

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - UFOB
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DOS SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS PARA BASES DE
PAVIMENTOS ECONÔMICOS APLICANDO A METODOLOGIA MCT**

MARIA CLARA PAIVA

BARREIRAS-BA
OUTUBRO-2017

MARIA CLARA PAIVA

**ESTUDO DOS SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTIOS PARA BASES DE
PAVIMENTOS ECONÔMICOS APLICANDO A METODOLOGIA MCT**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof^a. DsC. Oisy Hernández Menéndez.

BARREIRAS-BA

OUTUBRO-2017

FICHA CATALOGRÁFICA

P149 Paiva, Maria Clara.

Estudo dos solos arenosos finos lateríticos para bases de pavimentos econômicos aplicando a metodologia MCT. / Maria Clara Paiva. – 2017.

82 f.; il.

Orientador: Profa.Dra. Oisy Hernández Menéndez.

Trabalho de Conclusão de Curso: (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Barreiras, BA, 2017.

1. Solos lateríticos - análise. 2. Pavimentos - Região Oeste - Bahia. I. Hernández Menéndez, Oisy. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD: 625.8

BIBLIOTECAS UFOB - Biblioteca Universitária de Barreiras

MARIA CLARA PAIVA

**ESTUDO DOS SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS PARA BASES DE
PAVIMENTOS ECONÔMICOS APLICANDO A METODOLOGIA MCT PARA BASES
DE PAVIMENTOS ECONÔMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Oeste da Bahia, como
requisito parcial à obtenção do grau de
Engenheiro Civil.


Aprovada em 03, outubro de 2017.

Banca Examinadora

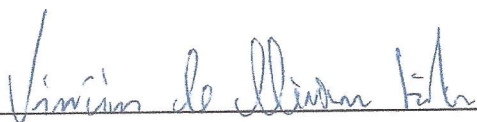
Orientadora:



Prof. (a) DsC. Oisy Hernández Menéndez.
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Prof. MsC. Kuelson Rândello Maciel Dantas.
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Prof. MsC. Vinícius de Oliveira Kuhn.
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dedico este trabalho as pessoas que caminharam ao meu lado durante esta jornada, pela motivação, apoio e ensinamentos transmitidos na luta para realização dos meus sonhos e por estarem presentes nos momentos difíceis. Com vocês, tudo ficou mais fácil.

"Dê-me uma alavanca e um ponto de apoio e levantarei o mundo".

(Arquimedes)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado oportunidades e permitido que eu chegasse até aqui, guiando-me pelo caminho do bem.

A minha família e aos meus filhos Lucas, Mateus e Tiago pelo entendimento nas horas de ausência, pelo apoio e força que sempre me ofereceram.

A Professora Oisy, pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade e pela ajuda nos momentos de dúvidas, ao Professor Vinícius por estar sempre disponível para sanar dúvidas durante a realização dos ensaios, é um prazer tê-los na banca examinadora.

Ao Professor Aníbal Costa pelo incentivo e direcionamento para a escolha deste estudo e por facilitar a consecução de ensaios no DERBA, assim como a ajuda e boa vontade dos funcionários.

A todos os professores do corpo docente de Engenharia Civil da UFOB, pelo ensino de qualidade e a coordenação pelo apoio e assistência na resolução dos problemas ao longo do curso.

Ao Professor Luís Edmundo, por disponibilizar o laboratório de Geotecnia da Universidade Federal da Bahia-UFBA, ao Professor Paulo Burgos e a todos os estagiários e técnicos, pela acolhida e simpatia.

Ao Tenente Paulo Henrique e Sargento Fernandes, por possibilitar a realização de parte dos ensaios no laboratório do 4º Batalhão de Engenharia de Construção (4º BEC), bem como o servidor Raimundo Nonato, Cabo Junior Santana e o Soldado Warley pela colaboração nos ensaios.

Aos amigos e colegas de sala, que estiveram presentes nas alegrias e nas angústias no decorrer do curso em especial a Cleia, Tamires, Leide, Helves, Guilherme e Itaylane. Somos tão diferentes, mas estivemos sempre juntos nos trabalhos e nas madrugadas de estudo, a vocês, meu muito obrigada pela amizade!

A um grupo especial de amigos, que estiveram presentes nas dificuldades durante a realização deste trabalho, ajudando, apoiando e torcendo positivamente para que tudo ocorresse da melhor forma possível. Adolfo, Gabriel, Jean, Inaldo, Adriano e Jales, muito obrigada!

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado em parte, condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa estudou o comportamento dos solos lateríticos encontrados no Bairro Buritis localizado no município de Barreiras. O objetivo é caracterizar, classificar e comparar os resultados obtidos nas classificações tradicionais de solos: Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e Highway Research Board (HRB), com a metodologia MCT (Miniatura – Compactado – Tropical) para a utilização desses tipos de solos em bases de pavimentos de baixo custo. A metodologia do trabalho foi dividida em três etapas: a primeira etapa foi a revisão da literatura e coleta de material; a segunda foi a realização de ensaios de caracterização, compactação, CBR. Todos de acordo com a metodologia tradicional e a metodologia MCT, como os ensaios de Mini-CBR, Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão, Expansão e Contração para a classificação dos solos tropicais; a última etapa foi analisar os resultados obtidos. Assim, foi possível concluir que o método mais eficiente, mesmo com dificuldade e necessidade de tempo para aplicação do mesmo, foi a Metodologia MCT. Uma vez que, esse foi o único sistema que classificou os solos de clima tropical, retratando o real comportamento do solo em campo. Através dos resultados verificou-se que as classificações tradicionais não permitem o emprego do solo laterítico. No entanto, utilizando a classificação MCT, esse solo apresenta excelentes resultados para o seu uso em bases, sendo possível reduzir consideravelmente o custo final do pavimento.

Palavra-chave: Pavimento de Baixo Custo; Solos Tropicais; Solos Lateríticos; Metodologia MCT.

ABSTRACT

This research has studied the lateritic soil behavior founded on Bairro Buritis located at the city of Barreiras. The objective is to characterize, to classify and to compare the obtained results from the standard soil classifications: Unified Soil Classification System (USCS) and Highway Research Board (HRB) with the the MCT method (Miniatura – compacted – tropical) to the use of these soils as bases of low cost pavements. The work method was divided on three steps: the first one was the literature research and material gathering; the second was making the characterization, compression and CBR tests. All of them were in accordance with the standard method and MCT method, like the Mini-CBR, Mini-MCV and Mass Lost by Imersion, Expansion and Contraction tests to tropical soils classification; last step was to analyse the results. Soon, it was possible to conclude that the most eficiente method, despite the difficulty and the lack of time to make the tests, it was the MCT Method. Once this was the only system that it has classified the soils of tropical weather, and reproduced the real behavior as seen on nature. By the results it has verified that by standard methods it is not possible the use of lateritic soil. However, using the MCT classification, this soil has shown excelente results for its use as pavement bases and capable of reducing its final cost.

Keywords: Low Cost Pavement; Tropical Soil; Letritic Soil; MCT Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Designação genética para camadas de solo de regiões tropicais.	22
Figura 2 - Ocorrência de SAFL no território brasileiro.	24
Figura 3 - Mapa Pedológico do local de amostragem, jazida Fazenda Aracy Porto, saída para Angical.	26
Figura 4 - Perfil de solo representando os horizontes A, B e C.	27
Figura 5 - Seção transversal de um pavimento rodoviário com base SALF.	29
Figura 6 - Ábaco para classificação MCT.	34
Figura 7 - Áreas para uso em bases de SAFL segundo a MCT.	35
Figura 8 - Padrão de trincamento de base de SAFL.	36
Figura 9 - Grupo de ensaios da Metodologia MCT.	37
Figura 10 - Faixa Granulométrica Recomendada para Bases de SAFL.	44
Figura 11 - Localização da área da amostragem.	46
Figura 12 - Local da extração da amostra.	47
Figura 13 - Programa Experimental de Ensaio.	48
Figura 14 - a) Destorroamento e quarteamento; b) Limite de Plasticidade; c) Limite de liquidez.	50
Figura 15 - a) Massa específica; b) Peneiramento e c) Granulometria e Sedimentação com e sem defloculante.	50
Figura 16 - a) Aparelho para rompimento de corpos de prova; b) Ensaio de Expansão e Contração.	51
Figura 17 - Aparelho para Ensaio de Mini-MCV.	52
Figura 18 - Ensaio de Perda de Massa por Imersão.	52
Figura 19 - Corpos de Prova do Ensaio de Compactação Mini-Proctor.	53
Figura 20 - a) Equipamento para Ensaio de Mini-CBR; b) Prensa para rompimento de corpos de prova Mini-CBR.	54
Figura 21 - Cilindros após imersão.	55
Figura 22 - Ensaio de Contração.	55
Figura 23 - Faixa Granulométrica Recomendada para Bases de SAFL.	57
Figura 24 - Determinação do limite de liquidez do solo.	58

Figura 25 - Curvas de Compactação Proctor Normal.....	60
Figura 26 - Curvas de Pressão x Penetração.	62
Figura 27 - Curva de compactação Mini Proctor Normal.	63
Figura 28 – Família de Curvas de compactação obtida no ensaio Mini-MCV.....	64
Figura 29 - Curva de deformabilidade.	64
Figura 30 - Gráfico Mini-MCV x Perda por imersão.	65
Figura 31 - Classificação MCT.	66
Figura 32 - Curvas de CBR.....	67
Figura 33 - Curvas de Contração x Umidade das amostras de solo.	68
Figura 34 - Comparação entre as compactações Proctor Normal e Mini-Proctor Normal.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores máximos de expansão e mínimos de C.B.R. por camada.	28
Tabela 2 - Tolerância Máxima Granulométricas (mm).	31
Tabela 3 - Quadro de Composição Granulométrica dos materiais para pavimentação.....	32
Tabela 4 - Faixas A, B e C de SAFL para bases e sub-bases de pavimentos.	42
Tabela 5 - Propriedades mecânicas e hidráulicas para o SAFL em base de pavimento.	42
Tabela 6 - Critérios para SAFL em bases de pavimentos.	43
Tabela 7 - Granulometria com e sem defloculante.	56
Tabela 8 - Limites de Atterberg e de massa específica dos sólidos.....	58
Tabela 9 - Classificação SUCS e HRB das amostras.....	59
Tabela 10 – Comportamento esperado para grupos da classificação SUCS.....	60
Tabela 11 - Curvas de Compactação Proctor Normal.....	61
Tabela 12 - Resultados dos Índices Físicos do Ensaio de Compactação Mini-Proctor.	63
Tabela 13 - Coeficientes e classificação MCT.	65
Tabela 14 - Mini-CBR e Expansão das amostras.....	67
Tabela 15 - Contração das amostras.....	68
Tabela 16 - Verificação dos critérios de aceitação.	69
Tabela 17 - Comparação entre os Índices Físicos.	70
Tabela 18 - Comparação entre as Classificações.....	71

LISTA DE ABREVEATURAS

AASHTO	Associação Americana dos Funcionários Estaduais de Transporte Rodoviário - <i>American Association of State Highway Transportation Officials</i>)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALA	Argila Laterítica – Areia
AW	Clima Tropical com Inverno Seco
c'	Coefficiente de Inclinação da Curva de Deformabilidade
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
GC	Grau de Compactação
CWA	Clima Quente com Inverno Seco
CWB	Clima Temperado com Inverno Seco
d'	Coefficiente de Inclinação do ramo seco da curva de compactação MCV
DER	Departamento de Estradas e Rodagens
DERBA	Departamento de Estradas de Rodagem da Bahia
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola
e'	Coefficiente de Índice de laterização
Ho	Umidade ótima do ensaio de compactação na metodologia MCT
HRB	Conselho de Pesquisa de Estradas (<i>Highway Research Board</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
ISC	Índice de Suporte Califórnia
L	Solos de Comportamento Laterítico, da Classificação MCT
LA	Areia laterítica
LA'	Solo arenoso laterítico
LG'	Solo argiloso laterítico
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MCT	Miniatura – Compactado - Tropical

MCV	Valor de condição de umidade (<i>Moisture Condition Value</i>)
ME	Método de Ensaio
MEAS _{máx}	Massa Específica Aparente Seca Máxima
NBR	Norma Brasileira Registrada
Pi	Coeficiente de Perda de massa por imersão (%)
PSI	Perda de Suporte
PVG	Podzólico Vermelho Amarelo
RC	Resistência à Compressão
RIS	Relação entre Índices de Suporte
SLAD	Solo Laterítico – Agregado Descontínuo
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFOB	Universidade Federal do Oeste da Bahia
SALF	Solo Arenoso Fino Laterítico
SIT	Superintendência de Infraestrutura de Transportes da Bahia
Sr	Grau de Saturação
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solo (<i>Unified Soil Classification System</i>)
4º BEC	4º Batalhão de Engenharia de Construção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Definição do problema	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Hipótese	16
1.4	Objetivos.....	16
1.4.1	Objetivo Geral	16
1.4.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Histórico	19
2.2	Solos Tropicais	21
2.3	Solo Arenoso Fino Laterítico.....	23
2.4	Características Pedológicas do SAFL	25
2.4.1	Evolução Pedológica	25
2.5	Pavimentos Econômicos ou Pavimentos de Baixo Custo.....	27
2.6	Metodologia MCT	32
2.6.1	Classificação MCT	33
2.7	Critérios de aceitação para o uso de bases SAFL.....	42
2.7.1	Características mecânicas e hidráulicas das bases de SAFL.....	44
2.7.2	Vantagens e desvantagens da Classificação MCT	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1	Metodologia	46
3.2	Localização da área e caracterização do local de coleta da amostra	46
3.3	Clima e precipitações	47
3.4	Programa experimental	48
3.5	Ensaio laboratoriais	49
3.5.1	Caracterização Geotécnica Convencional.....	49
3.5.2	Caracterização pela metodologia MCT.....	51
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Ensaio de Caracterização Geotécnica.....	56
4.2	Gráficos de Granulometria com e sem Defloculante	56

4.2.1	Limites de Liquidez e Plasticidade	58
4.2.2	Classificação Tradicional	59
4.2.3	Ensaio de Compactação, Expansão e CBR	60
4.2.4	CBR e Expansão	61
4.3	Caracterização pela Metodologia MCT	62
4.3.1	Compactação Mini-Proctor (M1)	62
4.3.2	Compactação Mini-MCV (M5).....	63
4.3.3	Perda de massa por imersão (M8)	64
4.3.4	Classificação Geotécnica MCT (M9)	65
4.3.5	Mini-CBR e Expansão (M2).....	66
4.3.6	Contração (M3)	67
4.4	Verificação para o Critério de Aceitação.....	68
4.5	Comparação entre os resultados encontrados nas Metodologias tradicional e MCT .	69
4.5.1	Compactação com a Energia Normal	69
4.5.2	Índices Físicos	70
4.5.3	Classificação do solo	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
6	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNDICE A	77
	APÊNDICE B.....	78
	ANEXO A	79
	ANEXO B	80
	ANEXO C	81
	ANEXO D.....	82

1 INTRODUÇÃO

A metodologia MCT (Miniatura – Compactado – Tropical) foi desenvolvida por Nogami e Villibor na década de 80 e é utilizada para a classificação dos solos tropicais existentes no Brasil, com a utilização desta metodologia foi beneficiada de maneira significativa a vida útil dos pavimentos e tornou-se possível realizar um pavimento de maior durabilidade com baixo custo.

Os materiais utilizados para a execução de pavimentos, que atendem as especificações tradicionais, geralmente não são encontrados facilmente, principalmente próximos aos grandes centros urbanos. Com o uso frequente, eles tornam-se escassos e, além do mais os órgãos ambientais estão mais rigorosos quanto à exploração destes materiais. Sendo assim, o uso de solos lateríticos para vias de tráfego muito leve a médio, tornou-se necessário à pesquisa de materiais alternativos.

Segundo a Embrapa (2011) os solos da região Oeste da Bahia apresentam-se como intemperizados, profundos e bem drenados, classificados como Latossolos, Concrecionários, Podzólicos, Terras Roxas, Areias Quartzosas, Lateritas Hidromórficas entre outros.

Existem diferentes técnicas à execução de pavimentos, com redução de custos, ressaltam-se pavimentos realizados no Estado de São Paulo, com a utilização de solos lateríticos finos para a construção de camadas de pavimentos, conhecidos como pavimentos econômicos ou pavimentos de baixo custo, devido ao baixo volume de tráfego e o menor custo, se comparado à construção tradicional de pavimentos.

O estudo do Solo laterítico, despertou o interesse para necessidade de alternativas que atendam os dois critérios básicos: qualidade e baixo custo, relevando a pesquisa no sentido de se conhecer o comportamento dos solos regionais. Buscando por meio de ensaios laboratoriais, analisar detalhadamente o comportamento dos solos arenosos finos lateríticos, visando assim, a contribuição à redução de custos, o melhoramento da qualidade e durabilidade dos pavimentos executados com base deste tipo de solo.

1.1 Definição do problema

Os solos lateríticos existentes no Município de Barreiras-BA podem ser utilizados como camada de base e sub-base de pavimento?

1.2 Justificativa

O Oeste da Bahia, apesar de possuir uma extensa malha rodoviária, de grande importância econômica para o Estado e que atende o tráfego local e regional, porém acarreta uma gama de patologias que afetam a qualidade e segurança nas estradas. Vários fatores podem ser destacados como motivadores dessa deficiência, entre os que podem ser mencionados o baixo investimento público, excesso de carga transportada por caminhões, que vêm agravando de maneira significativa as camadas de revestimento e base do pavimento e a falta de fiscalização.

Outro ponto relevante é a falta de utilização de técnicas e metodologias adequadas para o uso do solo SAFL, características de climas tropicais. Com isso, o estudo dos solos lateríticos, tendo como referência a utilização da metodologia MCT, pode ser de grande importância para a utilização na base de pavimentos, resultando em um pavimento mais adequado ao tipo de solo apresentado, tornando-se uma alternativa economicamente viável ao utilizar o material abundante e muitas vezes descartado por falta de conhecimento das suas propriedades.

1.3 Hipótese

O estudo da utilização dos solos arenosos finos lateríticos, como camadas de base dos pavimentos na região Oeste da Bahia aplicado à metodologia MCT, permitirá descobrir o grau de influência que os solos lateríticos apresentam na resistência e durabilidade do pavimento, buscando uma solução alternativa que seja ao mesmo tempo, mais econômica e mais viável do que as metodologias tradicionais.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Caracterizar e avaliar o solo coletado na Fazenda Aracy Porto, no Bairro Burity, Município de Barreiras-BA e verificar se é possível utilizá-los como material de base de pavimentos.

1.4.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos desse trabalho, listam-se:

- Verificar a existência de jazidas de Solos Lateríticos no Município de Barreiras;

- Caracterizar o solo, física e mecanicamente, utilizando as técnicas tradicionais;
- Caracterizar o solo aplicando a metodologia MCT;
- Verificar se o solo encontrado é de natureza laterítica e adequado para base de pavimentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

As pesquisas sobre solo arenoso fino laterítico (SAFL) mostram que quando compactado corretamente apresentam excelentes propriedades para ser utilizados como base, permitindo assim maior vida útil para os pavimentos. Destacam-se também que o desenvolvimento de tecnologias que ampliem o conhecimento sobre a Metodologia MCT (Miniatura – Compactado – Tropical), possibilitam um conhecimento tecnológico deste tipo de solo para a pavimentação.

De acordo com Villibor e Nogami (2009), poderão ser desenvolvidos critérios para o SAFL e procedimentos construtivos e sua utilização para à execução de bases, que sejam adaptadas às condições locais.

Costa (1988) desenvolveu Estudos Tecnológicos de Pavimentos de Baixo Custo na Bahia, analisou alternativas de consituição em revestimentos primários ou com pavimentos em SAFL e diversos tipos de pavimentos de baixo custo, demosntrando a potencialidade desta alternativa.

Nogami e Villibor (1995) desenvolveu Pavimentação de Baixo Custo em Solos Lateríticos, abordando temas característicos de interesse geotécnico para solos tropicais, destacando a Metodologia MCT, destacando algumas considerações sobre erosão na faixa marginal aos pavimentos com tais solos.

Maragon (2004) estudou Proposição de Estruturas Típicas de Pavimentos para Região de Minas Gerais utilizando Solos Lateríticos locais a partir da Pedologia, Classificação MCT e Resiliência. Propos diversas estruturas para pavimentos considerando alternativas de tráfego, revestimento e de energia de compactação dos solos de base, indicando que os materiais apresentavam características técnicas para serem utilizados em pavimentos alternativos, o que possibilitou o dimensionamento de estruturas esbeltas para as condições de baixo tráfego.

