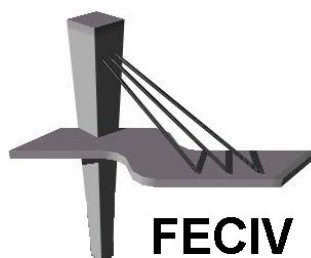


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 032

**ESTUDO COMPARATIVO DOS ENSAIOS DE CBR E
MINI-CBR PARA SOLOS DE UBERLÂNDIA-MG**

Ricardo Andrade de Souza



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Nº 032

Ricardo Andrade de Souza

ESTUDO COMPARATIVO DOS ENSAIOS DE CBR E MINI-CBR PARA SOLOS DE UBERLÂNDIA-MG

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Área de Concentração: Engenharia Urbana.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Elisa Borges Rezende

UBERLÂNDIA, 29 DE JUNHO DE 2007.

*Aos meus pais e minha irmã pelo
carinho, dedicação, motivação e
exemplo de vida; a minha
namorada pelo companheirismo
nesta etapa de minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e pela oportunidade de ter participado desta pesquisa e pelo conhecimento adquirido ao longo deste trabalho.

À minha orientadora Maria Elisa Borges Resende, pelas idéias, empenho e apoio no desenvolvimento da dissertação.

À secretária da Pós-graduação Sueli Maria Vidal da Silva pela atenção e companheirismo que tem com todos os alunos da pós-graduação e que nos acompanha desde a seleção até a defesa das dissertações.

Agradeço a todos os meus amigos pela força e motivação durante este período de estudo.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio necessário.

A CAPES pelo apoio financeiro no desenvolvimento da pesquisa.

A FAPEMIG pelo apoio financeiro na realização dos ensaios da metodologia MCT.

Ao aluno da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Rheno Batista Tormin Filho, que me apoiou nos ensaios de mecânica dos solos com o trabalho de iniciação científica “Caracterização Geotécnica dos Solos Superficiais de Uberlândia”.

Aos técnicos do laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da UFU: José Antônio Veloso e Romes Aniceto da Silva, pelo acompanhamento nos ensaios laboratoriais.

Souza, R. A. de. Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia – MG. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2007. 113 p.

RESUMO

O presente trabalho trata de um estudo comparativo entre o ensaio de CBR e o ensaio de Mini-CBR para os solos de Uberlândia – MG, visando ampliar a utilização do Mini-CBR, tendo em vista suas vantagens em relação ao CBR. As principais vantagens do referido ensaio são maior praticidade do ensaio, exigência de menor quantidade de amostra, maior rapidez na execução, solicitação de menor esforço físico para execução e menor influência do operador na execução, sendo também, menos dispendioso que o ensaio de CBR. Buscou-se verificar a existência de correlação entre valores de CBR e Mini-CBR para os solos de Uberlândia e/ou validar as correlações já existentes propostas por outros autores.

Foram estudadas amostras de solos de 8 unidades geotécnicas do município de Uberlândia mapeadas por Andrade (2005). As amostras foram compactadas nas 5 umidades necessárias à definição da curva de compactação. Para cada amostra de solo foram realizados os ensaios de caracterização tradicionais, ensaio de Mini-MCV e perda de massa por imersão, para classificação MCT, o ensaio de CBR na energia normal, ensaio de Mini-CBR – sem imersão / sem sobrecarga, Mini-CBR – com imersão / com sobrecarga e Mini-CBR – sem imersão / sem sobrecarga com o solo compactado em uma única face do corpo-de-prova.

Concluiu-se que para os solos analisados não existe uma relação clara entre os valores de CBR e Mini-CBR, independente da unidade geotécnica (origem), da classificação MCT e da forma de execução do ensaio.

Com relação à massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima na energia do Proctor Normal, no intervalo de umidade de +/- 2% para as areias e +/- 4% para as argilas, existe uma ótima relação entre os valores obtidos pela compactação em miniatura e o Proctor Normal, independente de ser realizada no cilindro grande ou pequeno.

Palavras-chave: Compactação, CBR, Mini-CBR, solos lateríticos, classificação MCT.

Souza, R. A. de. Comparative study of tests of CBR and Mini-CBR for soils of Uberlândia - MG Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2007. 113 p.

ABSTRACT

This present work shows a comparative study between the tests of CBR and the tests of Mini-CBR to the soils of Uberlândia - MG, aiming at to extend the use of the Mini-CBR, in view of its advantages in relation to the CBR. The main advantages of the test of Mini-CBR are more practical, demands a smaller amount of samples, it has a faster execution procedure, demands less physical effort and reduces the operator's influence, furthermore, it is less expensive than the CBR test. This study researched the existence of a correlation between values of CBR and Mini-CBR for the Uberlândia soils, and/or to validate the correlations already existing proposal by others writers.

They were studied samples of 8 types of soils of the Uberlândia's city studied by Andrade (2005). The samples were compacted in 5 different moisture contents necessities to the definition of the compaction curve. Therefore, for each sample of soil they were performed the traditional characterization tests, Mini-CBR tests and loss of weight by immersion, for MCT classification, CBR in the normal energy test, Mini-CBR - without immersion/without overload, Mini-CBR - with immersion/with overload and Mini-CBR - without immersion/without overload with the soil compacted in a only face of the specimen.

For the analyzed soils, the tests results had shown that there is no clear relation between the values of CBR and Mini-CBR, independent of the types of soils (origin), of the MCT classification and the test procedures.

With relation the maximum dry density and optimum moisture content in the energy of the "ordinary" compaction test, in the interval of water contents of +/- 2% for the sands and +/- 4% for clays, it there is an excellent relation between the values obtained through compaction in miniature and the "ordinary" compaction test, independent of compaction mould be large or small.

Key Words: Compacting, CBR, Mini-CBR, lateritic soils, classification MCT.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

aprox.	-aproximadamente
#	-peneira
CBR	-Califórnia Bearing Ratio
cl.	-classificação
cm	-centímetro
CP	-corpo-de-prova
CP's	-corpos-de-prova
c'	-coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea da curva de deformabilidade correspondente ao Mini-MCV = 12 obtido do ensaio de Mini-MCV
d'	-coeficiente calculado a partir do coeficiente angular da parte mais inclinada do ramo seco da curva de compactação (teor de umidade X massa específica aparente seca) correspondente a 12 golpes
dif. max.	-diferença máxima
DER-SP	-Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNER	-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EUA	-Estados Unidos da América
e'	-Índice que expressa o caráter laterítico do solo obtido do ensaio de Mini-MCV
g	-Grama
HRB	-Highway Research Board
h	-Horas
ISC	-Índice de Suporte Califórnia
ITA	-Instituto Tecnológico de Aeronáutica
kg	-quilograma
kN	-quilonewton
LL	-Limite de Liquidez
LP	-Limite de Plasticidade
m	-metro
máx.	-máxima
mm	-milímetro
M _R	_ Módulo de Resiliência (kgf/cm ²)
MCT	-Miniatura, Compactado, Tropical
MCT-M	-Miniatura, Compactado, Tropical – Modificado

MCV	-Moisture Condition Value
min	-minuto
Mini-CBR	-Ensaio Mini-CBR da Metodologia MCT
Mini-Compactação	-Ensaio de Mini-Compactação com Energia Constante da Metodologia MCT
Mini-MCV	-Ensaio de Mini-MCV da Metodologia MCT
Mini-Proctor	-Ensaio de Mini-Compactação com Energia Constante da Metodologia MCT
Mini- w_{ot}	-Teor de umidade ótima, obtido no equipamento miniatura
Mini- $\rho_{sm\acute{a}x}$	-Valor de Massa Específica Aparente Seca Máxima obtido no equipamento miniatura
N	-Número de pares de dados
PI	-Proctor Intermediário
PN	-Proctor Normal (realizado no cilindro pequeno com soquete pequeno)
R^2	-Coeficiente de Determinação de Regressão
ref.	-referência
SAFL	-Solo Arenoso Fino Laterítico
SLA	-Solo Laterítico Agregado
SUCS	-Sistema Unificado de Classificação dos Solos
UG	-Unidade Geotécnica
W	-Teor de umidade
W_{ot}	-Teor de umidade ótimo
ρ_s	-Massa Específica Aparente Seca
$\rho_{sm\acute{a}x}$	-Massa Específica Aparente Seca Máxima
δ	-Massa Específica dos grãos
X	-Versus

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Nomograma da classificação MCT.....	15
Figura 2-2 – Ábaco de classificação MCT – M, incluindo os solos transicionais	18
Figura 2-3 – Perfil típico de intemperismo de solos tropicais.....	20
Figura 2-4 – Equipamento utilizado no ensaio Mini-MCV.....	26
Figura 2-5 – Cilindros de Mini-CBR e CBR.....	31
Figura 2-6 - Equipamento utilizado no ensaio Mini-CBR	32
Figura 2-7 – Identificação da área de estudo.....	41
Figura 2-8 – Tabela de média térmica, de precipitação pluviométrica total mensal e umidade relativa do ar relativa ao ano de 2002	43
Figura 3-1 – Cilindro de CBR em imersão.....	53
Figura 3-2 – Corpos-de-prova em imersão no ensaio de Mini-CBR (com imersão / com sobrecarga)	55
Figura 4-1 – Distribuições granulométricas das unidades geotécnicas estudadas.....	57
Figura 4-2 - Classificação MCT dos solos analisados.....	59
Figura 4-3 - Classificação MCT-M dos solos analisados.....	60
Figura 4-4 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 1	62
Figura 4-5 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 3	62
Figura 4-6 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 4	63

Figura 4-7– Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 5	63
Figura 4-8 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 6	64
Figura 4-9 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 7	64
Figura 4-10 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 8	65
Figura 4-11 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 9	65
Figura 4-12 – Massa específica seca máxima dos Mini-CBR X massa específica seca máxima do PN	67
Figura 4-13 - Massa específica seca máxima do CBR X massa específica seca máxima do PN	68
Figura 4-14 - Massa específica seca máxima do ensaio de Mini-CBR (Marson) X massa específica seca máxima do PN	68
Figura 4-15 – Umidade ótima PN X umidade ótima Mini's CBR	69
Figura 4-16 - Umidade ótima PN X umidade ótima Mini-CBR (Marson)	70
Figura 4-17 - Umidade ótima PN X umidade ótima CBR	70
Figura 4-18 – Comparação entre ρ_s do Mini-CBR (1 face) e ρ_s do Mini-CBR (2 faces)....	72
Figura 4-19 - Comparação entre W_{ot} do Mini-CBR (1 face) e W_{ot} do Mini-CBR (2 faces)	72
Figura 4-20 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 1	73
Figura 4-21 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 3	73
Figura 4-22 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 4	74
Figura 4-23 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 5	74
Figura 4-24 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 6	75

Figura 4-25 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 7	75
Figura 4-26 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 8	76
Figura 4-27 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 9	76
Figura 4-28 – Gráfico CBR x Mini-CBR (SISS)	77
Figura 4-29 - Gráfico CBR x Mini-CBR (CICS)	78
Figura 4-30 - Gráfico CBR x Mini-CBR (Marson).....	78
Figura 4-31 - Gráfico comparativo entre o Mini-CBR Marson calculado pela fórmula de Marson e calculado pela fórmula do DNER. (Solos argilosos).....	80
Figura 4-32 - Gráfico comparativo entre o Mini-CBR Marson calculado pela fórmula de Marson e calculado pela fórmula do DNER. (Solos arenosos).....	80
Figura 4-33 – Efeito da imersão no ensaio de Mini-CBR	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Número de golpes correspondente a cada energia de compactação.....	8
Tabela 2-2 – Critério de escolha de solo arenoso fino para base de pavimento.....	13
Tabela 2-3 – Dados qualitativos das propriedades mecânicas e hidráulicas da classificação MCT, segundo Nogami e Villibor (1995)	17
Tabela 2-4 – Faixas de variação dos valores da classificação MCT (NOGAMI E VILLIBOR, 1995)	18
Tabela 2-5 – Principais diferenças entre equipamentos de compactação miniatura e subminiatura	29
Tabela 2-6 – Características dos ensaios CBR, Mini-CBR e S-CBR.....	34
Tabela 2-7 – Relação das penetrações e tempos de leitura do ensaio de penetração	36
Tabela 2-8 – Coluna estratigráfica das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	45
Tabela 3-1 – Caracterização dos materiais estudados em Uberlândia – MG	50
Tabela 4-1 – Características dos solos analisados	58
Tabela 4-2 – Classificação dos materiais ensaiados.....	59
Tabela 4-3 – Quantidade de golpes utilizados nos ensaios de Mini-CBR	61
Tabela 4-4 – Tipos de ensaios realizados	61
Tabela 4-5 – Umidades de referência dos solos nos ensaios CBR e Mini-CBR	61
Tabela 4-6 – Diferença máxima entre a massa específica seca máxima do PN e a dos outros ensaios	66

Tabela 4-7 – Correlações entre ρ_{smax} do PN (X) e dos demais ensaios (Y).....	67
Tabela 4-8 – Diferença máxima entre a W_{ot} dos outros ensaios e a W_{ot} de referência (PN)	69
Tabela 4-9 – Coeficiente de correlação para a igualdade entre o CBR e o Mini-CBR.....	79
Tabela 4-10 – Valores de CBR encontrados e estimados pela classificação HRB (SENÇO, 1997).....	81
Tabela 4-11 – Valores de CBR encontrados e estimados pela Classificação Unificada (SENÇO, 1997).	81
Tabela 4-12 – Classificação dos materiais para diferentes utilizações de acordo com a classificação MCT. (NOGAMI E VILLIBOR, 1995).....	82
Tabela 4-13 Relação entre o valor do Mini-CBR imerso e o não imerso (RIS).....	83
Tabela 4-14 - Valores de expansão nos ensaios de CBR e Mini-CBR (CICS).....	84

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 ENSAIO DE CBR	6
2.2 METODOLOGIA MCT	10
2.3 ENSAIOS DA METODOLOGIA MCT	15
2.4 PECULIARIDADES DOS SOLOS TROPICAIS	19
2.4.1 Solos Lateríticos	21
2.4.2 Solos Saprolíticos	23
2.4.3 Solos Transicionais	24
2.5 CLASSIFICAÇÃO MCT	25
2.5.1 Ensaio de Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão	25
2.5.2 Classificação MCT – Expedita	28
2.6 ENSAIO MINI-CBR	30
2.6.1 Alterações propostas por Marson, L. A., (2004)	35
2.6.2 Influência da sobrecarga e da imersão dos corpos-de-prova em água nos testes de penetração	39
2.7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40
2.7.1 Os solos lateríticos de Uberlândia - MG	41
2.7.2 Aspectos climáticos	42
2.7.3 Aspectos geomorfológicos	43
2.7.4 Geologia regional	44
2.7.5 Geologia local	44
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS	49

3.2 O PROGRAMA EXPERIMENTAL	51
3.2.1 Introdução	51
3.2.2 Massa específica dos grãos	51
3.2.3 Granulometria	51
3.2.4 Limites de Liquidez e Plasticidade	52
3.2.5 Ensaio de compactação – Ensaio de Proctor	52
3.2.6 Ensaio de CBR e expansão	52
3.2.7 Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão	53
3.2.8 Mini-CBR – expansão (com imersão / com sobrecarga) e sem imersão / sem sobrecarga	54
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	56
4.1 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS ANALISADOS	56
4.2 COMPACTAÇÃO	60
4.2.1 Compactação Proctor x Mini-Compactação	60
4.2.2 Análise do efeito da compactação em uma só face	71
4.3 CBR E MINI-CBR	72
4.4 EFEITO DA IMERSÃO	82
4.5 EXPANSÃO	84
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	85
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	93

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este estudo pretende comparar os resultados do ensaio de CBR com os do Mini-CBR para os solos de Uberlândia, procurando aumentar o uso do Mini-CBR por este ter maior praticidade e rapidez na sua execução, uma vez que exige menor quantidade de amostra, além de propiciar menor esforço físico e influência do operador na sua execução. Devido a esses fatores pode-se asseverar que o ensaio de Mini-CBR é menos oneroso do que o ensaio de CBR. Em suma, buscou-se verificar e/ou validar correlações existentes, propostas por outros autores, entre valores de CBR e Mini-CBR para os solos de Uberlândia-MG.

Para Villibor (2000), o déficit de pavimentos urbanos é grande em quase todas as cidades brasileiras, abrangendo desde vias principais de cidades de grande porte até vias de circulação de distritos e conjuntos habitacionais. Em outras regiões do país a situação quanto ao déficit de pavimentos urbanos é agravada ainda mais, demonstrando a necessidade e a importância do desenvolvimento de uma tecnologia de pavimentação que minimize os custos de implantação destes pavimentos.

Já Medina (1997) ressalta que o dimensionamento de pavimento requer uma análise teórica mais aprofundada e utilização de parâmetros experimentais de deformabilidade de solos e materiais de pavimentação no país. Vale dizer que o módulo de resiliência (resilient modulus) é o parâmetro recomendado pela AASHTO para a avaliação estrutural das camadas dos pavimentos flexíveis.

Este autor diz que as estruturas de pavimentos flexíveis de rodovias têm sido dimensionadas pelo método do DNER, com base no ensaio CBR e nas curvas de

dimensionamento do Corpo de Engenheiros Militares dos EUA – o USCE. Em aeroportos adota-se o método dos F.A.A. (Federal Aviation Administration) de mesma origem.

O ensaio de CBR (Califórnia Bearing Ratio) traduzido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), foi concebido pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (USA) para avaliar a resistência dos solos americanos, típicos de climas frios e temperados e, associado a ele foi desenvolvido um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo qual se obtém a espessura total do pavimento necessária para suprir a deficiência do solo do subleito quanto à sua capacidade portante e leva-se em conta o tipo de tráfego (intensidade e massa dos veículos) e o valor estatístico do CBR das camadas estruturais. (MARSON, L. A., 2004)

Ainda de acordo com este pesquisador cabe destacar que a relativa simplicidade na execução do ensaio é o que faz com que, ainda hoje, seja o mesmo adotado por vários países do mundo, sobretudo pelas nações em desenvolvimento. No Brasil, o ensaio CBR é extensamente utilizado e consiste no principal recurso geotécnico para o dimensionamento de pavimentos.

No ensaio de CBR é medida a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada segundo o método de Proctor. Para essa finalidade, um pistão com seção transversal de 49,6 mm de diâmetro, penetra na amostra a uma velocidade de 1,27 mm/min. O valor da resistência à penetração é computado em porcentagem da resistência correspondente à mesma penetração em uma amostra de brita graduada de elevada qualidade que foi adotada como padrão de referência. O ensaio é composto por 03 (três) etapas: compactação do corpo-de-prova, obtenção da curva de expansão após colocar os corpos-de-prova em imersão, e medida da resistência à penetração.

Em virtude das peculiaridades dos solos tropicais, essa metodologia importada de climas frios e temperados, para estudo e projeto de pavimentos, especialmente os de baixo custo não foi satisfatória, o que deu origem ao desenvolvimento de uma nova metodologia de estudo dos solos, denominada MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

Os motivos que levaram ao desenvolvimento dessa nova metodologia foram as limitações dos procedimentos tradicionais de previsão do CBR, segundo Nogami e Villibor (1995). De acordo com Barroso (2002) nas classificações tradicionais HRB (Highway Research Board) e SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos), os solos são hierarquizados pela granulometria e plasticidade, que não se mostram adequados para caracterizar solos tropicais.

A metodologia MCT envolve uma série de ensaios e determinações de propriedades geotécnicas e um sistema próprio de classificação dos solos. O Mini-CBR é o primeiro ensaio dessa série e seu princípio básico é o mesmo do CBR, só que se caracteriza por utilizar corpos-de-prova de dimensões reduzidas, com 50 mm de diâmetro e pistão de penetração de 16 mm de diâmetro.

A miniaturização do ensaio CBR trouxe inúmeras vantagens executivas em relação ao procedimento tradicional. A reduzida quantidade de material da amostra, a esbeltez dos equipamentos utilizados e o menor tempo de imersão dos corpos-de-prova proporcionam significativo aumento na produtividade do laboratório com a conseqüente redução nos seus custos operacionais. Segundo Assali e Fortes (2004), essa redução é da ordem de 45%. Faz-se necessária, no entanto, uma criteriosa verificação da correlação entre o seu resultado e o obtido pelo método habitual. Dessa forma, benefícios adicionais podem ser alcançados com as alterações nos procedimentos de ensaio e cálculos, propostas por Marson, L. A., (2004).

Em 1994 o DNER padronizou o ensaio Mini-CBR, revisando-o em 1997 (DNER-ME 254/97) e adotaram o valor do Mini-CBR segundo as correlações apresentadas por Nogami (1972) por meio das quais o valor numérico do Mini-CBR é equivalente ao adquirido no ensaio CBR tradicional (DNER-ME 049/94). Essas correspondências são baseadas em solos do interior de São Paulo e foram generalizadas para os demais tipos de solos, ficando sujeitas a críticas. Posteriormente, Marson, L. A., (2004) propôs medidas que simplificam ainda mais o ensaio, e novas correlações mais precisas para os solos por ele analisados. Todavia, Barroso (2002) e Barros (2003) verificaram que não havia relação entre CBR e Mini-CBR para os solos do município de Fortaleza – CE e São Carlos – SP, respectivamente, disso conclui-se que nem para todos os locais e/ou tipos de solos existe essa relação.

Para Marson, L. A., (2004) atualmente as peculiaridades típicas dos solos tropicais lateríticos são bem conhecidas, haja vista que possuem um bom comportamento geotécnico, podem ser encontrados abundantemente na superfície de quase todo o território nacional, e particularmente em Uberlândia-MG (GUIMARÃES E REZENDE, 2005). Associado a isto Villibor (2000) destaca que o interesse pelo emprego de solos lateríticos nos últimos anos na pavimentação urbana se deve ao baixo custo em relação aos materiais convencionalmente empregados. Tais fatos mostram a importância econômica da

utilização desses materiais em camadas mais nobres da pavimentação de estradas vicinais e ruas. É justamente neste contexto que está inserido esse trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo comparativo do ensaio de CBR com o ensaio de Mini-CBR para os solos de Uberlândia – MG, em que visa ampliar a utilização do Mini-CBR, tendo em vista suas vantagens em relação ao CBR.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com a realização desta pesquisa, espera-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Classificar os solos analisados pela metodologia MCT a fim de possibilitar a comparação da sua capacidade de suporte com outros solos de mesma classificação.
- Comparar o valor do CBR e do Mini-CBR na energia normal determinado de acordo com a norma do DNER-254/97 e com a proposta de Marson, L. A., (2004), para as 8 unidades geotécnicas detectadas no mapeamento geotécnico da área peri-urbana de Uberlândia por Andrade (2005).
- Comparar as características de compactação obtidas nos ensaios de compactação na energia normal realizadas nos cilindros de Proctor pequeno, grande e no de Mini-CBR.
- Confrontar os valores da expansão dos solos, obtidos no ensaio CBR com os valores adquiridos no Mini-CBR.
- Estabelecer as correlações entre o CBR e o Mini-CBR de acordo com as diferentes maneiras de obtenção do Mini-CBR (procedimentos de ensaios e cálculos).

- Avaliar a aplicabilidade da proposta de determinação do valor do Mini-CBR do ensaio de Marson, L. A., (2004) para os solos de Uberlândia.
- Avaliar o efeito da imersão no valor do Mini-CBR.
- Fornecer subsídios para futuros projetos de pavimentação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação apresentada é constituída de 05 (cinco) capítulos organizados da seguinte maneira:

Capítulo 1: Faz-se uma breve explanação sobre a criação e a relevância dos ensaios CBR e Mini-CBR utilizados no dimensionamento de pavimentos, além de apresentar os objetivos e a estrutura dessa pesquisa.

Capítulo 2: Mostra uma revisão bibliográfica a respeito dos ensaios de CBR, as particularidades dos solos tropicais, a origem da metodologia MCT e seus ensaios, incluso neles o Mini-CBR. Apresenta ainda as alterações propostas por Marson, L. A., (2004) para o ensaio de Mini-CBR, o potencial e limitação do equipamento miniatura e as correlações clássicas entre CBR e Mini-CBR. Traz também uma descrição dos solos de Uberlândia – MG, bem como as características da área de estudo.

Capítulo 3: Mostra o programa experimental, descrevendo os materiais e métodos empregados nesse trabalho.

Capítulo 4: Expõe os resultados obtidos nos ensaios, principalmente na forma de gráficos, além disso, há uma análise desses dados.

Capítulo 5: Apresenta as conclusões do estudo com base nas análises dos resultados encontrados.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENSAIO DE CBR

Na década de 20, nos EUA, em virtude da demanda crescente de manutenção da malha viária e de construções de novas rodovias com maior capacidade estrutural, surgiram programas de avaliação estrutural das rodovias, que resultaram no surgimento do ensaio CBR (MARSON, L. A., 2004).

Em 1929, para providenciar um método rápido para comparação dos materiais de base e sub-base que pudessem ser utilizados para reforçar o subleito, Porter (1950¹ apud BARROS, 2003) desenvolveu um ensaio de índice de suporte. Este ensaio recebeu o nome de CBR (Califórnia Bearing Ratio). Posteriormente uma relação empírica foi estabelecida entre os resultados do ensaio e os materiais que seriam apropriados para base e subleito.

A *American Society of Civil Engineers* propôs um ensaio mais prático para determinação do valor de suporte dos solos para fundação que consistia da compactação de corpos-de-prova moldados em três camadas, cada uma com 25 golpes, por um soquete de 2,491 kg caindo a uma altura de 30,5 cm, em cilindros de 4” de diâmetro e aproximadamente 4 ½” de altura, com um colar de 2” de altura. As amostras eram secadas, e determinava-se a umidade; depois se acrescentava, aproximadamente, 1% de água até que a amostra ficasse úmida e existisse uma diferença significativa entre as massas específicas do solo. Ao passo que para se determinar a resistência do solo, media-se a

¹ Porter, O. J. (1950). *Development of the Original Method for Highway Design*. Transactions, ASCE, Vol. 115, 1950, pp. 461-467.

pressão requerida para a penetração de uma agulha no solo a uma velocidade de 1,27 mm/s (Hogentogler et al. 1937² apud BARROS, 2003).

De acordo com Yoder e Witczak (1975), o método do ensaio foi modificado em 1943, durante a 2ª Guerra Mundial, pelo *U. S. Corps of Engineers* que adaptou o ensaio de CBR às necessidades de pavimentos de aeroportos militares e, a partir daí, ocorreu o reconhecimento do ensaio pela AASHO em âmbito mundial. No entanto, esse ensaio era bem diferente do proposto por Porter, já que estabelecia um sistema dinâmico de compactação.

Segundo Marson, L. A., (2004), foi desenvolvido um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis associado ao ensaio, pelo qual se obtém a espessura total do pavimento necessária para suprir a deficiência do solo do subleito quanto à sua capacidade portante, levando-se em conta o tipo de tráfego (intensidade e massa dos veículos) e o valor estatístico do CBR das camadas estruturais.

Medina (1988) comenta que na década de 50 o Engenheiro Murilo Lopes de Souza aperfeiçoou e fez adaptações ao método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, que utiliza o CBR, como exemplos a utilização de gráficos para o dimensionamento do pavimento e a determinação das equivalências de operação entre diferentes cargas por eixo e a carga por eixo padrão, considerando ainda os fatores climáticos. Dessa forma, em parte, foi compensado o empirismo importado, que não foi reavaliado à época com pesquisas.

A partir deste instante, o CBR passou a ser o primeiro método nacional para determinar a capacidade de suporte do subleito e das camadas do pavimento e para dimensionar pavimentos flexíveis e semi-rígidos, oficializado e adotado por um órgão rodoviário. Esta técnica baseia-se na carga por roda e no índice de suporte CBR do subleito (ZUPOLLINI NETO, 1994).

No Brasil, as normas que tratam do ensaio de CBR são a NBR 9895/87 – Solo – Índice de Suporte Califórnia, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a DNER-ME 049/94 – Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia, utilizando amostras não trabalhadas, feita pelo Departamento Nacional de Estradas de

² Hogentogler, C. A., Aaron, H., Thoreen, R. C., Willis, E. A., Wintermyer, A. M. (1937). *Engineering Properties of Soil*, U. S. Bureau of public Roads, 1ª Edição, 1937, New York.

Rodagem (DNER). Estas normas seguem a mesma metodologia, diferindo apenas na quantidade de leituras das penetrações. Entretanto, essa diferença de execução não interfere no resultado do ensaio, visto que as leituras utilizadas para determinação do CBR são apenas duas, aquelas relacionadas às penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm, e são as mesmas nas duas normas.

