido nos 10 mm expostos do CP.

OBS.: Quando a porção desprendida cair por inteiro, o peso seco desprendido deve ser dividido por 2.

Para agilizar os cálculos estas fórmulas foram editadas no Microsoft Excel com isto foi criada uma planilha de dados onde se obtém os resultados e os gráficos utilizados para a classificação do solo ARMAR. Os dados e resultados estão demonstrados na tabela e os gráficos utilizados encontram-se na seqüência deste anexo.















## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: NBR 6457. Rio de Janeiro, 1986. 9p. Origem: MB–27.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do limite de liquidez: NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984. 6p. Origem: MB–30

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas e solos: NBR 6502. Rio de Janeiro, 1995. 18p. Origem: TB–3..

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica: NBR 6508. Rio de Janeiro, 1984. 8p. Origem: MB–28.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Determinação do limite de plasticidade: NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984. 3p. Origem: MB–31.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Análise granulométrica: NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984. 13p. Origem: MB–32.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Índice de Suporte Califórnia: NBR 9895. Rio de Janeiro, 1987. 14p. Origem: MB–2545.

BASTOS, C.A.B. Caracterização geotécnica de solos da Planície Costeira Sul do RS visando o mapeamento geotécnico. Relatório de pesquisa ARD - FAPERGS. Porto Alegre/RS, 2002. 66p. e anexos. (não publicado).

BASTOS, C.A.B. Estudos recentes conduzidos na FURG sobre solos alternativos para pavimentação econômica e obras de terra na Planície Costeira Sul. In: II SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA – GEORS'2003, Rio Grande/RS, 2003. *Anais...*, Editor: Bastos, C.A.B. DMC-FURG/ABMS-NRRS: Rio Grande/RS, 2003. p.31-40.

BOTELHO, M.R. Os solos do Rio Grande: caracterização ambiental e estudo sobre aptidão de uso x uso atual em termos de viabilidade agrícola, ocupação urbana e exploração dos recursos minerais. Trabalho de graduação em Geografia. FURG, 2002. 84p.

CHEN, T.J.; SANTOS, P.S.; FERREIRA, H.C.; CALIL, S.F.; ZANDONADI, A.R. e CAMPOS, L.V. Determinação da Capacidade de Troca de Cátions e da Área Específica de algumas argilas e caulins cerâmicos brasileiros pelo Azul de Metileno e sua correlação com algumas propriedades tecnológicas. *Cerâmica*, XX, n.79, 1974. p.305-326.

COSTA, T.C.D. e GANDOLFI, N. Uso do Ensaio de Azul de Metileno no mapeamento geotécnico e sua correlação com a classificação MCT para os procedimentos de Pejon e Fabbri. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Brasília/DF, 1998. *Anais...* ABMS: Brasília/DF, 1998. v.1, p.157-164.

DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER/SP) Manual de normas de pavimentação. São Paulo/SP, 1988: DER/SP. 198p.

DNER/MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Solos - compactação em equipamento miniatura (DNER-ME 228/94). Rio de Janeiro/RJ, 1994. 14p.

DNER/MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-CBR e expansão (DNER-ME 254/97). Rio de Janeiro/RJ, 1997. 14p.

DNER/MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94). Rio de Janeiro/RJ, 1994. 6p.

DNER/MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV (DNER-ME 258/94). Rio de Janeiro/RJ, 1994. 14p.

EMBRAPA - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30). 1973.

EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. 2ª ed. Rio de Janeiro/RJ, 1997. 212p, 1997.

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Brasília, 1999. 412p. 1999.

EMBRAPA – SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS. Manual de Métodos de Análise de Solo. 1ª ed. Rio de Janeiro/RJ, 1979. 271p, 1979.

FABBRI, G.T.P. Comunicação pessoal, 2004.

FABBRI, G.T.P. e SÓRIA, M.H.A. Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de Azul de Metileno. In: 28ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Belo Horizonte/MG, 1994. *Anais...* ABPv: Belo Horizonte/MG, 1994. v.1, p.157-183.