Marson (2004) desenvolveu Análise Crítica da Classificação MCT para Solos Tropicais, apresentando uma análise crítica sobre a Classificação MCT, objetivando a modificação de seus procedimentos, no sentido de torná-la mais simples e rápida sem prejudicar sua principal característica, a identificação da gênese do solos.

FELTEN (2005) apresentou um Estudo sobre Solos Arenosos Finos Lateríticos da Planície Costeira Sul do RS para emprego em Pavimentação Econômica, buscando alternativas para a substituição de materiais para projeto e execução das estruturas de pavimentos.

Villibor *et al.* (2009) estudou Pavimento de Baixo Custo para Vias Urbanas e buscou de maneira simplificada difundir a Metodologia MCT, apresentando procedimentos construtivos, de controle tecnológico de bases executadas com solos lateríticos.

Villibor e Nogami (2009) estudou Pavimentos Econômicos: Tecnologia dos uso dos Solos Finos Lateríticos, destacando o desenvolvimento de um estudo geotécnico das misturas solo laterítico – agregado para bases.

Araújo e Dantas (2014) estudou Caracterização de Solos Lateríticos para Utilização em Pavimentos de Baixo Custo na Cidade de Canindé/CE, visando sua utilização na pavimentação de baixo de custo.

2.1 Histórico

Região tropical é definida como a faixa que se encontra entre o Trópico de Câncer e o trópico de Capricórnio, o que representa uma grande parte do território brasileiro, típico destas regiões, são denominados solos tropicais, sofrendo processos de evolução geológica e pedológica causados pelas temperaturas elevadas e chuvas intensas (MARSON, 2004).

Segundo Maragon (2004), a literatura apresenta diversas discrepâncias para o comportamento dos solos brasileiros, efetuada com os princípios da Mecânica dos Solos. Estas discrepâncias têm sido atribuídas, em sua grande maioria às peculiaridades dos solos de clima tropical. Desta maneira, faz-se a necessidade de caracterizar estes solos de maneira apropriada.

Os solos tropicais podem ser encontrados em boa parte do território brasileiro, sendo utilizados como material de construção de estradas. É de grande importância o conhecimento estrutural dos solos utilizados na pavimentação, principalmente quando compactados, buscando a determinação das propriedades geotécnicas dos mesmos, sabendo que essas propriedades se apresentam de acordo com as características da região, do tipo de clima, da topografia, da fauna e do tempo formação dos solos (VILLIBOR *et al.*, 1996).

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o objetivo principal de um sistema gerencial de pavimentos é conseguir o melhor

aproveitamento dos recursos públicos, oferecendo um transporte seguro e econômico. Desta forma, é possível reduzir economicamente a construção de rodovias, com a utilização de materiais locais, substituindo os materiais tradicionais.

No território brasileiro existem várias áreas com solos arenosos finos, que podem ocorrer no horizonte subsuperficial, devido à atuação de processos pedogenéticos típicos de clima tropical e subtropical, onde ocorre a laterização dos solos. Muitos destes solos constituem jazidas naturais de solos arenosos finos lateríticos, bastante recomendado para base de pavimentos, cuja abreviação é denominada SAFL (VILLIBOR; NOGAMI e CINCERRE, 2001).

Esse tipo de base de SAFL é bastante utilizado no estado de São Paulo, desde 1975. Entretanto, tem-se registros de que desde 1950, já eram usados “in natura” como camadas de reforço de subleito ou sub-bases. A utilização deste material se justificava pelo elevado valor de capacidade de suporte, mesmo apresentando outras características consideradas pouco favoráveis pelos métodos tradicionais de classificação dos solos (FELTEN, 2005).

A metodologia MCT foi apresentada por Nogami e Villibor em 1980, baseada na determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas de solos finos, envolvendo vários ensaios (índice de suporte Mini-CBR, permeabilidade, contração, expansão e compactação *Mini Moisture Condition Value* (Mini-MCV), o que aumentou a complexidade para uso prático. Já no ano seguinte 1981, no Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, realizado pela coordenação de Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), foi apresentado pelos mesmos autores a classificação MCT, baseada na realização dos ensaios de Compactação Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão (PI) em corpos de prova em miniatura (50 mm de diâmetro e altura), diferenciando os solos pelo seu comportamento lateríticos ou não (MARSON, 2004).

Uma contribuição bastante importante para um melhor entendimento do comportamento dos solos tropicais lateríticos utilizados em pavimentos, apresentado por Villibor *et al.* (2009) vem sendo o desenvolvimento da metodologia MCT para caracterização e classificação desses solos, utilizando como base seu comportamento mecânico e hidráulico.

Como consta em DNIT (2006), o volume médio diário (VMD) é o volume médio de veículos que percorre um segmento de via em 24 horas, computado para um período de tempo representativo, que é salvo indicação em contrário, é de um ano. Esse volume, é usado

para indicar a necessidade de novas vias ou melhorias das existentes, estimar benefícios esperados de uma obra viária, determinar as prioridades de investimentos, calcular taxas de acidentes, prever as receitas dos postos de pedágio.

O uso da Sistemática MCT, com o uso de uma tecnologia nacional própria, só vem a colaborar com o desenvolvimento de programas de pavimentação de estradas secundárias (VMD \leq 1000 veículos), que são de vital importância para o desenvolvimento do País. Com isso, além de aumentar a utilização de bases com o SAFL, pode-se gerar uma grande redução de custos (VILLIBOR *et al.*, 2009).

2.2 Solos Tropicais

Para o DNIT (2006) solo é todo tipo de material orgânico ou inorgânico encontrados na superfície, isto é, todo material que possa ser escavado com o auxílio de pás, picaretas, escavadeiras, sem necessidade de explosivos.

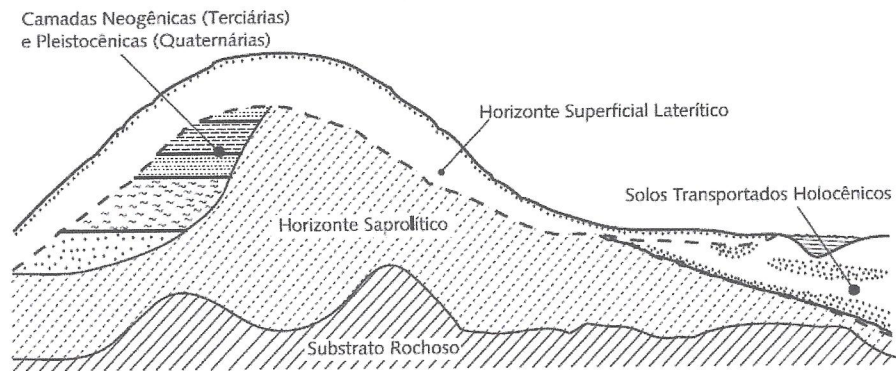
Os solos das regiões tropicais possuem peculiaridades inerentes das condições climáticas destas regiões. Entretanto, nem todo solo que apresenta as características da mesma região, apresentam as mesmas peculiaridades. Devido a esse fato, faz-se necessário conceituar os tipos de solos encontrados nas regiões tropicais, que se denominam como, lateríticos, saprolíticos e transportados (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Nogami e Villibor (1995) ressaltam que os solos lateríticos são resultantes da atuação de processos pedológicos, sendo uma variedade de solo do horizonte que atuam na superfície do terreno, atuam em áreas bem drenadas. Geralmente de cor vermelha, avermelhada, amarela, alaranjada e mesmo marrom, encontradas nas regiões tropicais.

Para os mesmos autores, solos saprolíticos (sapro, do grego: podre), constituem a parte subjacente à camada de solo superficial lateríticos, caracterizando-se por herdar a estrutura da rocha matriz, sendo designados como solos residuais jovens, que em contraste com os solos superficiais lateríticos, mais conhecidos como maduros. Já os solos transportados, são resultado da decomposição de material que sofreram algum tipo de transporte, tais como: água, vento, gelo, etc., para outro local de sua origem. Geralmente constituem camadas abaixo do lençol freático, não sendo afetado pelas condições climáticas tropical. Desta maneira, não são considerados solos tropicais, podendo ser estudados aplicando a experiência

geotécnica de solos das regiões frias e temperadas. A Figura 1, apresenta a disposição das camadas de solo em regiões tropicais:

Figura 1 - Designação genética para camadas de solo de regiões tropicais.



Fonte: (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Godoy (1997) salienta que para os solos especificamente de comportamento laterítico, que sejam submetidos a compactação em condições previamente determinadas, apresentam uma resistência alta e excelente capacidade de suporte, proporcionando uma pequena perda dessa capacidade quando saturados.

Os critérios tradicionais chegavam a resultados contraditórios em relação aos obtidos na prática, salientado para o fato de que os métodos tradicionais se apresentavam pessimistas em relação aos solos lateríticos e otimistas em relação aos solos saprolíticos. Desta maneira, muitos solos lateríticos poderiam ser excluídos mesmo sendo verificado elevado índice CBR, baixa expansão e elevado módulo de resiliência e no caso dos solos saprolíticos que com baixa capacidade de suporte, elevada expansão e muita resiliência, poderiam ser aceitos segundo os critérios tradicionais (NOGAMI e VILLIBOR, 1983).

A principal diferença dos solos lateríticos para os solos de clima temperado, segundo Godoy (1997), é a presença de uma cimentação natural causada pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Os solos lateríticos quando devidamente compactados, perdem umidade e adquirem condição de baixa ou nenhuma perda de resistência, mesmo na presença posterior de água, apresentando em estado natural, menor susceptibilidade à erosão, quanto maior for o seu grau de laterização.

Os solos tropicais possuem comportamento bem diferentes daqueles previsíveis pelos procedimentos tradicionais de classificação geotécnica. Ao contrário do que indicavam as

classificações tradicionais, foi por meio da realização do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR), que primeiramente se comprovou às excelentes qualidades dos solos lateríticos em pavimentação (DELGADO, 2002).

2.3 Solo Arenoso Fino Laterítico

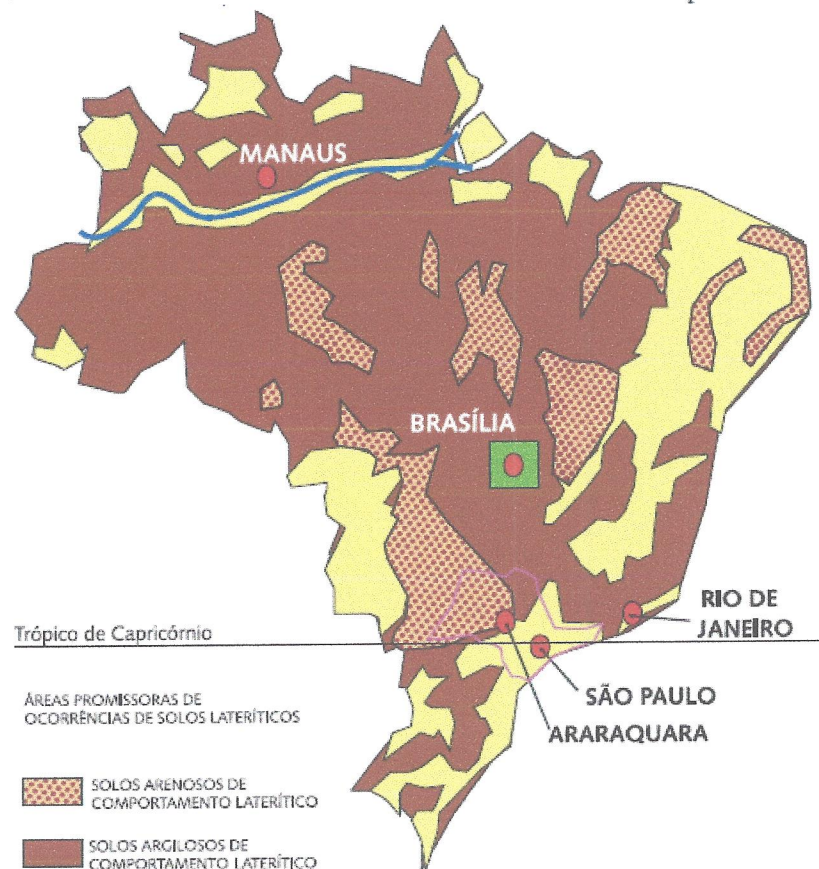
O solo arenoso fino laterítico (SAFL) é uma mistura de argila e areia encontrada na natureza ou artificialmente composta por mistura de areia de campo ou rio com argila laterítica. Seu emprego foi bastante difundido no Estado de São Paulo nas rodovias de baixo volume de tráfego com a utilização deste material como base e sendo utilizado em pavimentos de tráfegos médios ou pesados, como reforço do subleito ou como sub-base (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Solos Finos Lateríticos, de acordo com Villibor *et al.* (2009), são aqueles que tecnicamente seguem as seguintes especificações:

- Com menos de 10% de fração retida na peneira de 2,00 mm (nº 10);
- Com mais de 50% de fração retida na peneira de 0,075 mm (nº 200);
- Frações compostas em sua grande maioria de grãos de quartzo;
- Pertencentes à classe de solos de comportamento lateríticos e a um dos grupos: areia laterítica quartzosa (LA), solo arenoso laterítico (LA') ou solo argiloso laterítico (LG'), na classificação MCT.

Os mapas geológicos e pedológicos apresentam uma grande ocorrência de SAFL em vários estados, além de São Paulo, tais como Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná e Bahia, entre outros. Nestas áreas, segundo Villibor e Nogami (2009) ocorrem jazidas de SAFL para a execução de bases, como apresentada na Figura 2:

Figura 2 - Ocorrência de SAFL no território brasileiro.



Fonte: (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

Para a identificação da ocorrência de jazidas de SAFL, Villibor *et al.* (2009), apresentam algumas características a serem observadas:

- Próximas à superfície, cobertas por uma camada fina de terra vegetal inferior a 1m, podendo ser utilizada para plantio de vegetação;
- Camada aproveitável, com grande espessura (cerca de 5m);
- Excelentes condições de drenagem;
- Identificação simples, por exame tátil ou visual, de cor vermelho, marrom, amarelo e suas combinações, o surgimento de trincas e torrões em partes expostas.

2.4 Características Pedológicas do SAFL

2.4.1 Evolução Pedológica

Em regiões tropicais é comum a evolução pedológica, o que constitui um processo bastante complexo, cuja transformação se apresenta nas camadas mais superficiais. O surgimento deste fenômeno é causado, principalmente devido a fatores tais como: clima, topografia, rocha matriz, organismos vivos e a idade (MARSON, 2004).

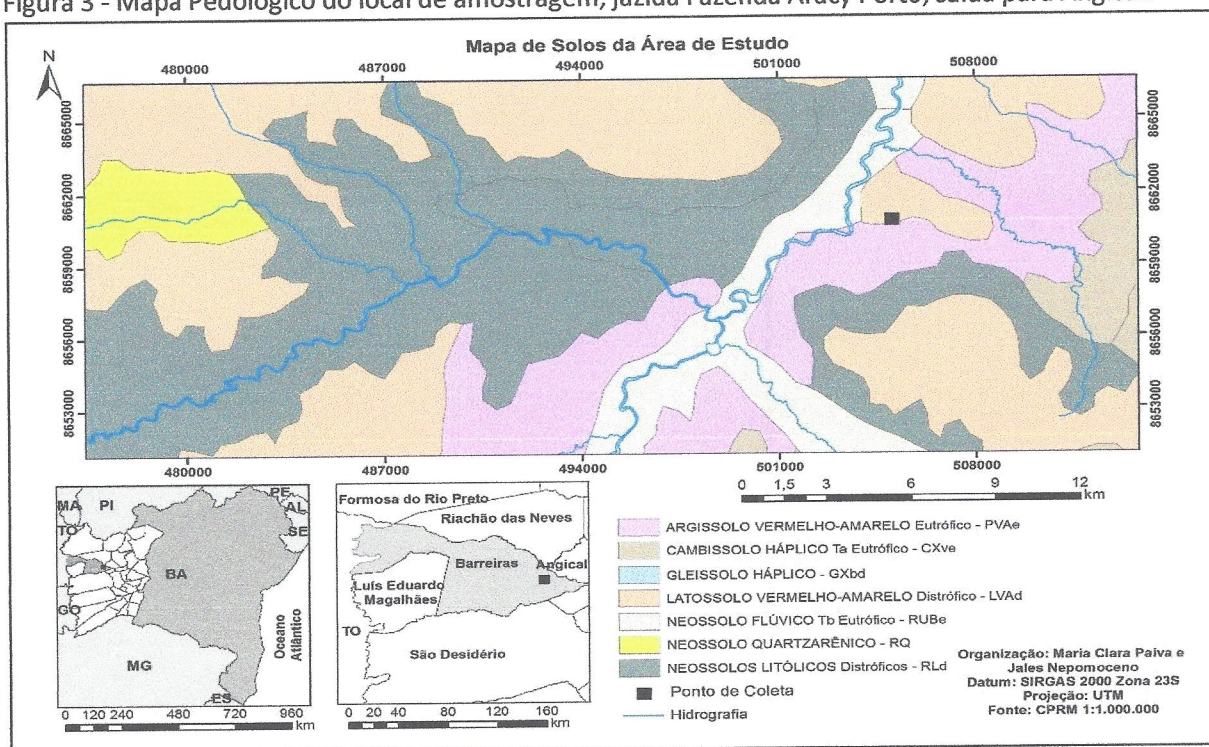
Desta forma, os conceitos de geologia e pedologia passaram a ser bastante importantes para a geotecnia, evidenciando a compreensão do mecanismo diferenciador na formação dos solos encontrados nas regiões tropicais e sua influência no comportamento geotécnico (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A ação pedogenética, de fato, atribui aos SAFL características e propriedades distintas dos solos formados de clima temperado, para interesse direto do projeto de pavimentos. Deve-se ressaltar, que a pedologia tem contribuído de maneira significativa para um melhor entendimento das características desses solos, constituindo-se de uma poderosa ferramenta para a caracterização do meio físico, colaborando com informações de limitações de uso de diversas classes de solos (MARAGON, 2004).

No estudo da pedologia, os solos que apresentam comportamentos lateríticos são constituídos pelo horizonte B, conhecidos como Latossolos, Solos Podzólicos e Terras Roxas Estruturadas, caracterizados pela matriz vermelho e/ou amarelo, com grande espessura, agregação intensa dos grãos mais finos, dando um aspecto trincado e/ou poroso e pequena variação de propriedades ao longo da sua espessura. A parte do horizonte B, dos solos podzólicos, mais arenosa e rica em materiais orgânicos, constituem o horizonte A, que quase sempre é removida em limpeza do terreno (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Os mapas e dados pedológicos têm sido utilizados para orientar o emprego das camadas de solos superficiais no estado natural. A Figura 3 exibe o mapa pedológico referente aos solos encontrados em uma parte do Município de Barreiras e regiões próximas à amostra coletada. A jazida onde foi coletada a amostra, encontra-se na Fazenda Aracy Porto, no Bairro Buritis, saída para o Município de Angical, próximo ao anel viário:

Figura 3 - Mapa Pedológico do local de amostragem, jazida Fazenda Aracy Porto, saída para Angical.



A cor peculiar para estes solos, se deve principalmente a alta porcentagem de óxidos e hidróxidos de ferro e hidróxido de alumínio, apresentando também uma fração de argila, na qual se destacam a presença da caolínita, como o argilomineral. Estes solos podem ser muito plásticos ou pouco plásticos. Entre as peculiaridades dos solos de comportamento lateríticos, quando compactados corretamente, pode-se apresentar pequena perda de capacidade de suporte por imersão em água e elevados módulos de resiliência (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

A cor do solo, de acordo com a carta de Munssel (1954) é uma característica determinada através da comparação visual com a carta de *Munsell soil color charts*, que está relacionada com a presença de óxidos de ferro e matéria orgânica, onde matizes amarelados ou avermelhados sugerem presença de óxido de ferro, que são indicadores de boa permeabilidade.

Na Figura 4 é apresentado um perfil que pode identificar a distinção entre os horizontes A, B – solos lateríticos e C – solos saprolíticos.

Figura 4 - Perfil de solo representando os horizontes A, B e C.