No ensaio de CBR é medida a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada segundo o método de Proctor. Portanto, para esse fim é colocado um pistão com seção transversal de 49,6 mm de diâmetro, o qual penetra na amostra a uma velocidade de 1,27 mm/min. Em resumo, o referido ensaio é composto por três etapas: compactação do corpo-de-prova, colocação do corpo-de-prova em imersão para obtenção da curva de expansão e medida da resistência à penetração.

- Compactação dos corpos-de-prova: cada amostra é compactada, com 5 diferentes teores de umidade, segundo o método Proctor, utilizando-se o molde grande (diâmetro de 6 polegadas – aprox. 150 mm), em cinco camadas com o soquete grande, sendo que o número de golpes depende da energia de compactação, de acordo com a Tabela 2-1. Em decorrência dos resultados da compactação obtém-se os dados para se traçar a curva que correlaciona a massa específica aparente seca com o teor de umidade ($\rho_s \times W$).

Tabela 2-1 – Número de golpes correspondente a cada energia de compactação

Energia	Nº. de golpes
Normal	12
Intermediária	26
Modificada	55

- Obtenção da curva de expansão: após a compactação, o corpo-de-prova dentro do molde cilíndrico é colocado imerso por quatro dias, medindo-se a expansão de 24 em 24 horas.
- Medida da resistência à penetração: é realizado o ensaio de penetração no corpo-de-prova, onde um pistão de 49,6 mm de diâmetro penetra na amostra a uma velocidade de 1,27 mm/min, logo após a mesma ser retirada da condição submersa,

ou seja, depois de passados os 4 dias de imersão. Fazem-se então as leituras de penetrações de 0,63; 1,25; 2,50; 5,00; 7,50; 10,00; 12,5 mm, correspondentes aos tempos de leituras determinados pela norma. Encontram-se os valores de carga, ao se multiplicar as leituras efetuadas pela constante do anel de penetração.

Cabe salientar que a importância da determinação do valor de suporte de um solo advém da necessidade do dimensionamento das camadas constituintes de um pavimento. Desse modo, vários pesquisadores discutem sobre a eficácia do método do CBR e apontam as suas diversas limitações. Assim, existem questionamentos acerca do tempo de imersão ser de quatro dias, da necessidade de grande quantidade de solo para a execução do ensaio, do efeito do confinamento do molde no resultado do ensaio (BERNUCCI, 1995), da grande dispersão de resultados, quando se ensaia uma mesma amostra em diferentes laboratórios (NOGAMI, 1972), dentre outros.

Segundo Nogami e Villibor (1979³ apud BARROS, 2003) o ensaio de CBR é insuficiente para caracterização adequada dos solos destinados ao uso em pavimentação nas regiões tropicais úmidas, por limitar-se à obtenção do valor da expansão e de suporte para umidade ótima e massa específica máxima de uma determinada energia de compactação em uma condição de 04 dias de imersão e uso de uma sobrecarga padrão.

Esses autores acreditam que para essas regiões é necessário efetuar as determinações de suporte e expansão para outras condições de umidade de compactação, imersão, sobrecarga e energias de compactação, o que exigiria a moldagem de, em média 15 corpos-de-prova, cerca de 100 kg de amostra, além de um grande desgaste físico.

Já Nogami e Villibor (1995) comentam que os resultados do ensaio de CBR levam ao encarecimento das obras rodoviárias, devido ao desempenho dos solos serem freqüentemente subestimados. Por conseguinte, algumas das vantagens do ensaio de CBR são as simplicidades de execução que não exige cálculos complicados e a importância no nosso meio técnico, pelo fato do ensaio de CBR fornecer resultados reconhecidos mundialmente e por ser ainda o ensaio mais utilizado para o dimensionamento de pavimentos flexíveis no Brasil. Com relação às desvantagens do ensaio podem-se destacar o alto grau de esforço físico exigido para sua execução, a grande quantidade de amostra

³ Nogami, J. S., Villibor, D. F. (1979). *Soil characterization of Mapping Units for Highway Purposes in a Tropical Area*. Ulletin of the International Association of Engineering Geology, nº 19, 1979, pp. 196-199.

utilizada e o tempo de saturação de quatro dias, que torna o ensaio muito lento e dispendioso.

2.2 METODOLOGIA MCT

A introdução dos princípios da Mecânica dos Solos no Brasil ocorreu no final da década de 30, de acordo com Nogami e Villibor (1995). Esses princípios eram embasados nas propriedades índices dos solos (granulometria, limites de Atterberg e outros) para classificação e previsão do comportamento do solo e do valor do CBR, denominados de procedimentos tradicionais. Nesta época, deu-se o início do desenvolvimento técnico da construção de estradas que envolveu a adoção destes critérios estrangeiros válidos para as condições climáticas e para os materiais representativos dos países onde foram desenvolvidos.

Os referidos autores comentam ainda que, com o uso desses procedimentos na solução de problemas de engenharia civil, sobretudo na construção rodoviária, foram encontradas várias discrepâncias entre as previsões efetuadas com a aplicação dos princípios desenvolvidos por essa especialidade e o real comportamento dos solos nas obras, por exemplo, bases de argila com brita em que $LL > 60\%$ e $IP > 20\%$, ou seja, acima dos limites tradicionais, todavia apresentavam bom comportamento, contrariando as expectativas.

Essas discrepâncias foram atribuídas, em grande parte, às peculiaridades dos solos e do ambiente tropical, que não são consideradas por esses princípios, os quais se baseiam em solos de climas frios e temperados, portando não tropicais.

Ferreira (1986) relata que a introdução do ensaio CBR, no final da década de 40, permitiu o melhor aproveitamento de solos locais para construção de pavimentos. Todas as soluções adotadas deveriam atender às especificações tradicionais vigentes. Neste momento já havia indícios da descoberta dos elevados valores de CBR para os solos arenosos finos que fugiam ao padrão técnico, devido aos problemas relacionados à granulometria fina e aos altos valores de LL (limite de liquidez) e IP (índice de plasticidade).

Para Nogami e Villibor (1995), nos anos 50 a pavimentação no Estado de São Paulo foi intensificada, e o uso do virado paulista (mistura de brita com solos lateríticos, inclusive os mais argilosos) foi o recurso utilizado para contornar o baixo suporte dos solos

encontrados em rodovias tronco que saíam da capital para o interior. Esta mistura contrariava as recomendações de estabilização granulométrica, tradicionalmente empregadas na época.

A partir da década de 60, Serra (1987⁴ apud BARROSO, 2002) comenta que houve o uso de misturas de solo-agregado para bases e sub-bases no Estado de São Paulo. Os critérios de escolha dessas misturas foram desenvolvidos empiricamente para as condições dos países de climas frios e temperados, sendo absorvidas sem maiores cuidados para as condições tropicais. Esses critérios estavam fundamentados na granulometria, limites de liquidez e plasticidade, equivalente de areia e nas características dos grãos dos agregados graúdos. Nesta década, usaram-se também os solos arenosos finos na composição de misturas de solo-cimento para bases de pavimentos. Em seguida, no final dos anos 60, houve a necessidade em se estudar outras bases alternativas em virtude do aumento do preço de cimento.

O fato dos materiais não se enquadrarem nos critérios convencionais provocou a busca de materiais que, muitas vezes, estavam distantes das obras, elevando-se então o custo final do pavimento em decorrência do aumento da distância média de transporte. Ainda nos anos 60, o DER (Departamento de Estradas de Rodagem) de Araraquara - SP executou diversos ensaios em solos arenosos finos que culminaram em elevados valores de CBR. A maioria desses solos não se enquadrava nos critérios estrangeiros para bases estabilizadas granulometricamente. Alguns pavimentos experimentais foram construídos utilizando-se bases de solos arenosos finos. Vários desses trechos apresentaram durabilidade surpreendente ao longo dos anos.

No ano de 1968, usou-se a mesma sistemática adotada para as variantes do Periquito e Cambuy, para se construir pavimentos nas ruas da cidade de Taquaritinga, conforme Villibor (1974⁵ apud BARROSO, 2002). Ainda neste ano, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) projetou, utilizando base de solo arenoso fino um trecho experimental de 1 km entre as cidades de Ilha Solteira e Pereira Barreto, e a CESP

⁴ Serra, P. M. (1987) *Considerações sobre misturas de solo-agregado com solos finos lateríticos*. Dissertação Mestrado, 106 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.

⁵ Villibor; D. F. (1974) *Utilização de solo arenoso fino laterítico na execução de bases de pavimento de baixo custo*. Dissertação Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP.

(Centrais Elétricas de São Paulo) executou a construção. Esse trecho estava sujeito a tráfego pesado e até 1995 não apresentava nenhum comprometimento estrutural (NOGAMI E VILLIBOR, 1995).

Villibor (1974⁵ apud BARROSO, 2002) fala que várias outras experiências foram feitas com o uso de solo arenoso fino, a exemplos, a Rua 22 de agosto em Araraquara (1971), acostamentos dos acessos a Dobrada e Santa Ernestina, Rodovia Matão-Colômbia-SP 326, (1971), acesso a Dois Córregos-Guarapuã (1972) e o entroncamento da BR 153 com SP 270 (1972).

Em 1972, Nogami objetivou contornar as dificuldades de obtenção rápida e econômica do CBR, principalmente na fase de anteprojeto de rodovias, dessa maneira, introduziu os princípios do ensaio de Mini-CBR através da execução desse ensaio, realizado em equipamentos de dimensões reduzidas, em que se pretendia determinar o valor de CBR de um solo.

Ainda nos anos 70, Villibor (1974⁵ apud BARROSO, 2002) apresentou em sua dissertação de mestrado, diversas considerações acerca do uso de solo arenoso fino em bases de pavimentos e propôs novos critérios de escolha desses materiais, ampliando os valores máximos adotados pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) conforme Tabela 2-2.

Sória (1978⁶ apud BARROSO, 2002), tendo como objetivo mostrar as diferenças das propriedades tecnológicas entre os solos arenosos lateríticos e os solos residuais saprolíticos, apresentou um relatório técnico para o convênio DER - IPAI 44/77, em que mostrou uma primeira análise de resultados obtidos a partir de solos compostos artificialmente em laboratório. Dois solos foram estudados, um laterítico e o outro residual saprolítico. Este autor propôs a utilização da RIS (relação entre índices de suporte) definida como o quociente entre o valor de Mini-CBR após 24h de imersão e o valor de Mini-CBR na unidade de moldagem a fim de separar os solos de comportamento laterítico dos não lateríticos.

⁶ Sória, M. H. A. (1978) *Relatório técnico de apreciação de programa desenvolvido dentro do convênio DER-IPAI 44/77 - "Estudo comparativo das características geotécnicas de solo laterítico e solo residual saprolítico a partir de solos em laboratório em função da granulometria"*. São Carlos, São Paulo.

Tabela 2-2 – Critério de escolha de solo arenoso fino para base de pavimento

<i>Características do Solo</i>	<i>Valores adotados pelo DNER até 1974</i>	<i>Valores propostos por Villibor (1974)</i>
% passante # 200	8 – 25	25 – 45
% passante # 40	30 – 70	85 – 100
LL (%)	≤ 25	20 – 30
IP (%)	≤ 6	≤ 9
CBR - energia modificada (%)	≥ 80	≥ 80
Expansão (%)	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$

Fabbri (1994) ressalta que até 1974 o termo laterítico ainda não tinha sido incorporado ao nome solo arenoso fino, no entanto, tinha sido apenas utilizado juntamente com a ocorrência geológica com o intuito de justificar as diferentes propriedades (peculiaridades) neles encontradas em relação àquelas previstas pela classificação de solos, comumente usadas no meio rodoviário até então.

O DNER (1974) apresentou uma especificação de serviço para “base estabilizada granulometricamente com utilização de solos lateríticos”, adaptando os critérios tradicionais de bases estabilizadas granulometricamente. Especificou apenas duas faixas granulométricas de pedregulho para o caso de ocorrência de laterita, permitindo uma maior porcentagem de finos nas misturas e o uso de granulometrias descontínuas. O valor admissível de LL passou a ser de até 40% e o IP até 15%, permitindo ainda, 65% como valor máximo do desgaste para o ensaio de abrasão Los Angeles.

Barroso (2002) afirma que a década de 80 foi marcada por uma grande ampliação da rede pavimentada devido aos programas financiados pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento). Os custos das rodovias foram substancialmente reduzidos, tendo em vista o aproveitamento de materiais locais, até então descartados por não atenderem às normas internacionais.

Vários estudos foram realizados no Brasil com o intuito de desenvolver um método de classificação que se aplicasse aos solos tropicais. Dentre as principais pesquisas que culminaram em êxito, vale destacar as de Nogami e Villibor (1980⁷, 1981⁸, 1985⁹ apud BARROSO, 2002) que resultaram na apresentação da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

Serra (1987¹⁰ apud BARROSO, 2002 p. 47) fez considerações sobre as dificuldades e deficiências dos critérios tradicionalmente usados nos organismos rodoviários para a escolha de misturas de solo-agregado e posterior uso em bases de pavimentos. Para tanto, executou misturas de materiais em laboratório para verificar as características da fração grossa (diâmetro máximo, forma da curva granulométrica e forma dos grãos) e as características da fração fina (porcentagem de silte de quartzo na fração silte + argila). O autor concluiu que:

A qualidade da mistura é determinada pelo fino laterítico que a compõe, o diâmetro máximo do agregado e a forma dos seus grãos são características de pouca influência nas propriedades (capacidade de suporte Mini-CBR, densidade, expansão e contração) determinadas, quando o fino é laterítico; a forma da curva granulométrica é um parâmetro auxiliar na definição do comportamento das misturas, mas não é determinativo, sendo que podemos trabalhar com agregado de curva granulométrica descontínua obtendo boa qualidade, desde que o fino seja laterítico.

Recomendou ainda este autor, a utilização de novos critérios baseados nos ensaios da metodologia MCT para selecionar misturas de solo-agregado com solos finos lateríticos.

⁷ Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1980) *Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação: limitações do método tradicional, apresentação de uma nova sistemática*. In: Reunião de Pavimentação, 15. Separata. Belo Horizonte, Minas Gerais.

⁸ Nogami, J. S., Villibor, D. F. (1981) *Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias*. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. Separata. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

⁹ Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1985) *Additional considerations about a new geotechnical classification for tropical soils*. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1. *Proceedings*. p.165-174. Brasília, Distrito Federal.

¹⁰ Serra, P. M. (1987) *Considerações sobre misturas de solo-agregado com solos finos lateríticos*. Dissertação Mestrado, 106 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.

2.3 ENSAIOS DA METODOLOGIA MCT

A metodologia MCT foi desenvolvida para identificação de solos com características lateríticas, que apresentem bom desempenho em obras viárias. Esta tecnologia é composta por uma série de ensaios em corpos-de-prova miniatura, compactados, segundo procedimento especial para o estudo de Solos Tropicais, os quais visam avaliar as propriedades dos solos e permitem a determinação de parâmetros aplicáveis em projetos de obras viárias. Dentre esses parâmetros, vale citar o índice de suporte Mini-CBR, que será mais bem descrito no item 2.6; Mini-MCV; perda de massa por imersão; permeabilidade; infiltrabilidade; contração; expansão; massa específica aparente seca máxima; teor ótimo de umidade; suscetibilidade do solo à erosão; e classificação de solos (Classificação MCT).

Em 1985 foi apresentado o ensaio SMCV (S de sub-miniatura), que se baseia no ensaio Mini-MCV, mas com a utilização de cilindros sub-miniatura de 26 mm de diâmetro (NOGAMI E VILLIBOR, 1995).

Nota-se certo consenso no meio técnico rodoviário de que a Metodologia MCT não se apresenta muito acessível à compreensão dos laboratoristas. Nogami e Villibor (2000) ressaltam que apesar dos esforços realizados por eles na divulgação desta metodologia, ela é ignorada em muitas escolas de engenharia.

A classificação MCT fundamenta-se nos ensaios Mini-MCV e perda de massa por imersão, de onde se extraem os parâmetros c' e e' do nomograma de classificação apresentado na Figura 2-1.

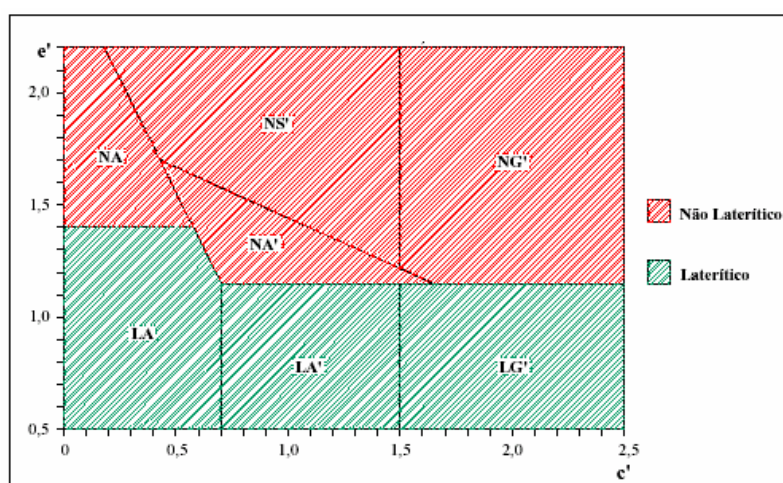


Figura 2-1 – Nomograma da classificação MCT

Fonte: Nogami e Villibor (1995)

Uma das principais dificuldades para compreensão e aceitação da metodologia de classificação geotécnica MCT reside no significado do coeficiente c' adotado nesta classificação e na grande quantidade de dados necessários para a determinação de um grupo da mesma. Por isso, os próprios propositores da classificação, Nogami e Villibor, verificaram que o uso de uma outra série para a compactação dos corpos-de-prova, diferente daquela sugerida por Parsons (1976) e utilizada até o momento na classificação MCT, a saber, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, ..., n , ..., $4n$, permitiria também obter o coeficiente c' (coeficiente angular da curva de deformabilidade) e os demais coeficientes d' (inclinação do ramo seco de curvas de compactação) e P_i (perda de massa por imersão) necessários para classificar geotecnicamente os solos tropicais de forma simplificada. Assim, propuseram algumas adequações na metodologia, basicamente relacionadas a uma nova conceituação do coeficiente c' a partir de uma série mais simples de golpes chamada de “Método Simplificado” MCT-S e a uma nova maneira de calcular as deformações dos corpos-de-prova (Nogami e Villibor 2000¹¹ apud MARANGON E MOTTA, 2005).

A metodologia MCT é aplicada somente aos solos que apresentam no mínimo 95% de material passando na peneira de abertura nominal igual a 2 mm, tendo em vista as dimensões reduzidas do cilindro de compactação Mini-MCV. O comportamento de solos mais grossos não é previsível por este método, pois se despreza a influência da parte grossa no comportamento integral do solo. Algumas adaptações foram sugeridas para resolver este problema, porém diversas pesquisas ainda precisam ser conduzidas para se caracterizar melhor o comportamento dos solos granulares.

Vertamatti (1988) propôs ainda alterações na forma de obtenção do parâmetro P_i , do ensaio de perda de massa por imersão, ou seja, a massa despreendida seria multiplicada por uma constante adicional em função da forma de desagregação.

Segundo Nogami e Villibor (1995) é possível obter várias propriedades dos solos a partir da classificação MCT, dentre elas destaca-se o valor do Mini-CBR. Na Tabela 2-3 encontram-se os dados qualitativos sobre as propriedades consideradas mais significativas dos grupos MCT e na Tabela 2-4, têm-se as faixas de variação dos valores dessas propriedades.

¹¹ Nogami, J. S; Villibor, D. F. (2000) *Consequências da nova conceituação do coeficiente c' da sistemática MCT no controle tecnológico de solos tropicais*. In: Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico. São Paulo, SP.

Tabela 2-3 – Dados qualitativos das propriedades mecânicas e hidráulicas da classificação MCT, segundo Nogami e Villibor (1995)

GRANULOMETRIAS TÍPICAS			Argilas siltes (q,s)	Areias siltosas	Siltes (k,m) Siltes arenosos	Argilas Argilas arenosas Argilas siltosas Siltes argilosos	Areias siltosas	Areias argilosas	Argilas Argilas arenosas Argilas siltosas Siltes argilosos
Designações do T1-71 do DER-SP									
k = caolinítico m = micáceo s = sericítico q = quartzoso									
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 B,M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	EXPANSÃO		B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO		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
	COEF. 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 M = Médio E = Elevado B = Baixo				Vide Tabela 2-4 para equivalente numérico		
Utilização	Base de pavimento		n	4º	n	n	2º	1º	3º
	Ref.subleito compactado		4º	5º	n	n	2º	1º	3º
	Subleito compactado		4º	5º	7º	6º	2º	1º	3º
	Aterro compactado		4º	5º	6º	7º	2º	1º	3º
	Proteção à erosão		n	3º	n	n	n	2º	1º
	Revestimento primário		5º	3º	n	n	4º	1º	2º
			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
		AASHTO	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

Vertamatti (1988) sugeriu a utilização de um equipamento semelhante ao MCV, desenvolvido por Parsons (1976) para o estudo das características dos solos granulares. O referido pesquisador estudou os chamados solos plintíticos da Amazônia, que podem passar totalmente ou ter uma parcela retida na peneira de abertura nominal igual a 2 mm. Então foi apresentada uma proposta de modificação da classificação MCT, incluindo no

ábaco de classificação, o grupo dos solos transicionais (T). O novo ábaco proposto passou a ser denominado de MCT-M (M de modificado), conforme Figura 2-2.

Tabela 2-4 – Faixas de variação dos valores da classificação MCT (NOGAMI E VILLIBOR, 1995)

Suporte mini-CBR (%), com sobrecarga padrão	Muito elevado Elevado Médio Baixo	> 30 12 a 30 4 a 12 < 4
Expansão (%)	Elevada Média Baixa	> 3 0,5 a 3 < 0,5
Coeficiente de sorção – s Log (cm/ $\sqrt{\text{min}}$)	Elevado Médio Baixo	> (-1) (-1) a (-2) < (-2)
Perda de suporte mini-CBR por imersão (%)	Elevada Média Baixa	> 70 40 a 70 < 40
Contração (%)	Elevada Média Baixa	> 3 0,5 a 3 < 0,5
Coeficiente de Permeabilidade – k Log (cm/s)	Elevado Médio Baixo	> (-3) (-3) a (-6) < (-6)

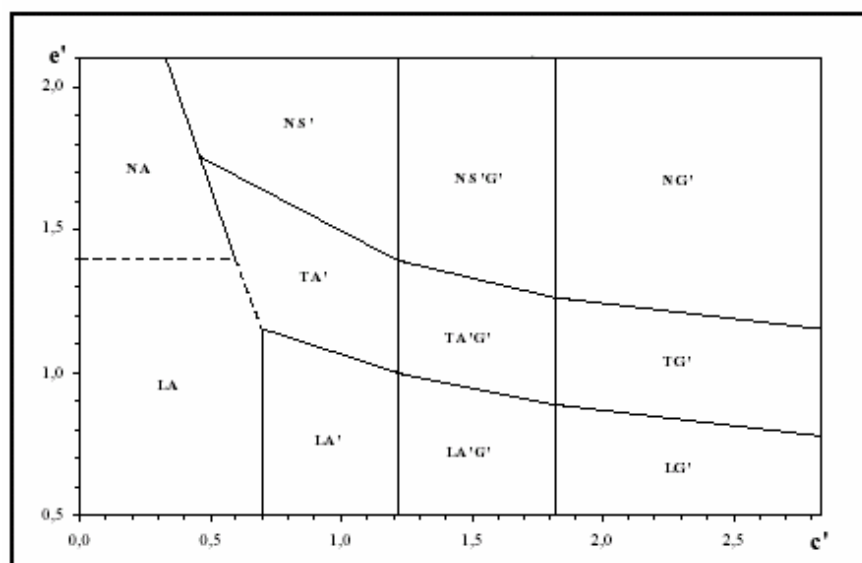


Figura 2-2 – Ábaco de classificação MCT – M, incluindo os solos transicionais
Fonte: Vertamatti (1988)

2.4 PECULIARIDADES DOS SOLOS TROPICAIS

De acordo com Barroso (2002) as características geotécnicas de um solo são determinadas em função do tipo de clima, da topografia, da fauna e do tempo. Nas regiões de clima tropical ocorrem fenômenos como a predominância de altas temperaturas, ausência de congelamento do subsolo, altos índices pluviométricos, lixiviação, etc. O referido autor comenta que não existe uma terminologia consagrada para a definição do que são solos tropicais.

Dessa forma, há um grande número de bibliografias nacionais e internacionais que procuram definir o que são solos tropicais. Essas acepções geram confusões no âmbito técnico-científico, visto que termos iguais podem ser usados para definir materiais diferentes e materiais iguais podem ser denominados por vários nomes diferentes. Ao passo que para Barroso (2002, p. 33) a terminologia adotada é aquela descrita por Nogami em 1996, no boletim informativo nº153 da Associação Brasileira de Pavimentação:

a) Conceituação Astronômica:

A conceituação mais simples e exata seria a astronômica, isto é, compreenderia os solos que se encontram na faixa astronômica entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, afastados cerca de 23 graus norte e sul do equador e que delimitam zona tropical ou inter-tropical.

De acordo com Barroso (2002), Nogami não considera essa definição satisfatória, visto que podem ser encontrados entre os trópicos vários tipos de solos que se diferenciam entre si, em função das diferentes condições geológicas e climáticas à que estão submetidos.

b) Conceituação Climática:

Mais racional e genérico, seria conceituar solos tropicais os que ocorrem em área de climas quentes e úmidos.

Os sistemas de classificação climática usualmente adotados (Koppen, Thorntwaite, IBGE, etc.) poderiam considerar como pertencentes a uma mesma classe, diversos tipos de solos diferentes, além de existir o problema de alguns tipos de solos (solos aluviais, solos de dunas e solos de tálus) se formarem independentemente do clima ser tropical ou não.

c) Conceituação Geotécnica: o Comitê on tropical Soils of ISSMFE (1985 apud Nogami e Villibor, 1995) descreve que solos tropicais geotecnicamente são:

Aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamento, relativamente aos solos não tropicais, em decorrência da atuação no mesmo de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas.

Nogami e Villibor (1995) consideram como sendo lateríticos aqueles de comportamento geotécnico laterítico, conseqüentemente caracterizados por possuírem uma série de propriedades que os levem a ser classificados como de comportamento laterítico, segundo a classificação MCT. Os solos de comportamento laterítico mesmo não se enquadrando nos critérios tradicionais apresentam potencial para serem usados em camadas mais nobres do pavimento.

No Brasil, para estes escritores, dentre os solos tropicais destacam-se duas classes principais: solos de comportamento laterítico e de comportamento não laterítico. É comum observar em campo o aparecimento de uma linha de seixos separando os horizontes lateríticos, posicionados acima da linha de seixos dos não lateríticos, conforme Figura 2-3.

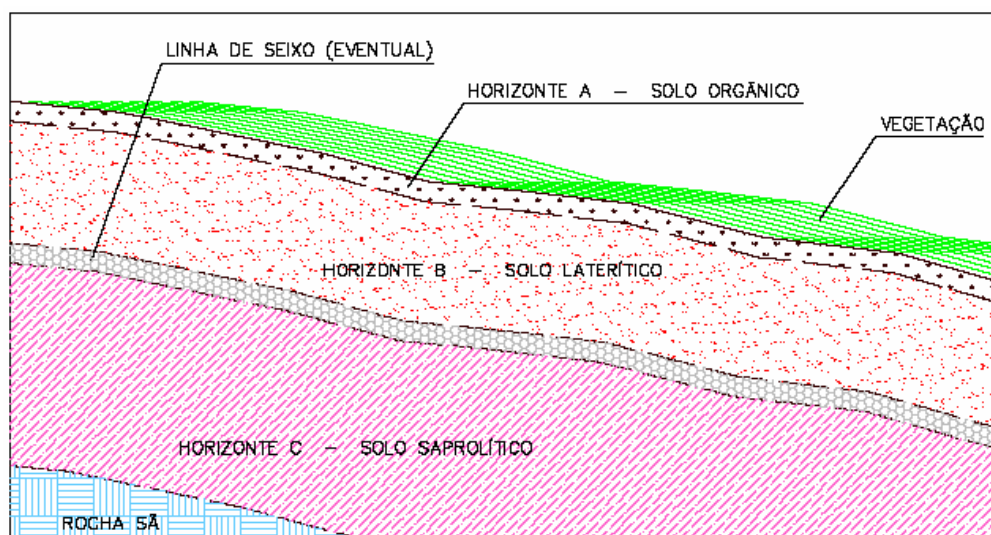


Figura 2-3 – Perfil típico de intemperismo de solos tropicais

Fonte: Marson, L. A., (2004)

Geotecnicamente, a linha de seixos tem em geral significado prático importante. Isso porque, com freqüência, essa linha limita inferiormente o horizonte superficial laterítico. Abaixo da linha de seixos, podem ser encontrados tanto solo saprolítico como transportado e, mais raramente, o pedogenético superficial.