FABBRI, G.T.P. e SÓRIA, M.H.A. A atividade dos solos tropicais. In: IX ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, São Carlos/SP, 1995. *Anais...*, ANPET: São Carlos/SP, 1995. p.162-172.

FLORES, J.A.A. Comunicação pessoal, 2004.

GOMES, R.L. e RODRIGUES, J.E. Estimativa de propriedades geotécnicas de solos em perfis de alteração pela adsorção de Azul de Metileno – região de Campinas/SP. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Brasília/DF, 1998. *Anais...*, ABMS: Brasília/DF, 1998. v.1, p.109-116.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1986. 796p. 6 mapas (PROJETO RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais, vol.33). 1986.

LAN, T.N. Un Nouvel Essai d'Identification des Sols – l'Essai au Bleu de Méthylène. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n.88, 1977. p.136-137

LONG, T. Le Quaternaire du Rio Grande do Sul. Temoin des Quatre Derniers Episodes Eustatiques Majeurs Geologie et Evolution. Tese de doutorado, Universidade de Bordeaux, Bordeaux/France.

MUNSELL COLOR COMPANY INC. Munsell soil charts. Baltimore/USA, 1954. 22p.

NOGAMI, J.S. A tecnologia rodoviária e as peculiaridades dos nossos solos. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, São Paulo/SP, 1978. *Anais...*, ABGE: São Paulo/SP, 1978. p.95-103.

NOGAMI, J.S.; BERNUCCI, L.L.B. e VILLIBOR, D.F. Contração de solos arenosos finos lateríticos: simplificações para escolha desses solos para base de pavimentos de baixo custo. In: 29ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Cuiabá/MT, 1995. *Anais...*, ABPv: Cuiabá/MS, 1995. p.345-363.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR D.F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Rio de Janeiro/RJ, 1981. *Anais...*, COPPE-UFRJ/ABMS: Rio de Janeiro/RJ, 1981. v.1, p.30-41.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. Editora Villibor: São Paulo/SP, 1995. 213p.

PASSOS, M.C.F.; DAVISON DIAS, R. e CERATTI, J.A.P. Aplicação da Metodologia MCT a solos finos do estado do Rio Grande do Sul. In: 25ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, São Paulo/SP, 1991. *Anais...*, ABPv: São Paulo/SP, 1991. p.221-237.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA URBANA Instrução para dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio (IP-04). PMSP: São Paulo/SP, 1992. p.64-86.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA URBANA Estudo de adequação das normas e especificações e métodos de dimensionamento de pavimento GT-92. PMSP: São Paulo/SP, 1992.

SILVEIRA, J. Metodologia para projeto de pavimentos flexíveis em vias urbanas da Região Metropolitana de Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), PPGE/UFGRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2000. 134 p.

SOUZA, M.A.S. Avaliação do potencial de solos arenosos finos da Planície Costeira Sul para uso em pavimentação de baixo custo e obras de terra com base na Metodologia MCT. Relatório de pesquisa PIBIC-CNPq/FURG 2004/2005. Rio Grande/RS, 2005. 40p. (não publicado).

TAGLIANI, C.R.A. A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado. Tese de doutorado (Programa de Pós - Graduação em Geociências), IG/UFGRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2002. 238p.

VILLIBOR, D.F. e NOGAMI, J.S. Novo critério para escolha de solos arenosos finos para bases de pavimentos. In: 17ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Brasília/DF, 1982. *Anais...*, ABPv: Brasília/DF, 1982. p.VII105-VII127.

VILLIBOR, D.F. e NOGAMI, J.S. Aspectos fundamentais para o uso adequado de SAFL em bases de pavimentos de baixo custo. In: 33ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Florianópolis/SC, 2001. *Anais...*, ABPv: Florianópolis/SC, 2001. p.854-877.