Fonte: (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

A Pedologia por meio de mapas nos fornece informações favoráveis para o estudo geotécnico preliminar de obras viárias. É possível avaliar antecipadamente a disponibilidade de materiais na região, podendo orientar o reconhecimento de campo, em função das classes pedológicas, estão relacionados com os grupos geotécnicos da Metodologia MCT de classificação de solos tropicais, principalmente as classes de solos lateríticos, LG', LA'e LA (MARAGON, 2004).

2.5 Pavimentos Econômicos ou Pavimentos de Baixo Custo

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, cujas espessuras determinadas são construídas sobre superfície final de terraplenagem, tendo como objetivo técnico e econômico resistir e distribuir os esforços verticais oriundos de tráfego, bem como, resistir aos esforços horizontais, devendo permitir boas condições de rolamento, conforto e segurança aos usuários (DNIT, 2006).

Para a NBR 7207/82 - Terminologia e Classificação de Pavimentação, o pavimento é composto por regularização do subleito, reforço do subleito, subleito, sub-base, base e revestimento, onde:

- Subleito: É o terreno de fundação do pavimento devendo ter sua profundidade considerada até onde atuam as cargas impostas pelo tráfego;
- Regularização do subleito: é o nivelamento destinado a conformar o subleito e prepará-lo para o recebimento das camadas superiores;

- Reforço do subleito: Camada destinada a melhorar a qualidade do subleito, regularizando a espessura da sub-base;
- Sub-base: Camada complementar à base, de tal modo que se, por circunstâncias técnico-econômicas for desaconselhável construir a base sobre o reforço, deverá então ter características tecnológicas superiores às do material de reforço;
- Base: Camada proposta a receber e distribuir de maneira uniforme os esforços oriundos do tráfego;
- Revestimento: Camada que recebe diretamente a ação do tráfego, tanto quanto possível impermeável, destinada a fornecer segurança, comodidade e resistir ao desgaste.

Segundo o DNIT (2006) para a utilização do solo em alguma das camadas de pavimentos, deve satisfazer aos requisitos apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Valores máximos de expansão e mínimos de C.B.R. por camada.

CAMADA	EXPANSÃO	ISC/C.B.R.
Subleito	$\leq 2\%$	$\geq 2\%$
Reforço de Subleito	$\leq 1\%$	\geq C.B.R. do subleito
Sub-base	$\leq 1\%$	$\geq 20\%$
Base	$\leq 0,5\%$	$\geq 60\%$

Fonte: (DNIT, 2006).

O surgimento dos pavimentos de baixo custo na Bahia ocorreu pela necessidade de melhorar o tráfego das estradas em revestimento primário, pela localização de materiais para sua manutenção e pela grande dificuldade da obtenção de materiais mais nobres (COSTA, 1988).

De acordo com Villibor e Nogami (2009) pavimento econômico ou pavimento de baixo custo (Figura 5), deve seguir os seguintes critérios:

- Aplica-se base composta de solos, com custos mais reduzidos para execução do que em bases tradicionais, tais como: brita graduada, macadame hidráulico, solo-cimento, etc.;
- Utiliza-se tratamento superficial duplo ou triplo, com espessura máxima de 3 cm e, frequentemente, da ordem de 1,5 cm;

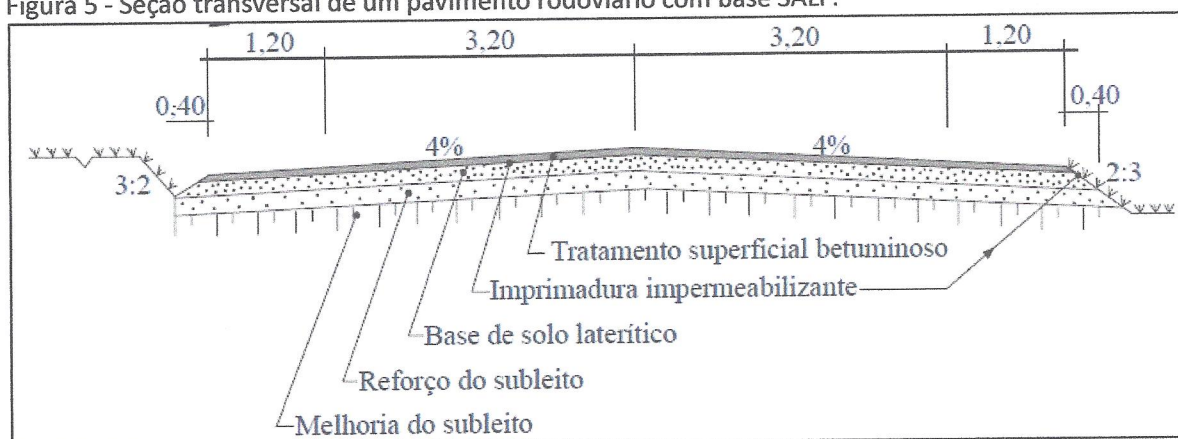
- Tolera-se um tráfego máximo do tipo médio, com $N < 5 \times 10^6$ solicitações de eixo simples padrão de 8,2 tf.

Para pavimentos com a utilização de SAFL deve ser empregada a elaboração de procedimentos adequados, segundo Villibor; Nogami e Cincerre (2001) deve-se seguir tais critérios para garantir assim, o sucesso destes tipos de bases. Tais critérios para o tráfego com o uso de SALF, deve envolver os tipos muito leve, leve e médio, atendendo as seguintes especificações:

- VMD inicial ≤ 1.000 veículos com, no máximo, 35% de veículos comerciais;
- $N \leq 10^6$ solicitações do eixo simples padrão durante o período de projeto.

Conforme especificado no Manual de Pavimentação do DNIT (2006) pavimento é dimensionado em função de um número equivalente (N) de operações de um eixo padrão, durante o período de projeto escolhido;

Figura 5 - Seção transversal de um pavimento rodoviário com base SALF.



Fonte: (VILLIBOR e NOGAMI, 2001).

As características climáticas apresentadas para a região, devem atender os tipos climáticos de Koppen citados por Villibor e Nogami (2009), com clima quente com inverno seco (Cwa), temperado com inverno seco (Cwb), clima tropical com inverno seco (Aw) e temperatura média anual acima de 20 °C.

Para as condições Hídricas devemos ter, segundo Villibor *et al.*, (2001) uma precipitação pluviométrica anual média de 1.000 a 1.800 mm e índice de umidade do tipo: subúmido e úmido.

Villibor *et al.* (2009) apresentam os seguintes tipos de bases de baixo custo:

- Bases de SAFL, jazidas naturais;
- Bases de Solos lateríticos – Agregado, que podem ser:
 - Graduação fina: material cuja mistura de argila laterítica com areia (ALA);
 - Graduação grossa: material com mistura de solo lateríticos e baixa porcentagem de agregado (SLAD).

Segundo Villibor, Nogami e Cincerre (2001) a execução de bases com SALF, além das vantagens econômicas, podem trazer benefícios ambientais proporcionadas pelo uso de bases de baixo custo, se comparadas com as bases tradicionais (brita graduada, solo brita e solo cimento), permitindo a recuperação das áreas exploradas, com um sistema de drenagem superficial adequado, visto que a utilização de material beneficiado pode acarretar: degradação da área explorada, ruídos e resíduos sólidos e gastos com energia e equipamentos para o beneficiamento destes materiais.

Cabe salientar que grande parte dos defeitos nos pavimentos de baixo custo, é devido à fragilidade da interface base revestimento, onde tais problemas podem surgir em função de uma deficiência do revestimento, podendo-se destacar os relacionados ao desgaste, à exsudação e à superposição dos agregados (MARAGON, 2004).

Para Senço (2001) base é a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Onde o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

O DNIT conjuntamente com o Instituto de Pesquisa Rodoviárias (IPR) criou a Norma DNIT-ES 098/2007 – Base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificação de serviço, para direcionar a metodologia a ser empregada na execução de camada de base de pavimentos com solo Laterítico.

A utilização de materiais lateríticos, destinados à construção da base, quando submetidos aos ensaios DNER-ME 054/97 - Equivalente de areia, DNER-ME-080/94 - Solos - análise granulométrica por peneiramento, DNER-ME-082/94 - Solos - determinação do limite de plasticidade e DNER-ME-122/94 - Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito, devem apresentar as seguintes características:

- O CBR deve obedecer, os valores relacionados ao número N de operações do eixo padrão de 8,2 t, para o período de projeto:

$CBR \geq 60\%$ para $N \leq 5 * 10^6$;

$CBR \geq 80\%$ para $N \leq 5 * 10^6$;

- O material será compactado no laboratório, conforme a Norma DNER-ME-049/94 - Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia, utilizando amostras não trabalhadas, com 26 ou 56 golpes por camada, atendendo valores mínimos de CBR, verificados dentro de uma faixa de variação de umidade e especificados no item anterior;
- A fração que passa na peneira nº 40, deve apresentar limite de liquidez (LL) inferior ou igual a 40% e índice de plasticidade (IP) inferior ou igual a 15%;
- Solos lateríticos com $IP > 15\%$ poderão ser usados em misturas como outros materiais de $IP \leq 6\%$, satisfazendo a mistura resultante aos requisitos de $LL \leq 40\%$ e $IP \leq 15\%$;
- Possuir composição granulométrica satisfazendo uma das faixas do equivalente em areia deverá ser maior que 30%;
- A percentagem do material que passa na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da percentagem que passa na peneira nº 40;
- Quando submetido aos ensaios DNER-ME-049/94 e DNER-ME-129/94 - Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas.

Para a curva granulométrica, poderá apresentar as seguintes tolerâncias máximas, apresentadas a seguir nas Tabela 2 e Tabela 3:

Tabela 2 - Tolerância Máxima Granulométricas (mm).

Peneiras	mm	% em Peso Passando
3/8" - 1"	9,5 - 25,4	aproximadamente 7
Nº 40 - Nº 4	0,42 - 4,8	aproximadamente 5
Nº 200	0,074	aproximadamente 2

Fonte: (DNIT 098, 2007).

Tabela 3 - Quadro de Composição Granulométrica dos materiais para pavimentação.

Peneira	Abertura (mm)	Faixas Granulométricas (% em Peso Passando) - FAIXA	Faixas Granulométricas (% em Peso Passando) - FAIXA
		A	B
2"	50,8	100 - 100	-
1"	25,4	100 - 75	100 - 100
3/8"	9,5	85 - 40	95 - 60
Nº 4	4,8	75 - 20	85 - 30
Nº 10	2,09	60 - 15	60 - 15
Nº 40	0,42	45 - 10	45 - 10
Nº 200	0,075	46 - 10	45 - 10

Fonte: (DNIT 098, 2007).

2.6 Metodologia MCT

Na metodologia tradicional são consideradas duas classificações que têm sido mais utilizadas no Brasil, para obras viárias: a *Highway Research Board* (HRB–AASHTO) – Sistema Rodoviário de Classificação e a *Unified Soil Classification System* (SUCS) – Sistema Unificado de Classificação de Solos, que considera a granulometria, LL e o IP. Porém, a HRB-AASHTO classifica e hierarquiza os solos tropicais de maneira inadequada (VILLIBOR *et al.*, 2009).

Para o DNIT (2006) o SUCS baseia-se na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, agrupando-lhes de acordo com seu comportamento, a tabelas de classificação estão apresentadas no Anexo D. Considerando assim as seguintes características:

- Pedregulhos, areia e finos, para a fração passante na peneira nº 200 (%);
- Forma da curva granulométrica;
- Plasticidade e Compressibilidade.

Para a Classificação HRB-AASHTO, o DNIT (2006) explica que os solos são reunidos em função do seu limite de liquidez, granulometria, limite de consistência e índice de grupo (IG), o grupo é determinado por eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação, o quadro desta classificação está apresentado no Anexo C.

A aplicação para solos de climas tropicais úmidos (lateríticos e saprolíticos), seguindo a metodologia tradicional desenvolvido nos países de clima frio e temperado, baseados nas propriedades tais como, granulometria, LL e IP, apresentam contradições relativamente às suas propriedades mecânicas e hídricas, mesmo que frequentemente apresentem elevada capacidade de suporte. O uso desta metodologia, muitas vezes aumentava os custos, pois restringia a utilização de jazidas de boa qualidade. Todavia, deu-se início ao desenvolvimento de uma classificação mais ajustada para nosso clima, utilizando o uso de CBR em escala miniatura, reduzindo as dimensões dos equipamentos para 1/3, podendo diminuir os custos de ensaios, e acrescentar a determinação de outras propriedades (suporte sem embebição, contração, infiltrabilidade, permeabilidade, etc.) (VILLIBOR *et al.*, 2009).

A caracterização para os solos utilizados em pavimentação é de suma importância para os pavimentos a serem projetados, seguindo a classificação proposta para solos tropicais, uma vez que viabiliza a escolha correta de jazidas para material de base de pavimentos de baixo custo, descritos nos métodos de ensaios empregados na classificação MCT, dos solos estudados (FELTEN, 2005).

2.6.1 Classificação MCT

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 tradicionais, neste tipo de metodologia é utilizado ensaios mecânicos e hídricos simplificados, mais diretamente correlacionáveis com o comportamento dos solos tropicais (FELTEN, 2005).

Abrange um conjunto de ensaios e procedimentos, apresentando corpos-de-prova reduzidos com 50 mm de diâmetro, destinados à classificação e determinação das propriedades mecânicas e hidráulicas de solos tropicais, como apresentados nos Anexos A e B. Seus principais ensaios são: ensaio de Mini-MCV, Pi, compactação em equipamento miniatura (Mini-Proctor), Mini-CBR nas condições de corpo-de-prova com e sem imersão em água, expansão e contração (MARSON, 2004).

Desta forma, é possível através da determinação de coeficientes, classificar o solo por meio de um ábaco, permitindo diferenciar os solos como lateríticos ou não lateríticos, estimando-se a melhor condição para compactação (FORTES *et al.*, 1985).

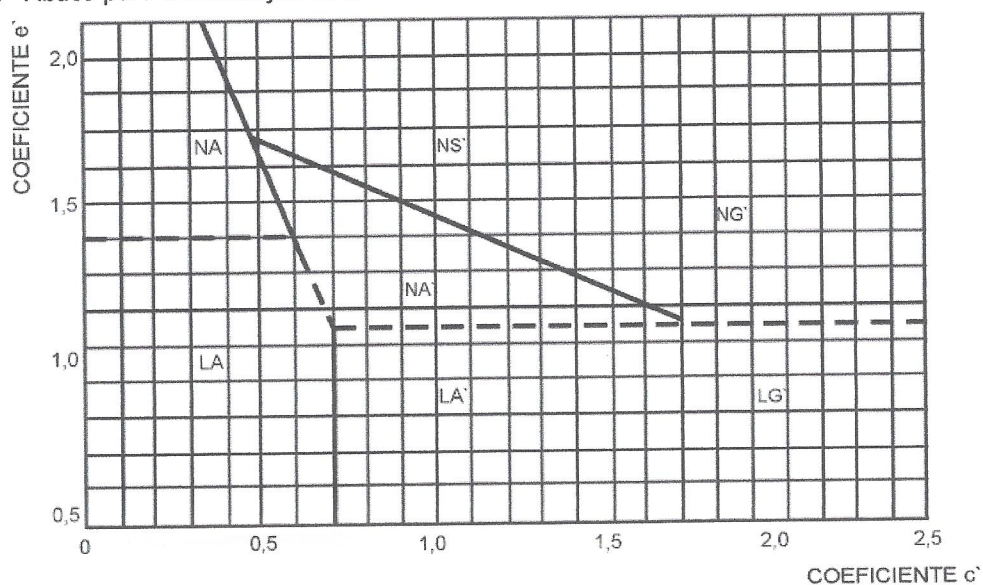
Com o intuito de retratar peculiaridades dos solos Villibor *et al.* (2009) salienta que são consideradas duas classes distintas, lateríticos (L) ou não lateríticos (N) e apresentando sete subclasses correspondentes, como apresentados no ábaco na Figura 6, os solos lateríticos, são subdivididos em três grupos: LA, LA' e LG', que são respectivamente areia laterítica, solo arenoso laterítico e solo argiloso laterítico.

Para os solos de comportamentos não lateríticos são subdivididos em quatro grupos:

- Areia não laterítica (NA);
- Solo arenoso não lateríticos (NA');
- Solo siltoso não laterítico (NS');
- Solo argiloso não laterítico (NG').

A Figura 6, apresenta o ábaco de classificação MCT e seus grupos:

Figura 6 - Ábaco para classificação MCT.

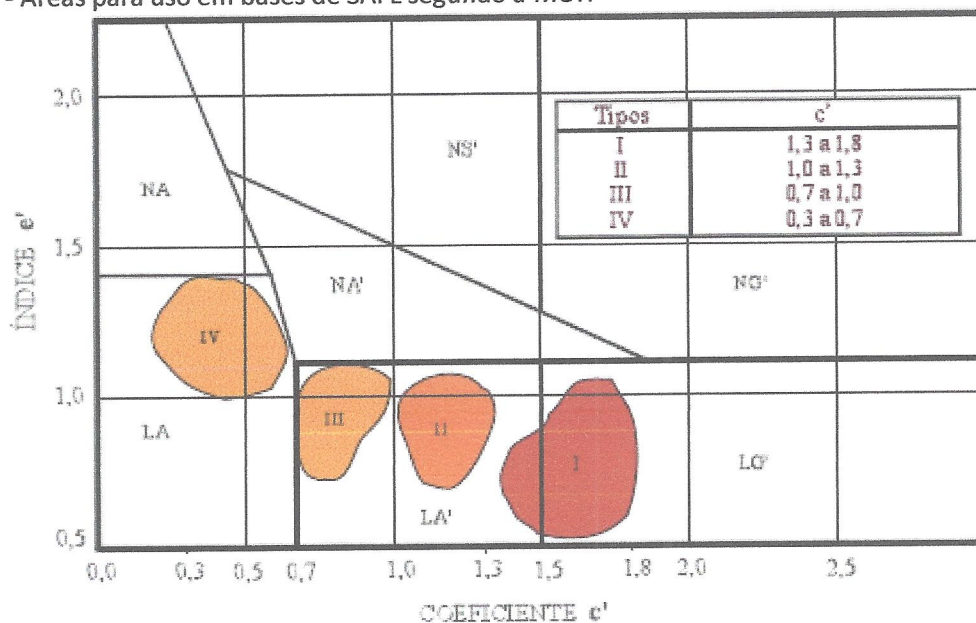


Fonte: (DNIT, 2006).

O ábaco é composto por sete grupos de solos e duas classes genéticas, onde a linha tracejada é a divisão entre as classes, de comportamento lateríticos e não lateríticos.

Para determinar os tipos de solos Villibor, Nogami e Cincerre (2001) fornece o gráfico, demonstrando as 4 áreas para classificação MCT, apresentados na Figura 7. Devemos ressaltar que para cada tipo de solo, são apresentados detalhes construtivos, para evitar defeitos e reduzir custo.

Figura 7 - Áreas para uso em bases de SAFL segundo a MCT.

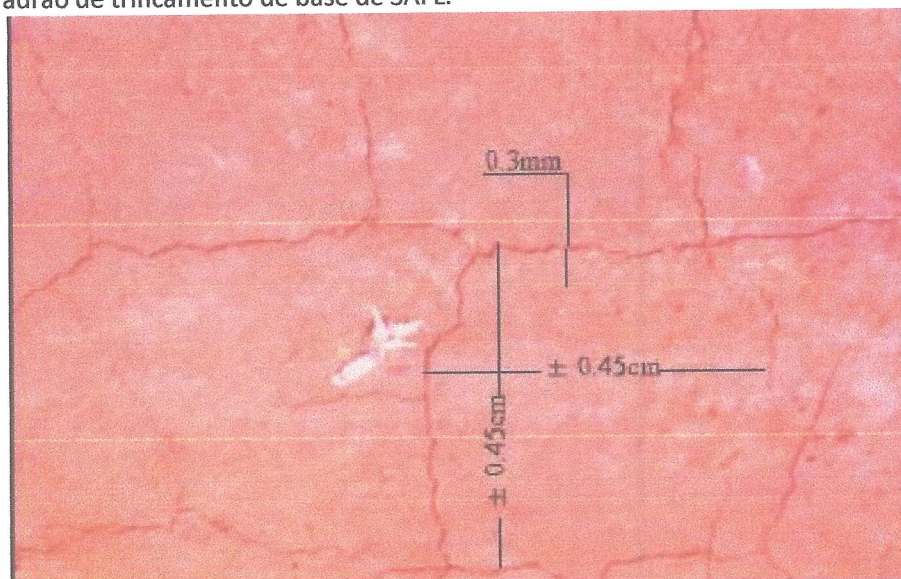


Fonte: (VILLIBOR; NOGAMI e CINCERRE, 2001).