Em 1996 Nogami salienta que os solos devem atender a duas condições para que sejam considerados tropicais, isto é, ocorrer em clima úmido e quente e possuir propriedades e comportamentos diferentes dos solos tradicionais (os solos tropicais não são

caracterizados com sucesso através do uso de critérios granulométricos e dos valores de LL e IP).

Conseqüentemente para que um solo seja considerado tropical não basta que tenha sido formado na faixa astronômica tropical ou em região de clima tropical úmido. É indispensável que possua determinadas propriedades de interesse geotécnico.

2.4.1 Solos Lateríticos

Os solos tropicais lateríticos apresentam características típicas como composição mineralógica (quartzo, caulinita, oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio), grande espessura e horizonte com cores principais, vermelha ou amarela, de acordo com Marson, L. A., (2004).

A formação dos solos é dividida em dois processos sucessivos de evolução: o Geológico (comum na maioria das regiões da Terra) e o Pedológico (típico de regiões tropicais). Os principais fatores determinantes das particularidades dos solos são: o clima, a fauna, o relevo, a constituição da rocha matriz e o tempo de exposição aos agentes intempéricos, já que o solo é produto deste intemperismo nas rochas.

Pedologicamente os solos lateríticos são uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas.

Diversos autores chamam a atenção para o fato de que no meio rodoviário o termo solo laterítico é freqüentemente empregado para significar pedregulho laterítico.

Os solos lateríticos ocupam a parte mais superior do terreno como os demais solos de origem pedológica, constituindo o horizonte B que pode apresentar camadas de cerca de 1 (um) a vários metros de espessura.

Nogami (1985¹² apud MARSON, M., 2004) argumenta que os solos lateríticos na sua macroestrutura possuem aparência homogênea e isotrópica, sendo que as variedades argilosas exibem aglomeração, formando torrões razoavelmente resistentes mesmo quando imersos na água.

De acordo com a metodologia MCT os solos de comportamento laterítico são designados pela letra L, e subdivididos em 3 grupos:

¹² Nogami, J. S. *Aspectos Gerais de Solos Tropicais e suas aplicações em estradas de rodagem*. In: COLOQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, I., 1985, Porto Alegre. Anais...[S. l.: s.n.], 1985. p. 1-15.

- LA – areia laterítica quartzosa;
- LA' – solo arenoso laterítico; e
- LG' – solo argiloso laterítico.

A fração areia é constituída predominantemente por quartzo, contudo pode apresentar outros minerais resistentes, como a magnetita, a turmalina, o zircão, etc. Frequentemente, nessa e na fração pedregulho, ocorrem quantidades variadas de grumos estáveis até concreções ferruginosas ou aluminosas (óxidos de ferro e ou alumínio), conhecidas como lateritas, as quais podem apresentar resistência mecânica elevada.

A fração silte praticamente não existe ou então é composta por quartzo ou caulinita.

A fração argila é constituída de argilo-minerais da família da caulinita e óxidos de ferro e/ou alumínio hidratado. Estes óxidos envolvem os argilo-minerais, resultando numa microestrutura esponjosa. Os elementos que a constituem são predominantemente pequenos (diâmetro inferior a 2 microns). Porém, devido à cimentação entre eles, a granulometria resultante dos ensaios padronizados pode acusar sensível porcentagem de grãos maiores nas frações areia e silte.

Santana e Gontijo (1987¹³ apud MARSON, L. A., 2004) relatam que, em geral os solos lateríticos apresentam CBR relativamente alto e expansão baixa, Limite de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade (IP) elevados, e alto módulo resiliente. Além disso, não perdem muita resistência quando em contato com a água, podem apresentar contração elevada quando secos e possuem aglomeração bem desenvolvida, tornando-se permeáveis e resistentes à erosão. Desse modo, quando apresentam alguma porcentagem de fração silte, se esta for de origem quartzosa (areia bem fina) podem trazer ganhos em termos de resistência, e se for de origem caulínica levará à menor expansibilidade do solo. Cabe dizer que a fração de origem micácea não ocorre em solo laterítico maduro.

De acordo com Nogami e Villibor (1995) os solos lateríticos possuem uma série de peculiaridades quanto ao suporte Mini-CBR, das quais se destacam:

- a) pequena diminuição do valor de suporte pela imersão em água, nas condições próximas à ótima de compactação. Para caracterizar essa diminuição, em 1981, Villibor

¹³ Santana, H.; Gontijo, P. R. A. *Os Materiais Lateríticos na Pavimentação de Baixo Custo no Brasil*. In: 22ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Maceió, 1987. p. 850-899.

propôs o valor RIS dado pela Expressão 2.1. Assim, os solos lateríticos arenosos geralmente têm RIS elevados (maiores que 50 %);

$$RIS = 100 \frac{Mini-CBR_{imerso}}{Mini-CBR_{semimersão}} > 50\% \quad (2.1)$$

- b) Valor de expansão relativamente pequeno, mesmo nas argilas e solos argilosos, quando compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima. Esse valor não aumenta sensivelmente, mesmo para energias acima da intermediária. A expansão poderá ser visível nas amostras compactadas no ramo seco.

2.4.2 Solos Saprolíticos

Os solos saprolíticos são aqueles que resultam da decomposição e ou desagregação “in-situ”, mantendo ainda de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem. É, portanto, um solo genuinamente residual, designado residual jovem.

Segundo a classificação MCT, os solos de comportamento não-laterítico, dentre os quais estão compreendidos os solos saprolíticos, são designados pela letra N e subdivididos em 4 grupos:

- NA – areias, siltes e misturas de areias e siltes com predominância de grão de quartzo e/ou mica, não laterítico;
- NA’ – misturas de areias quartzosas com finos de comportamento não laterítico (solo arenoso);
- NS’ – solo siltoso não laterítico e
- NG’ – solo argiloso não laterítico.

Para Marson, M., (2004) os solos saprolíticos encontram-se geralmente subjacentes a uma camada de outro tipo genético de solos, como os lateríticos, os orgânicos, os transportados, dentre outros, com espessuras oscilando de centímetros a várias dezenas de metros. Geralmente possuem manchas com características herdadas da rocha matriz ou

desenvolvidas no processo de intemperismo, normalmente apresentam uma macroestrutura heterogênea e com anisotropias destacadas, ou seja, propriedades visivelmente diferentes.

Estes solos podem variar de extremamente plásticos até não plásticos e de altamente expansivos (quando encharcados) até muito contráteis (quando secos), de acordo com a rocha de origem. São bastante erodíveis e comumente apresentam baixo valor de CBR e baixo módulo de resiliência. Os grãos de solos saprolíticos costumam mostrar resistência mecânica variando de alta a baixa, em função do grau de intemperismo.

A presença de mica na fração areia pode mudar seu comportamento, causando problemas de ordem geotécnica. Na fração silte, a elevada concentração desse mineral torna o solo muito expansivo, tanto na molhagem quanto na secagem.

De acordo com Nogami e Villibor (1995), os solos saprolíticos siltosos, micáceos e/ou caoliníticos ou arenosos micáceos possuem uma série de peculiaridades, das quais se destacam:

- a) Valor de suporte geralmente abaixo das previsões baseadas nos índices classificatórios tradicionais ou dos grupos das classificações tradicionais. O valor de suporte sofre ainda influência da sobrecarga, razão pela qual o uso de sobrecarga padrão apenas, não caracteriza apropriadamente o material;
- b) Valor de expansão relativamente elevado, face ao baixo LL e IP, bem como da porcentagem de argila. Essa expansão é rápida e acompanhada pelo desenvolvimento de pressão de expansão relativamente baixa.

2.4.3 Solos Transicionais

Existem também os solos transicionais, cuja denominação foi introduzida por Vertamatti (1988) para designar solos transportados, geralmente coluvionares, ou ainda, solos não muito afetados pelos processos pedogenéticos, dado que se posicionam na faixa central do ábaco da classificação MCT, evidenciando, assim, um caráter de transição no processo de evolução genética dos solos tropicais.

Dessa forma, foram introduzidas também alterações no ábaco de classificação com a inclusão de novos grupos com base na observação do comportamento de solos sedimentares da região amazônica. Devido a esse fato, o ábaco passou a ser denominado

MCT-M (modificado), conforme dito anteriormente, e a classificação MCT a dividir os solos em onze grupos. São eles:

- NA (areia não laterítica);
- NG' (solo argiloso não laterítico);
- NS' (solos siltoso não laterítico);
- NS'G' (solo silto-argiloso não laterítico);
- TA' (solo arenoso transicional);
- TA'G' (solo areno-argiloso transicional);
- TG' (solo argiloso transicional);
- LA (areia laterítica);
- LA' (solo arenoso laterítico);
- LA'G' (solo areno-argiloso laterítico);
- LG' (solo argiloso laterítico).

2.5 CLASSIFICAÇÃO MCT

2.5.1 Ensaio de Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão

O ensaio Mini-MCV está fundamentado no mesmo processo de compactação proposto por Parsons (1976). As diferenças introduzidas pelos autores da classificação MCT dizem respeito às dimensões reduzidas do equipamento, ao peso da amostra ensaiada (200 g) a destinar-se somente a solos finos e à obtenção do Mini-MCV que deve ser calculado para o número de golpes correspondente a um afundamento igual a 2 mm. O afundamento é a diferença entre a altura do corpo-de-prova compactado com certo número de golpes e a altura desse mesmo corpo-de-prova quando compactado com 4 vezes esse número de golpes.

A aparelhagem necessária à execução do ensaio de Mini-MCV é apresentada na Figura 2-4.

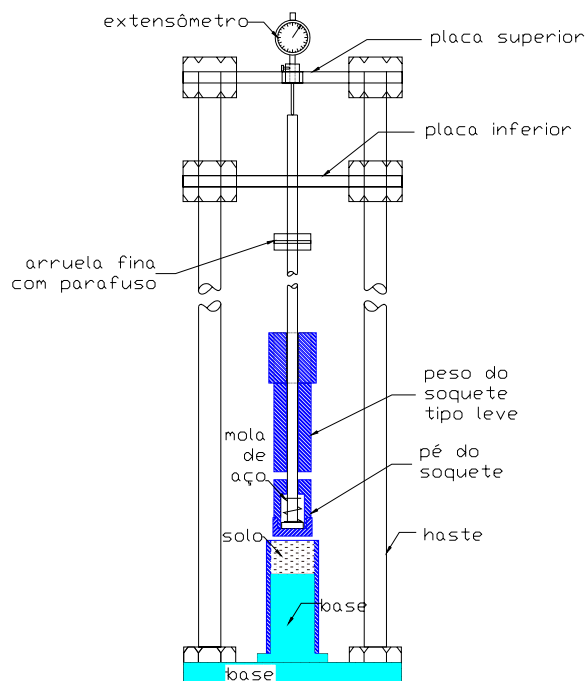


Figura 2-4 – Equipamento utilizado no ensaio Mini-MCV

Fonte: Ilustração DNER - ME 228/94, desenho adaptado por Andrade (2005)

O ensaio Mini-MCV é executado com energia de compactação variável e massa úmida de solo constante (200 g de material) segundo os procedimentos descritos nas normas DNER-ME 228/94 (Compactação) e 258/94 (Mini-MCV):

- pesar no mínimo cinco porções de solo, cada uma com 1 kg, adicionando-lhes água, de modo que a umidade seja crescente; depois, colocar o solo umedecido em saco plástico hermeticamente fechado, deixando que a umidade se uniformize por, no mínimo, 10 horas;
- pesar 200 g de cada uma das porções do solo, iniciando-se o processo de compactação pelo ponto mais úmido; colocar essa porção de solo no cilindro, posicionado no pistão inferior do aparelho de compactação e com um disco de polietileno sobre o topo desse pistão (para que não haja aderência do solo na base do aparelho de compactação); em seguida, apertar o topo da porção de solo com um cilindro adequado, colocando sobre a parte superior do corpo-de-prova a ser moldado, um outro disco espaçador plástico;

- c) aplicar o primeiro golpe e medir a altura A_1 do corpo-de-prova, utilizando-se um extensômetro posicionado na vertical; aplicar a seguir números de golpes sucessivos crescentes, de forma a totalizarem, somados com os golpes anteriormente dados, números de golpes n iguais a 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256, e fazer as leituras das alturas correspondentes a cada número de golpes ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_8, A_{12}, A_{16}, A_{24}, A_{32}, A_{48}, A_{64}, A_{96}, A_{128}, A_{192}$ e A_{256});
- d) o processo de compactação é finalizado quando a diferença de altura $A_n - A_{4n}$ for menor que $0,1 \text{ mm}^{14}$, ou quando ocorrer exsudação, ou à medida que o número de golpes totalizar 256;
- e) repetir a sequência de a à d para os outros teores de umidade.

A partir dos resultados do ensaio Mini-MCV, traçam-se para cada teor de umidade, as curvas de afundamento ou de Mini-MCV, que são lançadas em um diagrama em que o eixo das abscissas está em escala logarítmica e representa o número de golpes e o eixo das ordenadas representa o valor correspondente à diferença de leitura $A_n - A_{4n}$ (n é o número de golpes aplicados ao corpo-de-prova). Enfim, para cada curva de afundamento, determina-se o valor do Mini-MCV, bastando para isso verificar o ponto onde tal curva intercepta a reta de equação $a = 2 \text{ mm}$, lendo, no eixo das abscissas, o valor do número de golpes (B_i) correspondente. O valor do Mini-MCV será dado pela Expressão 2.2.

$$\text{Mini-MCV} = 10 \cdot \log 10(B_i) \quad (2.2)$$

O ensaio de Mini-MCV é utilizado para determinar os coeficientes c' e d' , necessários para que um solo seja classificado pela classificação MCT. O coeficiente c' (dado em mm/golpe) é determinado pela inclinação da reta tangente às curvas de afundamento e passa no ponto de afundamento igual 2 mm e $\text{Mini-MCV} = 10$. O coeficiente d' é calculado a partir do coeficiente angular da parte mais inclinada do ramo seco da curva de compactação (teor de umidade X massa específica aparente seca) correspondente a 12 golpes e deve ser expresso em kg/m^3 .

¹⁴ Valor correto dado pelo Engº Antônio Carlos Gigante, da EESC – USP, em entrevista pessoal com a orientadora.

A fim de que se obtenha a classificação MCT do solo pela Norma DNER-CL 259-96, dada pelo nomograma da Figura 2-1 é necessário ainda realizar o ensaio de perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94), com o qual se obtém o valor do coeficiente de perda de massa por imersão P_i usado no cálculo do parâmetro e' através da Expressão 2.3.

$$e' = \sqrt[3]{\left(\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}\right)} \quad (2.3)$$

A perda de massa por imersão P_i , para uma determinada condição de compactação, é dada pela Expressão 2.4.

$$P_i = \frac{M_d \times 100}{M_o} (I) \quad (2.4)$$

onde:

P_i – perda de massa por imersão, expressa em porcentagem, com aproximação de uma unidade;

M_d – massa de solo seco, da porção, desprendida do corpo-de-prova, em gramas;

M_o – massa de solo correspondente da 10 mm do corpo-de-prova, logo após a compactação do mesmo, em gramas. Quando a porção desprendida tiver forma de um único cilindro, a sua massa seca em estufa deve ser multiplicada pelo fator 0,5.

O valor do coeficiente P_i , usado na classificação, é obtido por interpolação gráfica, traçando-se a curva de variação das porcentagens da massa seca desprendida da parte do corpo-de-prova, obtidas em função do Mini-MCV e procurando-se o valor correspondente a Mini-MCV = 10.

2.5.2 Classificação MCT – Expedita

Para se adequar a classificação MCT para estudos geotécnicos preliminares, procurou-se desenvolver métodos expeditos de identificação dos diversos grupos da mesma. Dentre estes, temos o Método de Compactação Subminiatura e Método das Pastilhas.

Nogami e Villibor (1985¹⁵ apud MARSON, M., 2004) apresentaram o equipamento de compactação subminiatura, que foi desenvolvido como uma primeira tentativa de tornar os procedimentos de ensaio da Classificação MCT mais simples, rápidos e com menor custo, utilizando menor quantidade de amostra (500 g no total) e equipamentos mais leves. Na Tabela 2-5 são mostradas as principais diferenças entre os equipamentos de compactação miniatura e subminiatura.

Tabela 2-5 – Principais diferenças entre equipamentos de compactação miniatura e subminiatura

Equipamento	Miniatura	Subminiatura
Massa do soquete (g)	2.270	1.000
Altura de queda do soquete (mm)	305	200
Diâmetro do molde de compactação (mm)	50	26

O Método das Pastilhas para Godoy e Bernucci (2000) consiste essencialmente na avaliação de propriedades geotécnicas de pastilhas de solo moldadas em anéis de aço inoxidável, avaliação realizada de forma expedita.

De acordo com os pesquisadores mencionados acima este método surgiu na década de 80 com Nogami e Cozzolino (1985), que propuseram um novo ensaio designado de “ensaio expedito das pastilhas” a fim de se fazer a identificação expedita dos grupos de classificação MCT.

A partir desse instante, o método tem passado por diversas adaptações, dentre as quais Godoy e Bernucci (2000) destacam as de Fortes e Nogami (1991)¹⁶; Nogami e Villibor (1994¹⁷ e 1996¹⁸). Godoy (1997) e Fortes (2002) apresentam uma nova proposta.

¹⁵ Nogami, J. S. ; Villibor, D. F. *Additonal Considerations about a new Geotechnical Classification for Tropical Soils*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, I., 1985, Brasília. Anais... [S.l.:s.n.], 1985. v. 1, p. 165-174.

¹⁶ Fortes, R. M. e Nogami, J. S. *Método expedito de identificação do grupo MCT de solos tropicais utilizando-se anéis de PVC rígido*. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 25, São Paulo, 1991. Anais, São Paulo, ABPv, v. 1, p.591-604.

2.6 ENSAIO MINI-CBR

Nogami (1972) publicou os resultados de uma pesquisa que se compõe da utilização de equipamentos de dimensões reduzidas para prever o valor do Índice de Suporte Califórnia, a fim de empregá-lo no dimensionamento de pavimentos flexíveis. Assim, este trabalho restringiu-se ao estabelecimento da relação entre valores do Mini-CBR e os valores do CBR, em amostras compactadas na energia normal.

Em suas conclusões, Nogami (1972) verifica a existência de uma excelente relação entre os valores de CBR, obtidos segundo o método do DER-SP (para amostras compactadas na energia normal e encharcamento de quatro dias), e os valores obtidos por meio da execução do ensaio de Mini-CBR e utilização das equações de regressão desenvolvidas. Isto foi comprovado, mesmo havendo diferenças entre as respectivas curvas de compactação.

Segundo Nogami e Villibor (1995) o Mini-CBR foi o primeiro ensaio da metodologia MCT a ser desenvolvido, tendo em vista que o dimensionamento das camadas constituintes do pavimento era feito com base na capacidade de suporte do subleito e das camadas granulares constituintes do pavimento.

Em suma, o princípio básico do ensaio de Mini-CBR é o mesmo do CBR só que se caracteriza por utilizar corpos-de-prova de dimensões reduzidas, com 50 mm de diâmetro e pistão de penetração de 16 mm de diâmetro. Na Figura 2-5 são apresentados os cilindros de Mini-CBR e CBR.

O ensaio foi inicialmente desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa, por Lafleur et al. (1960¹⁹ apud NOGAMI E VILLIBOR, 1995), foi adaptado por Nogami (1972) com o intuito de poder correlacionar seus resultados com o CBR obtido segundo a

¹⁷ Nogami, J. S. e Villibor, D. F. *Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10. Foz do Iguaçu. 1994. Anais.. ABMS. P.1293-1300.

¹⁸ Nogami, J. S. e Villibor, D. F. *Importância e determinação do Grau de Laterização em Geologia de Engenharia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8. Rio de Janeiro, RJ. 1996. Anais. ABGE. V.1, p.345-358.

¹⁹ Lafleur, J. D., Davidson, D. T., Katti, R. T., Gurland, J. (1960) *Relationship Between the California Bearing Ratio and Iowa Bearing Value, in Methods for Testing Engineering Soils*. Iowa State University. Ames, Iowa.

norma do DNER e, posteriormente, foi normalizado pelo DNER. Na Figura 2-6 está apresentado o equipamento utilizado no ensaio Mini-CBR.



Figura 2-5 – Cilindros de Mini-CBR e CBR

Fonte: BARROSO, (2002)

Barroso (2002) tentou estabelecer relações entre valores de mini-CBR após 24 horas de imersão e CBR. Para cada amostra foram realizados ensaios de Mini-CBR e CBR nas energias de compactação normal e intermediária. O ensaio de CBR foi determinado conforme a norma DNER ME 50-94 para umidade ótima e o ensaio de Mini-CBR foi feito de acordo com o método de ensaio DER M 192-88.

Depois de tentar relacionar os valores de Mini-CBR após 24 horas de imersão com os valores de CBR, este autor constatou que não há relação entre essas duas propriedades, nem para energia normal tampouco para a intermediária.

Em síntese, Barroso (2002) afirma que o ensaio de Mini-CBR pode considerar a capacidade de suporte em várias condições, inclusive com ou sem imersão em água e sobrecarga, e podem ser utilizados corpos-de-prova compactados nas energias normal ou intermediária.

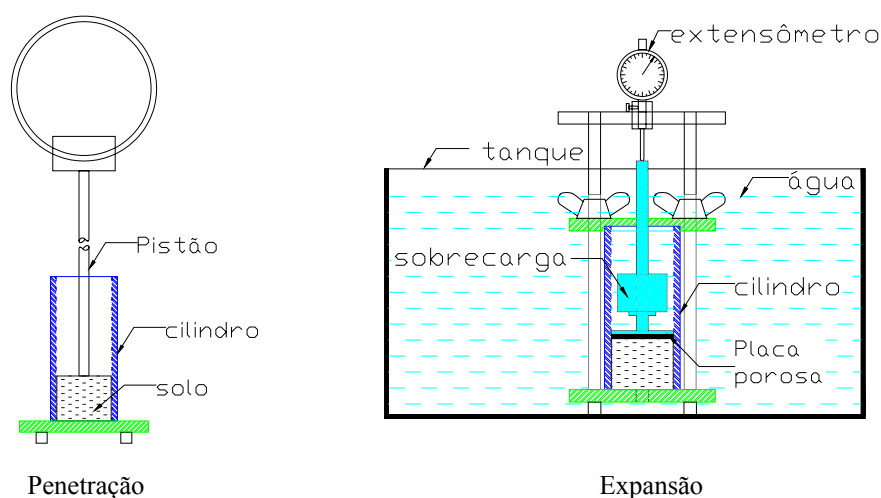


Figura 2-6 - Equipamento utilizado no ensaio Mini-CBR

Fonte: Ilustração DNER - ME 228/94, desenho adaptado por Andrade 2005.

De acordo com Mackenzie (199?), o ensaio Mini-CBR com imersão e com sobrecarga é realizado para se estudar o comportamento dos solos do subleito ou solos para a execução de aterros. Já o ensaio sem imersão e sem sobrecarga é realizado quando se faz o estudo da capacidade de suporte de solos para bases, pois bases de pavimentos econômicos não recebem camadas espessas de revestimentos, ou seja, sem sobrecarga.

A preparação, execução e cálculo do ensaio seguem as normas: DNER-ME-254/94 Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-CBR e expansão; e DNER-ME 228/94 – Solos - compactação em equipamento miniatura.

A determinação do valor do Mini-CBR pela norma do DNER-ME-254, acima citada, segue a proposta de Nogami (1972), que ensaiou treze solos considerados típicos do Estado de São Paulo e estabeleceu uma correlação dos valores do Mini-CBR com o CBR para energia de compactação normal. Posteriormente, a mesma correlação foi estendida para a execução do ensaio na energia intermediária. As correlações obtidas, usadas para se determinar o valor de Mini-CBR de um solo, são expressas pelas expressões 2.5 e 2.6. Para efeito de determinação do valor final do Mini-CBR, adota-se sempre o maior valor adquirido a partir do uso das duas expressões.

$$\log_{10}(\text{Mini-CBR1}) = -0,254 + 0,896 \cdot \log_{10} C1 \quad (2.5)$$

$$\log_{10}(\text{Mini-CBR2}) = -0,356 + 0,937 \cdot \log_{10} C2 \quad (2.6)$$

onde:

(Mini-CBR1) = Mini-CBR correspondente à penetração de 2,0 mm, dado em %;

(Mini-CBR2) = Mini-CBR correspondente à penetração de 2,5 mm, dado em %;

C1 = carga correspondente à penetração de 2,0 mm, expressa em kgf;

C2 = carga correspondente à penetração de 2,5 mm, expressa em kgf.

Nos anos subseqüentes, Nogami e Villibor (1985²⁰ apud BARROSO, 2002) apresentaram uma simplificação do ensaio de Mini-CBR chamado de ensaio S-CBR. Este ensaio é realizado em corpos-de-prova com 26 mm de diâmetro. A Tabela 2-6 apresenta as características dos ensaios CBR, Mini-CBR e S-CBR para fins de comparação.

Em decorrência da execução do ensaio Mini-CBR, outras propriedades podem ser determinadas, tais como contração e expansão. Vale ressaltar que o procedimento para a determinação do Mini-CBR difere do CBR tradicional, sobretudo pelas dimensões reduzidas dos corpos-de-prova, nos moldes e soquetes de compactação, no pistão de penetração e no tempo de imersão que foram adaptados para as dimensões dos corpos-de-prova.

Segundo Marson, L. A., (2004, p. 2) o ensaio Mini-CBR possui vantagens consideráveis quando comparado a seu predecessor, a exemplos, maior rapidez na execução, necessidade de menor volume de material e maior praticidade, dentre outros benefícios. No entanto, o autor salienta que:

Pairam algumas dúvidas quanto à extensão da aplicabilidade da correlação entre os ensaios CBR e Mini-CBR apresentada por Nogami (1972) e adotada até a presente data, quais sejam: o autor citado adotou uma única correlação ensaiando solos de diferentes gêneses; e a utilização de tal correlação para obter-se o valor Mini-CBR para qualquer quantidade de golpes equivalente à energia de Proctor Intermediário, dado que esta originou-se de correlação com valores obtidos da energia do Proctor Normal.

Devido a isso ele procurou obter uma correlação entre os ensaios CBR e Mini-CBR especificamente para o grupo de solos lateríticos de textura fina, com variações granulométricas entre muito argiloso a muito arenoso.

²⁰ Nogami, J. S. ; Villibor, D. F. *Additonal Considerations about a new Geotechnical Classification for Tropical Soils*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, I., 1985, Brasília. Anais... [S.l.:s.n.], 1985. v. 1, p. 165-174.

Tabela 2-6 – Características dos ensaios CBR, Mini-CBR e S-CBR

Ensaio	CBR DNER-ME 049/94 NBR 9895/87	Mini-CBR DNER-ME 0254/94	S-CBR (Nogami e Villibor, 1995)
Moldes - diâmetro	150 mm	50 mm	26 mm
- volume do CP	2085 ml	100 ml	14 ml
Amostras – massa	6000 g (1)	250 g (1)	30 g (1)
- diâmetro máx. dos grãos	19 mm	2 mm	2 mm
Compactação - Energia Normal ✓ Soquete ✓ Altura queda ✓ Golpes, total - Energia intermediária ✓ Soquete ✓ Altura queda ✓ Golpes, total	4,5 kg 457 mm 60	2,270 kg 305 mm 8 ou 10	1 kg 200 mm 6 (1)
Pistão de penetração - diâmetro	49,5mm	16 mm	8 mm
Prensa – capacidade recomendada	44,5 kN	3 kN	1 kN
- velocidade (mm/min)	1,27	1,27	1,27
Tempo de imersão (horas)	96	20-24	20-24

Alguns outros aspectos relacionados ao Mini-CBR também foram investigados no trabalho de Marson, L. A., (2004), como as influências da quantidade de golpes utilizadas na compactação, do teor de umidade de moldagem, do procedimento de compactação, da face do corpo-de-prova utilizada no teste de penetração, da sobrecarga padrão e da imersão dos corpos-de-prova em água nos resultados de ensaio, além da repetibilidade deste, que culminou numa proposta de alteração da forma de execução e cálculo do Mini-CBR.

2.6.1 Alterações propostas por Marson, L. A., (2004)

Marson, L. A., (2004) propôs modificações no ensaio de Mini-CBR em que visava sua simplificação, e obter uma forma de cálculo do valor do Mini-CBR que expressasse sua equivalência com o CBR, uma vez que a forma original de Nogami (1972) baseou-se em estatísticas de resultados alcançados apenas com solos do interior de São Paulo.