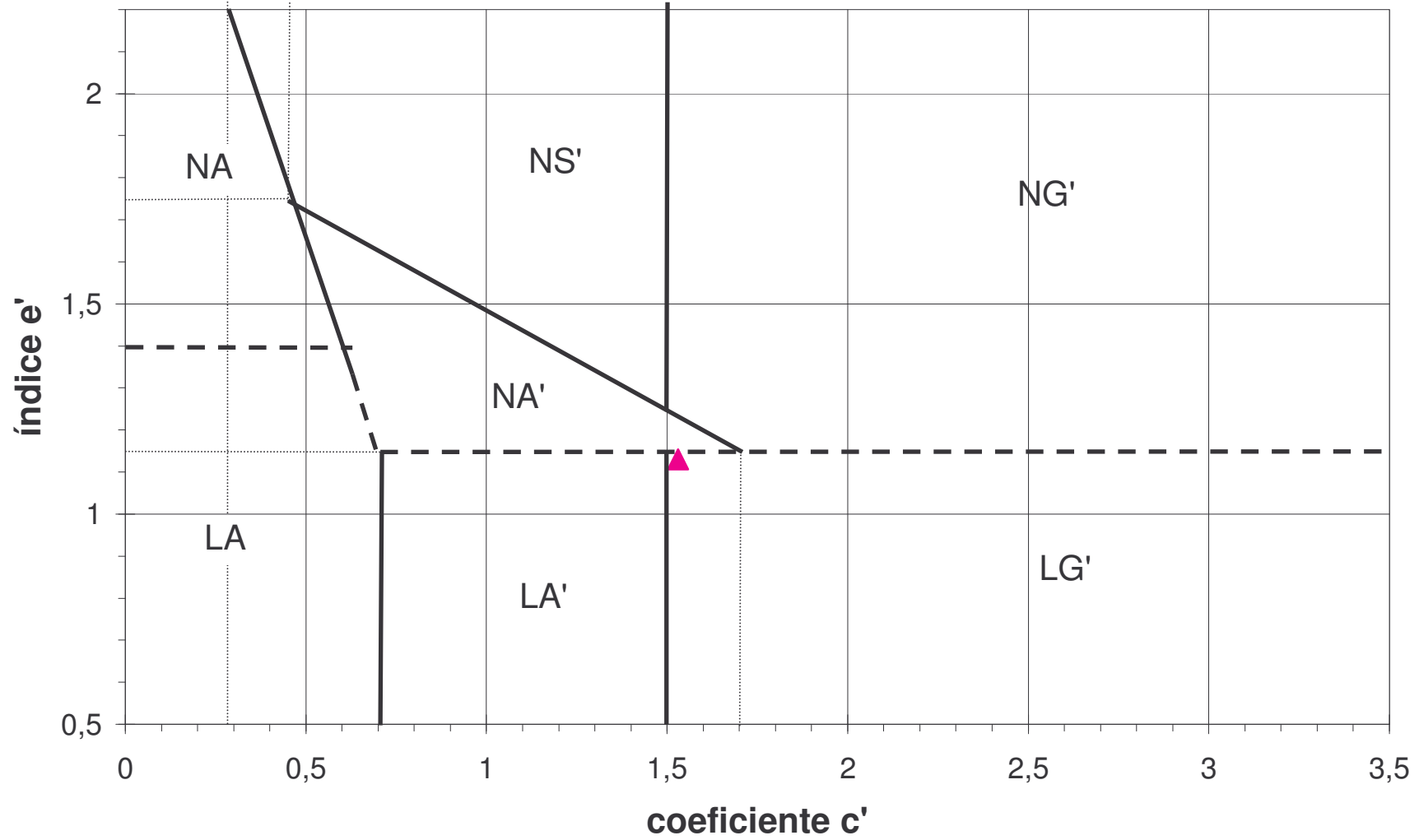
VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S.; BELIGNI, M. e CINCERRE, J.R. Pavimentos com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas. ABPv/Universidade Federal de Uberlândia: São Paulo, 2000. 138p.



VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S. e FABBRI, G.T.P. Imprimadura asfáltica em bases de solo arenoso fino laterítico. In: 23<sup>a</sup> REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Florianópolis/SC, 1988. *Anais...*, ABPv: Florianópolis, 1988. p.485-506.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S. e SÓRIA, M.H.A. A técnica construtiva das bases de solo arenoso fino laterítico. In: 22<sup>a</sup> REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Maceió/AL, 1987. *Anais...*, ABPv: Maceió/AL, 1987. p.798-827.

GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO MCT  
SOLO ARMAR



**CLASSIFICAÇÃO NOGAMI - VILLIBOR**

**Ensaio de Mini- MCV e Perda por Imersão**

Amostra: **ARMAR**      Data: 08/04/2004      Operador: Vagner

**Cálculo de Umidade (%)**

Nº cilindro	1		2		3		4		5	
Nº cápsula	27	28	f42	f40	i16	i3	a8	f32	f22	f39
TSU	80,6	78	80,6	73,1	82,0	74,8	68,7	68,4	78,2	79,6
TSS	77,0	74,4	75,5	68,6	75,7	69,2	63	63	69,1	71
T	24,1	23,5	23,1	20,9	23,7	24,2	23,7	26,6	18,7	23,3
w (%)	6,81	7,07	9,73	9,43	12,12	12,44	14,50	14,84	18,06	18,03
wm (%)	6,94		9,58		12,28		14,67		18,04	

Peso utilizado (g): **200**

Área seção CP(cm<sup>2</sup>): **19,635**

MCV	19,29	18,45	12,23	7,91	3,24
W(%)	6,94	9,58	12,28	14,67	18,04

**Ensaio de Mini-MCV**

Nº de golpes	Cilindro 1 W(%)= 6,94			Cilindro 2 W(%)= 9,58			Cilindro 3 W(%)= 12,28			Cilindro 4 W(%)= 14,67			Cilindro 5 W(%)= 18,04		
	Altura	Δh	MEA seca	Altura	Δh	MEA seca	Altura	Δh	MEA seca	Altura	Δh	MEA seca	Altura	Δh	MEA seca
1	79,88	10,37	1,1924	76,47	13,82	1,2155	75,99	17,72	1,1938	68,35	15,19	1,2996	58,56	8,32	1,4735
2	74,96	10,76	1,2707	69,72	13,16	1,3332	65,76	13,59	1,3795	60,44	11,71	1,4697	52,39	2,25	1,6471
3	71,83	10,47	1,3260	65,5	11,73	1,4191	61,5	11,65	1,4751	55,76	7,59	1,5930	50,45	0,34	1,7104
4	69,51	10,09	1,3703	62,65	9,63	1,4837	58,27	9,75	1,5569	53,16	5,01	1,6710	50,24	0,17	1,7176
6	66,41	9,58	1,4343	58,84	8,87	1,5797	54,25	6,34	1,6722	50,25	2,15	1,7677	50,17		1,7200
8	64,2	8,96	1,4836	56,56	7,64	1,6434	52,17	4,84	1,7389	48,73	0,7	1,8229	50,14		1,7210
12	61,36	8,06	1,5523	53,77	6,24	1,7287	49,85	3,38	1,8198	48,17		1,8441	50,11		1,7220
16	59,42	7,43	1,6030	53,02	6,17	1,7531	48,52	2,06	1,8697	48,15		1,8448	50,07		1,7234
24	56,83	5,79	1,6760	49,97	3,93	1,8601	47,91	1,51	1,8935	48,1		1,8467			
32	55,24	4,78	1,7243	48,92	3,33	1,9001	47,33		1,9167	48,03		1,8494			
48	53,3	3,58	1,7870	47,53	2,47	1,9556	46,47		1,9522						
64	51,99	2,75	1,8321	46,85	2,08	1,9840	46,46		1,9526						
96	51,04		1,8662	46,04		2,0189	46,4		1,9551						
128	50,46		1,8876	45,59		2,0388									
192	49,72		1,9157	45,06		2,0628									
256	49,24		1,9344	44,77		2,0762									
384															
512															

**Perda de Massa por Imersão**

Hmáx	Md(g)	Ms	Mo	Pi
49,24	134,8	187,02	37,98183	354,91
44,77	53,8	182,51	40,76601	131,97
46,4	37,9	178,13	38,38928	98,73
48,03	66,2	174,41	36,31362	182,30
50,07	89,9	169,43	33,83874	265,67