De acordo com a posição da jazida no gráfico, segundo Villibor; Nogami e Cincerre (2001) evidencia-se a técnica construtiva para bases em SAFL, cujos melhores solos são os do tipo II (c' de 1,0 a 1,3), representados na Figura 8. Suas características são:

- Excelente capacidade de compactação, chegando a 100% da densidade relativa à energia intermediária;
- Baixo desgaste superficial e fácil acabamento da base;
- Baixa contração por secagem, apresentando placas com aproximadamente 50 x 50 cm na base, mostradas na Figura 8, ideais para o padrão de trincamento;
- Boa aderência entre a camada de base e de rolamento, com boa receptividade à imprimadura betuminosa;
- Boa resistência borda da base e superfície, quanto ao amolecimento por umedecimento, mesmo em épocas de muita chuva.

Figura 8 - Padrão de trincamento de base de SAFL.



Fonte: (VILLIBOR; NOGAMI e CINCERRE, 2001).

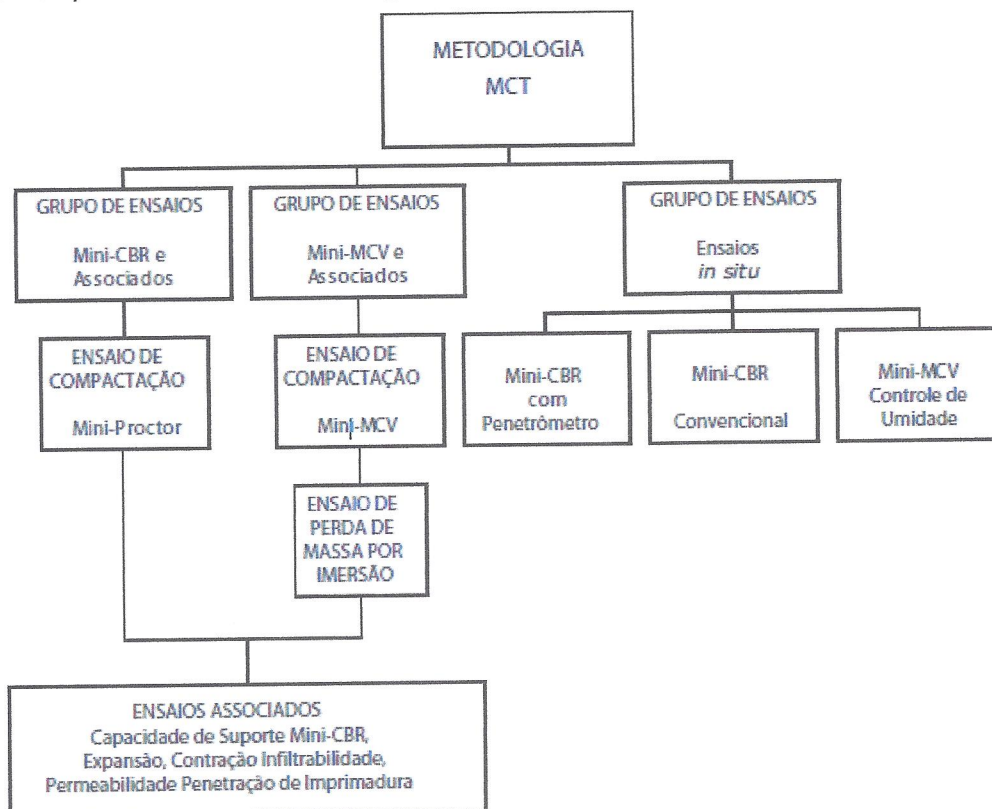
Para Villibor e Nogami (2009) o SAFL do tipo I (c' de 1,3 a 1,8), excelente compactabilidade e fácil acabamento da superfície da base. Porém, pode haver contração excessiva por secagem, com trincamento de 20 x 20 cm, pode ocorrer também, danos na superfície da base, desagregação das bordas das placas, provocando alargamento das trincas. Para a minimizar tais problemas, recomenda-se usar solos com c' entre 1,3 a 1,6.

Seguindo as especificações dos mesmos autores, o SAFL do tipo III e IV (c' de 0,3 a 1,0), possuem má compactabilidade, com possível formação de lamelas no acabamento, apresenta dificuldade no acabamento da base e desgaste excessivo, mostra muita suscetibilidade ao amolecimento de bordas e base por excesso de umidade.

Esta proposta foi desenvolvida para o melhor uso de solos tropicais em pavimentação de baixo custo, abrangeu uma adequação de procedimentos do ensaio inglês MCV, introduzido por Parsons em 1976, utilizando corpos de prova e equipamento de compactação de dimensões reduzidas, originando o ensaio Mini-MCV e uso do ensaio de comportamento à imersão (VILLIBOR e NOGAMI, 1985).

Segundo Villibor, Nogami e Cincerre (2001) a sistemática MCT abrange dois grupos de ensaios, Mini-CBR mais ensaios associados, e Mini-MCV mais ensaios associados, que são descritas a seguir e apresentadas na Figura 9:

Figura 9 - Grupo de ensaios da Metodologia MCT.



Fonte: (VILLIBOR et al., 2009).

Esta metodologia, foi desenvolvida através de inúmeras pesquisas realizadas por Villibor e Nogami (2009), chegando à uma série de ensaios seguindo dois programas:

- Programa I: Mini-Proctor e seus ensaios associados, utilizado antes da década de 80, seu objetivo principal é a obtenção dos valores das propriedades mecânicas e hídricas do solo;
- Programa II: Mini-MCV e seus ensaios, seu objetivo principal é a verificação do comportamento laterítico ou não do solo.

Nesta metodologia será apresentada uma série de ensaios que englobam a classificação MCT, onde alguns ensaios foram acrescentados seguindo Nogami e Villibor (1995), que engloba os ensaios classificatórios M5, M8 e M9, descritos a seguir:

O Ensaio de Compactação Mini-Proctor (M1): determina a Umidade Ótima (H_o) e a Massa Específica Aparente Seca Máxima (MEAS_{máx}).

O Ensaio Mini-CBR e Expansão (M2): tem como objetivo principal o conhecimento dos valores de expansão dos argilo-minerais constituintes dos solos finos, classificando os solos para diversos usos em pavimentação. O ensaio de Mini-CBR fornece a capacidade de suporte

para o dimensionamento de pavimentos e escolha do material utilizado em bases, reforço e sub-base, assim como também caracterizar o solo do subleito. Realizado de modo semelhante ao ensaio de CBR tradicional, diferindo apenas na necessidade de maior cuidado. De acordo com o DNER-ME-254/94 - Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini-CBR e expansão, o valor do índice Mini-CBR é obtido a partir dos valores correspondentes às penetrações de 2 e 2,5 mm (C1 e C2). Os cálculos foram realizados através do Método de correlações, seguem respectivamente as expressões (1) e (2):

$$\log(\text{Mini} - \text{CBR}) = -0,254 + 0,896 * \log C_1 \quad (1)$$

$$\log(\text{Mini} - \text{CBR}) = -0,356 + 0,937 * \log C_2 \quad (2)$$

A Relação entre Índice de Suporte (RIS) é um critério proposto para verificar se o solo é laterítico ou não, visando sua utilização como base ou sub-base, sendo um coeficiente empírico apresentado na Metodologia MCT, definida para corpos de prova moldados na energia intermediária, indica quanto o solo perde de suporte depois de um grande período de exposição em água. Quanto maior o RIS, melhor é o solo, apresentando uma menor variação de suporte. Entretanto, algumas bibliografias não utilizam o RIS, e sim, a percentagem de Perda de Suporte por Imersão (PSI), que é obtida, calculando (100% - RIS) (VILLIBOR *et al.*, 2009).

O PSI é obtido calculando (100% - RIS) e utilizando as seguintes expressões (3) e (4):

$$RIS = \frac{(\text{Mini} - \text{CBRcom imersão})}{(\text{Mini} - \text{CBRsem imersão})} * 100 \quad (3)$$

$$PIS = \frac{[(\text{Mini} - \text{CBRsem imersão}) - (\text{Mini} - \text{CBRcom imersão})]}{(\text{Mini} - \text{CBRcom imersão})} \quad (4)$$

O Ensaio de Expansão tem por finalidade encontrar os valores de expansão dos argilo-minerais constituintes dos solos finos, hierarquizando os solos para diversos usos em pavimentação (VILLIBOR *et al.*, 2009).

Para o ensaio com embebição, os corpos de prova deverão permanecer 24 horas imersos antes do ensaio de penetração e representada pela expressão (5):

$$Exp = \frac{\Delta_h}{L_0} * 100 \quad (\%) \quad (5)$$

Onde,

$$\Delta_h = L_f - L_i$$

L_0 → Altura do corpo de prova (mm).

O Ensaio de Contração (M3): a partir de seus parâmetros básicos H_o e MEASmáx, moldam-se corpos de prova para a avaliar o potencial de contração por secagem. O objetivo deste ensaio é verificar a contração, durante a fase construtiva e a vida útil de um pavimento, para assim evitar a propagação e reflexão de trincas na camada de revestimento. Este ensaio busca apresentar informações do comportamento de um pavimento após o período de cura ou secagem. A contração axial (C_t), avalia a variação porcentual do comprimento axial das amostras compactadas por meio de um extensômetro.

O Ensaio de Infiltrabilidade e Permeabilidade (M4): mede a velocidade de ascensão capilar e a quantidade de água que penetra em camadas de solo, obtendo o coeficiente de sorção e o coeficiente de permeabilidade.

O Ensaio de Compactação Mini-MCV (M5): tem como objetivo a classificação geotécnica dos solos tropicais, resultando em um grupo de curvas similares às do Proctor. Este ensaio fornece os parâmetros utilizados na Classificação MCT, com os mesmos corpos de prova para o ensaio de Perda de Massa por Imersão. O coeficiente de Inclinação da Curva de Deformabilidade (c'), que é o coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea, é obtido através das curvas de deformabilidade, é fundamental para a classificação do solo, pois é aproximado à granulometria, não havendo necessidade de fazer um ensaio granulométrico para classificação do solo.

Para a determinação da H_o do material, que deve ser obtido pelo ensaio de Compactação Proctor Normal, moldando-se cinco corpos de provas, com diferentes umidades e com 2% de diferença entre eles. Aplica-se um número crescente de golpes até não haver acréscimo sensível em sua densidade. Este procedimento permitiu a plotagem de uma família de curvas de compactação e curvas de deformabilidade Mini-MCV de um mesmo solo, o comportamento de sua MEASmáx em função da umidade. O coeficiente de Inclinação do ramo

seco da curva de compactação MCV (d'), apesar de não se correlacionar com a granulometria, parecendo assim, não ser adequado para a classificação dos solos, com difícil determinação deste parâmetro. Podendo ocorrer erros na classificação de um solo ou uma ampla faixa de valores dentro da mesma categoria de solos (MARSON, 2004).

O Ensaio de Penetração da Imprimadura Betuminosa (M6): determina o comportamento do solo referente à imprimadura betuminosa, prevendo a quantidade e o tipo de material mais adequado.

O Ensaio Mini-CBR de Campo – Procedimento Dinâmico (M7).

O Ensaio da Perda de Massa por Imersão (M8): busca desenvolvido para separar os solos de comportamento lateríticos e não lateríticos, determinando o coeficiente de Índice de laterização (e'). O valor do Pi, segundo Villibor e Nogami (2009), deve ser corrigido pela forma como a massa é desprendida durante a imersão. O cálculo do Pi deve seguir a expressão (6):

$$Pi = \frac{M_d * \left[1 + \left(\frac{w}{100}\right)\right] * A}{Z * M_u} * 100 * F_c \quad (6)$$

Onde:

Pi → Perda de massa por imersão (%);

M_d → Massa de solo seco da porção desprendida (g);

w → teor de umidade (%);

A → Altura final do corpo de prova (mm);

Z → Porção do corpo de prova extrudada do molde (mm);

M_u → Massa úmida do corpo de prova (g);

F_c → Fator de correção.

A Classificação Geotécnica MCT (M9): de acordo com a norma DNER-CLA259/96 - Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias, é a compilação dos valores encontrados nos ensaios M5 e M8.

Os intervalos das propriedades mecânicas e hídricas admissíveis para bases de solos lateríticos, segundo Villibor e VILLIBOR *et al.* (2009) devem estar entre:

- Mini-CBR sem imersão.....40%;
- Perda de Suporte por imersão.....50%;
- Expansão, sem sobrecarga.....< 0,3%;

- Contração.....0,1 a 0,5%;
- Coeficiente de sorção..... 10^{-2} a $10^{-4} \text{ cm/min}^{\frac{1}{2}}$.

Nesta Classificação, segundo Villibor e Nogami (2009) são encontrados dados gerados pelo ensaio de Compactação Mini-MCV, os coeficientes d' e c' e através do ensaio de Perda de Massa por Imersão, encontramos o coeficiente Pi . A partir dos coeficientes d' e Pi , podemos definir e' , que representa o índice de laterização do solo. Determinados estes parâmetros, é possível através do uso do gráfico, classificar o solo como laterítico ou não-laterítico, bem como o grupo em que se encontra.

Este parâmetro é calculado a partir do coeficiente d' e do Pi , sendo possível encontrar o parâmetro que expressa a gênese do solo, denominado índice de laterização e' , utilizando a expressão (7):

$$e' = \sqrt[3]{\left(\frac{Pi}{100} + \frac{20}{d'}\right)} \quad (7)$$

Para uma classificação MCT de maneira mais rápida, Villibor e Nogami (2009) apresenta uma simplificação da série de ensaios, utilizando o Programa II, desenvolvendo os ensaios M5 e M8, para obter valores que permitam a classificação geotécnica (M9).

Para Vertamatti (1994) a evolução geológica ocorre em função do clima, e apresentam-se marcadas por transformações físicas e químicas nas rochas. Desta maneira, novas condições de pressões ocasionam em seus componentes, contrações e dilatações, apresentando o aparecimento de trincas e fissuras (intemperismo físico), por onde ocorre a infiltração da água nas rochas, carreando oxigênio e gás carbônico. A partir daí, ocorre a reação de seus componentes com ácidos naturais, decompondo os minerais e ocasionando o surgimento de novos materiais (argila, óxidos de ferro e alumínio) – intemperismo químico.

Estes mecanismos são acelerados de acordo com o clima (mais quente e úmido). O transporte ocasionado pela água, vento ou a gravidade, de acordo com Marson (2004), também compõem um mecanismo de evolução geológica, originando solos sedimentares – transportados.

2.7 Critérios de aceitação para o uso de bases SAFL

Na utilização da metodologia MCT recomenda-se seguir Villibor e Nogami (2009), DNER, (1996), DNIT, (2006), DNER-ME-254/97 - Equivalente de areia, DNER-ME-256/94 - Solos Compactados com Equipamento Miniatura - Determinação da Perda de Massa por Imersão, DNER-ME 228/94 - Solos - Compactação em Equipamento Miniatura, DNER-ME-258/94 - Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini-MCV e DNER-CLA259/96 - Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. Acompanhando as graduações especificadas na Tabela 4, onde a ordem de prioridade na escolha dos solos para bases, acompanha as seguintes exigências na ordem: faixa A, faixa B e faixa C.

Tabela 4 - Faixas A, B e C de SAFL para bases e sub-bases de pavimentos.

Peneiras de malhas quadradas	Graduações		
	Porcentagem que passa, em peso		
	A	B	C
2,00 mm, Nº 10	100	100	100
0,42 mm, Nº 40	75 - 100	85 - 100	100
0,150 mm, Nº 100	30 - 50	50 - 65	65 - 95
0,075 mm, Nº 200	23 - 35	35 - 50	35 - 50

Fonte: (DER-SP, 1991).

Na Tabela 5 é apresentado os critérios de propriedades mecânicas e hidráulicas para o uso do SAFL em base de pavimentos:

Tabela 5 - Propriedades mecânicas e hidráulicas para o SAFL em base de pavimento.

Exigências Mecânicas e Hidráulicas	Valores Admissíveis	Método de Ensaio
Mini-CBR sem imersão	$\geq 40\%$	DER-ME 192-88
Perda de suporte no mini-CBR por imersão em relação ao mini-CBR sem imersão	$\leq 50\%$	DER-ME 192-88
Expansão com sobrecarga padrão	$\leq 0,3\%$	DER-ME 192-88
Contração	0,1% a 0,5%	DER-ME 193-88
Coefficiente de infiltração	$10^{-2} a 10^{-4} (cm\sqrt{\text{minuto}})$	DER-ME 194-88

Fonte: (DER-SP, 1991).

A energia intermediária de compactação neste caso, e o corpo de prova devem ser compactados na umidade ótima e 100% de grau de compactação (DER-ME 191-88). Os critérios para a escolha de SAFL utilizados em bases de pavimentos, para qualquer região do País, são apresentados na Tabela 6:

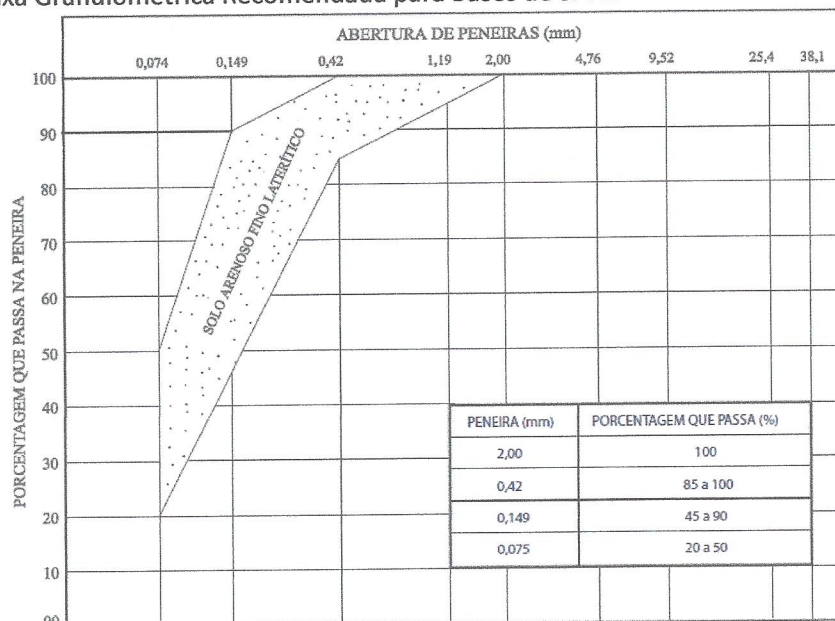
Tabela 6 - Critérios para SAFL em bases de pavimentos.

Propriedades	Intervalos admissíveis	Métodos de Ensaio
Grupos MCT	LG', LA' e LA	M5 e M8
Capacidade de Suporte Mini-CBR - Ho (%)	≥ 40	M2
Expansão sem sobrecarga - Es (%)	≤ 0,3	M2
Relação RIS (%)	≥ 50	-
Perda de Suporte por Imersão PSI (%)	≤ 50	-
Coefficiente de Sorção d'água - s (cm/ $\sqrt{\text{min}}$)	10 ⁻² a 10 ⁻⁴	M4
Coefficiente Permeabilidade - Ks (cm/s) - opcional	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁸	M4
Valores na H _o da Energia Intermediária no Mini-Proctor		

Fonte: (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

Para Villibor *et al.* (2009) os solos lateríticos apresentam propriedades mecânicas e hídricas dentro dos intervalos apresentados na Tabela 6, quando compactados na Energia Intermediária do Mini-Proctor, a curva granulométrica apresentada por este tipo de solo é descontínua. Sua granulometria encontra-se na faixa indicada para bases de pavimentos apresentada na Figura 10:

Figura 10 - Faixa Granulométrica Recomendada para Bases de SAFL.



Fonte: (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

Entretanto, para determinar se a jazida é apropriada à constituição de base de SAFL é indispensável a utilização dos ensaios para a classificação MCT, a fim de determinar uma série de propriedades mecânicas e hidráulicas (VILLIBOR; NOGAMI e CINCERRE, 2001).

2.7.1 Características mecânicas e hidráulicas das bases de SAFL

Villibor; Nogami e Cincerre (2001) salientam que estas bases ao serem compactadas na MEAS_{máx}, da energia modificada, apresentam características resultantes das peculiaridades mineralógicas inerentes de solos lateríticos:

- Elevada capacidade de suporte, podendo chegar a 100%;
- Elevado módulo de resiliência, quase sempre superior a 200 Mpa;
- Baixa expansibilidade pelo contato com a água livre, frequentemente na ordem de 0,1%;
- Elevada coesão, mesmo quando imersas em água;
- Baixos coeficientes de sorção (coeficientes da ordem de 0,1 cm/minutos⁻²), após prévia saturação e baixo coeficiente de permeabilidade (coeficiente k, da ordem de 10⁻⁷ a 10⁻⁸ cm/s, após prévia saturação).