Quanto à preparação das amostras e etapas precedentes à compactação, o procedimento é o mesmo determinado pelas normas acerca do ensaio de Mini-CBR (DNER-ME-254/94 e DNER-ME 228/94).

Na execução da compactação, diferentemente da norma de compactação DNER-ME 228/94, Marson, L. A., (2004) sugere que sejam utilizadas, para cada teor de umidade, uma massa constante de 200 g de solo e que a quantidade de golpes do soquete leve a ser desferida para a moldagem do corpo-de-prova siga o seguinte critério:

- Solos argilosos ou argilo-arenosos – 8 golpes numa única face do corpo-de-prova.
- Solos arenosos – 10 golpes numa única face do corpo-de-prova.

Para a definição do caráter arenoso ou argiloso deste critério devem ser observados os percentuais granulométricos de areia (retidos na # 200) e silte + argila (passados na # 200), obtidos do ensaio de granulometria.

Segundo a norma do DNER, deve ser aplicada a metade do número total de golpes de um lado, inverter a posição do corpo-de-prova e aplicar o restante do número de golpes.

No ensaio de penetração tanto pela norma como por Marson, L. A., (2004), coloca-se o molde com a porção de solo compactada (sem imersão em água e sem sobrecarga) no prato de uma dada prensa (similar à utilizada no ensaio CBR, porém com um conjunto dinamométrico com capacidade para 500 kg e sensibilidade de 0,5 kg) e eleva-se o prato até que a ponta do pistão encoste levemente na superfície do corpo-de-prova. Executa-se, então a penetração, com velocidade constante de 1,27 mm/min, efetuando-se simultaneamente as leituras no extensômetro do anel dinamométrico nas penetrações indicadas na Tabela 2-7.

Ao passo que para o cálculo do Mini-CBR, de forma idêntica ao da norma, obtém-se o respectivo valor da carga em kg, marca-se os pontos coordenados (penetração; carga) num gráfico e traça-se por eles a curva média correspondente.

Tabela 2-7 – Relação das penetrações e tempos de leitura do ensaio de penetração

Mini-CBR (Marson, L. A., 2004)	
Penetração	Tempo
0,0	0''
0,25	12''
0,5	24''
0,75	35''
1,0	47''
1,25	59''
1,5	1'11''
2,0	1'34''
2,5	1'58''
3,0	2'22''
3,5	2'45''

O valor do Mini-CBR em porcentagem, de modo a ser equivalente ao CBR, é determinado aplicando-se uma das expressões 2.7 ou 2.8, onde a *Pressão* em kg/cm² é o valor da carga correspondente à penetração de 2,0 mm dividida pela área do pistão de 16 mm de diâmetro.

- *Solos argilosos ou argilo-arenosos: Mini-CBR = 1,5140 x Pressão – 11,5979* (2.7)

- *Solos arenosos: Mini-CBR = 1,5262 x Pressão – 33,6220* (2.8)

Marson, L. A., (2004) ao seguir as Normas do DNER, obteve um coeficiente de correlação $R^2 = 0,83$ para 3 solos diferentes (Maringá, Taubaté e São Carlos) e com as alterações no ensaio e nos cálculos acima citados, chegou a um resultado com coeficiente de correlação $R^2 = 0,99$.

Apesar disso, Barroso (2002), analisando solos da região metropolitana de Fortaleza-CE, não obteve correlações entre o Mini-CBR e o CBR.

No que diz respeito a Vieira e Prates (2002) estes autores ao trabalharem com 51 amostras 3 de cada um dos 17 locais do estado de Mato Grosso (ao longo da BR 163), chegaram a um Mini-CBR cerca de 30% maior que o CBR.

Ferreira et al. (1987²¹ apud MARSON, L. A., 2004), em um estudo comparativo entre os ensaios CBR (energia normal) e Mini-CBR, em que o Mini-CBR foi calculado pelas equações propostas por Nogami (1972), apresentou as correlações obtidas para os pares

²¹ Ferreira, A. A.; Rocha, H. C.; Alvarez Neto, L. *Algumas Correlações do Índice de Suporte e de Parâmetros de Compactação para os solos da Região Metropolitana de São Paulo*. In: 22ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Maceió, 1987. Vol. I, p. 900 – 929.

(CBR; Mini-CBR), (W_{ot} ; Mini- W_{ot}) e $\rho_{smáx}$; Mini- $\rho_{smáx}$). De acordo com estes estudos, o Mini-CBR foi obtido segundo Nogami (1972). Enfim, para esta análise, foram utilizadas 185 amostras de solos para correlacionar os valores de CBR e Mini-CBR e 215 amostras de solos para comparar os dados de W_{ot} e $\rho_{smáx}$, alcançados nos ensaios Proctor e Mini-Proctor, as quais foram enquadradas em dois grandes grupos, visto logo abaixo:

- Pré-Cambriano (embasamento cristalino):
 - Granitos
 - Migmatitos e Gnaisses
 - Micaxistos e Metarenito
 - Xistos Miloníticos (rochas de zona de falha)
- Cenozóico (sedimentos inconsolidados):
 - Argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo (Terciário)
 - Argilas, areias e cascalhos aluvionares (Quaternário)

As correlações obtidas foram apresentadas para o total das amostras e para o grupo a que pertencem na Classificação MCT transcritas a seguir:

- Para o total de amostras de todos os grupos:
 - CBR x Mini-CBR ($n = 185$)
 - o $CBR = 0,788 \times \text{Mini-CBR} + 2,893 \gg R^2 = 0,515$
 - Proctor x Mini-Proctor ($n = 215$)
 - o $W_{ot} \times \text{Mini-}W_{ot} \gg R^2 = 0,863$
 - o $\rho_{smáx} \times \text{Mini-}\rho_{smáx} \gg R^2 = 0,848$
- Para os solos do grupo LG':
 - CBR x Mini-CBR ($n = 50$)

- o $CBR = 0,944 \times \text{Mini-CBR} + 1,122 \gg R^2 = 0,597$

- Proctor x Mini-Proctor (n = 55)

- o $W_{ot} \times \text{Mini} - W_{ot} \gg R^2 = 0,762$

- o $\rho_{sm\acute{a}x} \times \text{Mini} - \rho_{sm\acute{a}x} \gg R^2 = 0,835$

- Para os solos do grupo LA':

- CBR x Mini-CBR (n = 12)

- o $CBR = 0,807 \times \text{Mini-CBR} + 3,105 \gg R^2 = 0,370$

- Proctor x Mini-Proctor (n = 23)

- o $W_{ot} \times \text{Mini} - W_{ot} \gg R^2 = 0,757$

- o $\rho_{sm\acute{a}x} \times \text{Mini} - \rho_{sm\acute{a}x} \gg R^2 = 0,773$

- Para os solos do grupo NG':

- CBR x Mini-CBR (n = 52)

- o $CBR = 0,922 \times \text{Mini-CBR} + 1,064 \gg R^2 = 0,653$

- Proctor x Mini-Proctor (n = 32)

- o $W_{ot} \times \text{Mini} - W_{ot} \gg R^2 = 0,893$

- o $\rho_{sm\acute{a}x} \times \text{Mini} - \rho_{sm\acute{a}x} \gg R^2 = 0,787$

- Para os solos do grupo NA':

- CBR x Mini-CBR (n = 29)

- o $CBR = 0,887 \times \text{Mini-CBR} + 1,170 \gg R^2 = 0,555$

- Proctor x Mini-Proctor (n = 51)

- o $W_{ot} \times \text{Mini} - W_{ot} \gg R^2 = 0,819$

$$\circ \quad \rho_{sm\acute{a}x} \times \text{Mini} - \rho_{sm\acute{a}x} \quad \gg \quad R^2 = 0,825$$

- Para os solos do grupo NS':

- CBR x Mini-CBR (n = 42)

$$\circ \quad \text{CBR} = 0,481 \times \text{Mini-CBR} + 5,806 \gg R^2 = 0,132$$

- Proctor x Mini-Proctor (n = 54)

$$\circ \quad W_{ot} \times \text{Mini} - W_{ot} \quad \gg \quad R^2 = 0,949$$

$$\circ \quad \rho_{sm\acute{a}x} \times \text{Mini} - \rho_{sm\acute{a}x} \quad \gg \quad R^2 = 0,914$$

Diante destes dados, os autores concluíram que as correlações entre os resultados provenientes dos ensaios de compactação ($W_{ot} \times \rho_{sm\acute{a}x}$) obtidos com os dois equipamentos, apresentaram coeficientes de determinação mais elevados do que os verificados das comparações entre os valores CBR e Mini-CBR.

Verificaram também que para os solos dos grupos LA' e NS' da classificação MCT os coeficientes de determinação (respectivamente 0,370 e 0,132) obtidos das comparações entre CBR's e Mini-CBR's, indicam a fraca correlação sucedida entre tais valores para os solos pertencentes a esses grupos. Por outro lado, em concordância com o que foi observado pelos autores, os valores de Mini-CBR mostraram-se mais conservativos em relação aos CBR's, o que do ponto de vista da segurança é bom.

Nogami e Villibor (1995), em estudos de 1987 na EPUSP, demonstraram que o uso da carga padrão - 72,69 kgf/cm² e 108,9 kgf/cm² para penetração de 2,54 mm e 5,08 mm corresponderiam a penetrações de 0,84 mm e 1,7 mm. No entanto, essa forma nunca foi utilizada.

2.6.2 Influência da sobrecarga e da imersão dos corpos-de-prova em água nos testes de penetração

De acordo com os testes realizados por Marson, L. A., (2004) em três amostras ao se comparar as pressões de 1,5 mm e 2,0 mm obtidas para os ensaios executados em corpos-de-prova moldados no teor ótimo de umidade e submetidos às condições sem e com imersão em água (sem e com sobrecarga padrão, respectivamente), constatou-se que a

imersão dos mesmos não apresentou efeito significativo quanto à diminuição da resistência à penetração para as amostras ensaiadas, sendo que os valores ficaram dentro de uma faixa de variação de +/- 10% em relação à linha de igualdade para as Amostras 1 e 2. Todavia, teve-se uma situação atípica para a Amostra 3, em que os corpos-de-prova deixados em imersão por 24 horas apresentaram valores de pressão maiores que os penetrados na umidade de moldagem (sem imersão). De acordo com Marson, L. A., (2004), tal fato ocorreu devido à perda de umidade na face superior do corpo-de-prova exposta à atmosfera durante o período de imersão. Dado que esta amostra refere-se a um solo arenoso, portanto, possui maior suscetibilidade à perda de umidade por evaporação e que o teste de penetração foi realizado na face superior, então a perda de umidade nesta face gerou, conseqüentemente, um aumento da resistência do solo.

Marson, L. A., (2004) observou ainda que a sobrecarga padrão também não influenciou nos resultados dos testes de penetração, independente destes testes serem realizados em corpo-de-prova imerso ou não imerso. Isto se deve às peculiaridades geotécnicas dos solos lateríticos que, de modo geral, são pouco afetados em suas propriedades quando submetidos à imersão em água, mantendo uma forte ligação entre os grãos constituídos.

Quanto a Nogami e Villibor (1995), apresentaram um outro procedimento para obtenção do índice de suporte Mini-CBR que utiliza para o cálculo as mesmas cargas padrão do ensaio CBR (72,6 kg/cm² e 108,9 kg/cm², respectivamente para as penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm). Em virtude do menor diâmetro do pistão de penetração (16 mm) as cargas devem corresponder a aproximadamente $\frac{1}{3}$ dessas penetrações, ou seja, respectivamente a 0,84 mm e 1,70 mm. Em resumo, o cálculo do valor do Mini-CBR neste procedimento é similar ao utilizado no ensaio de CBR. No entanto, tais autores não apresentam maiores detalhes sobre o assunto.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Uberlândia situado no estado de Minas Gerais totaliza uma área de 4.115,09 km², segundo Brito e Prudente (2005), sendo urbanizada aproximadamente 219 km².

A localização dos pontos de coleta de amostras para a realização dos ensaios é apresentada no Mapa dos Materiais Inconsolidados (Anexo D). A área de expansão urbana

de Uberlândia, onde foram feitas as coletas de amostras engloba a malha urbana, o perímetro urbano e parte da área rural, conforme ilustrada pela Figura 2-7. Acha-se compreendida entre as coordenadas UTM (*Universal Transverso Mercator*) em “X” 774,025 km a 779,025 km e em “Y” 7.895,978 km a 7.915,978 km o que totaliza uma área de estudo da ordem de 303 km².

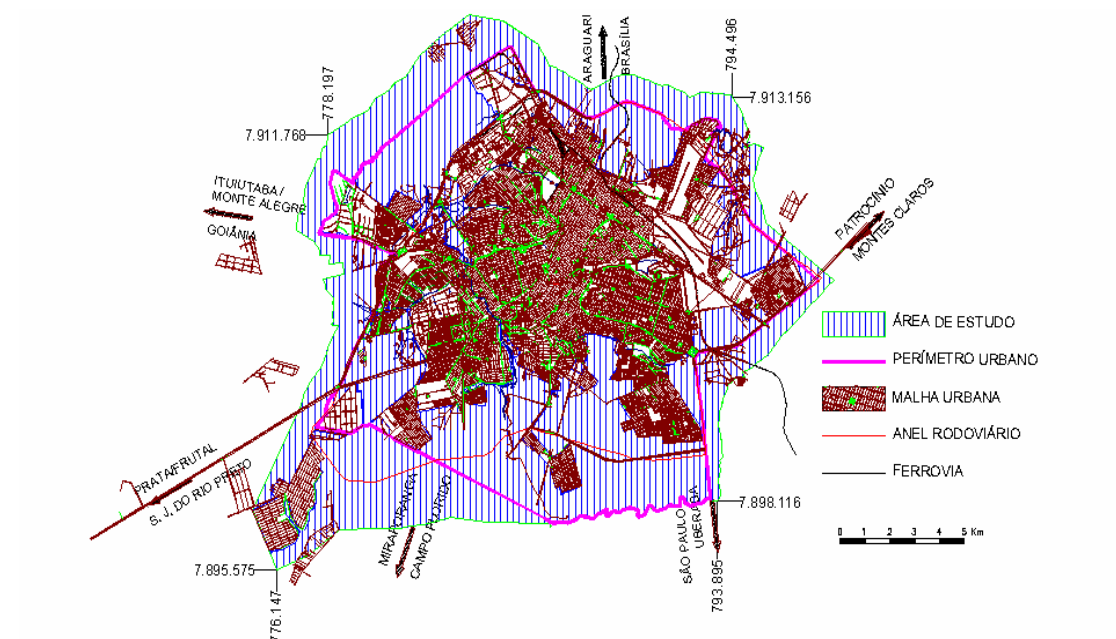


Figura 2-7 – Identificação da área de estudo

Fonte: Andrade (2005)

2.7.1 Os solos lateríticos de Uberlândia - MG

A identificação de solos lateríticos tem sido de grande importância para a Engenharia Civil dada a sua aplicação a pavimentos de baixo custo e o seu comportamento como fundação. Nas questões ambientais, sua relevância está relacionada ao seu potencial erosivo e a sua adequabilidade para utilização como barreira hidráulica e de tratamento de contaminantes que diferem do não laterítico.

Devido a grande presença de solos lateríticos em Uberlândia, no estudo de Rezende e Dias (2003) foram identificados os solos lateríticos de uma região desse município, segundo esta característica, embasados na sugestão de Ignatius (1991), que usa o ensaio de compactação e na classificação pedológica. Paralelamente, os solos foram caracterizados e

classificados de acordo com as metodologias SUCS e HRB. Os autores concluíram que os solos lateríticos encontrados cobrem 69% da área estudada.

Foram encontrados e analisados seis tipos pedológicos de solos e os resultados mostraram que, dentre eles, apenas o tipo pedológico Pe4 (associação podzólico vermelho-amarelo e cambissolo eutróficos) não apresentou comportamento laterítico.

Posteriormente, Guimarães et al. (2005) analisaram os solos dessa mesma região pela metodologia expedita proposta por Fortes et al. (2002) e chegaram a um consenso de que todos os solos estudados são lateríticos, inclusive o tipo pedológico Pe4.

2.7.2 Aspectos climáticos

De acordo com Andrade (2005) o clima que predomina no município de Uberlândia é classificado como tropical de altitude, sendo controlado pelas massas de ar continental (Equatorial e Tropical) e Atlântica (Polar e Tropical). Os deslocamentos dessas massas de ar são responsáveis pelas bruscas variações das estações úmidas e secas, e respondem direta e indiretamente, pelas condições climáticas da região (Feltran Filho 1997²² apud ANDRADE, 2005), favorecendo assim a formação dos solos lateríticos que são predominantes na referida região.

A classificação do clima se dá como “Cwa”: C - meio quente e úmido (mesotérmico); w - com chuvas de verão; a - verões quentes e os invernos brandos, segundo a classificação de Koppen adotada universalmente e adaptada para as condições brasileiras. Observa-se na Figura 2-8 uma estação seca bem definida de abril a setembro, obtendo-se uma média anual de temperatura em torno de 20 e 23 °C, além de uma precipitação anual entre 1300 mm a 1700 mm (Rosa et al. 1991²³ apud ANDRADE, 2005).

²² Feltran Filho, A. *Estruturação das paisagens nas chapadas do oeste mineiro*. São Paulo. 250p. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1997.

²³ Rosa, R. *O uso de SIG's para o zoneamento: Uma abordagem Metodológica*. São Paulo. 1 v. Tese de doutoramento. USP. 1995. São Paulo.

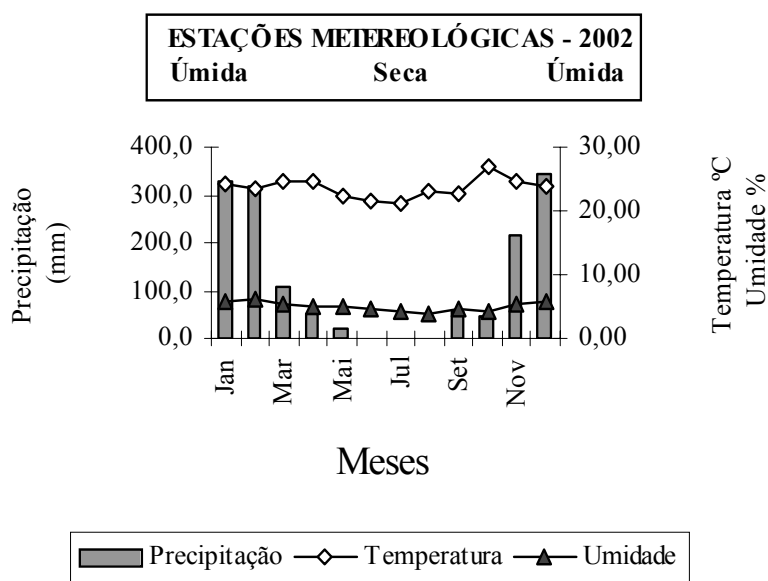


Figura 2-8 – Tabela de média térmica, de precipitação pluviométrica total mensal e umidade relativa do ar relativa ao ano de 2002

Fonte: Andrade (2005)

2.7.3 Aspectos geomorfológicos

Inserire-se num conjunto geomorfológico inserido nas áreas de planaltos e chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná”, subunidade do “Planalto setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná”. Com base na geomorfologia regional Baccaro (1990²⁴ apud NISHIYAMA, 1998) distingue quatro grandes compartimentos de relevo na região do Triângulo Mineiro: Intensamente dissecado; medianamente dissecado; residual e áreas elevadas de cimeira.

- Intensamente dissecado: corresponde às porções de borda da chapada Uberlândia-Araguari situadas a norte e nordeste do município de Uberlândia.
- Medianamente dissecado: são as porções com os topos nivelados entre 750 e 900 metros.

²⁴ Baccaro, C. A. D. *Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado – Uberlândia-MG*. São Paulo. Tese (Doutorado) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo.

- Residual: caracterizam-se como as porções mais elevadas dos divisores de água com bordas escarpadas, contornos irregulares, declividade de até 45° e desnível topográfico próximo de 150 m estabelecidos entre o topo e a base.
- Áreas elevadas de cimeira: corresponde às porções de topografia suave, cujas declividades variam entre 3% e 5%, canais de drenagem poucos ramificados desenvolvidos sobre arenitos da formação Marília.

2.7.4 Geologia regional

Segundo Nishiyama (1989) a Bacia Sedimentar do Paraná, no município de Uberlândia, acha-se representada pelas litologias sedimentares e magmatitos básicos de idade Mesozóica (Jurássico e Cretáceo) pertencentes às formações Botucatu, Serra Geral, Adamantina e Marília. A base deposicional dos sedimentos da Bacia do Paraná é constituída de rochas do grupo Araxá (Proterozóico médio) e do Complexo Basal Goiano (Arqueano). Então, para um melhor entendimento da geologia local encontra-se na Tabela 2-8 p. 45 a coluna estratigráfica das regiões do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba elaborada por Nishiyama (1998).

2.7.5 Geologia local

Andrade (2005) discorre sobre as unidades geológicas presentes na área urbana de Uberlândia e que pertencem à seqüência Mesozóica da Bacia do Paraná, representadas pelas formações Serra Geral e Marília, sendo esta última recoberta por um material de idade cenozóica. As unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Paraná e a cobertura cenozóica serão descritas a seguir de forma sintetizada.

2.7.5.1 Formação Serra Geral

As litologias da formação Serra Geral encontram-se amplamente distribuídas nos estados do Sul e Sudeste do Brasil, e parte de alguns estados do Centro-Oeste, abrangendo

grande parte do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Triângulo Mineiro, Sul de Goiás e parte de Mato Grosso do Sul.

A formação da unidade geológica supracitada é caracterizada por rochas efusivas de natureza básica e pequenas lentes de arenitos intercaladas aos derrames.

Tabela 2-8 – Coluna estratigráfica das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

Fonte: Andrade (2005)

Eras	Períodos	Grupos	Formações	Membro	Características Litológicas
Cenozóica					-Depósitos aluvionares holocênios. -Depósitos coluviais arenosos, argilosos e leques aluviais.
Mesozóica	Cretáceo	Bauru	Marília	Serra da Galga	-Arenitos imaturos, conglomerados e arenitos conglomeráticos.
				Ponte Alta	-Arenitos conglomerados com cimentação carbonática, lentes de calcário silicoso e conglomerado basal.
			Uberaba		-Arenitos com contribuição vulcanoclástica, cor esverdeada a acinzentada.
			Adamantina		Arenitos marrom-avermelhado, cimentação carbonática e intercalações de arenitos argilosos e lentes de argilitos.
			discordância		
	Jurássico	São Bento	Serra Geral		-Basaltos maciços com níveis vesículoamigdalóicos nos topos e base dos derrames. Presença de arenito intertrapeano.
			Botucatu		-Arenito eólico, coloração avermelhada, grãos bem selecionados e foscos. Baixa porcentagem de matriz fina.
			discordância		
Proterozóica	Médio	Canastra			Predominantemente quartzitos. Quartzitos hematíticos e micáceos, fílitos e xistos (Clorita-xistos).
		Araxá			-Xistos (Muscovita, quartzo, xisto), tendo como minerais acessórios mais comuns a granada, cianita, estauroлита, rulito. -Gnaisses anfíbolíticos, biotita gnaiss.
			discordância		
	Inferior (Arqueano)	Embasamento Cristalino Indiferenciado			Gnaisses, migmatitos e granitos

O magmatismo que originou as rochas basálticas na Bacia Sedimentar do Paraná pode ser considerado um dos maiores acontecimentos de toda a história geológica do nosso planeta, quando um imenso volume da lava foi expelido através de sistemas de fissuras durante os períodos Jurássico e Cretáceo (NISHIYAMA, 1989).

Segundo Nishiyama (1998) no perímetro urbano de Uberlândia as litologias básicas apresentam áreas de exposição no vale do rio Uberabinha. Nos interflúvios elas ficam recobertas pelas rochas sedimentares da Formação Marília e/ou pelos sedimentos inconsolidados coluviais.

Nishiyama (1989) comenta que as rochas sedimentares do Grupo Bauru e sedimentos cenozóicos formam, respectivamente, solos areno-argilosos e argilo-arenosos presentes nas áreas de topo, diferentemente dos basaltos da Formação Serra Geral, os quais propiciam o desenvolvimento de solos argilosos nas vertentes dos vales dos principais rios da região, conhecidos como latossolo roxo e terra roxa estruturada.

2.7.5.2 Formação Marília

Barcelos (1984²⁵ apud NISHIYAMA, 1998) faz a subdivisão da formação Marília em dois membros: Serra da Galga e Ponte Alta, conforme coluna estratigráfica apresentada (Tabela 2-8, p.45).

Esta formação é constituída por arenitos imaturos, ou seja, com alta porcentagem de finos e minerais micáceos (muscovita), arenitos conglomeráticos, conglomerados e conglomerados fortemente cimentados por material carbonático. Estes conglomerados ostentam coloração róseo-avermelhada, marrom-avermelhada, bege, creme-amarelada e acinzentada.

Para Nishiyama (1989) os litotipos desta formação ocorrem em uma extensa área no Triângulo Mineiro balizada pelos principais rios que drenam a região: Paranaíba, Grande e Araguari. No entanto, exposições contínuas de litologias da referida unidade geológica são relativamente restritas em razão de se encontrarem recobertas por sedimentos cenozóicos. Desse modo, a caracterização dos tipos litológicos dessa unidade

²⁵ Barcelos, J. H. *Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo*. Rio claro. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista – UNESP. 1984.

só é possível nas bordas das chapadas, nos relevos residuais ou no interior de grandes erosões (voçorocas).

Na área urbana de Uberlândia os litotipos da Formação Marília assentam-se aos basaltos da Formação Serra Geral. Topograficamente, estes ocupam as porções de interflúvios e de chapadas, representados principalmente pelo Membro Serra da Galga. (NISHIYAMA, 1989).

2.7.5.3 Cobertura Cenozóica

A cobertura cenozóica é representada em sua maior parte pelos depósitos coluviais argilo-arenosos de idade terciária e, secundariamente, pelos depósitos aluviais holocênicos, associados ou não a cones de dejeção. Tais depósitos encontram-se assentados discordantemente sobre as unidades geológicas cretácicas (Formação Marília) e jurássicas (Formação Serra Geral) ocupando todos os níveis topográficos, desde os topos das chapadas até o fundo dos vales dos rios e córregos (NISHIYAMA, 1989).

Segundo Nishiyama (1989) as coberturas cenozóicas são:

...constituídas de leitos de cascalheiras que podem atingir espessuras superiores a uma dezena de metros, predominando seixos de quartzo, quartzito e de basalto. Geralmente apresentam-se revestidos de um filme de óxido de ferro. As camadas de materiais rudáceos constituem diversos níveis com espessuras e granulometrias variáveis, a exemplo do afloramento localizado à margem da rodovia que liga a cidade de Uberlândia à cidade de Araxá, distante cerca de 25 quilômetros.

A predominância de termos arenosos e a cimentação incipiente dos sedimentos cenozóicos para Nishiyama (1989) têm levado a grandes problemas de erosão. As áreas mais atingidas estão situadas nas bacias dos rios Tijuco, Estiva, Douradinho e córrego do Panga devido ao nível freático encontrar-se relativamente próximo à superfície. A ocorrência de litologias pouco permeáveis da Formação Adamantina subjacente leva à rápida saturação da camada cenozóica no período chuvoso do ano.

2.7.5.4 Solos

Os tipos de solos que compõem a área de estudo são: Latossolo vermelho-escuro álico e distrófico, Latossolo vermelho-amarelo eutrófico, Latossolo roxo distrófico, Gleis

Húmico álico e distrófico e Terra Roxa Estruturada, segundo levantamentos realizados pela EMBRAPA (1982²⁶ apud NISHIYAMA, 1998).

Segundo Nishiyama (1998) os tipos latossólicos (roxo e vermelho-escuro) e a Terra Roxa estruturada ocorrem associados aos basaltos da formação Serra Geral, enquanto que o latossolo vermelho-amarelo ocorre nas áreas de chapadas e nos interflúvios associado, respectivamente, a sedimentos cenozóicos que recobrem as chapadas e a litotipos da Formação Marília (arenitos). O tipo Glei Húmico está presente nas porções de fundo de vale, relacionado à depósitos aluviais e coluviais sob condição de saturação hídrica, assim é comum a associação deste tipo a solos orgânicos.