**Cálculo MCV**

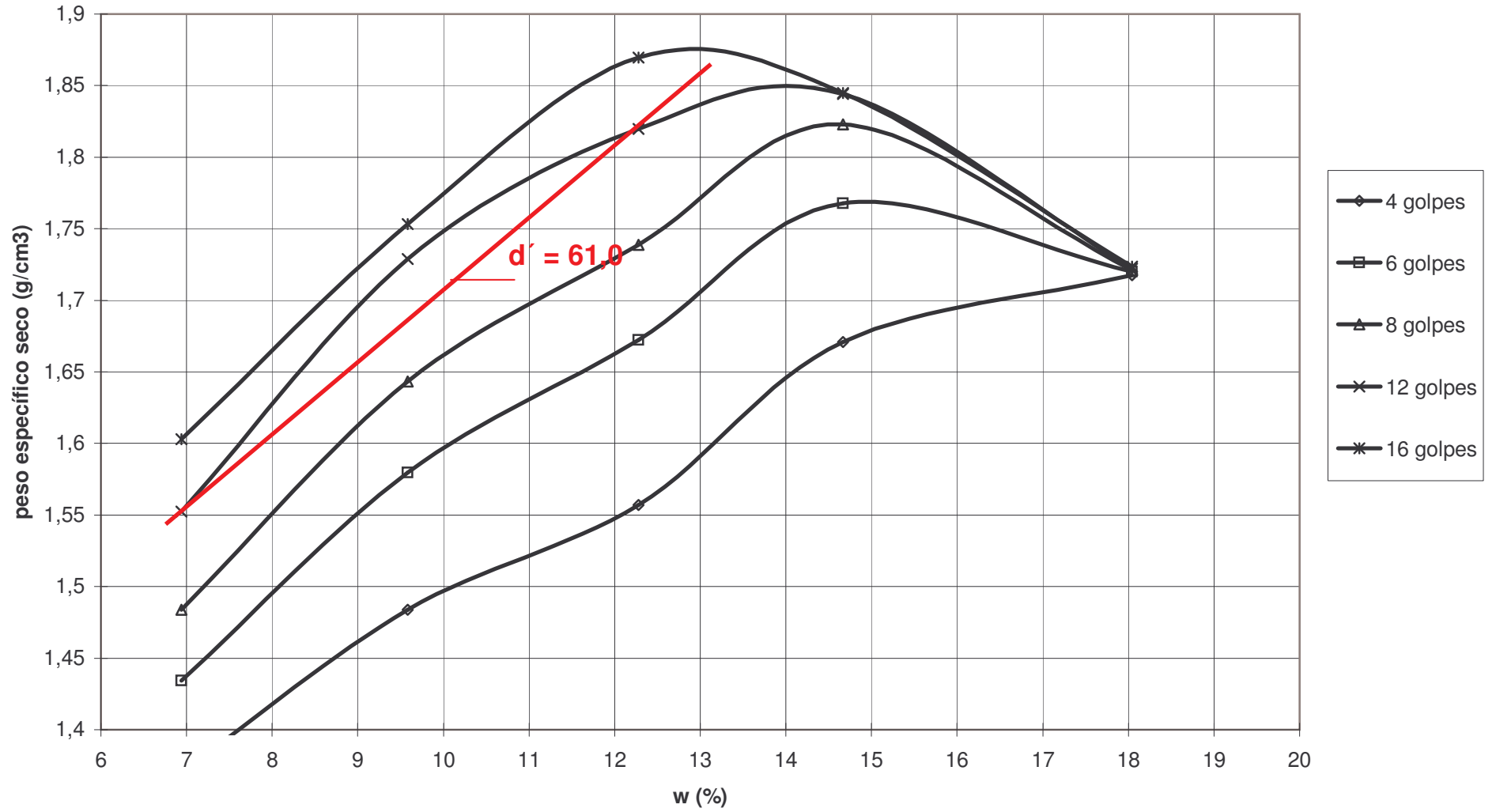
Cilindro	Bi	M-MCV
Cil.1	85	19,29
Cil.2	70	18,45
Cil.3	16,724	12,23
Cil.4	6,1812	7,91
Cil.5	2,109	3,24