Os custos deste tipo de pavimento, são consideravelmente mais reduzidos, tornando-se uma solução bastante econômica para diferentes trechos tais como, rodovias vicinais, rurais, ruas residenciais entre outras e/ou em locais que teriam que permanecer apenas com revestimento primário, com custos de conservação mais elevado e desconforto para o tráfego (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Os dados gerais dos grupos de solos da Classificação MCT e suas propriedades, estão apresentados no Anexo 1.

Através da tabela de critérios de classificação apresentada no Anexo 2, é possível verificar a aceitação ou não dos resultados encontrados nos ensaios da Metodologia MCT.

2.7.2 Vantagens e desvantagens da Classificação MCT

As vantagens principais da Classificação MCT, segundo Nogami e Villibor (1995) são descritas por como:

- Diferenciação dos solos tropicais, sem as considerações geológicas, geoquímicas, pedológicas, etc.;
- Caracterização para os solos tropicais para finalidade viária;
- Orientação para sondagens e amostragens, levando em consideração que o solo pertencente a um determinado grupo MCT;
- Baseada em ensaios de laboratoriais que representam situações a que os solos são submetidos quando utilizados em obras viárias;
- Custo mais baixo do que os tradicionais, cerca de 30%.

Vale destacar, que uma das principais desvantagens da Classificação MCT, são descritas como:

- Bastante trabalhosa se comparada às metodologias tradicionais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

A metodologia desta pesquisa foi dividida em várias etapas de trabalho:

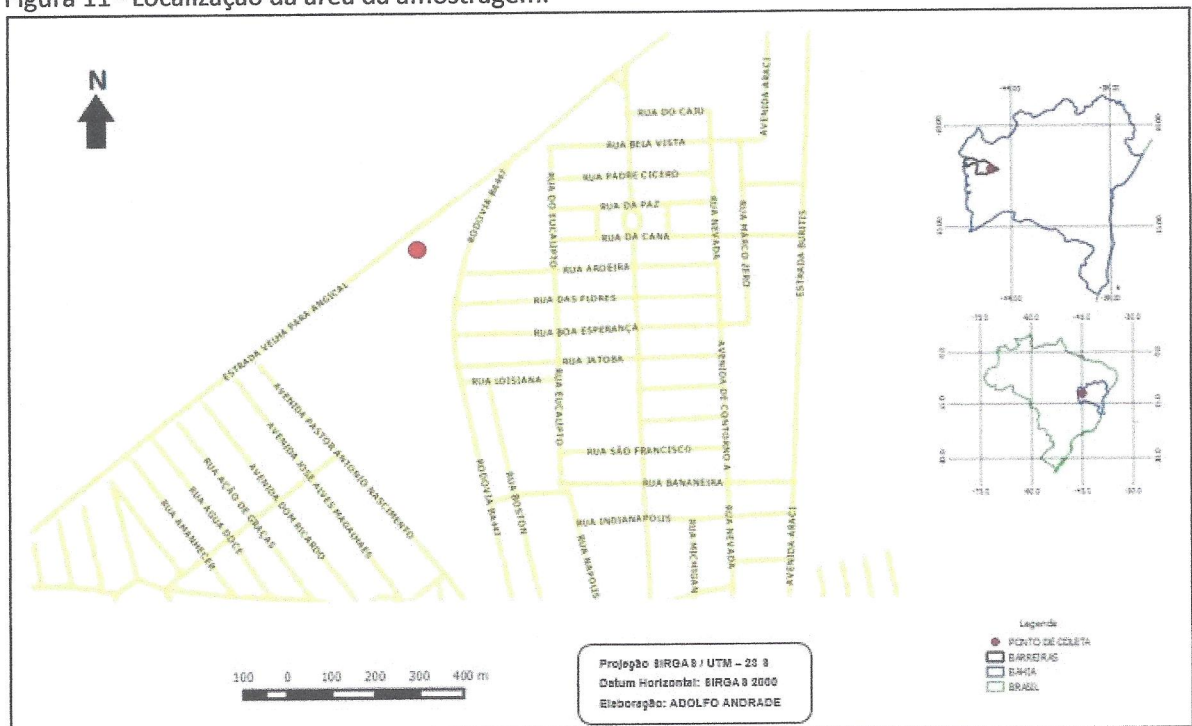
- Revisão bibliográfica e escolha do local para coleta de amostras;
- Realização de ensaios tradicionais de caracterização e compactação dos solos e execução de ensaios de classificação MCT;
- Análise de resultados e considerações finais.

3.2 Localização da área e caracterização do local de coleta da amostra

A região selecionada, foi escolhida como provável jazida de SAFL, analisada antecipadamente através da observação de mapa pedológico, da homogeneidade da cor, da textura e aspectos semelhantes ao solo laterítico, localizada na Fazenda Aracy Porto, no bairro Buritis, no Município de Barreiras-BA.

A área de amostragem, encontra-se na bacia hidrográfica do rio Grande com uma extensão de 8.272 Km². A localização da coleta da amostra está apresentada nas Figura 11 e Figura 12:

Figura 11 - Localização da área da amostragem.



Para a coleta da amostra de solo foram extraídos aproximadamente 80 Kg de material solto, o material foi retirado a uma profundidade de aproximadamente 1,5 m, pertencentes ao horizonte B, como apresentada a seguir na Figura 12:

Figura 12 - Local da extração da amostra.



Fonte: Autora.

O solo coletado foi extraído manualmente, no dia 14/07/2017 fora do período chuvoso, com o uso de pá e picareta, tendo o cuidado com a separação da matéria orgânica. A amostra foi identificada e disposta em saco próprio para a coleta de material, observando os cuidados necessários para evitar possível contaminação.

A amostra coletada, segundo a tabela de cor Munssel, é da cor vermelho (10R 8/5), onde pelo mapa pedológico da Figura 3, podemos observar que o solo foi determinado como um Latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd), localizado em uma fronteira com o Argissolo vermelho-amarelo distrófico eutrófico (PVAe).

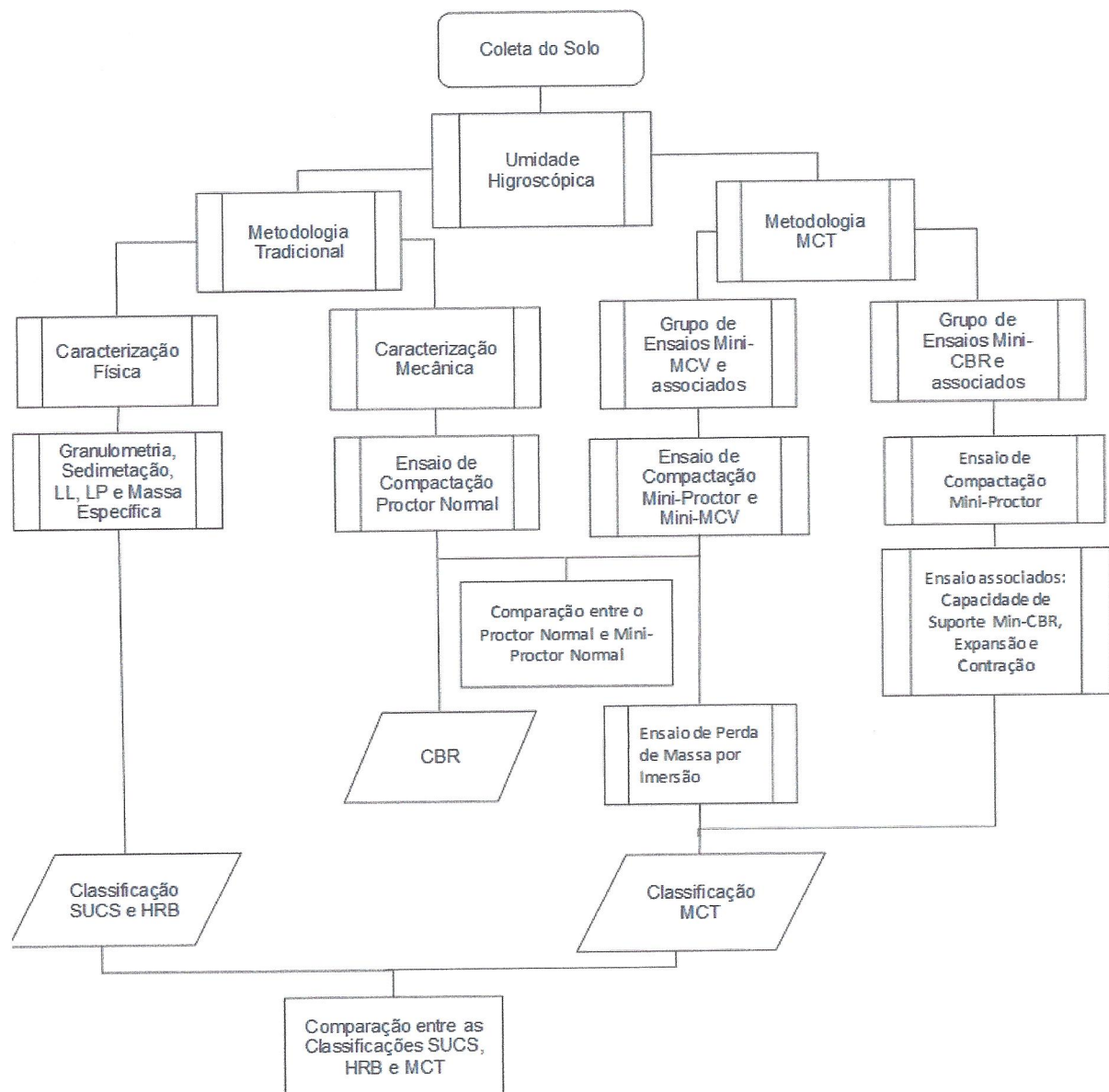
3.3 Clima e precipitações

Os índices pluviométricos anuais da região oeste da Bahia variam de 800 a 1100 mm, onde a umidade relativa do ar, apresentando os maiores índices de novembro a maio, sendo março o mês que apresenta o maior índice médio (79,9%), enquanto o mais seco é setembro, com 47,1% (BARBOSA; TARSO e CASTRO, 2016).

3.4 Programa experimental

Os procedimentos realizados para este estudo estão apresentados na Figura 13, apresentando a sequência de ensaios.

Figura 13 - Programa Experimental de Ensaio.



Fonte: Autora.

3.5 Ensaios laboratoriais

Em pavimentação, os ensaios de caracterização são uma ferramenta de suma importância na escolha dos solos a constituírem os pavimentos projetados.

São descritos neste tópico, os métodos empregados na caracterização geotécnica convencional e a utilização de classificação adequada para os solos tropicais, com finalidades viárias.

3.5.1 Caracterização Geotécnica Convencional

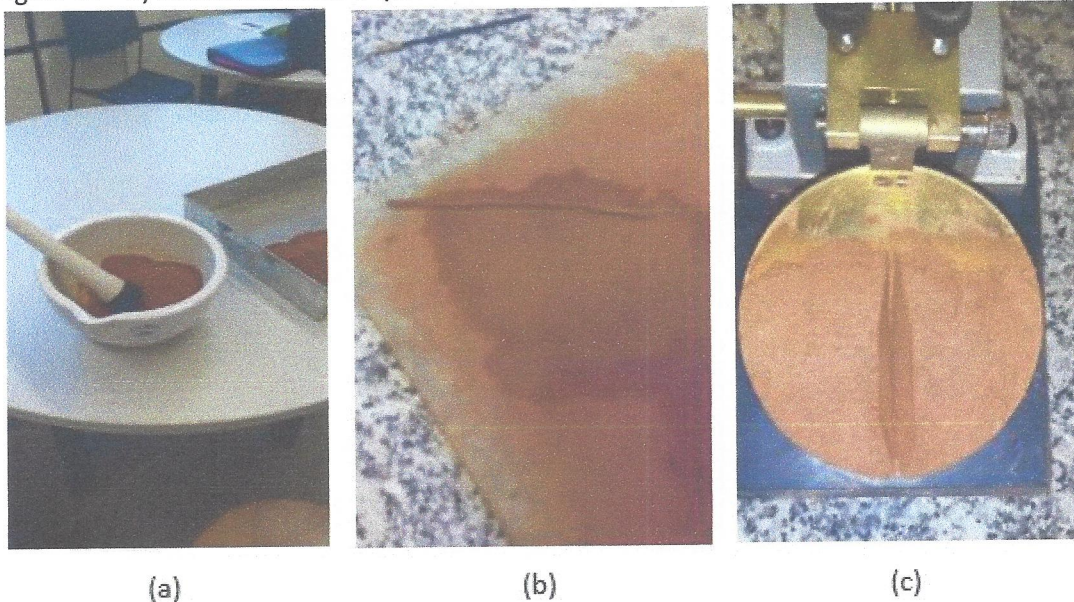
Para os ensaios de caracterização geotécnica, foi empregada a metodologia e especificações seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A NBR 6457/1986 - Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização apresenta as diretrizes necessárias para a preparação das amostras de solo, seguindo a realização dos ensaios tradicionais de caracterização. Utilizando amostras deformadas, foi empregada a normativa para a determinação de:

- Umidade Natural do Solo (w_n);
- Umidade Higroscópica (w_0) – NBR6457/1986;
- Peso Específico Natural (γ_0);
- Densidade Real dos Grãos (G) – NBR 6508/1984;
- Granulometria (com e sem o uso do defloculante) - NBR 7181/1984;
- Limite de Liquidez (LL) – NBR 6459/1984;
- Limite de Plasticidade (LP) - NBR 7180/1984;
- Índice de Plasticidade (IP);
- Peso Específico Aparente Seco (γ_d);
- Índice de Vazios (e);
- Porosidade (η);
- Grau de Saturação (S_r);
- Compactação Proctor Normal – NBR 7182/1986;
- Capacidade Suporte CBR – NBR 9895/1987.

O material coletado foi exposto ao ar para secagem e retirada a umidade higroscópica, destorroado (Figura 14a) e passado na peneira 10, para que a realização dos ensaios de LP (Figura 14b), LL (Figura 14c).

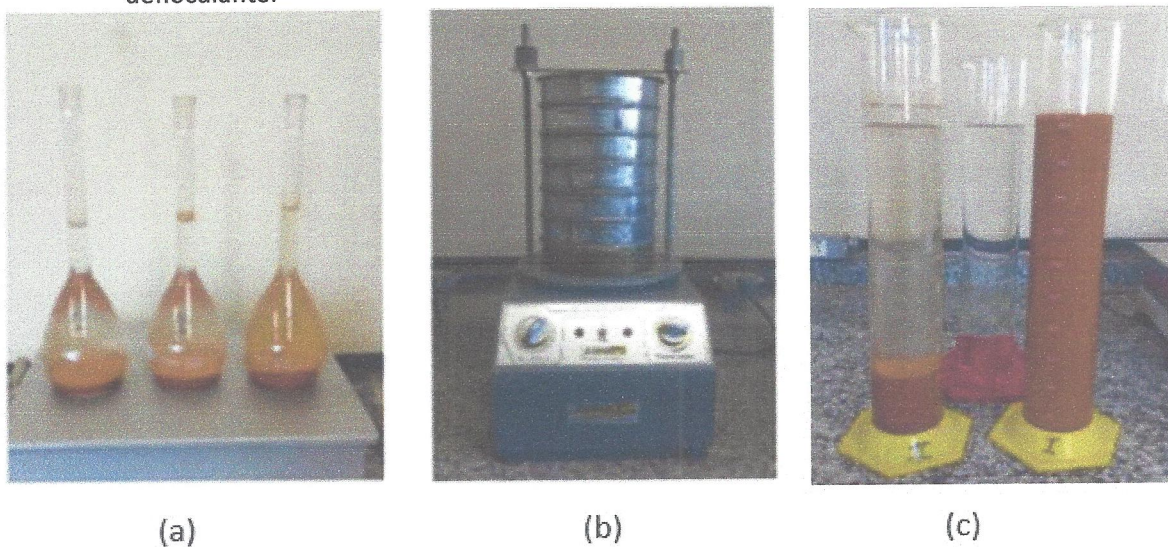
Figura 14 - a) Destorroamento e quartearamento; b) Limite de Plasticidade; c) Limite de liquidez.



Fonte: Autora.

A Figura 15 apresenta o ensaio de Massa específica (Figura 15a), o ensaio de granulometria (Figura 15b) e sedimentação (Figura 15c):

Figura 15 - a) Massa específica; b) Peneiramento e c) Granulometria e Sedimentação com e sem defloculante.



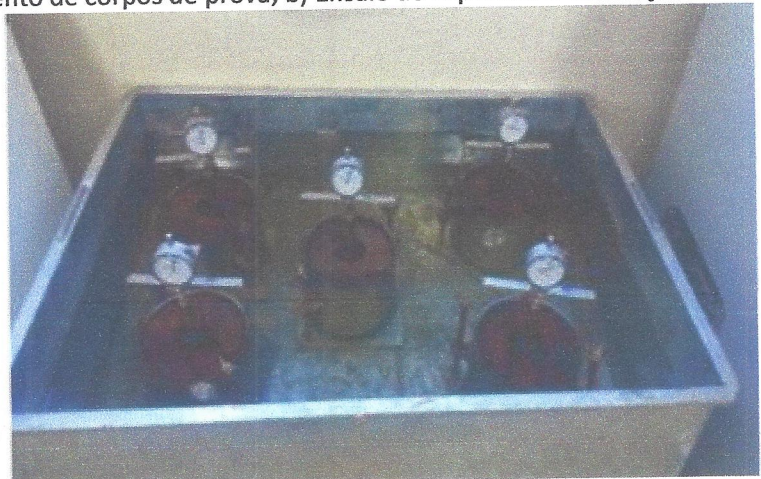
Fonte: Autora.

Os ensaios de compactação foram realizados no 4º Batalhão de Engenharia de Construção (4º BEC) e no Laboratório da Geotecnia da UFOB, uma parte dos equipamentos estão apresentadas na Figura 16, utilizou-se a energia do Proctor Normal, onde os corpos de provas foram imersos seguindo a NBR 7182/86 - Solo - Ensaio de Compactação. (Figura 16b) e realizado o rompimento para a determinação de CBR (Figura 16a).

Figura 16 - a) Aparelho para rompimento de corpos de prova; b) Ensaio de Expansão e Contração.



(a)



(b)

Fonte: Autora.

3.5.2 Caracterização pela metodologia MCT

Na sequência, realizaram-se os ensaios da metodologia MCT para a amostra coletada, visando atender as exigências da proposta prescrita por Villibor e Nogami (2009).

A execução de ensaios da classificação MCT, que correspondem ao M1, M5, M8 e M9, foram realizadas no Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal da Bahia – UFBA.

Para a execução dos ensaios de M2 e M3, foram realizados na Superintendência de Infraestrutura de Transportes da Bahia (SIT), antigo Departamento de Infraestrutura de Transportes da Bahia (DERBA).

3.5.2.1 Ensaio de Compactação Mini-MCV – M5

Para a caracterização do material foram realizados os ensaios, de acordo com as normativas DNER-CLA259/96 e DNER-ME-258/94 – Solos compactados em equipamentos miniatura – Mini-MCV, o equipamento utilizado para o ensaio é representado na Figura 17.

Figura 17 - Aparelho para Ensaio de Mini-MCV.



Fonte: Autora.

3.5.2.2 Ensaio de Perda de Massa por Imersão (Pi) – M8

Este ensaio, compõe a metodologia MCT e é normalizado no método de ensaio DNER-ME-256/94. O corpo de prova é parcialmente extraído do molde, até 10 mm e submerso em água horizontalmente, como mostrado na Figura 18, determinando-se a massa seca desprendida.

Figura 18 - Ensaio de Perda de Massa por Imersão.



Fonte: Autora.

3.5.2.3 Ensaio de Compactação Mini-Proctor – M1

Foram realizados dois ensaios que seguiram as recomendações do DNER-ME 254/94.

Foi utilizada a energia equivalente ao Proctor Normal para a realização do ensaio de Mini-MCV e para encontrar a curva de compactação de acordo com a energia empregada, que permitiu a determinação da H_o e a $MEAS_{m\acute{a}x}$ e assim, realizar um comparativo com a curva encontrada no ensaio de Proctor Normal da metodologia tradicional.