²⁶ Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícolas das terras do Triângulo Mineiro*. EMBRAPA SNLCS / EPAMG / DRNR. Rio de Janeiro. 1982.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

O material utilizado para o presente trabalho são solos extraídos de oito unidades geotécnicas existentes e mapeadas por Andrade (2005) no município de Uberlândia – MG. Embora Andrade (2005) tenha mapeado nove unidades, conforme Mapa dos Materiais Inconsolidados (Anexo D), durante a coleta de amostras e desenvolvimento do trabalho verificou-se que a unidade 2 (UG 2) era constituída de solo hidromórfico com presença de grande quantidade de matéria orgânica. Então se optou por não realizar ensaios com esse material, já que é um material que dificilmente seria utilizado em obras de pavimentação.

A escolha dos locais de coleta foi feita analisando-se o Mapa dos Materiais Inconsolidados do Município de Uberlândia – MG, elaborado por Andrade (2005). Assim de acordo com este autor as unidades geotécnicas têm as características apresentadas na Tabela 3-1.

As coletas foram feitas na seguinte ordem: unidades 01, 06, e 07; no dia 21/02/06; unidades 03, 08, e 09; no dia 28/03/06; e unidades 04 e 05; no dia 07/06/06.

Tabela 3-1 – Caracterização dos materiais estudados em Uberlândia – MG

Fonte: Andrade (2005)

UG	Caracterização
01	Residuais de pequena espessura, da Formação Serra Geral (RSG). Espessuras inferiores a 2 m, textura argilo-siltosa, coloração vermelho-escura, arroxeada, ocre-amarelada.
02 ¹	Hidromórficos (H) – Espessuras variáveis entre 2 m e 5 m., textura argilosa a argilo-arenosa, coloração amarelada, ocre e branco-acinzentada. Comum presença de camadas orgânicas decimétricas a métricas (raramente superiores a 2 m)
03	Residual da Formação Marília – Arenoso (RMA – AR), espessuras superiores a 5 m, areno-argilosa, coloração em diferentes matizes de vermelho.
04	Residual da Formação Marília (RMA – Arg), Predominância do intervalo de espessura de 5 m a 10 m, texturas argilo-arenosa a areno-argilosa, coloração vermelho amarela.
05	Retrabalhado argiloso II – Cobertura de chapadas (Arg II) – Espessuras variáveis entre 5 m e 20 m texturas argilo-siltosa a argilo arenosa, coloração vermelho-escura
06	Retrabalhado argiloso I – colúvio Serra Geral e Marília (Arg I) – Espessuras variáveis entre 2 m e 5 m, textura argilosa e argilo-arenosa, coloração vermelho-escura.
07	Retrabalhado argiloso – contribuição dos residuais da Formação Serra Geral (ARG) – Espessuras variáveis entre 2 m e 5 m, textura argilosa e argilo-siltosa.
08	Residual da Formação Marília – Arenoso II (RMA – AR II), textura areno-argilosa, porém com menor teor em argila do que o tipo I, coloração vermelho-amarela.
09	Retrabalhado arenoso – colúvio da Formação Marília (Ar I) – Espessuras variáveis no intervalo de 2 m a 10 m, textura areno-agilosa, contendo pedregulhos e seixos arredondados de quartzo. Coloração vermelho-escura.

¹ Material não utilizado para estudo, por razão citada anteriormente.

3.2 O PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.2.1 Introdução

Para cada uma das 8 unidades geotécnicas foram executados no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia FECIV/UFU, os seguintes ensaios: massa específica dos grãos, granulometria (por peneiramento e por sedimentação), limite de liquidez, limite de plasticidade, ensaio de compactação (Proctor) na energia normal, CBR compactado na energia normal, Mini-MCV, Perda de Massa por Imersão e Mini-CBR sem imersão e sem sobrecarga (SISS), seguindo as recomendações da norma do DNER-254/97; com imersão e com sobrecarga (CICS), adotando as indicações da norma do DNER-254/97; e de acordo com a forma de compactação proposta por Marson, L. A., (2004).

3.2.2 Massa específica dos grãos

A massa específica dos grãos é definida como a relação entre a massa e volume dos grãos (sólidos), cuja determinação é feita em ensaio à parte, completando o conhecimento dos índices físicos do solo e servindo para o cálculo do ensaio de sedimentação. Os ensaios seguiram a recomendação da norma NBR-6508/84.

3.2.3 Granulometria

Este ensaio permite determinar a composição textural (dimensão das partículas constituinte) de materiais inconsolidados (coletadas em campo) por meio da curva de distribuição granulométrica, alcançada mediante peneiramento da fração grossa (areias e pedregulhos) e sedimentação da fração fina (siltes e argilas). No caso dos materiais estudados o peneiramento e a sedimentação foram realizados simultaneamente (conforme recomenda a Norma ABNT-NBR 7181/84), em razão de estes materiais serem constituídos de uma mistura das duas frações (grossa e fina). Desse modo, uma das utilidades dos resultados dos ensaios de granulometria foi classificar o solo de acordo com as classificações HRB e SUCS e, posteriormente, através da Tabela de Senço (1997), prever

valores de CBR para os materiais ensaiados, além de classificar granulometricamente os solos analisados.

Cabe dizer que para o ensaio de sedimentação foi utilizado um defloculante hexametáfosfato de sódio para separar as partículas finas e, com isso, representar melhor os diâmetros das mesmas.

3.2.4 Limites de Liquidez e Plasticidade

O Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade conhecidos como Limites de consistência ou Limites de Atterberg foram estabelecidos arbitrariamente a partir de ensaios padronizados que procuram indicar a plasticidade do solo. Assim, o limite de liquidez (LL) foi definido por Atterberg como a representação do limite entre o estado líquido e o estado plástico (teor de umidade - W) e padronizado por Casagrande. O valor do limite de liquidez foi determinado de acordo com a Norma NBR 6459.

Já o limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade que determina a fronteira entre o estado plástico e o estado semi-sólido. O valor do limite de plasticidade foi determinado de acordo com a Norma NBR 7180 (ABNT, 1984).

Em síntese, a determinação dos limites de consistência é necessária para que as amostras possam ser classificadas de acordo com as classificações tradicionais HRB e SUCS, servindo assim de parâmetro para estimativas de valores de CBR.

3.2.5 Ensaio de compactação – Ensaio de Proctor

O ensaio de compactação conhecido como ensaio de Proctor, utilizado para a obtenção da curva de compactação e a determinação do valor da massa específica seca máxima e da umidade ótima dos solos numa dada energia, foi executado de acordo com a norma NBR 7182/86 – Solo – Ensaio de Compactação (ABNT, 1986) na energia normal, no cilindro pequeno com soquete pequeno.

3.2.6 Ensaios de CBR e expansão

Para a determinação dos valores de CBR e da expansão na energia normal de compactação dos solos foi realizado o ensaio de CBR nas cinco umidades, sendo dois

pontos abaixo da umidade ótima, um próximo e dois acima, conforme os procedimentos descritos na norma DNER-ME 049/94. A foto a seguir mostra um corpo-de-prova em cilindro de CBR em imersão. Para este trabalho, o ensaio foi realizado na energia normal (12 golpes).

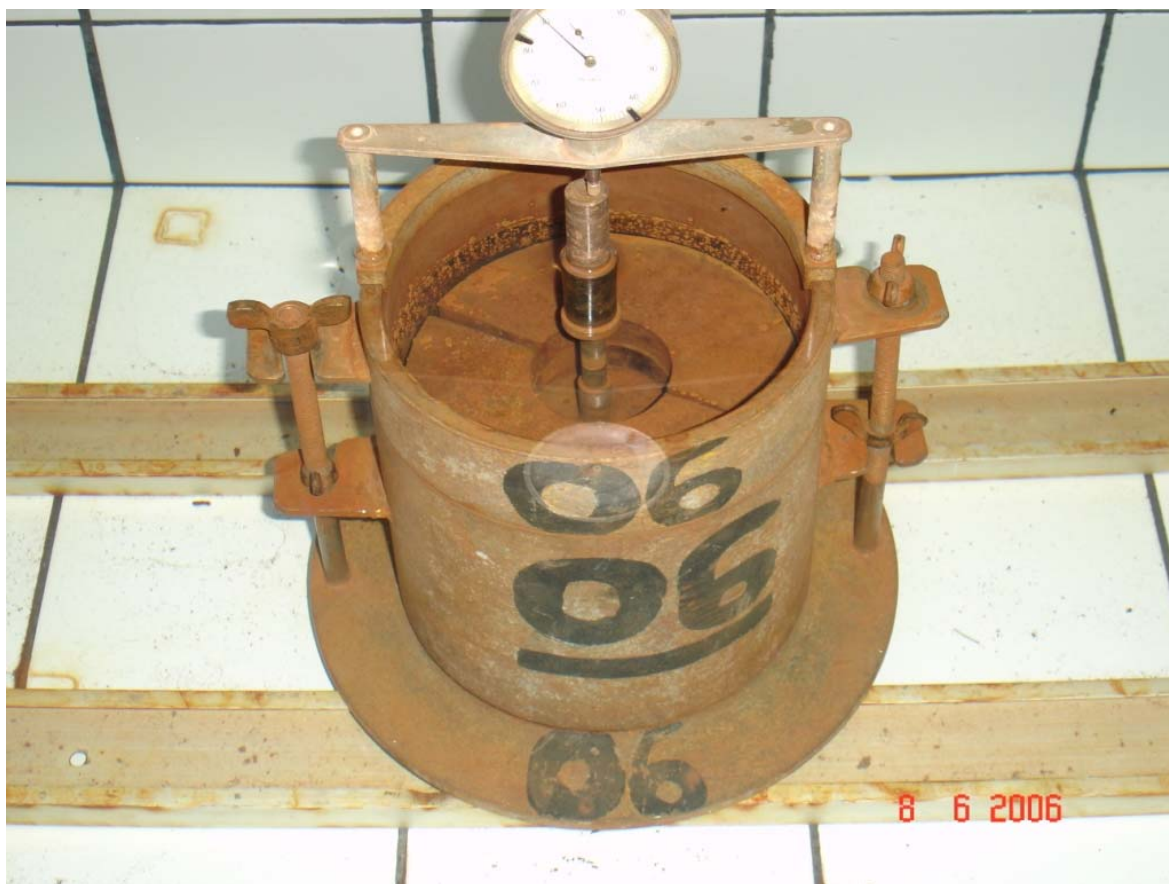


Figura 3-1 – Cilindro de CBR em imersão

3.2.7 Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão

Os ensaios de Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão foram executados para fins de classificação dos solos pela metodologia MCT. Os ensaios reportados acima foram realizados segundo os procedimentos dos métodos de ensaio DNER-ME 258/94 e DNER-ME 256/94, respectivamente.

3.2.8 Mini-CBR – expansão (com imersão / com sobrecarga) e sem imersão / sem sobrecarga

Para cada amostra foram executados três tipos de ensaios de Mini-CBR:

- Sem imersão e sem sobrecarga (SISS), seguindo a respectiva norma do DNER;
- Com imersão e com sobrecarga (CICS), acompanhando a respectiva norma do DNER;
- Em concordância parcial com a proposta de Marson, L. A., (2004). Conforme a sugestão desse autor, a execução do ensaio de Mini-CBR segue as normas do DNER-ME-228/94 e 254-94 exceto quanto à massa de solo e ser compactada e à forma de aplicação dos golpes. Em outras palavras, a aplicação do número total de golpes é feita em apenas uma face do corpo-de-prova, ao invés de metade em cada face, e a massa a ser compactada é constante e igual a 200 g. Para a determinação desse número de golpes foi seguida a instrução da norma do DNER-ME 228/94, a qual diz que devem ser aplicados quatro golpes em cada face do corpo-de-prova para argilas e/ou solos argilosos; e cinco golpes em cada face do corpo-de-prova para siltes, solos siltosos e arenosos. Dessa forma, de acordo com Marson, L. A., (2004) foram utilizados oito golpes em uma única face para argilas, e dez golpes em uma única face para siltes e areias, sendo a característica argilosa ou siltosa definida pela classificação granulométrica utilizada no meio rodoviário (SENÇO, 1997). A concordância foi parcial, pois a massa empregada não foi constante, conforme propõe o autor, pois a curva de compactação não teria relação com a curva de compactação do Proctor Normal.

A compactação dos solos para os todos os ensaios de Mini-CBR, inclusive para a proposta de Marson, L. A., (2004) foi realizada na energia normal de compactação de acordo com os procedimentos descritos nos métodos de ensaio DNER-ME 228/94 (DNER, 1994).

Os ensaios de penetração e expansão do Mini-CBR foram realizados de acordo com os procedimentos descritos nos métodos de ensaio DNER-ME 254/97. A seguir, a Figura 3-2 mostra os corpos-de-prova em imersão.



Figura 3-2 – Corpos-de-prova em imersão no ensaio de Mini-CBR (com imersão / com sobrecarga)

Enfim, a escolha das umidades de compactação para os ensaios de Mini-CBR partiu da umidade ótima, determinada pelo ensaio de compactação de Proctor, na energia normal, seguindo os desvios de umidade sugeridos pela norma DNER-ME-254/94.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS ANALISADOS

Com relação às características granulométricas, de acordo com a escala granulométrica utilizada para classificação apresentada por Pinto (2000) e normalmente empregada no meio rodoviário (Figura 4-1), observa-se que praticamente não há presença de pedregulho e que há uma variação de 0% a 1% de areia grossa; de 2% a 11% de areia média; de 12% a 75% de areia fina; de 4% a 22% de silte; e de 14% a 75% de argila, mostrando que a fração grossa predominante é a areia fina e a fração fina predominante é a argila.

Os limites de consistência dos referidos solos estão apresentados na Tabela 4-1, que resume as características dos solos estudados.

A classificação dos materiais ensaiados em laboratório, segundo os sistemas de classificação granulométrica SUCS, MCT e HRB é apresentada na Tabela 4-2.

O resultado dessas classificações indica que, embora granulometricamente a fração fina predominante seja argila, dadas as suas características de plasticidade apresenta comportamento siltiloso, uma vez que, de acordo com a classificação HRB foram identificados 3 tipos de solos: A-2-4 – Areia siltilosa, A-4 e A-5 – Solo siltiloso; e segundo a classificação SUCS foram identificados 2 tipos de solos: ML – Silte, de baixa compressibilidade e SM – Areia Siltilosa.

Os resultados dos ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão expostos na Tabela 4-2 e nos gráficos das Figuras 4-2 e 4-3 mostram que os solos analisados são todos lateríticos, sendo classificados em LG', LA' e LA pela classificação MCT, confirmando o

caráter laterítico observado por Andrade (2005) e Guimarães et al. (2005), e em TA'G', LA'G', LA' e LA pela classificação MCT-M, proposta por Vertamatti (1988).

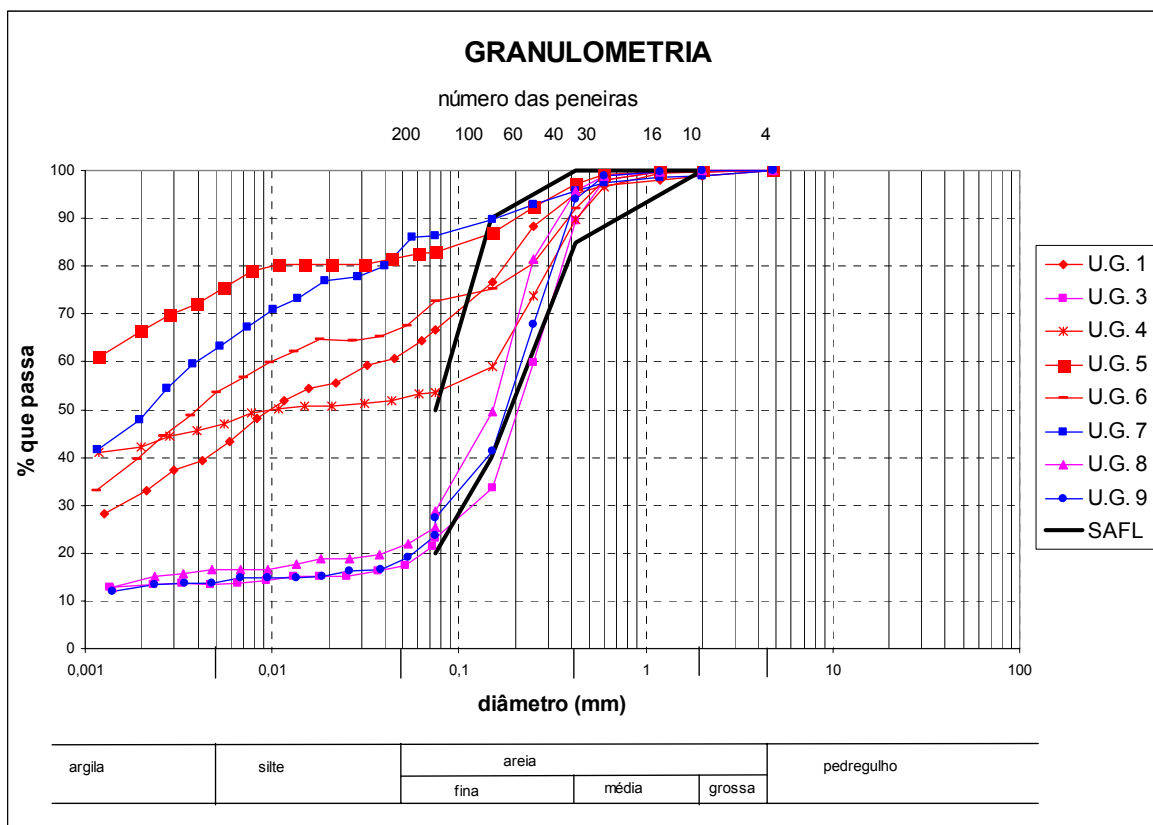


Figura 4-1 – Distribuições granulométricas das unidades geotécnicas estudadas

Na Figura 4-1 encontra-se também a faixa granulométrica indicada para base de solo arenoso fino laterítico (SAFL). Nota-se que as amostras das UG's 3, 4, 8 e 9 praticamente se enquadram nessa faixa e podem ser utilizados como base de Solo Arenoso Fino Laterítico (SAFL).

Apesar das granulometrias das amostras das UG's 1, 5, 6 e 7 não se enquadrarem na faixa granulométrica de SAFL (Solo Arenoso Fino Laterítico), para Villibor et al. (2000), estes solos podem ser empregados em bases de SLA (Solo Laterítico Agregado) devido ao fato de serem dos tipos LG' e LA'.

Tabela 4-1 – Características dos solos analisados

UG	Granulometria (%)										Limites de Aterberg (%)			IG	Proctor Normal		δ (g/cm³)
	% que passa				Arg. (%)	Silte (%)	Areia			Pedr. (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)				
	#4	#10	#40	#200			Fina (%)	Média (%)	Grossa (%)								
1	100,0	98,9	95,2	66,6	41	20	34	4	1	0	30	26	4	1,6	1,595	24,25	2,896
3	100,0	99,8	89,5	23,0	14	4	71	11	0	0	-	-	NP	0	1,890	11,00	2,732
4	100,0	99,8	89,8	53,5	47	6	37	10	0	0	28	23	5	0,6	1,670	19,10	2,764
5	100,0	99,9	97,1	82,9	75	6	17	2	0	0	36	30	6	5,9	1,430	28,00	2,784
6	100,0	99,7	91,9	72,7	54	14	24	8	0	0	31	24	7	3,9	1,600	23,50	2,974
7	100,0	98,8	95,8	86,3	62	22	12	3	1	0	45	36	9	10,2	1,423	31,00	2,979
8	100,0	99,9	95,6	28,6	17	4	74	5	0	0	-	-	NP	0	1,880	11,30	2,730
9	100,0	99,9	94,1	27,3	14	5	75	6	0	0	-	-	NP	0	1,890	13,20	2,725

Tabela 4-2 – Classificação dos materiais ensaiados

	SUCS	MCT				HRB		% de materiais ¹			Classificação Granulométrica
UG	Classificação	c'	e'	Pi (%)	CL	IG	CL	Arg.	Silte	Areia	
1	ML - Silte	1,64	0,85	0	LG'	1,6	A-4	42	20	38	Argila arenosa
3	SM - Areia Siltosa	0,2	0,91	151,77	LA	0	A-2-4	14	4	82	Areia argilosa
4	ML - Silte Arenoso	1,57	0,7	109,34	LG'	0,6	A-4	47	6	47	Areia argilosa a argila arenosa
5	ML - Silte com areia	1,57	0,79	91,28	LG'	5,9	A-4	76	5	19	Argila arenosa
6	ML - Silte Arenoso	1,57	0,82	137,30	LG'	3,9	A-4	54	14	32	Argila arenosa
7	ML - Silte	1,45	0,98	126,58	LA'	10,2	A-5	62	22	16	Argila arenosa
8	SM - Areia Siltosa	0,58	0,77	136,56	LA	0	A-2-4	17	4	79	Areia argilosa
9	SM - Areia Siltosa	0,97	0,7	152,13	LA'	0	A-2-4	14	5	81	Areia argilosa

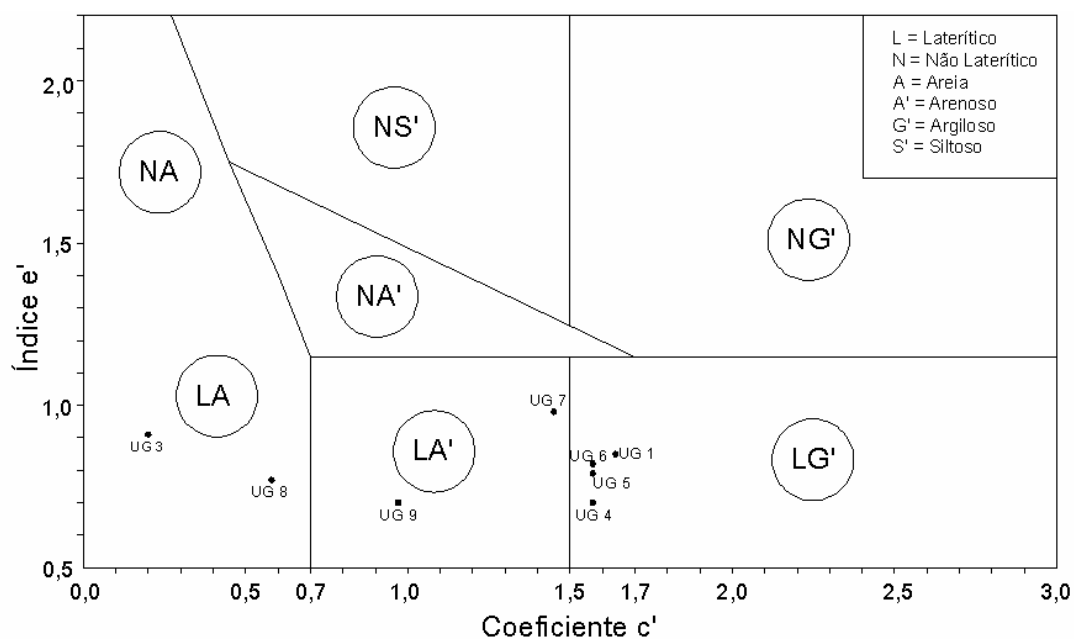


Figura 4-2 - Classificação MCT dos solos analisados

¹ Porcentagem de pedregulho de todas as amostras é igual a zero.

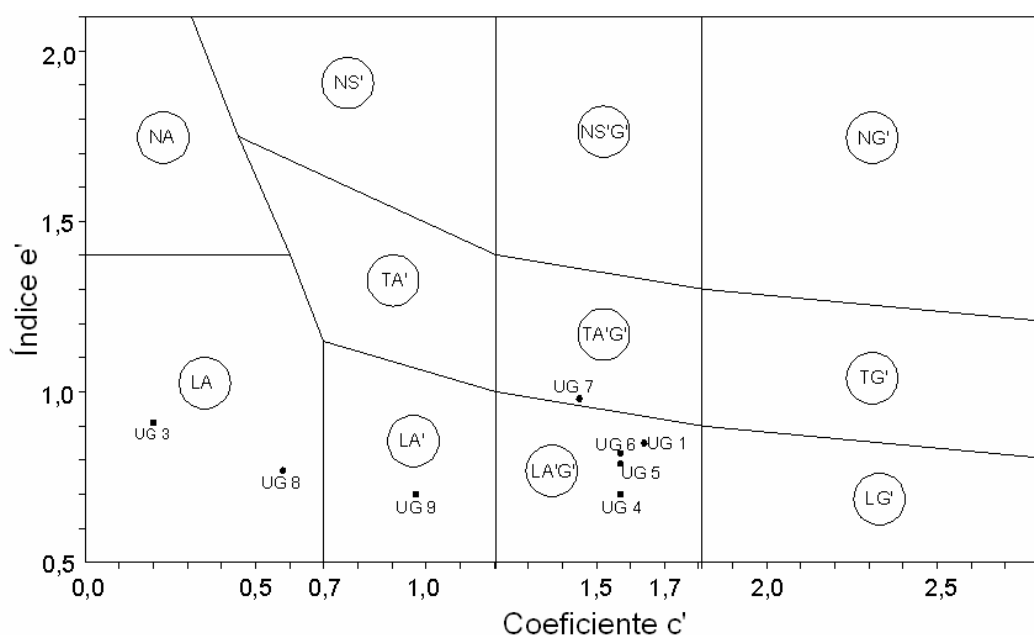


Figura 4-3 - Classificação MCT-M dos solos analisados

Fonte: Vertamatti (1988)

4.2 COMPACTAÇÃO

4.2.1 Compactação Proctor x Mini-Compactação

A quantidade de golpes nos ensaios em miniatura foi determinada pela norma DNER-ME 228/94, que sugere a compactação de argilas e solos argilosos com 8 golpes e solos arenosos com 10 golpes. Essa orientação é confirmada no estudo de Marson L. A., (2004). Dessa maneira, a quantidade de golpes aplicada nos ensaios de Mini-CBR para cada UG, de acordo com a característica granulométrica de cada solo é a relacionada na Tabela 4-3.

Os solos estudados foram compactados na energia normal para diferentes tipos de ensaios relacionados na Tabela 4-4 juntamente com as respectivas siglas.

As unidades de referência que foram definidas para serem utilizadas nesses ensaios estão apresentadas na Tabela 4-5. Elas foram escolhidas a partir da W_{ot} (umidade ótima), coluna W3, obtida no ensaio de Proctor Normal, no cilindro pequeno, com soquete pequeno, seguindo as indicações da norma DNER-ME 228/94, de acordo com a granulometria de cada solo.

Tabela 4-3 – Quantidade de golpes utilizados nos ensaios de Mini-CBR

<i>UG</i>	<i>Qtde. de golpes</i>
1	8
3	10
4	8
5	8
6	8
7	8
8	10
9	10

Tabela 4-4 – Tipos de ensaios realizados

<i>SIGLA</i>	<i>TIPO DE ENSAIO</i>
SISS	Mini-CBR realizado de acordo com a Norma do DNER, sem imersão e sem sobrecarga;
CICS	Mini-CBR realizado de acordo com a Norma do DNER, com imersão e com sobrecarga;
Marson	Mini-CBR realizado de acordo com a proposta de compactação de Marson, L. A.,(2004), sem imersão e sem sobrecarga, ou seja, com compactação em uma única face;
CBR	Ensaio de CBR realizado de acordo com a Norma do DNER;
PN	Ensaio de Compactação – Proctor Normal, de acordo com a norma do DNER.

Tabela 4-5 – Umidades de referência dos solos nos ensaios CBR e Mini-CBR

UG	W1(%)	W2(%)	W3(%)	W4(%)	W5(%)
1	16,25	20,25	24,25	28,25	32,25
3	7,00	9,00	11,00	13,00	15,00
4	11,10	15,10	19,10	23,10	27,10
5	20,00	24,00	28,00	32,00	36,00
6	19,50	21,50	23,50	25,50	27,50
7	21,00	26,00	31,00	36,00	41,00
8	7,30	9,30	11,30	13,30	15,30
9	9,20	11,20	13,20	15,20	17,20

Os valores da compactação (umidades e massa específica seca) das amostras estão apresentados no Anexo A. As curvas de compactação obtidas para cada UG estão apresentadas nas Figuras 4-4 a 4-11.