Parâmetros p/ classificação MCT

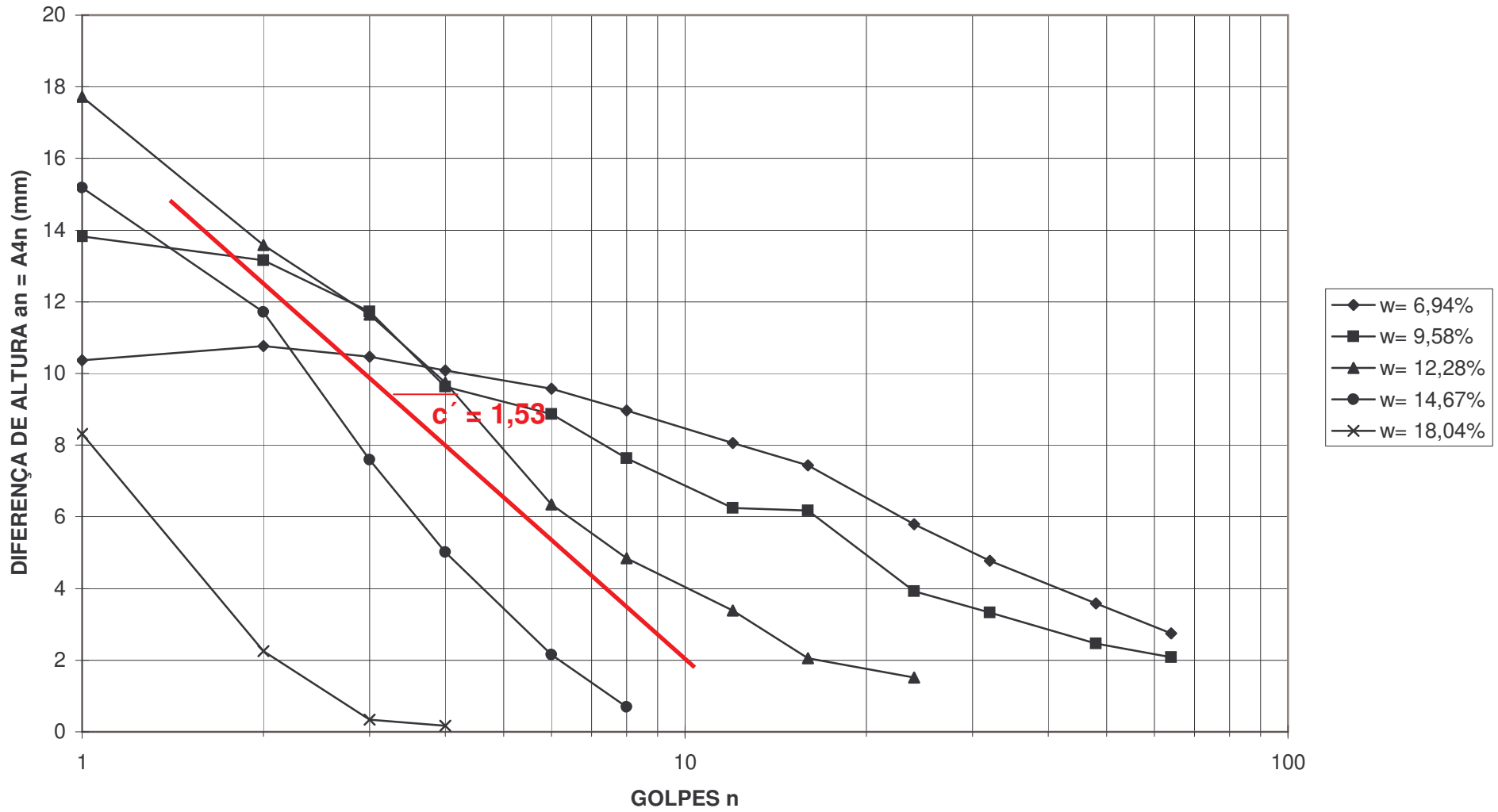
d' 61,0  
c' 1,53  
Pi 112  
e' 1,13

CLASSIFICAÇÃO: LA/LG'