Como o ensaio de Mini-CBR é executado com a energia intermediária, foi realizado este mesmo ensaio, para determinação da H_o e a $MEAS_{m\acute{a}x}$ e com esses valores realizar os ensaios M2 e M3.

Os corpos de prova extraídos no ensaio de Mini-Proctor Normal estão apresentados na Figura 19:

Figura 19 - Corpos de Prova do Ensaio de Compactação Mini-Proctor.



Fonte: Autora.

3.5.2.4 Ensaio Mini-CBR – M2

Alguns corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à penetração enquanto outros, foram imersos em água, para determinação da expansão e posterior determinação da resistência após imersão (CBR imerso). O ensaio foi realizado seguindo o método de ensaio DNER-ME-254/94.

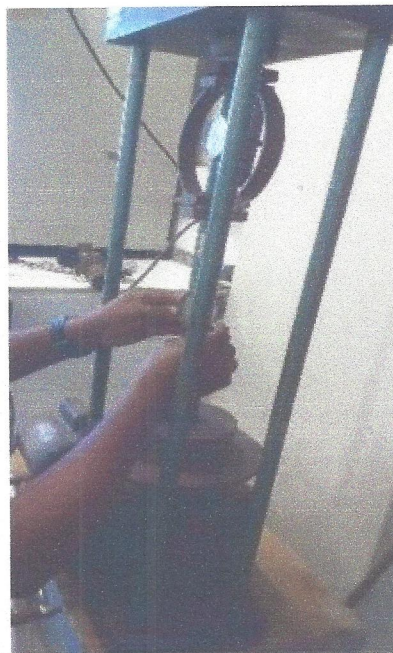
Para a realização do ensaio de Mini-CBR foi realizado o Mini-Proctor na energia intermediária, para a obtenção da H_o que será utilizada para encontrar os valores necessários nas curvas de mini-CBR e outros parâmetros. Este ensaio gerou curvas Carga-Penetração, onde o índice de suporte Mini-CBR pode ser obtido por dois métodos de cálculo, o método de

correlações e o método de cargas padrão. A Figura 20, apresenta o equipamento de rompimento de corpos de prova.

Figura 20 – a) Equipamento para Ensaio de Mini-CBR; b) Prensa para rompimento de corpos de prova Mini-CBR.



(a)



(b)

Fonte: Autora.

3.5.2.5 Ensaio de expansão – M2

Este ensaio foi realizado seguindo a metodologia da DNER-ME-254/94, onde foram utilizados 5 corpos de prova com imersão. A Figura 21, apresenta os cilindros após a imersão.

Figura 21 - Cilindros após imersão.



Fonte: Autora.

3.5.2.6 Ensaio de Contração por secagem – M3

Na (Figura 22) é apresentada o ensaio de contração, onde é possível medir a leitura inicial (L_i) dos corpos de prova não imersos em água, submetidos à penetração e retirados do molde, seguindo da leitura final (L_f), que é realizada, após 14 horas, de modo que os corpos de prova apresentem um valor sem variação.

Figura 22 - Ensaio de Contração.



Fonte: Própria (2017).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de Caracterização Geotécnica

Em pavimentação, os ensaios de caracterização são uma ferramenta de suma importância na escolha dos solos por constituírem os pavimentos projetados.

São descritos neste tópico os resultados encontrados para a metodologia empregada na caracterização geotécnica convencional e a utilização de classificação adequada para os solos tropicais, com finalidades viárias.

4.2 Gráficos de Granulometria com e sem Defloculante

A análise granulométrica foi realizada com e sem o uso de defloculante hexametáfosfato de sódio. Seus resultados para a porcentagem retida estão apresentados na Tabela 7. Ressaltando que a divisão adotada para as frações constituintes do solo foram retiradas da NBR 6502/95 - Rochas e solos.

Tabela 7 - Granulometria com e sem defloculante.

Material	Frações Granulométricas sem Defloculante (%)	Frações Granulométricas com Defloculante (%)
Pedregulho Fino	0,1	0,1
Areia Grossa	0,4	0,7
Areia Média	20,3	20,8
Areia Fina	50,0	41,0
Silte	28,8	7,6
Argila	0,5	29,9

Fonte: Autora.

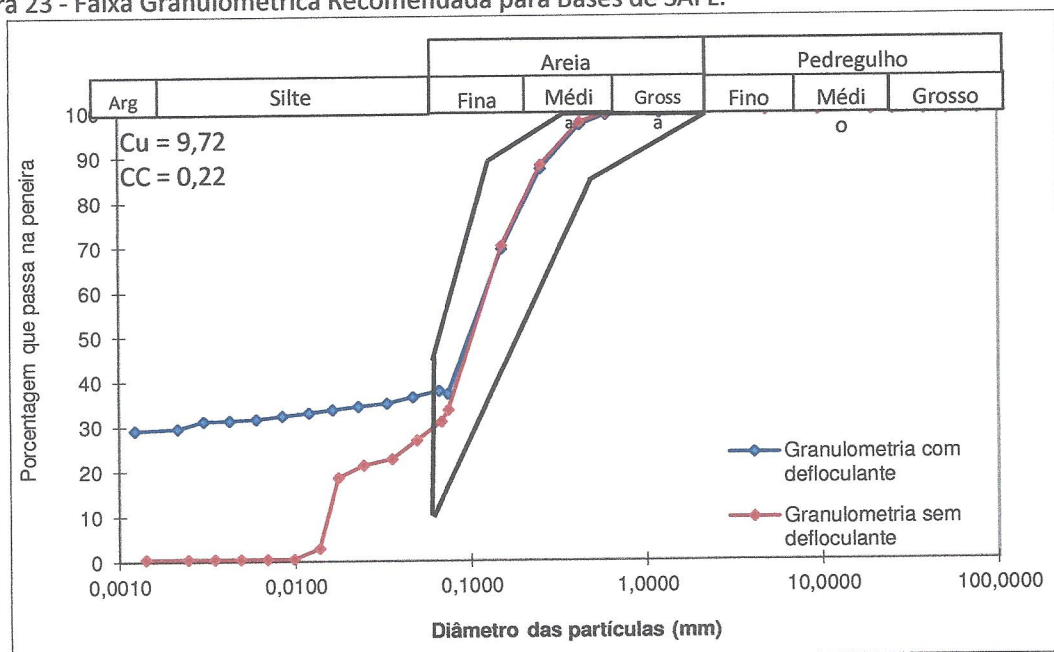
A amostra de solo estudada apresentou valores menores que 10 % na peneira de 2,00 mm e maiores que 50% na peneira de 0,075, valores de acordo com Villibor e Nogami (2009), são característicos do SAFL. Além disso, a areia é predominantemente fina e média. Ressaltando que a curva granulométrica sem defloculante obteve um coeficiente de uniformidade (cu) igual a 9,72, onde o valor determinado encontra-se dentro do intervalo $5 < cu < 15$, sendo considerado com uma uniformidade média. Para o coeficiente de curvatura

(cc), o valor encontrado foi de 0,22, portanto $cc < 1$, determinando-se como um solo mal graduado.

O solo apresentou no ensaio de granulometria com defloculante, uma menor fração de areia fina que no ensaio sem defloculante. Observou-se que os ensaios apresentaram diferentes frações de argila e silte, onde no ensaio com defloculante o valor retido de silte foi de 7,6% e sem defloculante apresentou 28,8%. Esta mesma diferença apresentou-se para a argila que ficou retido um percentual bem menor 0,5% do que no ensaio com defloculante, que foi de 29,9%, comportamento típico de solo laterítico, onde as partículas de argila se organizam de forma de agregados de areia, finalizando uma curva típica de areia quando o ensaio de sedimentação é realizado sem defloculante. No entanto, com o uso do defloculante essa argila é desagregada, abrindo a faixa de materiais finos da curva granulométrica e o material apresenta-se argiloso.

Para o conceito tecnológico do SAFL, a curva obtida através do peneiramento simples, demonstra que a amostra estudada está totalmente inserida na faixa granulométrica especificada para o uso de bases de pavimentos econômicos, como apresentado na Figura 23:

Figura 23 - Faixa Granulométrica Recomendada para Bases de SAFL.



Fonte: Autora.

4.2.1 Limites de Liquidez e Plasticidade

Os resultados dos ensaios de limites de Atterberg estão apresentados na Tabela 8, exibindo os valores dos limites de liquidez (NBR 6459/84), limite de plasticidade (NBR 7180/84) e índice de plasticidade e de Massa Específica dos Sólidos.

A determinação da massa específica real dos grãos foi realizada pelo método do picnômetro.

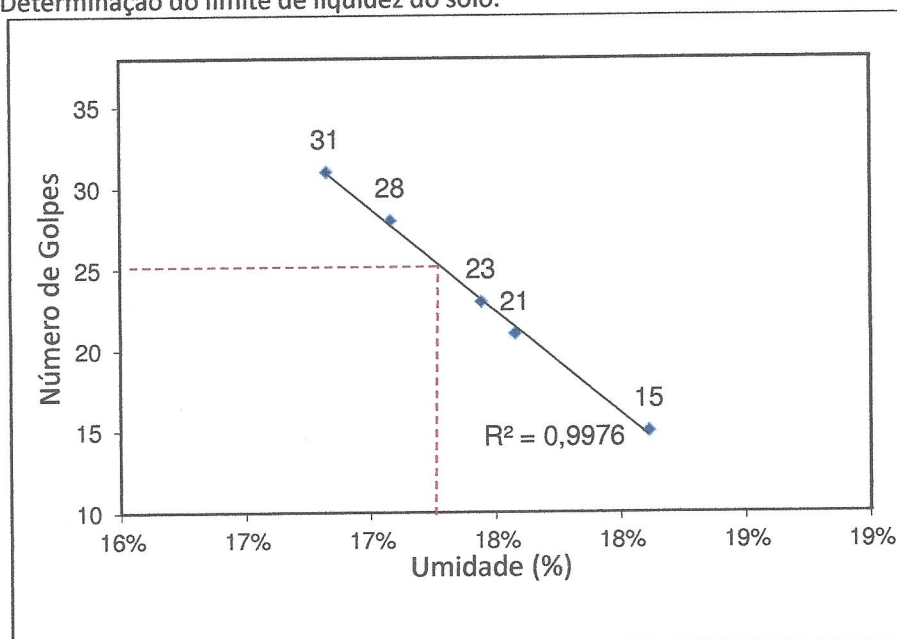
Tabela 8 - Limites de Atterberg e de massa específica dos sólidos.

ENSAIOS	SOLO
Limite de Liquidez (%)	17,41
Limite de Plasticidade (%)	13,28
Índice de Plasticidade (%)	4,13
Massa Específica real dos grãos (g/cm ³)	2,51

Fonte: Autora.

A Figura 24 apresenta o gráfico do ensaio de limite de liquidez correspondente à umidade 17,41 %, para a qual foram necessários 25 golpes para fechar a ranhura do solo.

Figura 24 - Determinação do limite de liquidez do solo.



Fonte: Autora.

A presença de argila no solo, confirmada no ensaio de granulometria e sedimentação com a utilização do defloculante, pode permitir que o material ao ser trabalhado com alguma umidade, não esfarelar, determinando a realização do ensaio de Limite de plasticidade. A argila presente no solo laterítico fornece uma certa cimentação quando manuseada, podendo perceber a presença de plasticidade no material.

4.2.2 Classificação Tradicional

Com os resultados obtidos para as propriedades-índices, o solo estudado foi classificado segundo o SUCS (Tabela 9) como areia siltosa ou areia argilosa (SM-SC), este resultado foi retirado do quadro apresentado no Anexo D. Para o sistema HBR-AASHTO, o solo se enquadra como solo siltoso (A-4), como apresentado no Anexo C, sendo considerados pela mesma, como de comportamento não adequado para a utilização como subleito, não especificando outra camada do pavimento, o que descarta a possibilidade de utilizá-lo como base de pavimento. A incoerência no caso da classificação HRB-AASHTO é apresentada pelo fato de uma mesma amostra de solo ter duas classificações distintas A-4 e A-2-4.

Tabela 9 - Classificação SUCS e HRB das amostras.

Material	Frações Granulométricas com Defloculante (%)	Frações Granulométricas sem Defloculante (%)
Classificação SUCS	SC-SM	SC-SM
Classificação HRB	A-4	A-2-4

Fonte: Autora.

De acordo com o comportamento esperado para os diversos grupos da classificação SUCS, podemos observar na Tabela 10, que para ambos os grupos de solo determinados na classificação a qualidade como base de pavimento é “ruim” a “regular a ruim”, descartando a utilização deste tipo de solo para camada de base do pavimento.

Tabela 10 – Comportamento esperado para grupos da classificação SUCS.

Grupo	Compactação	Compressibilidade e Expansão	Drenagem e Permeabilidade	Qualidade como Base	MEASmáx e Ho (%)	CBR (%)
SM	Boa	Pequena	Ruim e Impermeável	Ruim	$\gamma_d > 1,68$ $H_0 < 16$	8 - 30
SC	Boa e Regular	Pequena a Média	Ruim e Impermeável	Regular a Ruim	$\gamma_d > 2,0$ $H_0 < 10$	20-60

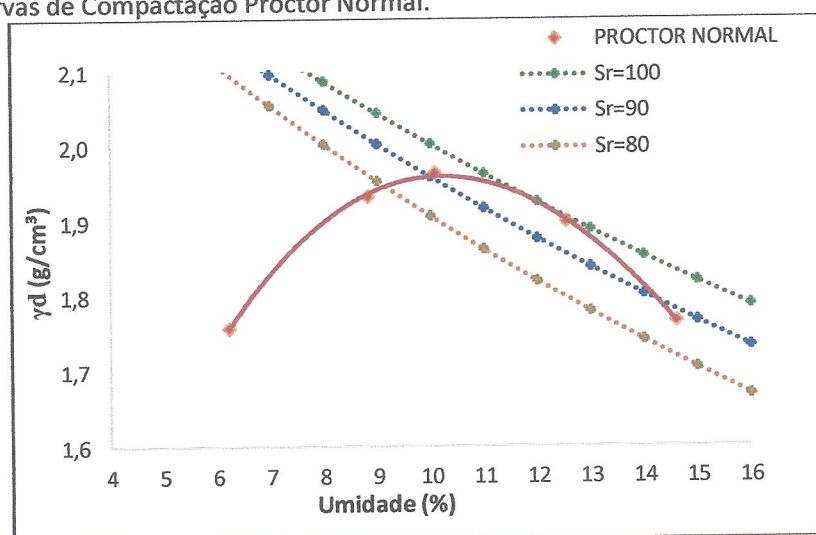
Fonte: Pinto (2006).

Sendo assim, o solo estudado foi classificado pela metodologia tradicional como não adequado para uso em camadas de pavimentos, quando no seu estado natural.

4.2.3 Ensaios de Compactação, Expansão e CBR

A Figura 25 mostra a curva de compactação correspondente à energia de Proctor Normal:

Figura 25 - Curvas de Compactação Proctor Normal.



Fonte: Autora.

De acordo com a representação gráfica, a umidade ótima do solo para o Proctor Normal foi de 10,09 % e a massa específica aparente seca máxima igual a 1,96 g/cm^3 , apresentado também a curva de saturação para 100%, 90% e 80%. Com o valor da massa específica dos

sólidos de 2,51 g/cm³, é possível encontrar o índice de vazios, densidade seca, saturação e a porosidade, como apresentado na Tabela 11:

Tabela 11 - Curvas de Compactação Proctor Normal.

Energia	Índice de Vazios inicial	Sr (%)	Porosidade (η)	MEASmáx (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)
Proctor Normal	0,28	97,70	0,22	1,96	10,09

Fonte: Autora.

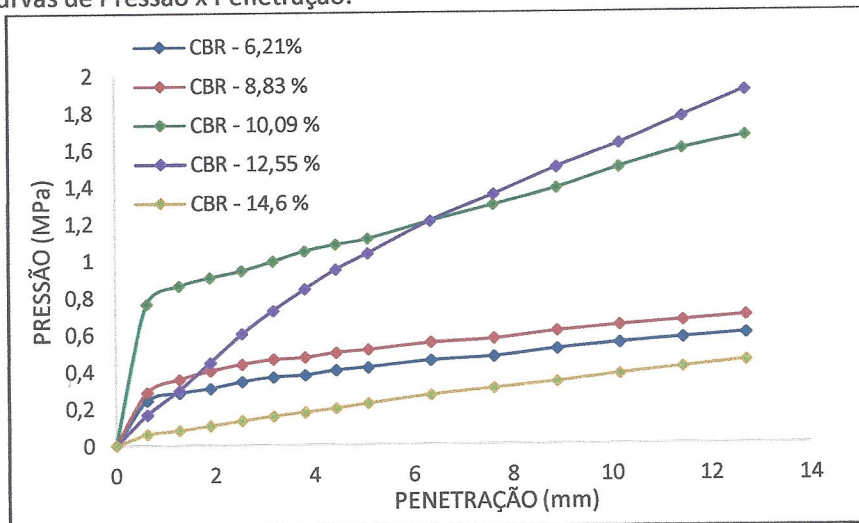
4.2.4 CBR e Expansão

No ensaio de compactação utilizando a Energia do Proctor Normal para a metodologia tradicional, o solo apresenta um CBR de 13,64%, cuja energia está relacionada à camada de subleito, atendendo as especificações para esta camada, que deve ser maior ou igual a 2%. O valor obtido para o CBR nesta energia, não atende as especificações do DNIT para sub-base, por apresentar um valor bem abaixo do recomendado, que deveria ser maior ou igual a 20%. Vale ressaltar, que os valores recomendados para base, apresentada na Tabela 1, deve ser maior ou igual a 60%, não foi apresentada, pois não foi determinado o CBR com a energia intermediária para a metodologia tradicional, referente à camada de base.

No caso da metodologia MCT, o ensaio Mini-Proctor com a energia intermediária está acima do recomendado para solos lateríticos, o valor está acima do recomendado, indicando um excelente solo para bases de pavimentos. Foi encontrado um CBR igual a 46 %, valor maior que o especificado, de 40% e para os valores de expansão o valor também está dentro do permitido, valor igual a 0,2 %, sendo que os valores admissíveis deverão estar abaixo de 0,3%. Comprovando assim, que é necessário utilizar a metodologia recomendada para solos lateríticos para este tipo de solo.

Para os valores de C.B.R. encontrados na Figura 26 exibe a representação gráfica de pressão em função da penetração para os corpos de prova, realizados com a energia do Proctor Normal.

Figura 26 - Curvas de Pressão x Penetração.



Fonte: Autora.

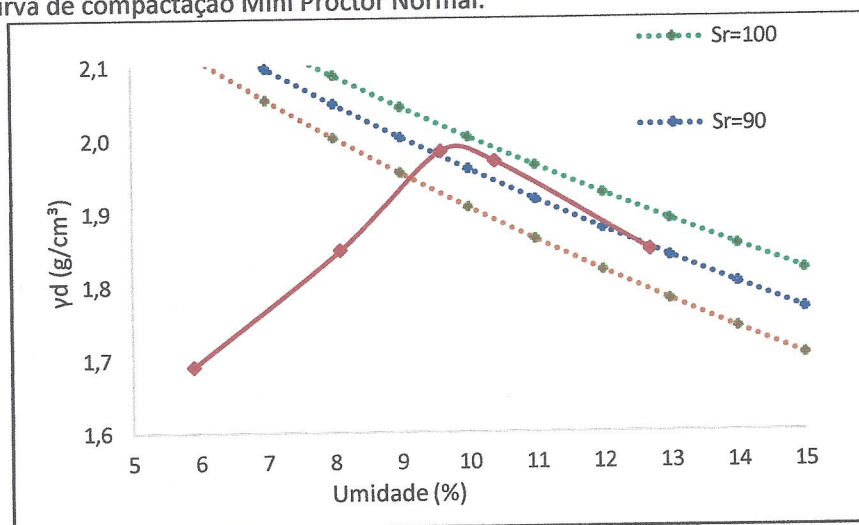
4.3 Caracterização pela Metodologia MCT

Foi realizado inicialmente os ensaios de Classificação MCT compreendidos como M5, M8 e M9 da metodologia. Os ensaios M1, M2 e M3, foram realizados posteriormente à determinação das características lateríticas das amostras, obtidas através dos ensaios de classificação.