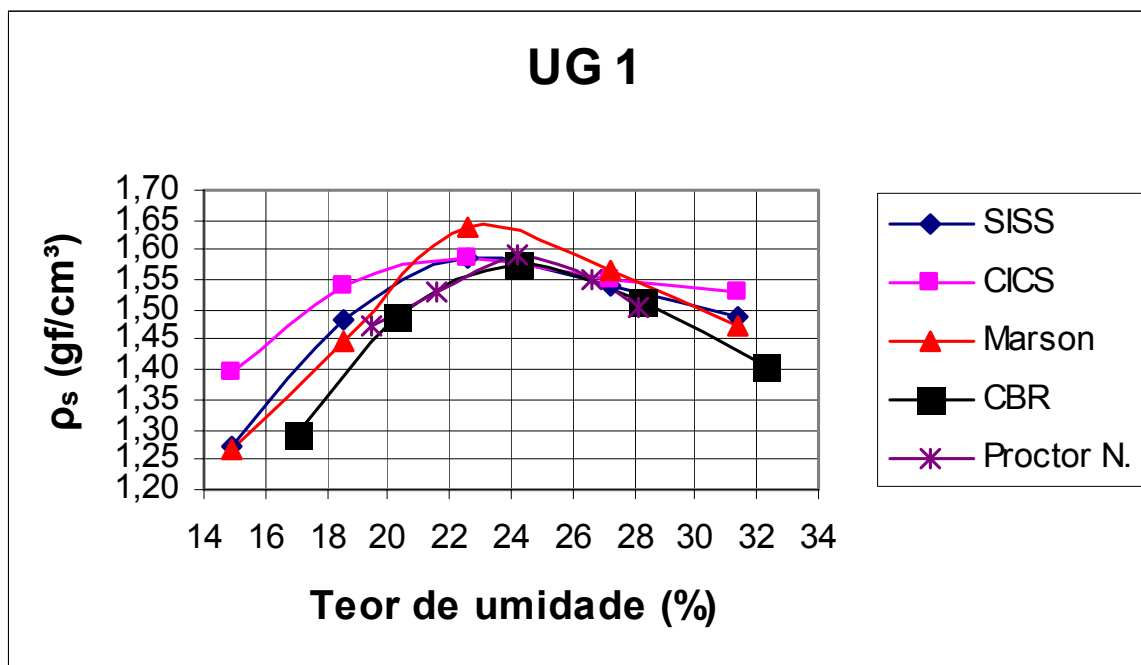


Figura 4-4 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 1

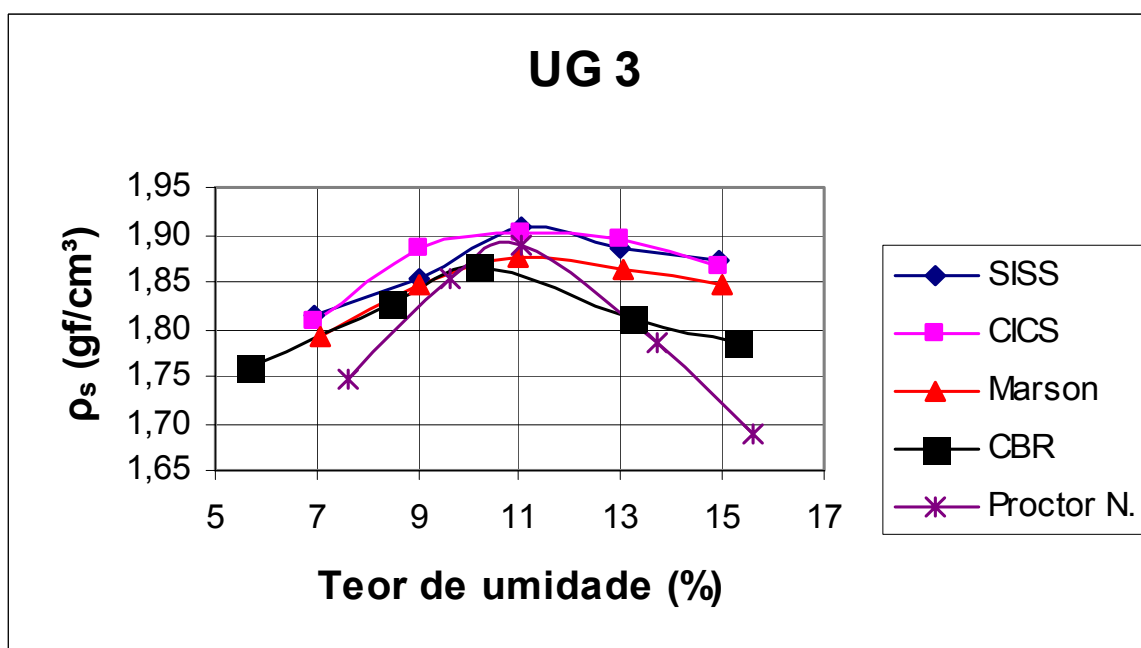


Figura 4-5 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 3

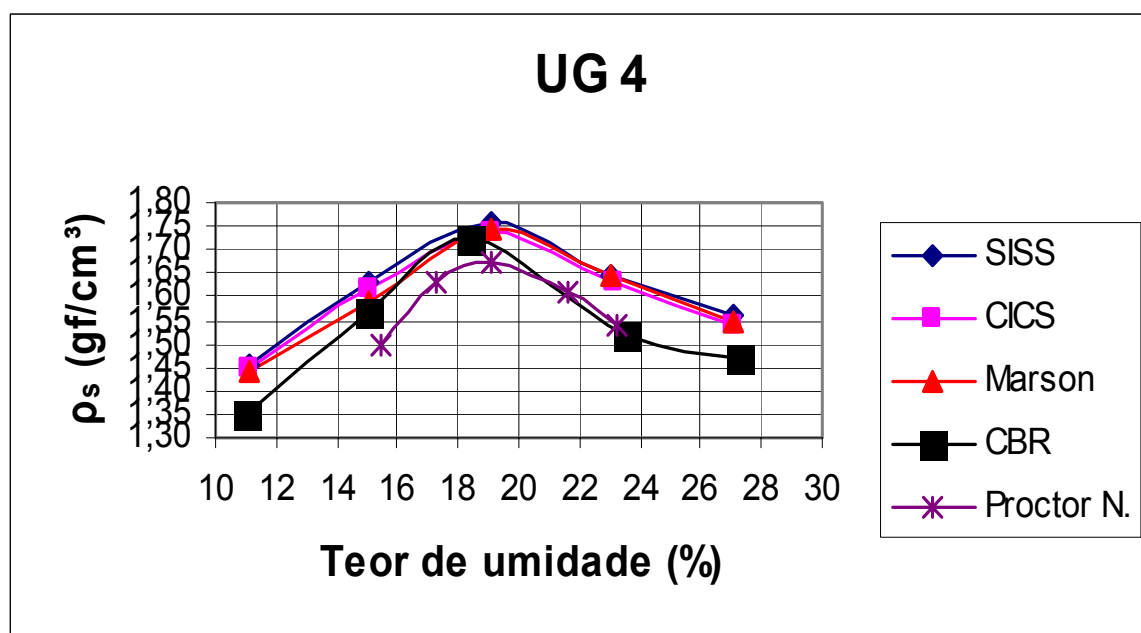


Figura 4-6 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 4

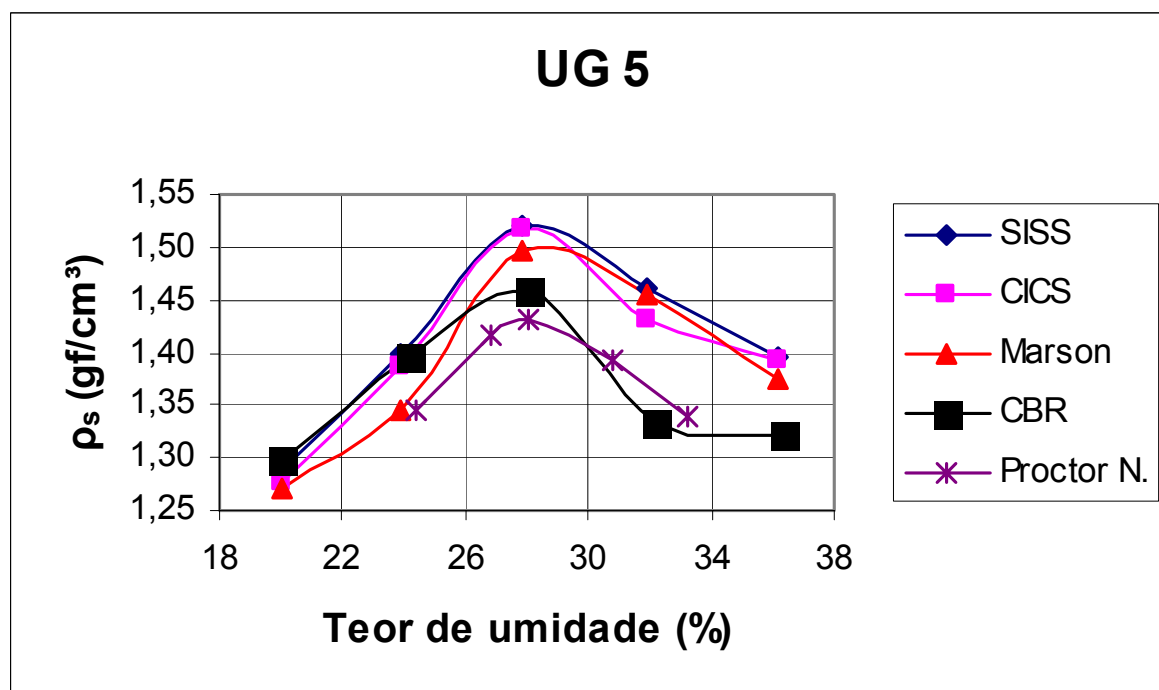


Figura 4-7 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 5

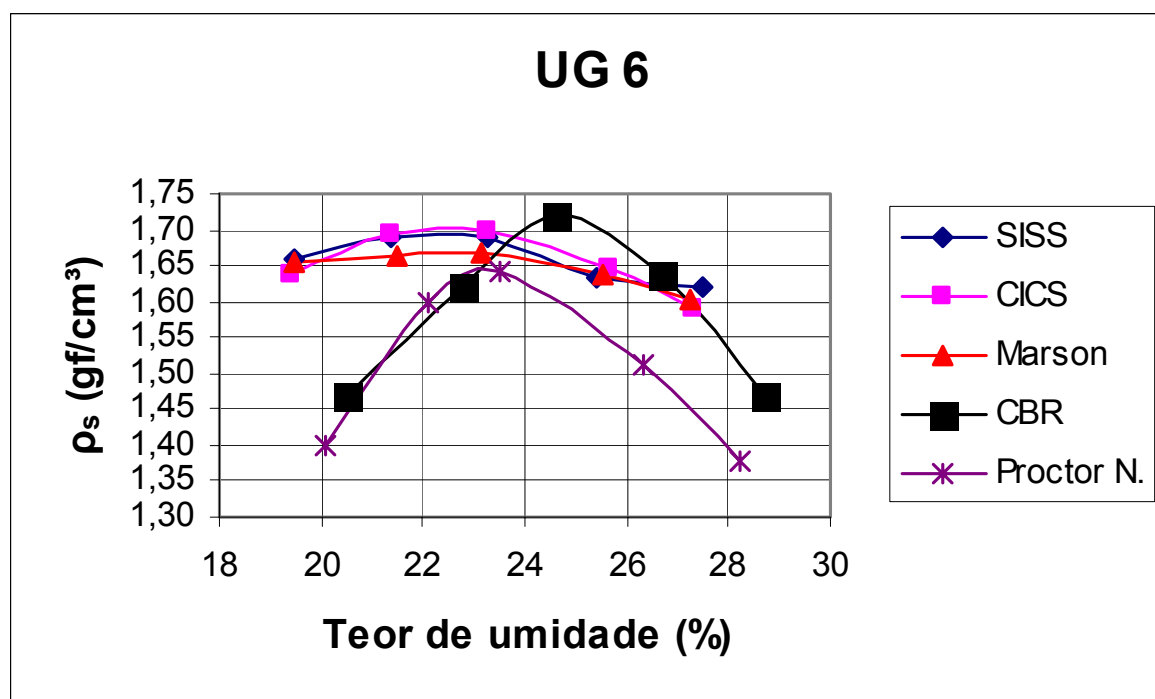


Figura 4-8 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 6

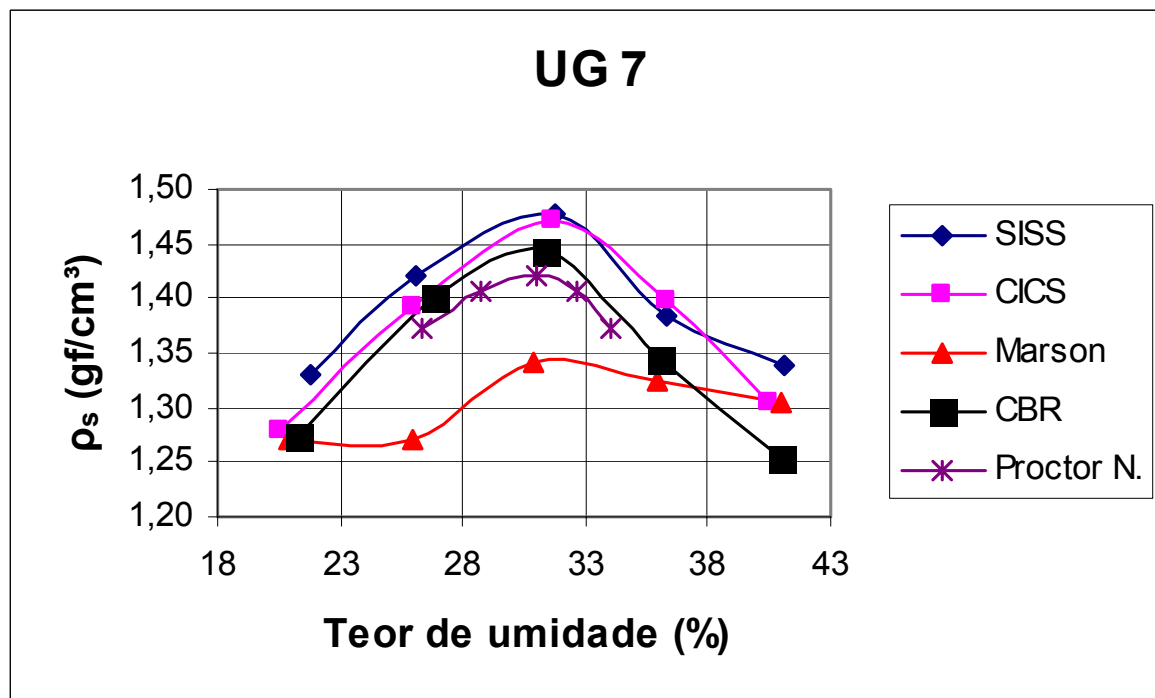


Figura 4-9 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 7

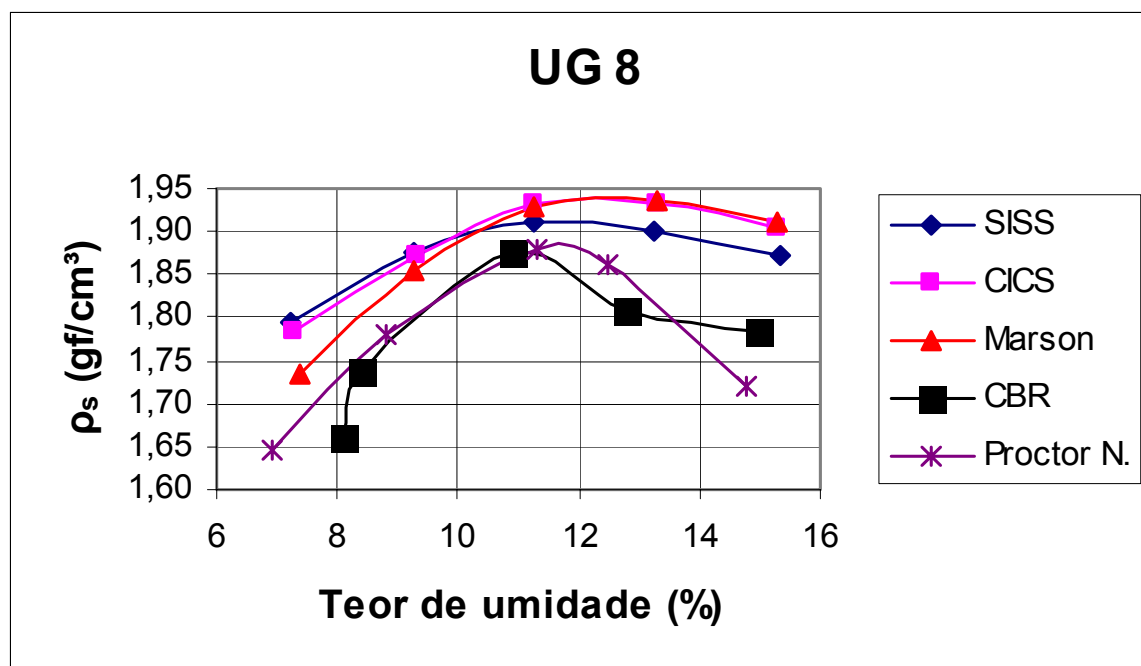


Figura 4-10 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 8

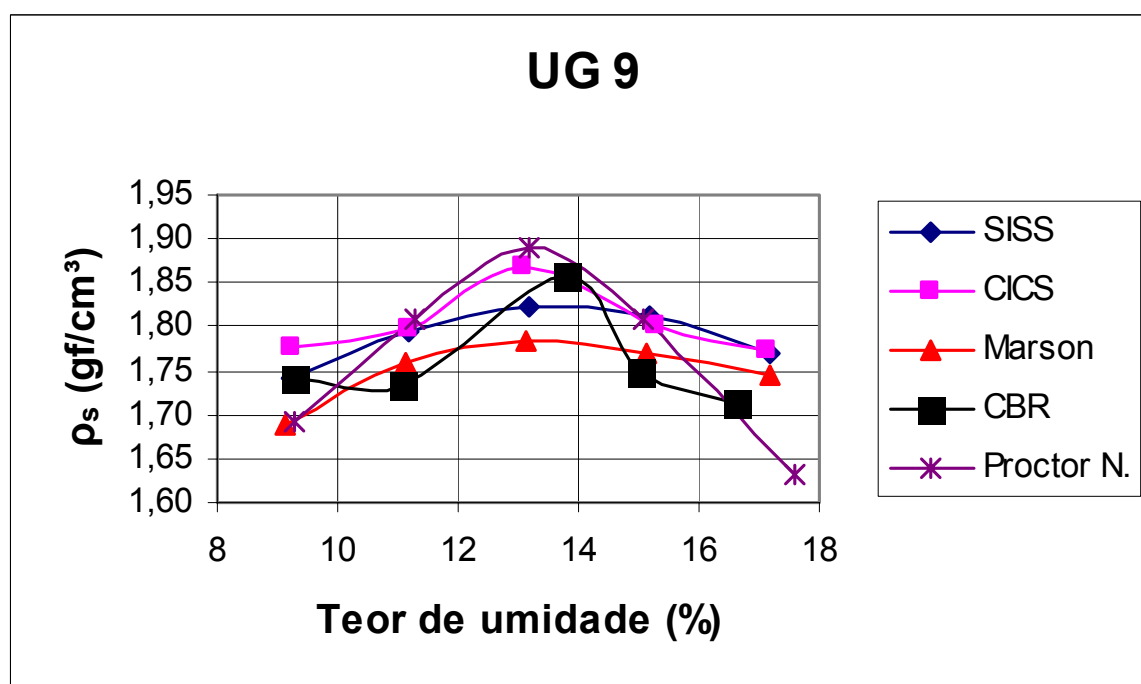


Figura 4-11 – Gráfico massa específica seca X teor de umidade – UG 9

Observa-se que todas as curvas da compactação no cilindro em miniatura apresentaram valores de ρ_s ligeiramente superiores àqueles obtidos da compactação nos

cilindros pequeno (PN) e grande (CBR), exceto para o solo da UG 9 do grupo LA'. Vilar e Rohm (1994) encontraram valores de ρ_s , para os ensaios em miniatura, cerca de 1,7% maiores do que os ρ_s do Proctor Normal, portanto, os valores encontrados nesse trabalho vêm confirmar os resultados obtidos por Vilar e Rohm (1994).

Verifica-se nos gráficos das Figuras 4-4 a 4-11 que em torno da umidade ótima há uma boa aproximação das curvas, sendo que a maior diferença da massa específica seca máxima, obtida nos diversos ensaios em relação à do PN na umidade ótima de referência é de 6%, na UG 5 conforme mostra Tabela 4-6.

Tabela 4-6 – Diferença máxima entre a massa específica seca máxima do PN e a dos outros ensaios

UG	Massa específica seca máx. (gf/cm³)					Dif. Max. (gf/cm³)	Dif. máx. rel. (%)
	PN	SISS	CICS	Marson	CBR		
1	1,593	1,589	1,589	1,638	1,578	0,045	2,82
3	1,890	1,909	1,902	1,876	1,867	-0,023	-1,21
4	1,670	1,755	1,734	1,744	1,725	0,085	5,08
5	1,430	1,519	1,517	1,497	1,458	0,089	6,22
6	1,640	1,691	1,700	1,667	1,720	0,08	4,87
7	1,420	1,476	1,471	1,342	1,444	-0,078	-5,49
8	1,880	1,910	1,933	1,928	1,875	0,053	2,81
9	1,890	1,822	1,870	1,784	1,858	-0,106	-5,60

Os gráficos das Figuras 4-12 a 4-14 relacionam a massa específica aparente seca máxima dos ensaios efetuados nos corpos-de-prova em miniatura e no cilindro grande (CBR) com a massa específica aparente seca máxima do PN (cilindro pequeno – soquete pequeno) e apresentam a linha de tendência obtida.

Comparando-se ρ_{smax} dos ensaios PN com ρ_{smax} dos outros ensaios (Mini-CBR SISS, CICS, Marson e CBR), através da linha de tendência que passa pela origem, cujas equações estão apresentadas na Tabela 4-7, observa-se que os coeficientes de correlação R^2 são elevados, demonstrando uma boa aproximação da massa específica aparente seca máxima do ensaio PN com os demais.

Diante desses dados pode-se concluir que a massa específica aparente seca máxima do PN se correlaciona melhor com a dos Mini-CBR (SISS e CICS), entre os Mini-CBR, embora a diferença seja insignificante.

Tabela 4-7 – Correlações entre ρ_{smax} do PN (X) e dos demais ensaios (Y)

Ensaio	N	Linha de tendência passando pela origem	
		Equação	R ²
PN – Mini-CBR (SISS e CICS)	16	$Y = 1,018X$	0,94
PN – CBR	8	$Y = 1,008X$	0,95
PN – Mini-CBR (Marson)	8	$Y = 1,005X$	0,88

Houve uma tendência geral da massa específica aparente seca máxima alcançada pela compactação em miniatura ou no cilindro grande ser maior do que a do PN no cilindro pequeno (0,5% a 1,8%).

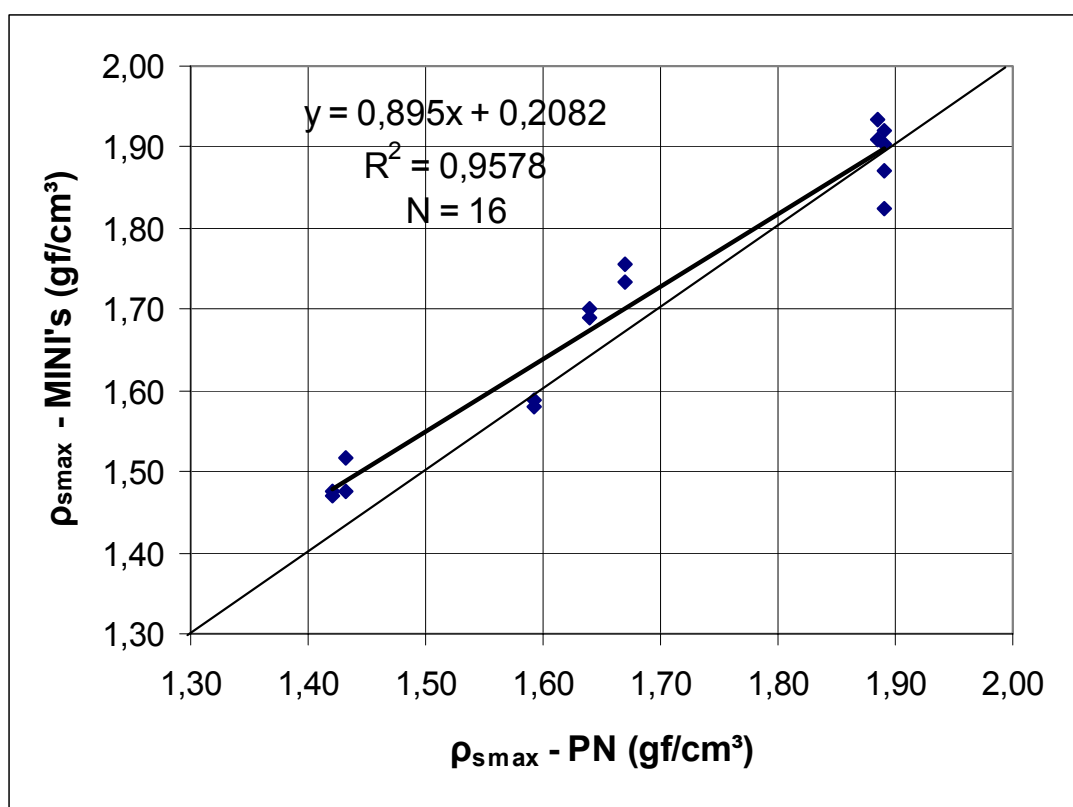


Figura 4-12 – Massa específica seca máxima dos Mini-CBR X massa específica seca máxima do PN

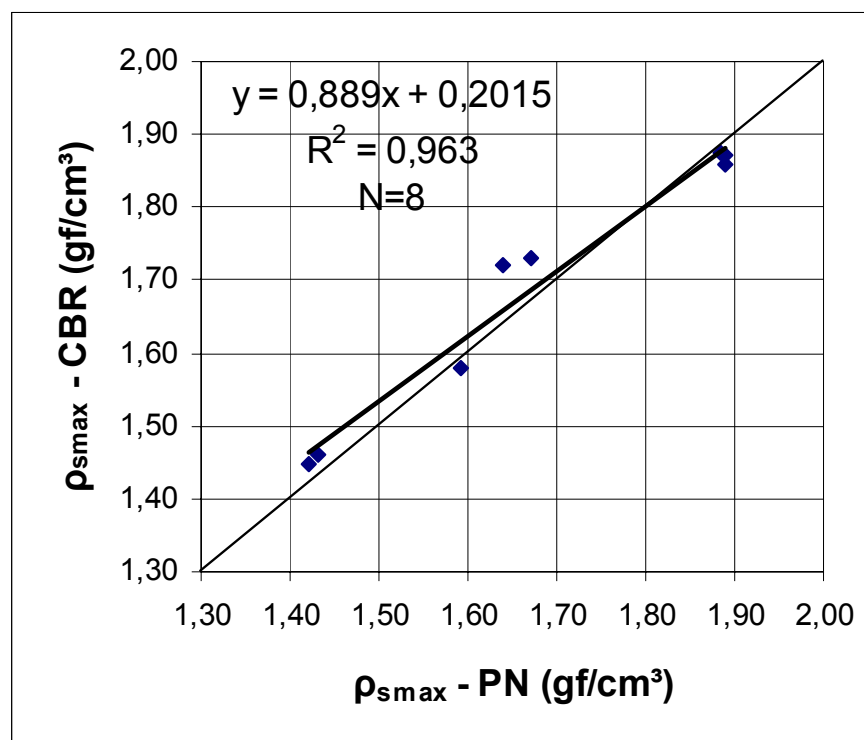


Figura 4-13 - Massa específica seca máxima do CBR X massa específica seca máxima do PN

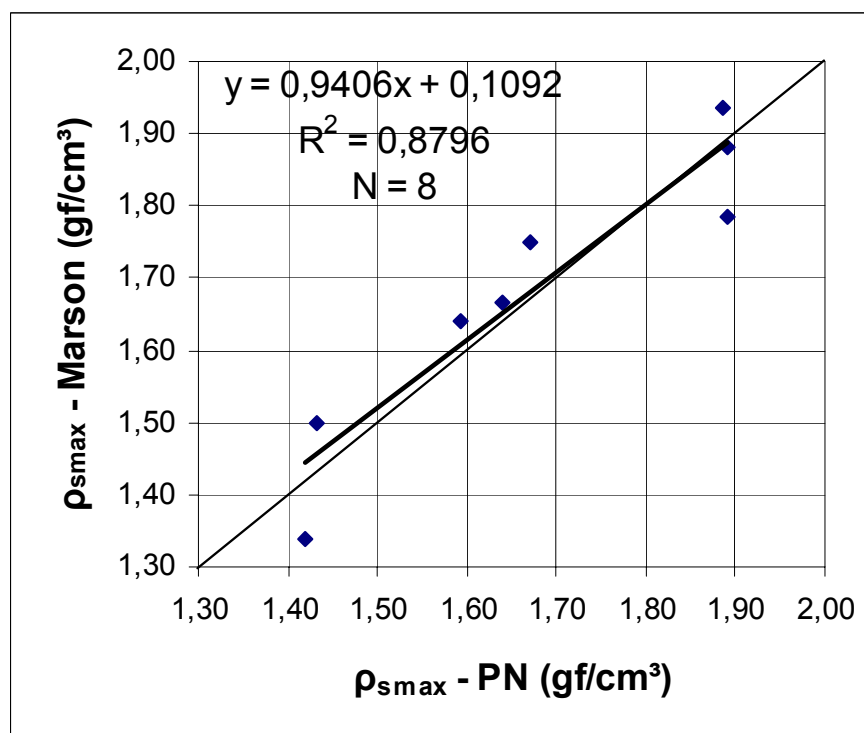


Figura 4-14 - Massa específica seca máxima do ensaio de Mini-CBR (Marson) X massa específica seca máxima do PN

O maior desvio de umidade considerando-se todas UG's é de -1,65%, o que representa 6,8% da W_{ot} do PN na UG 1, conforme demonstra Tabela 4-8.