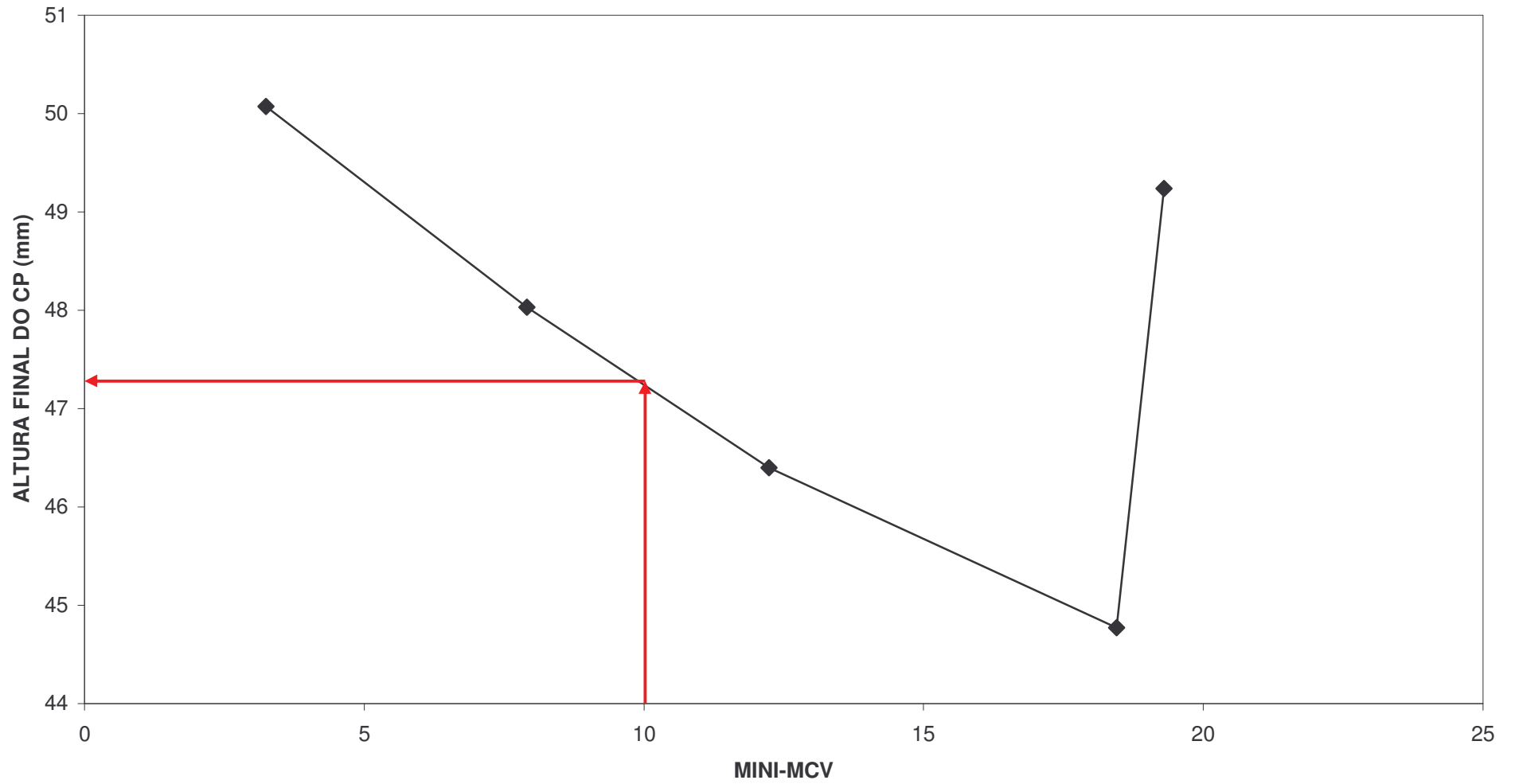
### CURVAS DE COMPACTAÇÃO SOLO ARMAR



### CURVA DO MINI - MCV SOLO ARMAR



**MINI-MCV x ALTURA FINAL DO CP  
SOLO ARMAR**



### M-MCV x PERDA DE MASSA POR IMERSÃO SOLO ARMAR