4.3.1 Compactação Mini-Proctor (M1)

Este ensaio foi realizado com a energia correspondente ao Proctor Normal. A Figura 27, exibe a curva de compactação realizada para a obtenção da umidade ótima, cujo valor é de 9,6 % e MEAS_{máx} igual a 1,98 g/cm³, que será utilizada para encontrar os valores necessários nas curvas de mini-CBR.

Figura 27 -Curva de compactação Mini Proctor Normal.



Fonte: Autora.

A Tabela 12 apresenta os índices físicos encontrados no ensaio de Mini-Proctor Normal:

Tabela 12 - Resultados dos Índices Físicos do Ensaio de Compactação Mini-Proctor.

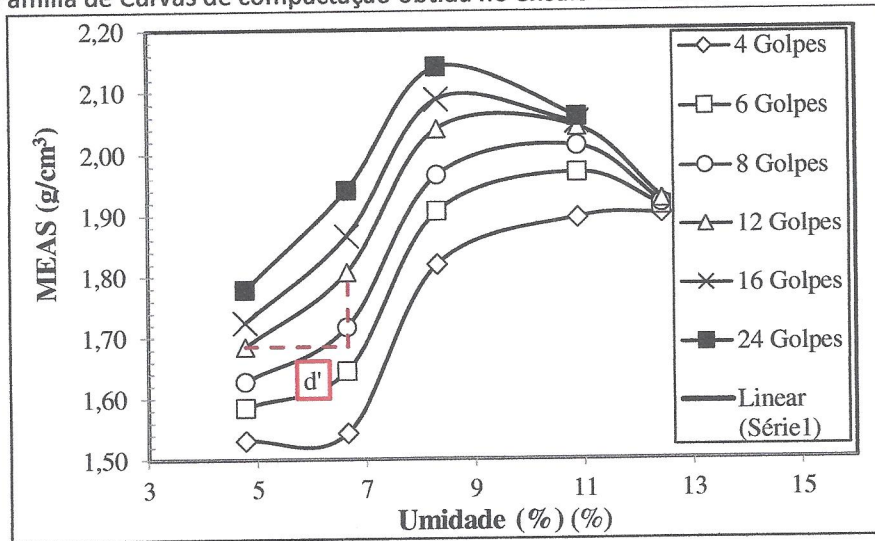
Energia	Índice de Vazios inicial	Sr (%)	Porosidade (η)	MEASmáx (g/cm³)	Umidade Ótima (%)
Proctor Normal	0,27	89,90	0,21	1,99	9,6

Fonte: Autora.

4.3.2 Compactação Mini-MCV (M5)

As curvas de compactação estão apresentadas na Figura 28 através do qual foi obtido o coeficiente d' igual a 65%, que é o coeficiente angular de inclinação do ramo seco. Dados do ensaio de Mini-MCV estão apresentados no Apêndice A.

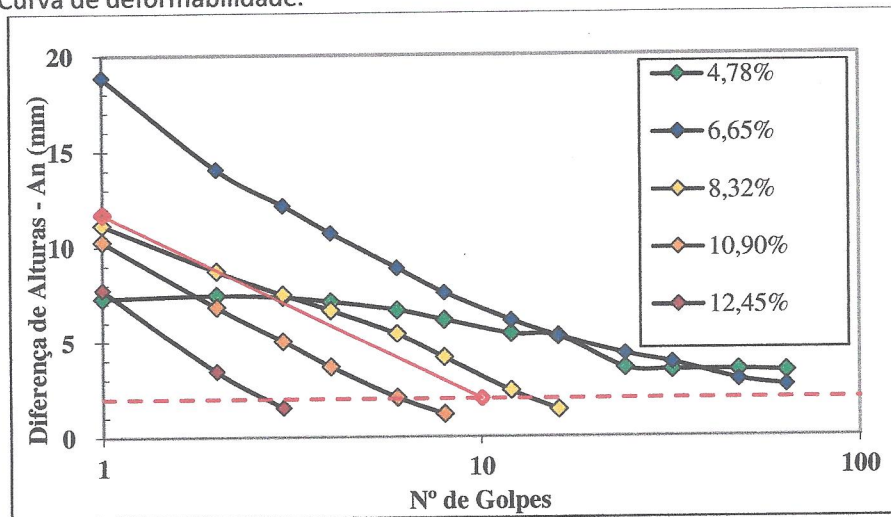
Figura 28 – Família de Curvas de compactação obtida no ensaio Mini-MCV.



Fonte: Autora.

Foram traçadas as curvas de deformabilidade de Mini-MCV, (Figura 29), para determinar o coeficiente c' de 1,08. O coeficiente angular c' pode ser relacionado como a granulometria, por isso a importância deste parâmetro.

Figura 29 - Curva de deformabilidade.

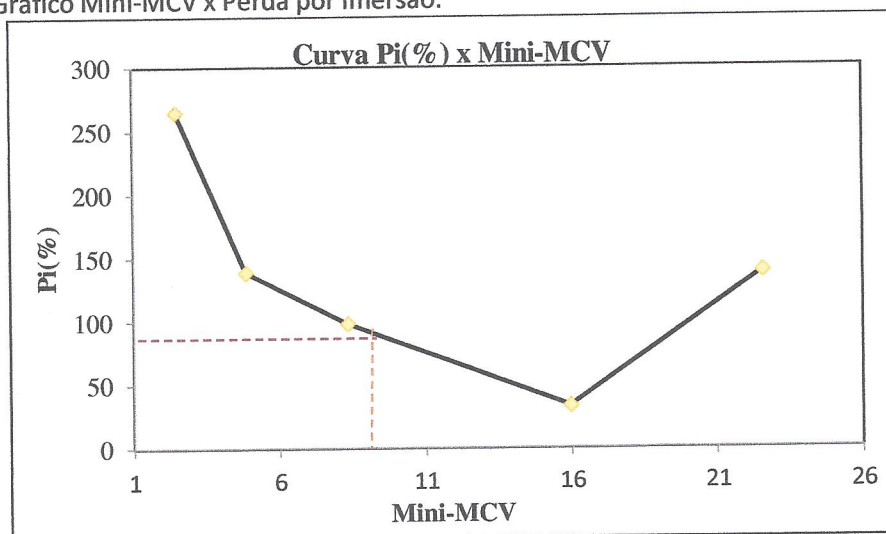


Fonte: Autora.

4.3.3 Perda de massa por imersão (M8)

O valor de P_i foi obtido por interpolação gráfica, foi de 84,1 %. O Gráfico Mini-MCV x Perda por imersão, mostrado na Figura 30, apresenta a curva Mini-MCV x P_i .

Figura 30 - Gráfico Mini-MCV x Perda por imersão.



Fonte: Autora.

4.3.4 Classificação Geotécnica MCT (M9)

Após a finalização dos principais ensaios, foi possível obter o coeficiente e' , calculando a partir de d' e P_i , os coeficientes encontrados, estão apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 - Coeficientes e classificação MCT.

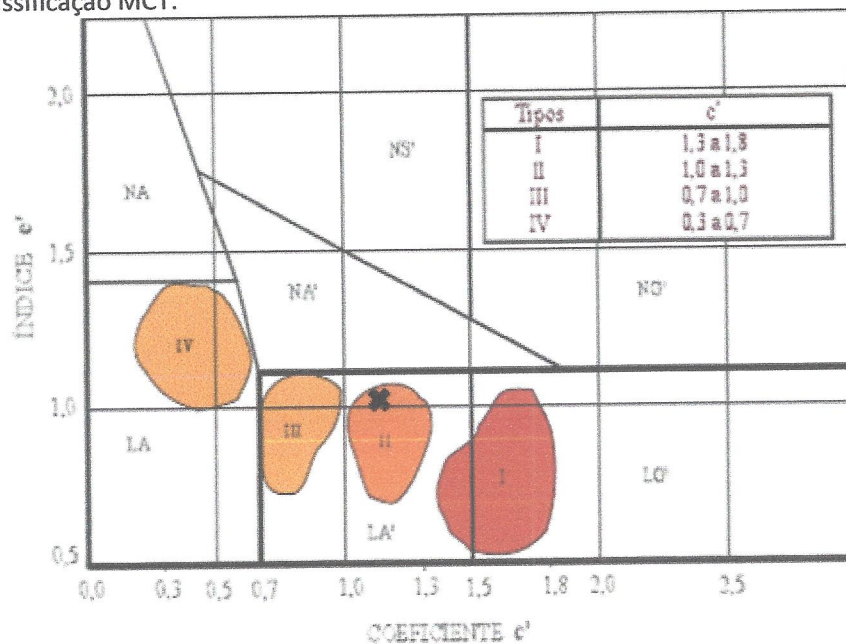
Coeficiente P_i (%)	Coeficiente c'	Coeficiente d'	Coeficiente e'	Classificação MCT
84,1	1,08	65	1,05	LA'

Fonte: Própria (2017).

O gráfico foi elaborado utilizando das variáveis extraídas dos resultados do Mini-MCV, de forma que todas as regiões tivessem a mesma área. A primeira variável usada como abscissa c' , representa a inclinação da curva Mini-MCV para 10 golpes e em ordenadas que estão os valores de e' , onde d' é a inclinação do ramo seco da curva de compactação para uma energia correspondente a 12 golpes (aproximadamente ao Proctor Normal) e P_i é a porcentagem de perda de material por imersão.

O ábaco representa a classificação do solo estudado, como apresentado na Figura 31, onde o solo estudado, cujos valores de c' igual a 1,08 e e' igual a 1,05, a amostra estudada encontra-se na área II, que são considerados os melhores solos para bases de pavimentos, sem problemas construtivos:

Figura 31 - Classificação MCT.



Fonte: Modificado Villibor e Nogami (2009).

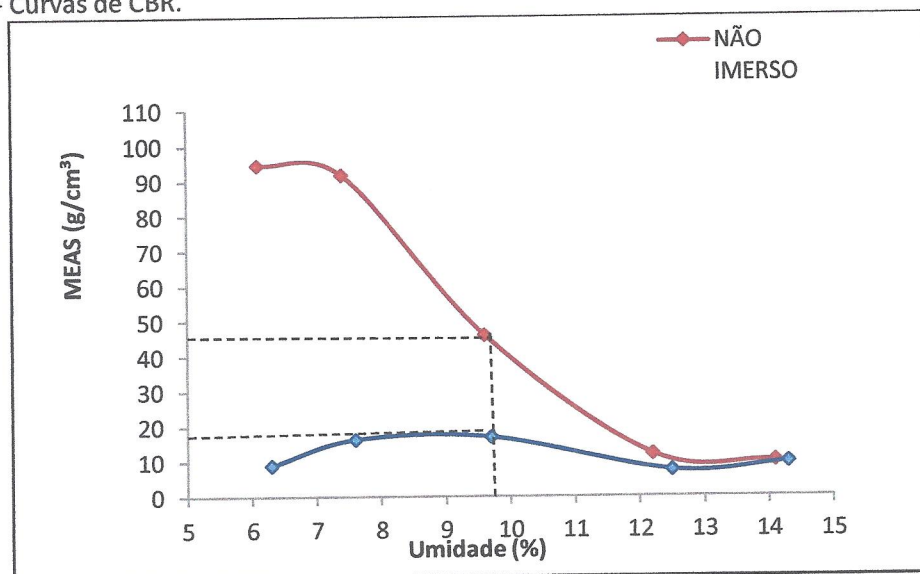
O solo analisado apresenta comportamento laterítico, e pode ser utilizado em bases de SAFL segundo a MCT, com c' de 1,0 a 1,3, este tipo de solos são os melhores para técnica construtiva para bases em SAFL, demonstrando qualidade para o uso de bases de pavimentos de baixo custo.

4.3.5 Mini-CBR e Expansão (M2)

O ensaio de mini-Proctor foi realizado na energia intermediária, para a obtenção da umidade ótima para encontrar os valores necessários nas curvas de mini-CBR e outros parâmetros.

As curvas de Mini-CBR imerso e não imerso, realizados na energia intermediária, apresentados na Figura 32, apresentando um CBR de 46% para o ensaio de Mini-CBR não imerso, resultado acima do critério de aceitação de material para base. Os dados do ensaio de Mini-CBR estão demonstrados no Apêndice B.

Figura 32 - Curvas de CBR.



Fonte: Autora.

A Tabela 14 apresenta os valores encontrados no ensaio de Mini-CBR com imersão e sem imersão, estes valores foram obtidos na umidade ótima de compactação, utilizando a energia do Proctor intermediário.

Tabela 14 - Mini-CBR e Expansão das amostras.

Mini-CBR com Imersão (%)	Mini-CBR sem Imersão (%)	RIS (%)	PSI (%)	Expansão (%)
17	46	36,96	63,04	0,2

Fonte: Autora.

No que se refere aos parâmetros RIS e PIS, o solo apresentou valores fora das especificações, porém atende a maioria dos requisitos necessários para o uso do SAFL.

4.3.6 Contração (M3)

A Tabela 15 exibe os resultados obtidos para a contração de acordo a umidade ótima de cada corpo de prova, apresentando valores de contração entre 0,1 e 0,5%, o que satisfaz a condição apresentada por Villibor e Nogami. Sugerindo uma coesão satisfatória do solo, o que

indica uma interface de base e revestimento, resistente que não se soltará com os esforços provocados pelo tráfego.

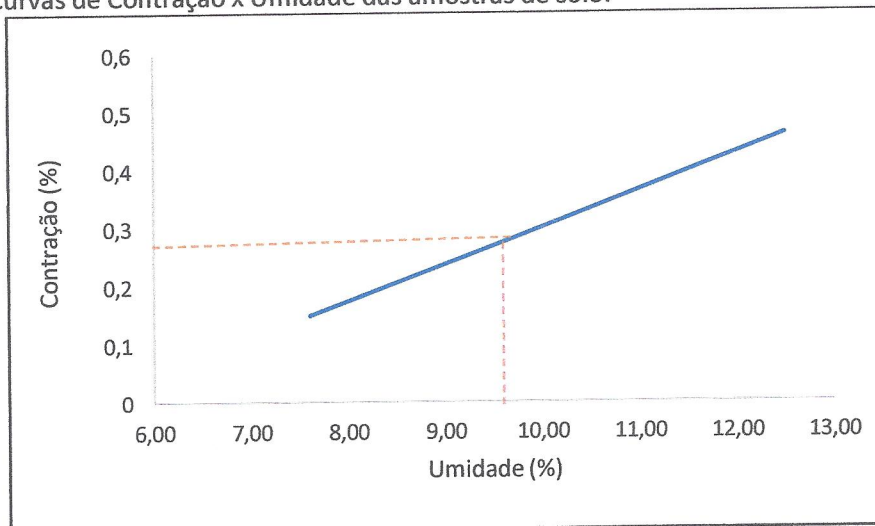
Tabela 15 - Contração das amostras.

Umidade	Contração
7,60	0,15
9,70	0,28
12,50	0,46
14,30	0,00

Fonte: Autora.

A Figura 33 apresenta a reta obtida no ensaio de contração, de acordo com a umidade de cada corpo de prova utilizado. Ressaltamos que o corpo de prova de menor umidade do ramo seco, foi descartado e o corpo de prova de maior umidade do ramo úmido apresentou contração igual a zero:

Figura 33 - Curvas de Contração x Umidade das amostras de solo.



Fonte: Autora.

4.4 Verificação para o Critério de Aceitação

Para a verificação dos critérios de aceitação para o uso de SAFL em base, dentro dos intervalos fornecidos por Villibor e Nogami (2009), comparando com os resultados obtidos na

amostra coletada. A Tabela 16 exibe os dados encontrados nos ensaios da Metodologia MCT e apresenta uma comparação aos critérios de aceitação para o uso de base.

Tabela 16 - Verificação dos critérios de aceitação.

Propriedades Mecânicas e Hídricas	Intervalos Admissíveis	Amostra
Mini- CBR (%)	≥ 40	46
Expansão sem Sobrecarga (%)	$\leq 0,3$	0,2
Relação RIS (%)	≥ 50	36,96
Relação PSI (%)	≤ 50	63,04
Contração Axial (%)	0,1 a 0,5	0,34

Fonte: Modificado Villibor e Nogami (2009).

De acordo com os dados analisados, a amostra em estudo, possui valores admissíveis dentro dos critérios apresentados pela Metodologia MCT, não atendo os valores de RIS e PSI.

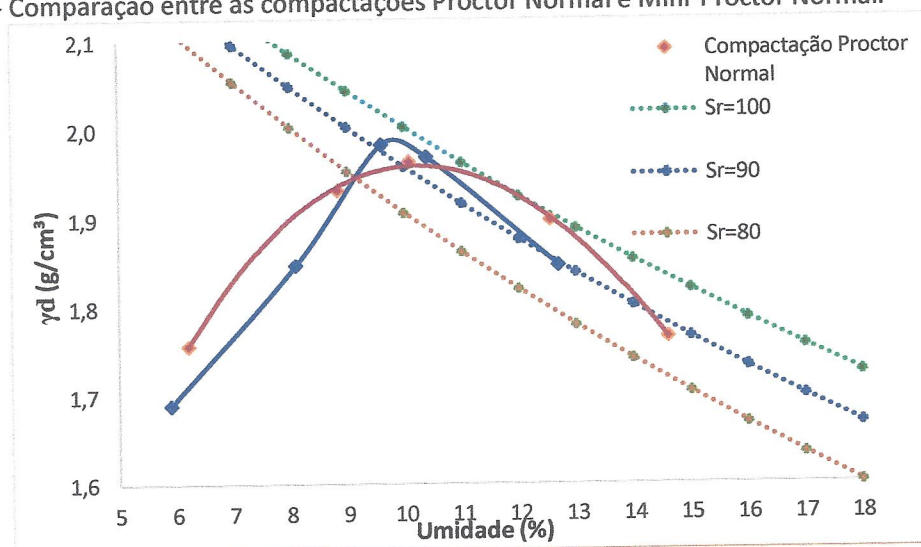
O solo apresentou um Mini-CBR maior que 40%, contração igual a 0,34% que está dentro do intervalo admissível, porém o RIS é menor que 50%, PIS é maior que 50%. Pode-se verificar a aceitação dos resultados encontrados nos ensaios.

4.5 Comparação entre os resultados encontrados nas Metodologias tradicional e MCT

4.5.1 Compactação com a Energia Normal

A Figura 34 apresenta as duas curvas de compactação realizadas pelos dois métodos mostrados em itens anteriores. Analisando-a verifica-se que a densidade seca máxima e a umidade ótima do solo obtida pelas duas curvas não diferem muito, para o caso da umidade a variação do valor é de 0,5% e para a densidade seca máxima a diferença é de 0,019 g/cm³, aspecto que permite concluir que para os solos lateríticos a compactação realizada pelos métodos tradicional e mini-compactação oferecem resultados similares, sendo este último método mais rápido e menos trabalhoso.

Figura 34 - Comparação entre as compactações Proctor Normal e Mini-Proctor Normal.



Fonte: Autora.

4.5.2 Índices Físicos

Para a comparação das metodologias empregadas, a Tabela 17 exhibe os índices físicos encontrados para os ensaios de compactação de Proctor Normal e Mini-Proctor Normal:

Tabela 17 - Comparação entre os Índices Físicos.

Energia	Índice de Vazios inicial	Sr (%)	Porosidade (η)	MEASmáx (g/cm³)	Umidade Ótima (%)
Proctor Normal	0,28	97,70	0,22	1,96	10,09
Mini-Proctor Normal	0,27	89,90	0,21	1,99	9,60

Fonte: Autora.

Os índices físicos encontrados em ambos ensaios, apresentam-se bastante próximos, o que nos permite concluir que, a compactação em cilindros reduzidos apresenta resultados mais otimistas e coerentes para o SAFL.

4.5.3 Classificação do solo

Para um comparativo entre as classificações do solo estudado, a Tabela 18 apresenta as classificações tradicionais utilizadas para a determinação do solo e qualidade do material

como base, enquanto que a classificação MCT apresenta o solo como uma excelente escolha para base de pavimentos.

Tabela 18 - Comparação entre as Classificações.

Material	Frações	Frações	Qualidade como Base
	Granulométricas com Defloculante (%)	Granulométricas sem Defloculante (%)	
Classificação SUCS	SC-SM	SC-SM	Ruim/Regular a Ruim
Classificação HRB	A-4	A-2-4	Sofrível a mau
Classificação MCT	LA'	LA'	Excelente

Fonte: Autora.

Ressaltando que para a classificação HRB apresenta uma contradição relacionada à um mesmo solo, porém foi levado em consideração o ensaio de granulometria com defloculante, cuja classificação foi A-4. O que nos leva a um solo classificado apenas para subleito, determinado pela HRB como “sofrível a mau” para subleito.