Tabela 4-8 – Diferença máxima entre a W_{ot} dos outros ensaios e a W_{ot} de referência (PN)

UG	PN	SISS	CICS	Marson	CBR	Desvio máximo de umidade (%)	%
1	24,25	22,6	22,6	22,6	24,25	-1,65	6,80
3	11,00	11,01	11,01	10,98	10,20	-0,80	7,27
4	19,10	19,07	19,09	19,07	18,40	-0,70	3,66
5	28,00	27,89	27,89	27,89	28,10	-0,11	0,39
6	23,50	23,24	23,29	23,15	24,60	1,10	4,68
7	31,00	31,73	31,62	30,92	31,40	0,73	2,35
8	11,30	11,27	11,23	11,23	10,90	-0,40	3,53
9	13,20	13,16	13,10	13,11	13,80	0,60	4,54

Os gráficos das Figuras 4-15 a 4-17 mostram a relação entre a umidade ótima obtida através dos vários ensaios e do PN e a linha de tendência que passa pela origem (0,0). Verifica-se nestes gráficos que a W_{ot} obtida no ensaio PN é praticamente a mesma obtida nos demais ensaios.

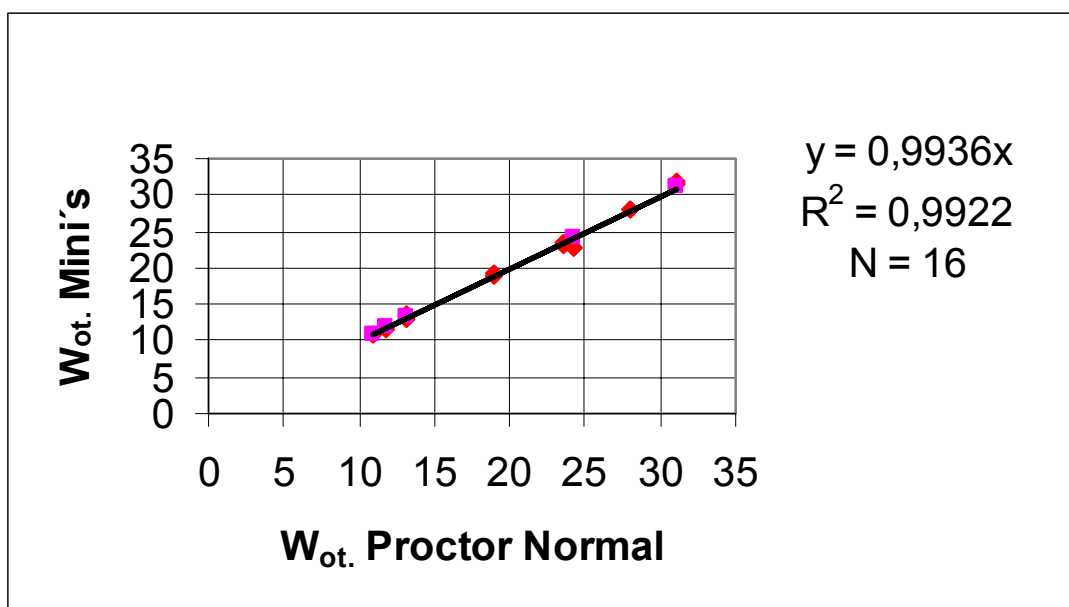


Figura 4-15 – Umidade ótima PN X umidade ótima Mini's CBR

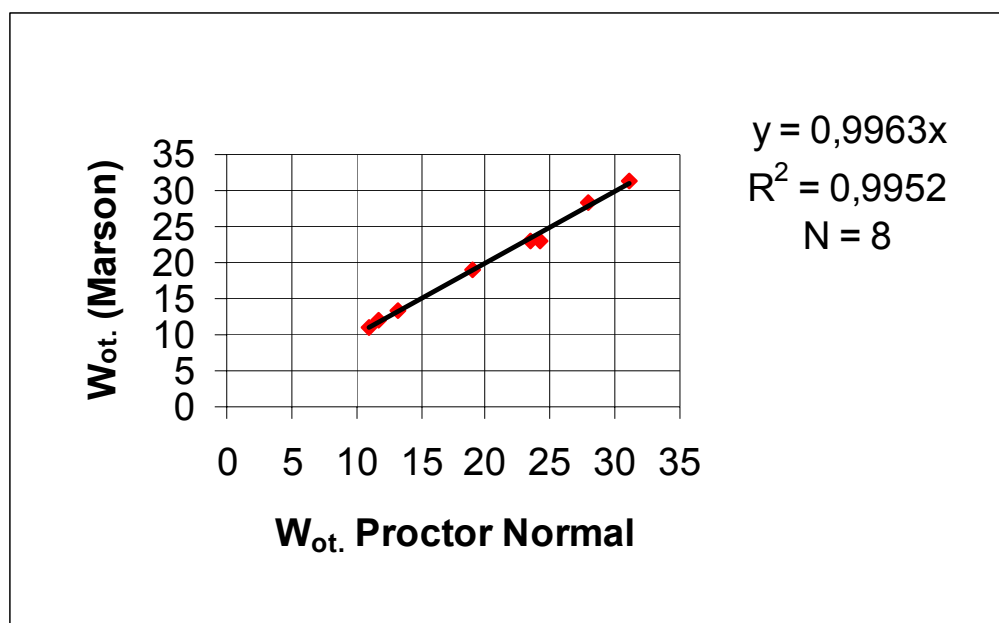


Figura 4-16 - Umidade ótima PN X umidade ótima Mini-CBR (Marson)

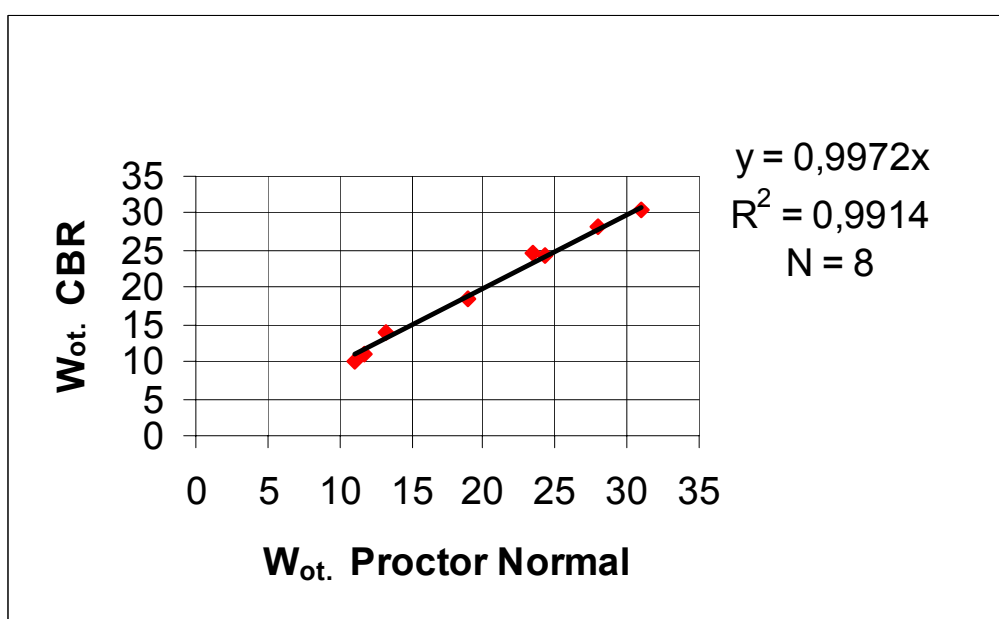


Figura 4-17 - Umidade ótima PN X umidade ótima CBR

Com relação à umidade ótima pode-se dizer que houve a tendência da mesma no ensaio do PN ser maior do que a dos demais ensaios e a massa específica aparente seca máxima ser menor. Como a massa específica aparente seca máxima foi menor, tal fato indica que a energia do ensaio PN pode ter sido menor.

Em virtude das pequenas diferenças observadas entre a umidade ótima (desvio de umidade máximo de -1,65%) e da massa específica aparente seca máxima (diferença relativa de 6%), adquiridas pelos diversos processos de compactação, e os desvios de umidade comumente utilizados na prática, pode-se concluir que o ensaio em miniatura pode substituir o PN com grandes vantagens.

4.2.2 Análise do efeito da compactação em uma só face

O gráfico da Figura 4-18 relaciona a massa específica aparente seca obtida com a compactação em uma só face (Marson) com a massa específica aparente seca obtida com a compactação nas duas faces (SISS e CICS). Desse modo, mostra a baixa influência da forma de compactação na massa específica aparente seca. Existe uma tendência em se manterem iguais, apresentando um coeficiente $R^2 = 0,9889$ para a igualdade, ou seja, fornecem praticamente a mesma massa específica aparente seca para as amostras compactadas em uma ou duas faces, assim confirmam os dados obtidos por Marson, L. A., (2004), que obteve $R^2 = 1,00$ ao analisar o resultado de 19 ensaios com variação máxima de $\pm 1,5\%$ em relação à linha de igualdade.

O gráfico da Figura 4-19, que relaciona a umidade ótima obtida com compactação em uma só face (Marson) com a compactação nas duas faces (SISS e CICS), mostra a baixa influência da forma de compactação na umidade ótima. Existe uma grande tendência das umidades ótimas em se manterem iguais, apresentando um coeficiente $R^2 = 0,9999$ para a igualdade, isto é, o processo de compactação em uma ou duas faces praticamente não interfere no resultado da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima. Esse fato também já foi observado por Vilar e Rohm (1994), visto que alcançaram valores de $R^2 = 0,984$ para a igualdade da umidade ótima do PN com a obtida a partir da compactação em miniatura de 5 golpes/face e $R^2 = 0,974$, também para a umidade ótima do PN, com a compactação de 10 golpes numa única face, demonstrando que os valores da umidade ótima são bem próximos para as diferentes maneiras de compactação.

Assim, a simplificação de execução em se aplicar a quantidade total de golpes em uma única face do CP é uma opção viável, já que apresenta bons resultados tanto de massa específica seca quanto de umidade ótima.

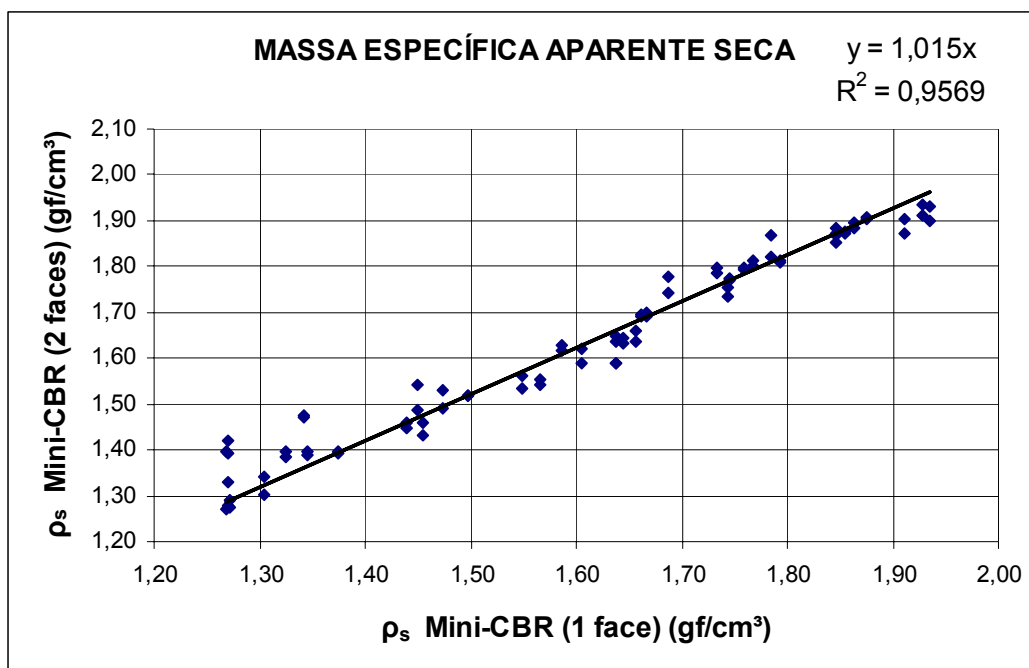


Figura 4-18 – Comparação entre ρ_s do Mini-CBR (1 face) e ρ_s do Mini-CBR (2 faces)

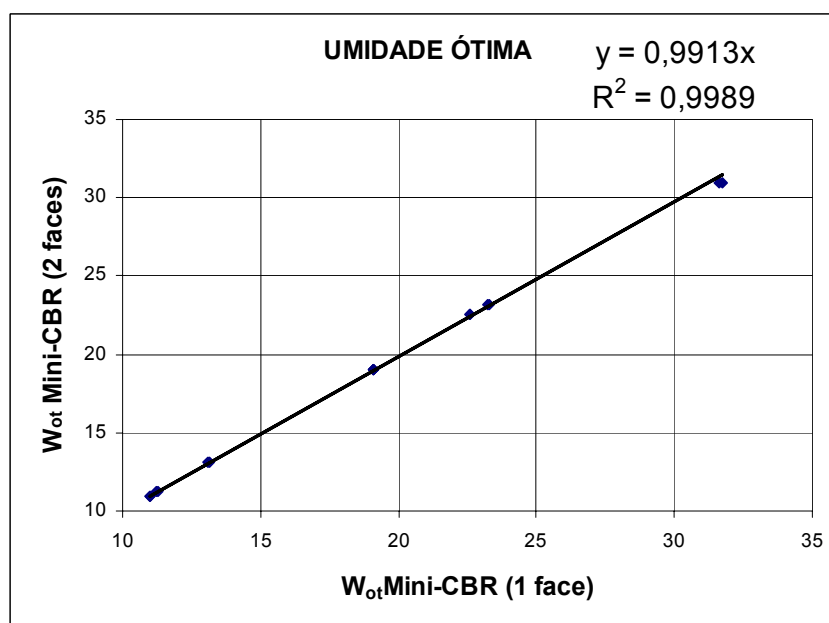


Figura 4-19 - Comparação entre W_{ot} do Mini-CBR (1 face) e W_{ot} do Mini-CBR (2 faces)

4.3 CBR E MINI-CBR

Os valores de CBR e Mini-CBR de todos os pontos estudados estão apresentados no Anexo B. As Figuras 4-20 a 4-27 apresentam os valores de CBR e Mini-CBR obtidos pelos diferentes procedimentos (SISS, CICS, Marson e CBR), todos na energia normal de

compactação para cada teor de umidade. Cada gráfico corresponde a uma unidade geotécnica (UG) estudada.