Este comparativo reforça a incoerência da metodologia tradicional empregada para solos de clima tropical, comprovando de que quando devidamente compactados, apresenta baixos valores de expansão e valores altos de CBR, sendo ótimos materiais para bases.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função da grande necessidade de redução de custos na construção e manutenção de obras rodoviárias, o uso de materiais alternativos em bases e sub-bases de pavimentos deve ser incentivado. Entre os materiais alternativos em abundância em nosso país, estão os solos tropicais. Sabe-se que o solo de comportamento laterítico, quando devidamente compactado, apresenta CBR relativamente alto e baixa expansão.

Através da diferença entre os ensaios de granulometria com defloculante e sem defloculante, observou-se o comportamento laterítico do solo, o que reforça a necessidade de uma classificação mais adequada para o solo laterítico.

Segundo o SUCS a amostra coletada são SM-SC e de acordo com a Classificação HRB, a amostra pertence ao A-4 para o ensaio de granulometria com defloculante, classificada como “sofrível a mau” para subleito, o que podemos descartar a utilização deste solo para a camada de base do pavimento.

O comportamento laterítico é confirmado pela Classificação MCT. Os ensaios pela Metodologia MCT possibilitam caracterizar o solo com capacidade de suporte elevada, baixa expansão, baixa contração por secagem, atendendo boa parte dos requisitos para uso como base de pavimentos em solo arenoso fino laterítico. De acordo com o ábaco da classificação o solo estudado encontra-se na área II, que apresenta excelente execução em bases de pavimentos. O SAFL possui excelente capacidade de receber compactação, baixa contração por secagem resultando em placas de dimensões aproximadamente 50 x 50 cm na base, excelente receptividade à imprimação, com boa aderência da camada de rolamento.

A partir da comparação entre os sistemas de classificação SUCS, HRB e MCT e dos resultados obtidos, conclui-se que o método que se apresenta de forma mais eficiente, mesmo com certa dificuldade e necessidade de tempo para aplicação da metodologia, é a Classificação MCT, visto que é o único sistema que classifica solos de clima tropical e retrata de forma real o comportamento dos solos em campo.

Como sugestões para próximos Trabalhos futuros, podem-se sugerir:

- Ampliar a base de solos estudados, com a inclusão de novas jazidas e com a extensão do estudo para argilas lateríticas;

- Realizar um estudo de viabilidade econômica, comparando o custo de estruturas com a base em SAFL, com estruturas baseadas em soluções convencionais para a região;
- Ampliar o estudo para sub-bases em SAFL, utilizando o solo da região Oeste da Bahia;
- Ampliar o estudo pra a utilização de SLAD E ALA.

6 REFERÊNCIAS

- ARAUJO, C. B. C. DE; DANTAS, S. **Caracterização de Solos Lateríticos para Utilização Pavimentos de Baixo Custo na Cidade de Canindé / CE.** n. 1981, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1986. 9p.
- _____. **NBR 6023: Informação e documentação-Referências – Elaboração.** Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 10.520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação.** Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 14724: Informação e documentação e documentação - Trabalhos acadêmicos-Apresentação.** Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 6459. Solo - Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 6508. Solo - Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica.** Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7180. Solo - Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7181. Solo - Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7182. Solo - Ensaio de Compactação.** Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 9895. Solo - Índice de Suporte Califórnia.** Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 6502. Rochas e solos.** Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 7207. Terminologia e classificação de pavimentação.** Rio de Janeiro, 1982.
- BARBOSA, G.; TARSO, P. DE; CASTRO, A. **Revista Brasileira de Geomorfologia Caracterização da Rede de Drenagem e do Sistema Lacustre da Bacia do Rio Grande : Oeste da Bahia - Região do Médio São Francisco.** v. 4, p. 801–818, 2016.
- BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2008.
- COSTA, A. C. DA. **Estudos Tecnológicos de Pavimentos de Baixo Custo na Bahia.** Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Faculdade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** Tradução de Akk Tasks; revisão

técnica Leister de Almeida Barros. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 561 p.

DELGADO, A. K. C. **Influência Da Sucção No Comportamento De Um Perfil De Solo Tropical Compactado**. Universidade de Brasília, 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. **Manual de Implantação Básica DNER**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. DNER-CLA259. **Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura**. São Paulo, 1996.

_____. DNER ME 054. **Equivalente de areia**. São Paulo, 1997.

_____. DNER-ME-049. **Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. São Paulo, 1994.

_____. DNER ME 080. **Solos - análise granulométrica por peneiramento**. São Paulo, 1994.

_____. DNER-ME-082. **Solos - determinação do limite de plasticidade**. São Paulo, 1994.

_____. DNER ME 122. **Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito**. São Paulo, 1994.

_____. DNER-ME-129. **Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas**. São Paulo, 1994.

_____. DNER-ME 228. **Solos - Compactação em Equipamento Miniatura**. São Paulo, 1994.

_____. DNER-ME-254. **Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini-CBR e expansão**. São Paulo, 1994.

_____. DNER-ME-256. **Solos Compactados com Equipamento Miniatura - Determinação da Perda de Massa por Imersão**. São Paulo, 1994.

_____. DNER ME 258. **Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini-MCV**. São Paulo, 1994.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE - **Manual de pavimentação 2006**. IPR, 2006.

DNIT 001 PRO. **Elaboração e apresentação de normas do DNIT Procedimento**, 2007.

_____. DNIT 098. **Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificação de serviço**, 2007.

- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011.
- FELTEN, D. **Estudos sobre solos arenosos finos lateríticos da planície costeira sul do RS para emprego em pavimentação econômica**. Universidade Federal do Rio Grande, 2005.
- FORTES, R. M. *et al.* **Controle Tecnológico e Controle de Qualidade – Um alerta sobre sua importância**. p. 12, 1985.
- GODOY, H. DE. **Identificação e Classificação Geotécnica de Latossolos do Estado de São Paulo pelo Método das Pastilhas MCT**. Universidade de São Paulo - Tese de Doutorado, 1997.
- MARAGON, M. **Proposição de estruturas típicas de pavimentos para Região de Minas Gerais utilizando Solos Lateríticos locais a partir da Pedologia, Classificação MCT e Resiliência**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.
- MARSON, M. **Análise crítica da classificação MCT para solos tropicais**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. São Paulo. p. 216, 2004.
- MUNSSEL, A. H. **Munsell Soil Color Charts**. Maryland. U.S.A, 1954.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Os Solos Tropicais Lateríticos Saprolíticos e a Pavimentação**. 19ª Reunião Anual de Pavimentação. Porto Alegre: 1983
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: 1995.
- SENÇO, W. DE. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2ª ed. São Paulo: 2007.
- VILLIBOR, D. F. et al. **A Importância dos Solos Tropicais em Pavimentação**. 7ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. São José dos Campos/SP: 1996
- VILLIBOR, D. F. et al. **Pavimentos de Baixo Custo Para Vias Urbanas - Bases Alternativas com Solos Lateríticos**. Arte e Ciência. São Paulo: 2007.
- VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. **Controle Tecnológico das bases de 'Solo Arenoso Fino Laterítico'**. Fortaleza: 1985
- VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. **Pavimentos Econômicos - Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 292 p., il. color.
- VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S.; CINCERRE, J. R. **Aspectos Fundamentais para uso adequado de SAFL em Bases de Pavimentos de Baixo Custo**. 32, p. 1–32, 2001.

APÊNDICE A

Resultados obtidos no Ensaio de Mini-MCV.

		ENSAIO MINI-MCV										ENSAIO MINI-MCV															
		3					10					26					25										
		200,0					200,0					200,0					200,0										
		50,00					50,00					50,00					50,00										
		50,00					50,00					50,00					50,00										
		Leit. (mm)	an (mm)	Altura Cp (cm)	Vol.Cp (cm³)	γd (g/cm³)	Leit. (mm)	an (mm)	Altura Cp (cm)	Vol.Cp (cm³)	γd (g/cm³)	Leit. (mm)	an (mm)	Altura Cp (cm)	Vol.Cp (cm³)	γd (g/cm³)	Leit. (mm)	an (mm)	Altura Cp (cm)	Vol.Cp (cm³)	γd (g/cm³)						
Dados Gerais	Cilindro																										
	Massa Amostra (g)	200,0																									
	Ac (Cilind. padrão)	50,00																									
	Ka (Const. de afer.)	50,00																									
	Mini-MCV	Golpes																									
		1	20,80	7,30	70,80	139,02	1,37	30,77	18,87	80,77	158,59	1,18	12,85	11,14	62,85	123,41	1,50	8,73	10,26	58,73	115,32	1,56	5,38	7,74	55,38	108,74	1,64
		2	17,18	7,45	67,18	131,91	1,45	19,69	14,05	69,69	136,84	1,37	6,58	8,72	56,58	111,09	1,66	2,48	6,83	52,48	103,04	1,75	0,67	3,45	50,67	99,49	1,79
		3	15,05	7,34	65,05	127,73	1,49	15,03	12,15	65,03	127,69	1,47	3,58	7,48	53,58	105,20	1,76	0,00	5,03	50,00	98,17	1,84	-1,40	1,55	48,60	95,43	1,86
		4	13,50	7,11	63,50	124,68	1,53	11,90	10,70	61,90	121,54	1,54	1,71	6,66	51,71	101,53	1,82	-1,53	3,68	48,47	95,17	1,90	-2,36		47,64	93,54	1,90
		6	11,34	6,66	61,34	120,44	1,58	8,07	8,85	58,07	114,02	1,64	-0,65	5,40	49,35	96,90	1,91	-3,34	2,05	46,66	91,62	1,97	-2,67		47,33	92,93	1,91
8		9,73	6,14	59,73	117,28	1,63	5,64	7,54	55,64	109,25	1,72	-2,14	4,14	47,86	93,97	1,96	-4,35	1,17	45,65	89,63	2,01	-2,78		47,22	92,72	1,92	
12		7,71	5,41	57,71	113,31	1,68	2,88	6,11	52,88	103,83	1,81	-3,90	2,40	46,10	90,52	2,04	-5,03		44,97	88,30	2,04	-2,95		47,05	92,38	1,925	
16		6,39	5,25	56,39	110,72	1,72	1,20	5,26	51,20	100,53	1,87	-4,95	1,41	45,05	88,46	2,09	-5,21		44,79	87,94	2,05						
24		4,68	3,58	54,68	107,36	1,78	-0,78	4,30	49,22	96,64	1,94	-6,05		43,95	86,30	2,14	-5,39		44,61	87,59	2,06						
32	3,59	3,45	53,59	105,22	1,81	-1,90	3,82	48,10	94,44	1,99	-6,28		43,72	85,84	2,15	-5,52		44,48	87,34	2,06							
48	2,30	3,44	52,30	102,69	1,86	-3,23	2,94	46,77	91,83	2,04	-6,30		43,70	85,80	2,15												
64	1,14	3,37	51,14	100,41	1,90	-4,06	2,62	45,94	90,20	2,08	-6,36		43,64	85,69	2,15												
96	1,10		51,10	100,33	1,90	-5,08		44,92	88,20	2,13																	
128	0,14		50,14	98,45	1,94	-5,72		44,28	86,94	2,16																	
192	-1,14		48,86	95,94	1,99	-6,17		43,83	86,06	2,18																	
256	-2,23		47,77	93,80	2,04	-6,68		43,32	85,06	2,20																	
Altura Final (mm)		47,77																									
Capstida		22	33																								
Tara (g)		13,40	13,10																								
MU+Tara (g)		42,50	36,30																								
MS+Tara (g)		41,10	35,30																								
Solo Seco(g)																											
Umidade (%)		5,05	4,50																								
Um. Méd. (%)		4,78%																									
Massa Estrudada (g)		190,88																									
Massa Despendida (g)		55,40																									
Fator de Correção		1,0																									
Pi (%)		138,65																									
Perda de massa		138,61																									
		12,45%																									
		177,86																									
		100,10																									
		1,0																									
		264,79																									

APÊNDICE B

Resultados obtidos no Ensaio de Mini-CBR.

CÁLCULO MINI-CBR

SEM IMERSÃO

Tempo (min)	Penetração (mm)	Penetração (pol)	MOLDE Nº 17				MOLDE Nº 26				MOLDE Nº 24				MOLDE Nº 33				MOLDE Nº 1			
			Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)
0,5	0,63	0,025	22	43,472		35	69,16			30	59,28			8	15,808			0				
1,0	1,27	0,050	57	112,632		67	132,392			46	90,896			12	23,712			4	7,904			
1,5	1,9	0,075	94	185,744		100	197,6			56	110,656			14	27,664			4	7,904			
2,0	2,54	0,100	127	250,952	251	78,72409	252,928	253	79,2859	65	128,44	128	143	45,05862	15	29,64	30	11,73547423	12	23,712	24	9,608803
2,5	3,17	0,125	156	308,256	308	94,57406	298,376	298	91,69394	72	142,272	143	143	46,08397	17	33,592	34	11,99487552	14	27,664	28	9,999702
3,0	3,8	0,150	221	436,696		172	339,872			79	156,104			18	35,568			15	29,64			
3,5	4,43	0,175	250	494,000		193	381,368			86	169,936			19	37,544			17	33,592			
4,0	5,06	0,200	269	531,544		212	418,912			94	185,744			20	39,52			18	35,568			
4,5	5,69	0,225	283	559,208		227	448,552			100	197,6			21	41,496			19	37,544			
5,0	6,32	0,250	295	582,92		244	482,144			106	209,456			22	43,472			20	39,52			

COM IMERSÃO

Tempo (min)	Penetração (mm)	Penetração (pol)	MOLDE Nº 29				MOLDE Nº 31				MOLDE Nº 35				MOLDE Nº 28				MOLDE Nº 47			
			Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)	Leitura no extensômetro (mm)	Carga calculada (kgf)	Carga corrigida (kgf)	ISC CR (%)
0,5	0,63	0,025	6	10,35		13	12,688			4	3,904			3	2,928			0				
1,0	1,27	0,050	9	15,525		17	16,592			10	9,76			6	5,856			4	3,904			
1,5	1,9	0,075	9	15,525		20	19,32			16	15,616			8	7,808			4	3,904			
2,0	2,54	0,100	11	18,975	24,8	9,895294	21,472	22	8,888137	21	20,496	21	20,496	9	8,784	9	3,990260862	12	11,712	12	5,163526	
2,5	3,17	0,125	0	0	4	1,614843	24	23,424	24	24,4	25	24,4	25	24,4	10	9,76	10	3,810658234	14	13,664	14	5,223023
3,0	3,8	0,150	0	0	0	0	26	25,376	28	27,328	28	27,328	28	27,328	11	10,736		15	14,64			
3,5	4,43	0,175	0	0	0	0	28	27,328	32	31,232	32	31,232	32	31,232	12	11,712		17	16,592			
4,0	5,06	0,200	0	0	0	0	29	28,304	36	35,136	36	35,136	36	35,136	13	12,688		18	17,568			
4,5	5,69	0,225	0	0	0	0	32	31,232	38	37,088	38	37,088	38	37,088	14	13,664		19	18,544			
5,0	6,32	0,250	0	0	0	0	34	33,184	43	41,968	43	41,968	43	41,968	15	14,64		20	19,52			

ANEXO A

Dados gerais dos grupos de solos da Classificação MCT e suas propriedades.

DESIGNAÇÃO			GRANULOMETRIAS TÍPICAS Designações do T1-71 do DER-SP							
k=caolinitico m=micáceo s= sericítico q= quartzoso			arcias siltos (q,s)	arcias siltosas	siltos(k,m) siltos arenosos	argilas argila arenosa argila siltosa siltos argilosos	arcias	arcias argilosas	argilas argila arenosa argila siltosa siltos argilosos	
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico				L = Laterítico			
GRUPO MCT			NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'	
Propriedades	MINI-CBR (%)	sem imersão perda por imersão	M, E	E	M, E	E	E	E, EE	E	
	EXPANSÃO (Es)		B	B	E	M, E	B	B	B	
	CONTRAÇÃO (Ct)		B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E	
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)		M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B	
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)		E	B, M	E	M, E	B	B	B	
Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal			EE = Muito Elevado E = Elevado		M = Médio B = Baixo					
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°	
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°	
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°	
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°	
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°	
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°	
			n = não recomendado							
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas			USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
			AASHO	A-2	A-2 A-4 A-7	A-4 A-5 A-7-5	A-6 A-7-5 A-7-5	A-2	A-2 A-4	A-6 A-7-5

Fonte: (VILLIBOR e NOGAMI, 2009).

ANEXO B

Critérios de Classificação MCT.

CLASSES			N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"				
GRUPOS			NA AREIAS	NA' ARENOSOS	NS [*] SILTOSOS	NG [*] ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG [*] ARGILOSOS		
GRANULOMETRIA TÍPICA (MINERAIS)(1)			areias, areias siltosas, siltes (q)	areias siltosas, areias argilosas	silte (k, m), siltes arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas		
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI CBR sem imersão (%)	Muito alto	> 30	Alto a médio	Alto	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto	
		Alto	12-30								
		Média	4-12								
		Baixo	< 4								
	Perda de Suporte por imersão (%)	Alta	> 70	Média a baixa	Baixa	alta	alta	Baixa	Baixa	Baixa	
		Média	40-70								
Baixa		< 40									
EXPANSÃO	(%)	Alta	> 3	Baixa	Baixa	alta	alta e média	Baixa	Baixa	Baixa	
	(2)	Média	0,5-3								
CONTRAÇÃO	(%)	Média	0,5-3	Baixa a Média	Baixa a Média	Média	alta e média	Baixa	Baixa a média	média a alta	
	(2)	Baixa	< 0,5								
PERMEABILIDADE log (k(cm/s))	(2)	Alta	> (-3)	Média a alta	Baixa	Média a baixa	Baixa a média	Média a baixa	baixa	baixa	
		Média	(-3) a (-6)								
		Baixo	< (-6)								
PLASTICIDADE	(%)	IP	LL	Baixa a NP	Média a NP	Média a alta	alta	NP a baixa	Baixa a média	média a alta	
			> 30								> 70
		Média	ju/30								30-70
		Baixo	< 7								< 30

PROPRIEDADES TÍPICAS DOS GRUPOS DOS SOLOS

(1)q = quartzo, m = micas, k = caulinita;

(2) Corpos-de-provas compactados na umidade ótima da energia "normal", com sobrecarga padrão quando pertinente, sem fração retida na peneira de 2mm de abertura.

Fonte: (DNIT, 2006).

ANEXO C

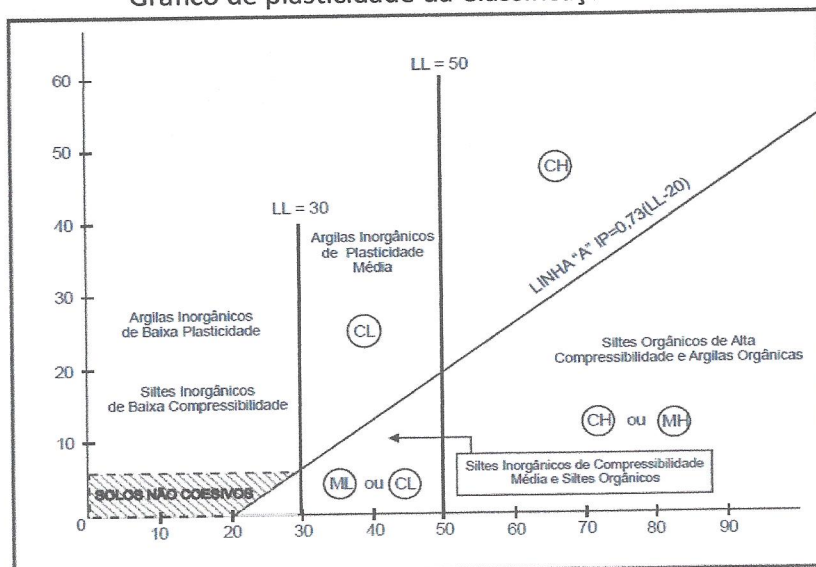
Classificação de Solos HRB.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A-7-5 A-7-6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: (DNIT, 2006).

ANEXO D

Gráfico de plasticidade da Classificação SUCS.



Fonte: (DNIT, 2006).

Classificação de Solos SUCS.

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped. com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped. com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped. areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped. areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50	ML	Siltes inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltes orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES e ARGILAS com LL > 50	MH	Siltes - Areias finas ou siltes micáceos - Siltes elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos	PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.	

Fonte: (DNIT, 2006).