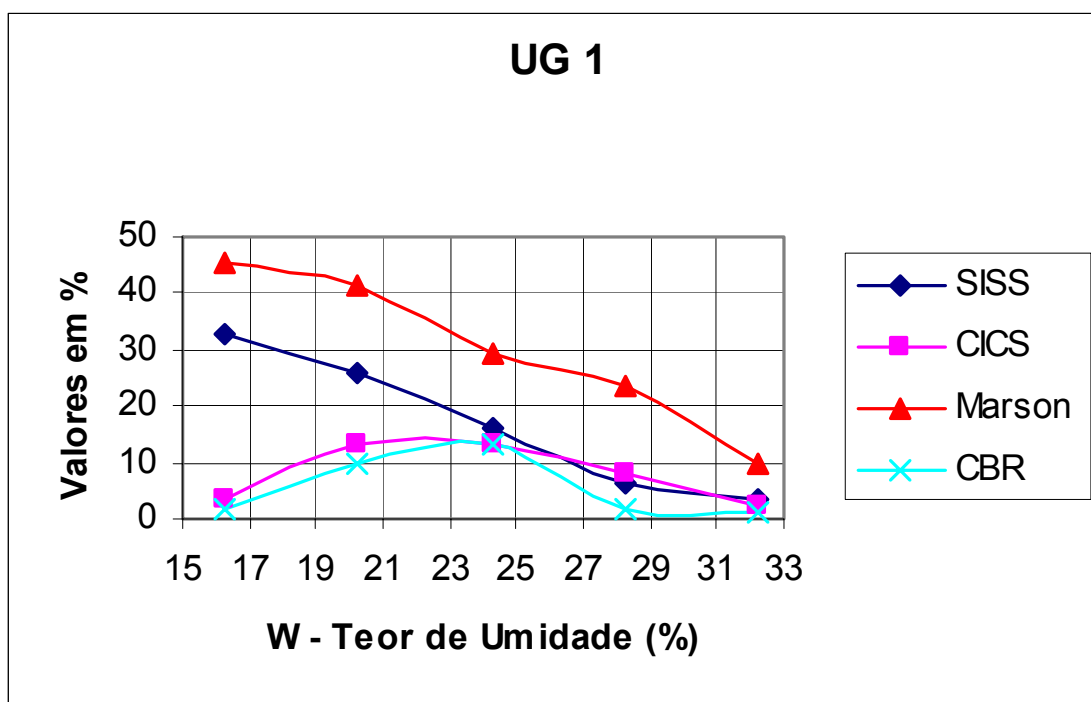


Figura 4-20 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 1

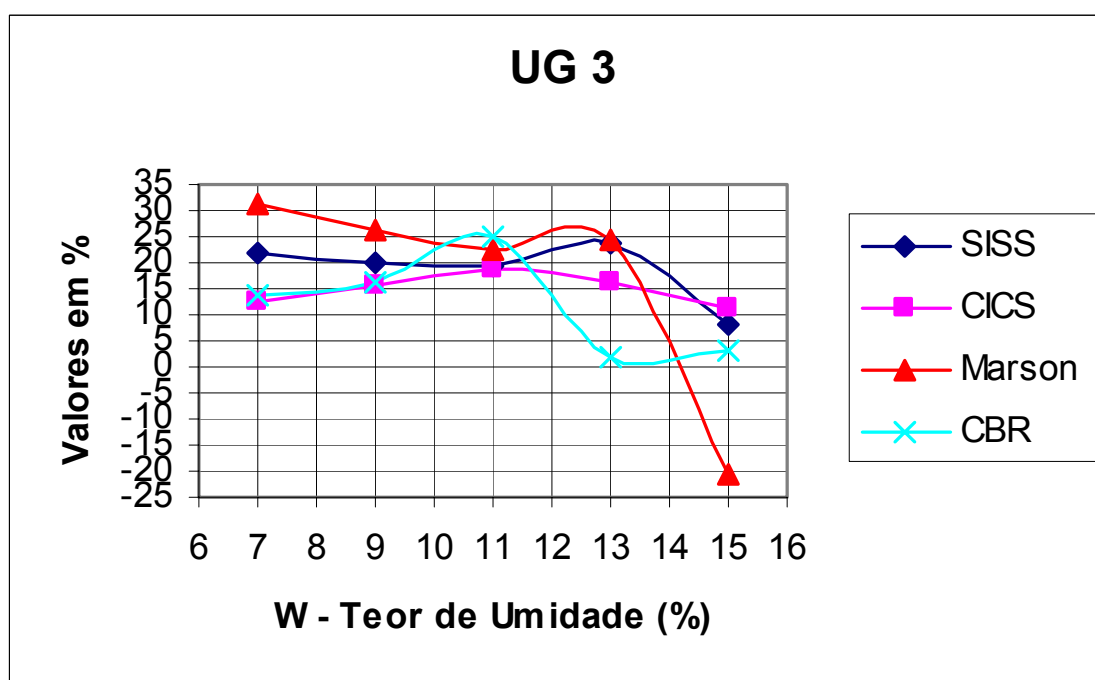


Figura 4-21 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 3

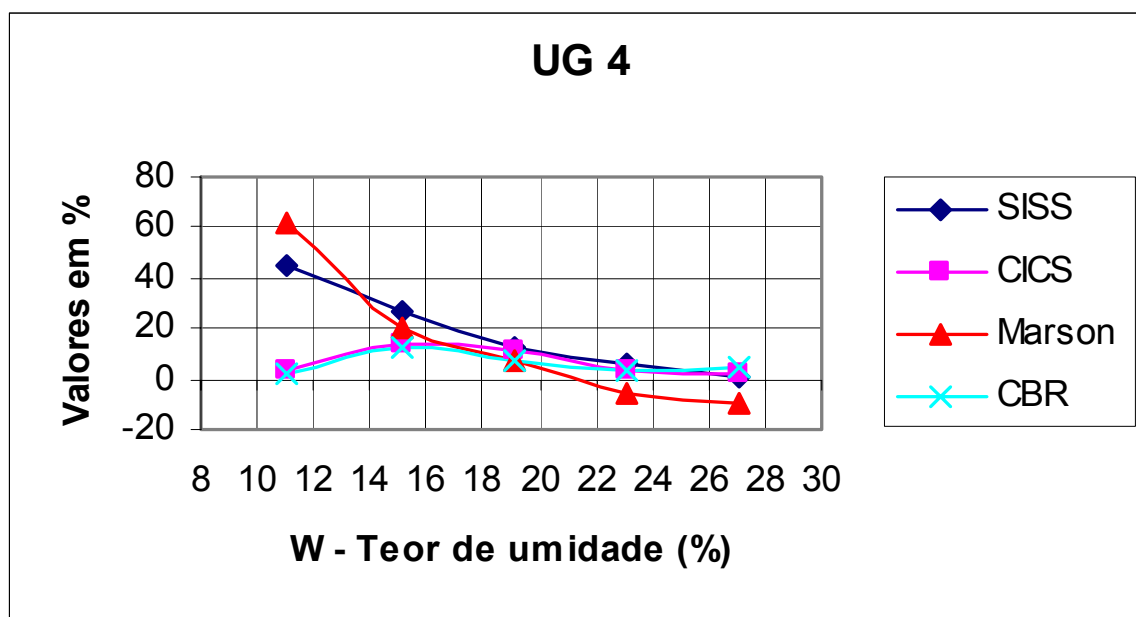


Figura 4-22 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 4

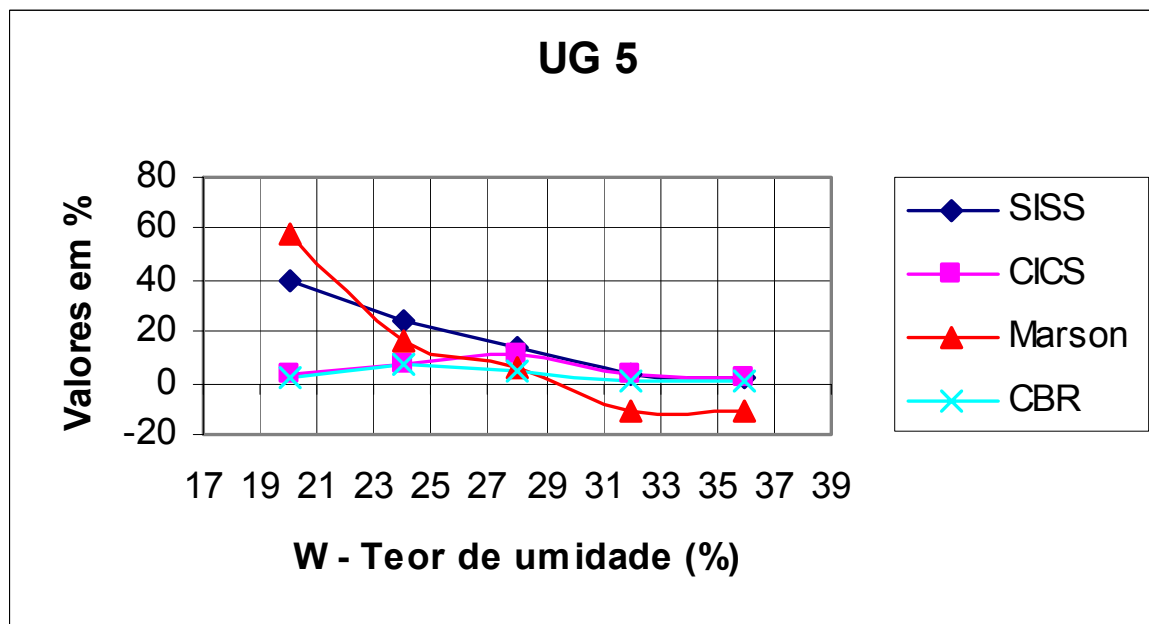


Figura 4-23 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 5

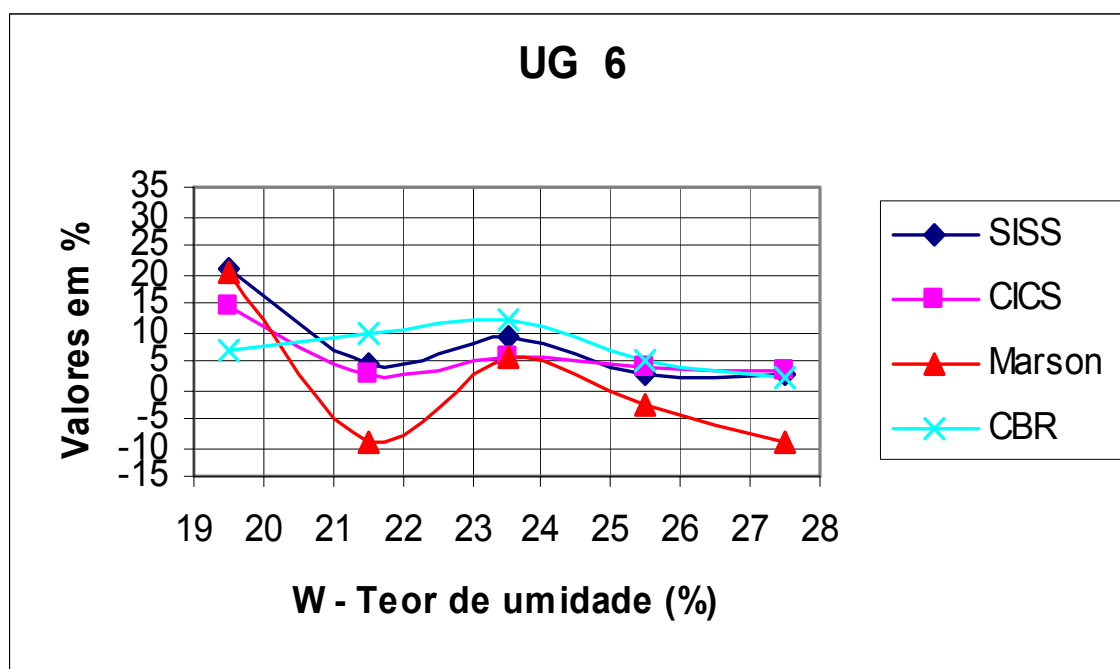


Figura 4-24 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 6

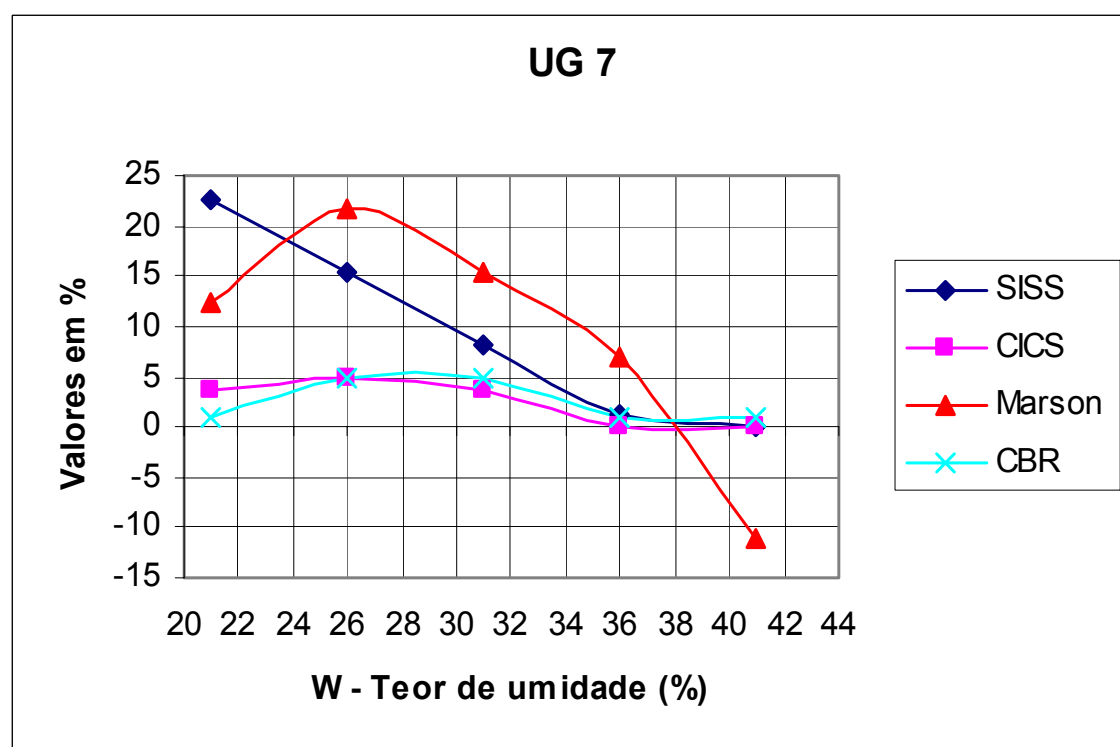


Figura 4-25 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 7

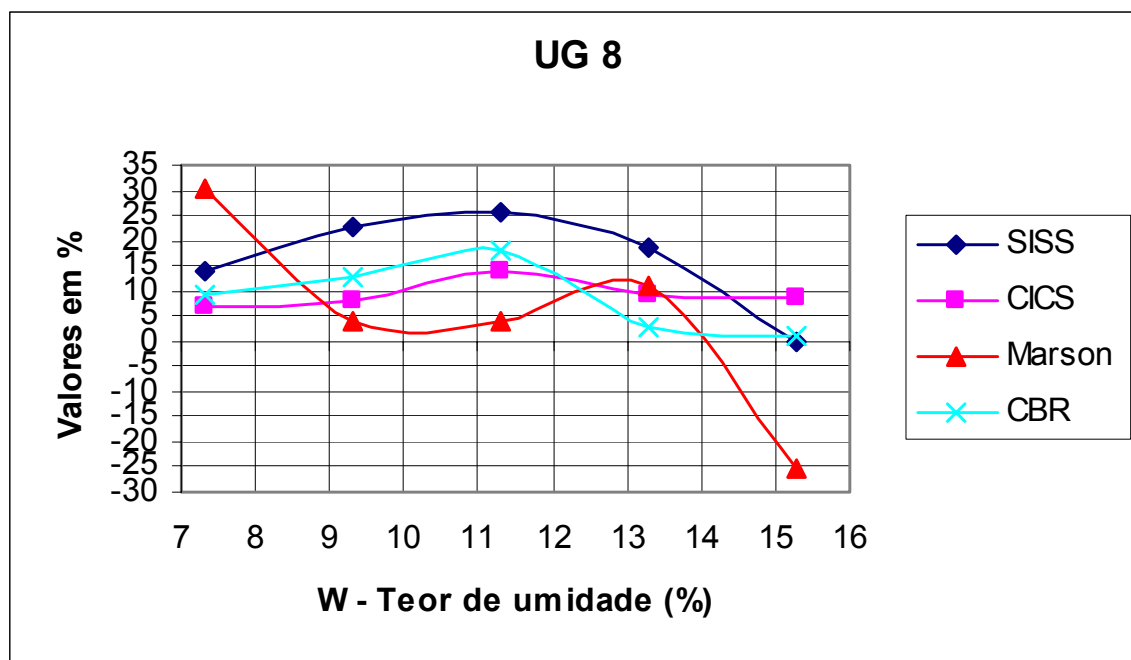


Figura 4-26 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 8

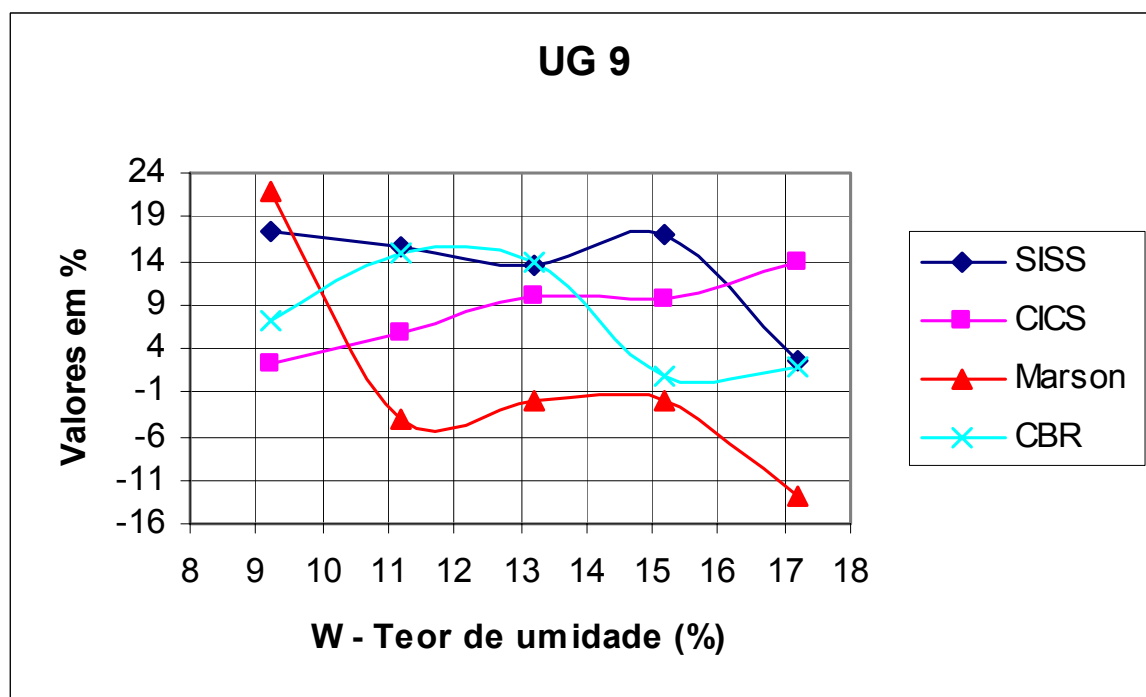


Figura 4-27 – Valores de CBR e Mini-CBR X umidades – UG 9

Os gráficos das figuras 4-20 a 4-27 indicam que foram obtidos alguns resultados negativos nos ensaios de Mini-CBR (Marson), visto que das 8 amostras ensaiadas, somente a UG 1 não apresentou resultado negativo para o Mini-CBR (Marson). Estes resultados mostram que a obtenção do valor do Mini-CBR na forma sugerida por Marson, L. A., (2004) não se aplica aos solos de Uberlândia.

Os gráficos das figuras 4-28 a 4-30 relacionam os valores do CBR com o Mini-CBR obtido pelas Normas DNER-ME 254/97 / DNER-ME 228/94 (SISS e CICS), e seguindo a proposta de Marson, L. A., (2004). Nestes gráficos os solos estão separados pelas cores de acordo com a classificação MCT. A disposição das cores é a seguinte: Vermelha: LG'; Azul: LA' e Roxo: LA.

Foram apresentados, nos referidos gráficos, apenas 3 pontos de cada UG, que são o ponto da umidade ótima; o imediatamente anterior e o imediatamente posterior. Os pontos extremos tanto do ramo mais seco como do ramo mais úmido se dispersam muito entre os valores comparados, por isso foram desprezados na análise, além do que, na prática utiliza-se uma variação de aproximadamente 2% em relação à umidade ótima. Pode-se observar que há uma dispersão muito grande dos pontos em relação à reta de igualdade. Portanto, conclui-se que não há boa correlação entre eles.

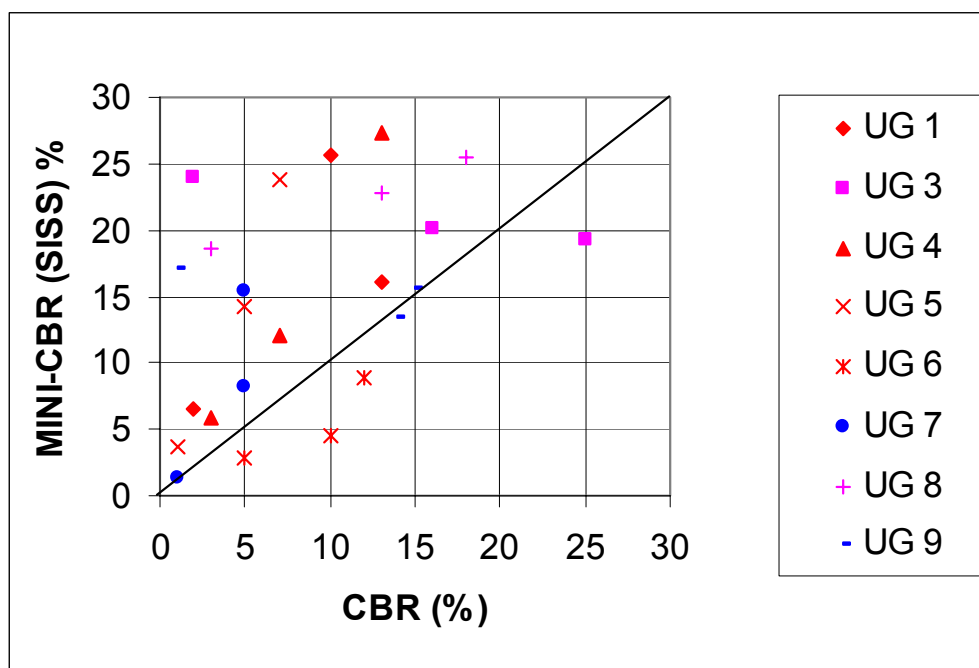


Figura 4-28 – Gráfico CBR x Mini-CBR (SISS)

Ao observar a Figura 4-28 pode-se constatar que os valores de Mini-CBR (SISS) são maiores do que os valores de CBR em 75,0% dos pontos.

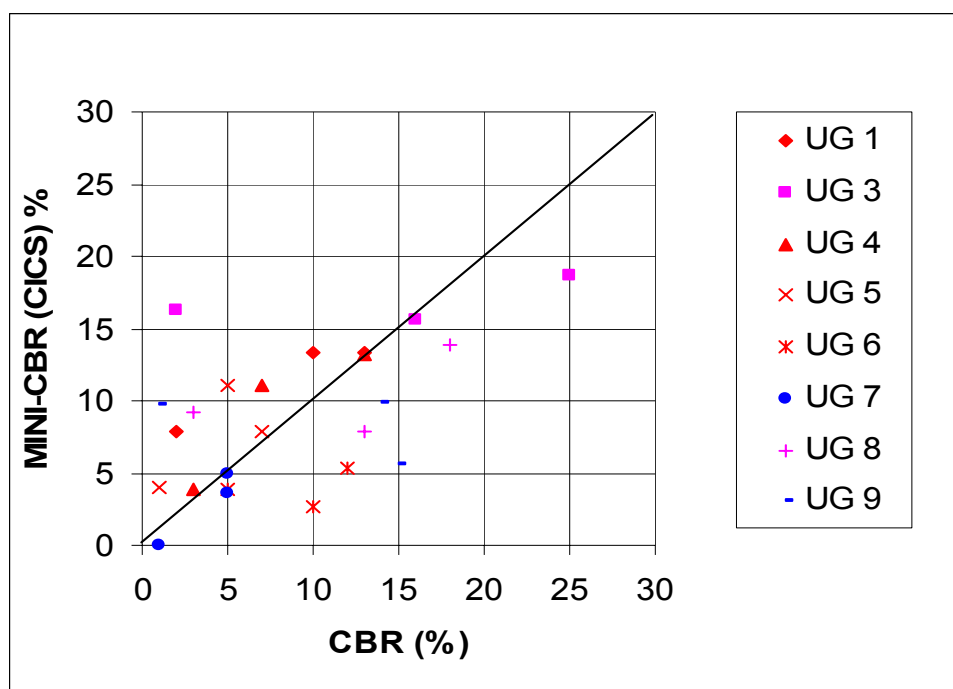


Figura 4-29 - Gráfico CBR x Mini-CBR (CICS)

Ao analisar a Figura 4-29 pode-se notar que os valores de Mini-CBR (CICS) são maiores do que os valores de CBR em 58,0% dos pontos.

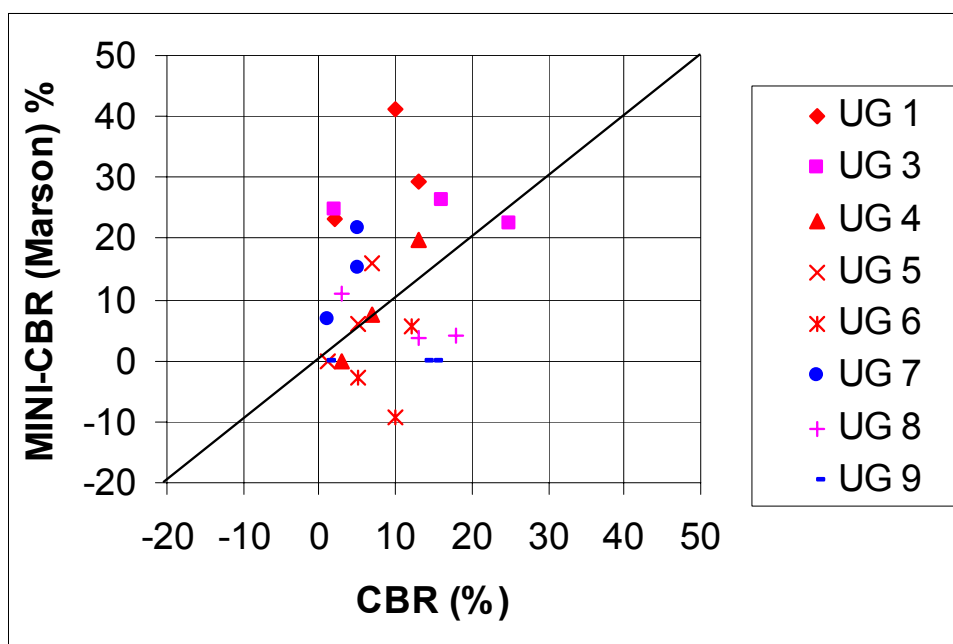


Figura 4-30 - Gráfico CBR x Mini-CBR (Marson)

Ao analisar a Figura 4-30 pode-se verificar que os valores de Mini-CBR (Marson) são maiores do que os valores de CBR em 58,3% dos pontos, valor bem próximo ao da comparação entre o CBR e o Mini-CBR (CICS), entretanto menos dispersos.

A Tabela 4-9 apresenta os coeficientes de correlação para a reta de igualdade entre o CBR e o Mini-CBR nas três formas em que foi realizado o ensaio, considerando os valores obtidos na umidade ótima e também os 3 pontos: umidade ótima, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior.

Assim, pode-se aferir que tanto para os 3 pontos quanto apenas para a W_{ot} a melhor relação entre eles é a relação entre o CBR e o Mini-CBR (CICS), e a pior relação é a do CBR com o Mini-CBR (Marson), como já era esperado, uma vez que o CBR é realizado com a imersão do solo e no caso do Mini-CBR (Marson) a compactação do solo é feita em uma única face e sem imersão, além de ter outra fórmula para o cálculo do Mini-CBR, diferentemente do Mini-CBR (SISS e CICS).

Tabela 4-9 – Coeficiente de correlação para a igualdade entre o CBR e o Mini-CBR

Ensaio	Valor de R^2 (3 pontos)	Valor de R^2 (ponto W_{ot})
CBR – Mini-CBR (SISS)	0,636	0,833
CBR – Mini-CBR (CICS)	0,791	0,866
CBR – Mini-CBR (Marson)	0,434	0,544

Com relação aos ensaios de Marson, foi feita a compactação da forma sugerida pelo autor, ou seja, em apenas 1 face do CP e em seguida feito o ensaio de penetração. Calculando pela fórmula proposta pelo autor observam-se alguns valores negativos, porém ao se calcular pela respectiva fórmula do DNER chegou-se então a todos os valores positivos e com uma linearidade entre os mesmos. Os valores obtidos nos ensaios, para todos os pontos estão apresentados no Anexo C.

As Figuras 4-31 e 4-32 apresentam, para os solos compactados em uma única face, conforme proposto por Marson, a relação entre o Mini-CBR calculado pela fórmula de Marson e pela fórmula do DNER. Verifica-se que ambos têm uma relação linear bem definida, tanto para os solos argilosos como para os solos arenosos.

A Tabela 4-10 apresenta a previsão de CBR para solos classificados segundo a classificação HRB (SENÇO, 1997). Ao se comparar os valores de CBR obtidos com os valores estimados pela HRB, pôde-se apurar que os valores obtidos nas UG's 8 e 9 ficaram abaixo do esperado.

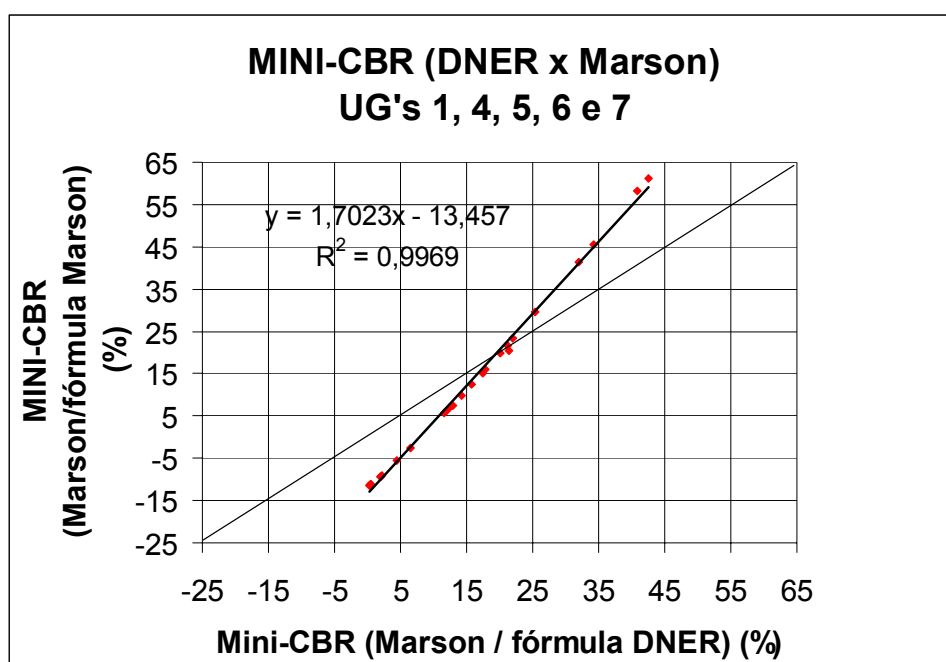


Figura 4-31 - Gráfico comparativo entre o Mini-CBR Marson calculado pela fórmula de Marson e calculado pela fórmula do DNER. (Solos argilosos)

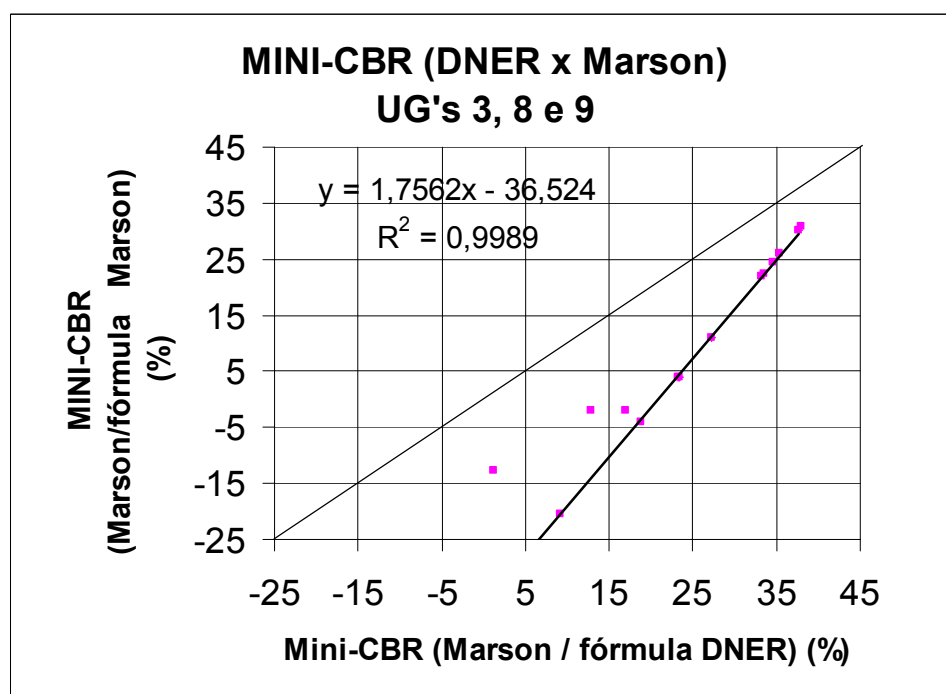


Figura 4-32 - Gráfico comparativo entre o Mini-CBR Marson calculado pela fórmula de Marson e calculado pela fórmula do DNER. (Solos arenosos)

Tabela 4-10 – Valores de CBR encontrados e estimados pela classificação HRB (SENÇO, 1997)

UG	Classificação HRB	Previsão do CBR ($w_{ot.}$) pela HRB	Valor encontrado nos ensaios ($w_{ot.}$)
1	A-4	4 a 25	13
3	A-2-4	25 a 80 (ou mais)	25
4	A-4	4 a 25	7
5	A-4	4 a 25	5
6	A-4	4 a 25	12
7	A-5	2 (ou menos) a 10	5
8	A-2-4	25 a 80 (ou mais)	18
9	A-2-4	25 a 80 (ou mais)	14

A Tabela 4-11 apresenta a previsão de CBR para solos classificados de acordo com a Classificação Unificada (SENÇO, 1997).

Ao confrontar os valores de CBR obtidos com os estimados pela SUCS, comprovou-se que todos estão dentro do previsto.

Tabela 4-11 – Valores de CBR encontrados e estimados pela Classificação Unificada (SENÇO, 1997).

UG	Classificação Unificada	Previsão do CBR ($w_{ot.}$) pela Classificação Unificada	Valor encontrado nos ensaios ($w_{ot.}$)
1	ML	2 (ou menos) a 15	13
3	SM	10 a 40	25
4	ML	2 (ou menos) a 15	7
5	ML	2 (ou menos) a 15	5
6	ML	2 (ou menos) a 15	12
7	ML	2 (ou menos) a 15	5
8	SM	10 a 40	18
9	SM	10 a 40	14

A Tabela 4-12 apresenta a classificação em ordem decrescente de indicação para utilização dos materiais estudados neste trabalho, ordenados de acordo com a classificação MCT para utilização em diversas funções em pavimentação.

Então se pode notar que os melhores solos para a maioria das finalidades são os solos da classificação LA', representados pela UG 7, localizada entre os bairros Morada do Sol e Guarani; e UG 9, situada no bairro Morada Nova. No entanto, são solos encontrados em pequenas áreas, se comparados com a área urbana total do município de Uberlândia, conforme Mapa dos Materiais Inconsolidados (Anexo C).

Uma opção alternativa que poderia ser utilizada, já que é encontrada em maior quantidade na área urbana de Uberlândia é a UG 3, que apresenta segunda colocação para a maioria das funções, exceto para revestimento primário e proteção à erosão, função para a qual esse material não deve ser usado.

Tabela 4-12 – Classificação dos materiais para diferentes utilizações de acordo com a classificação MCT. (NOGAMI E VILLIBOR, 1995)

UG	Cl. MCT	Base de pavimento	Ref. Subleito compactado	Subleito compactado	Aterro compactado	Proteção à erosão	Revestimento primário
1	LG'	3º	3º	3º	3º	1º	2º
3	LA	2º	2º	2º	2º	n	4º
4	LG'	3º	3º	3º	3º	1º	2º
5	LG'	3º	3º	3º	3º	1º	2º
6	LG'	3º	3º	3º	3º	1º	2º
7	LA'	1º	1º	1º	1º	2º	1º
8	LA	2º	2º	2º	2º	n	4º
9	LA'	1º	1º	1º	1º	2º	1º
n = não recomendado							

4.4 EFEITO DA IMERSÃO

O gráfico da Figura 4-33 mostra os valores de Mini-CBR (SISS) comparados com os valores de Mini-CBR (CICS). Desse modo, confirma-se que os valores SISS são, em 91,6% dos pontos, maiores do que os CICS, demonstrando a influência da imersão e da sobrecarga no ensaio. O coeficiente de correlação R^2 para a igualdade, considerando-se os 24 pontos é de 0,7227.

A relação entre o Mini-CBR imerso e Mini-CBR não imerso, RIS aparece na Tabela 4-13.

Pode-se verificar que, na umidade ótima, todos os valores de RIS são maiores que 50%, afora para a UG 7. Uma possível explicação para esse fato seria o solo estar parcialmente laterizado, pois na classificação MCT-M, ele se enquadra no grupo TA'G', sendo considerado um solo transicional.

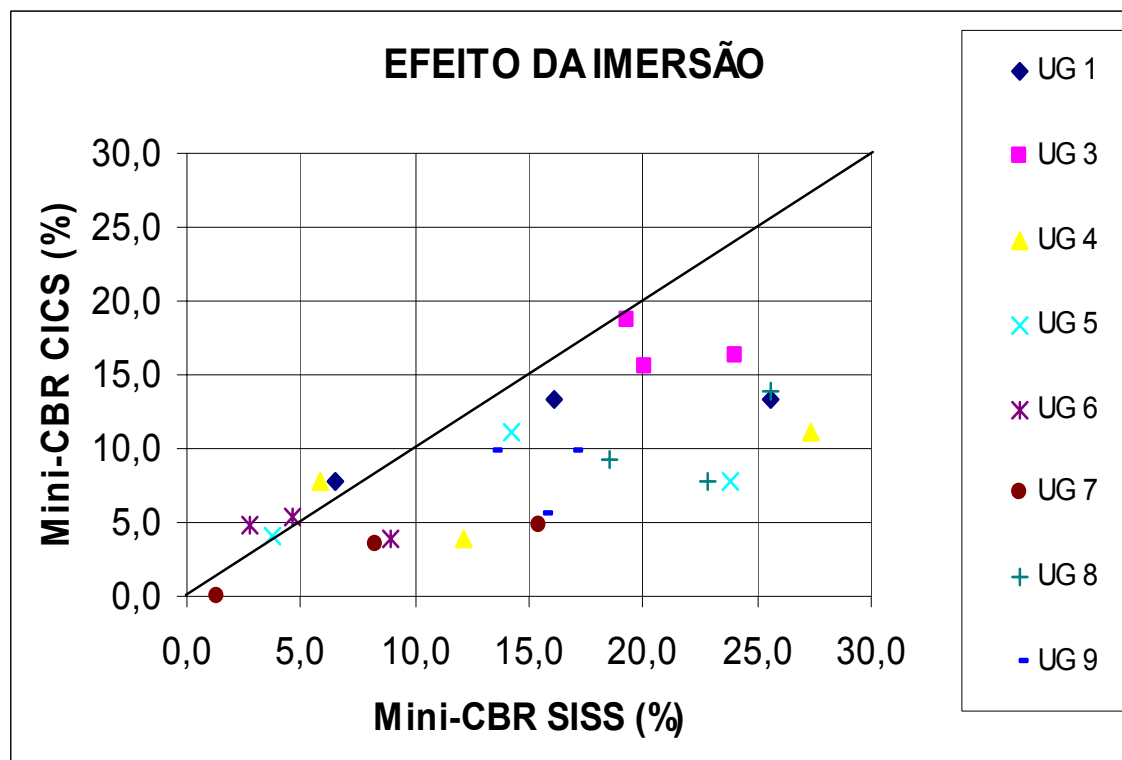


Figura 4-33 – Efeito da imersão no ensaio de Mini-CBR

Tabela 4-13 Relação entre o valor do Mini-CBR imerso e o não imerso (RIS)

UG	Cl. MCT	Previsão de perda de suporte por imersão – Nogami e Villibor 1995 (%)	Valores de RIS encontrados na W3 (%)	Perda de suporte por imersão encontrado (%)
1	LG'	< 40	83	17
3	LA	< 40	97	3
4	LG'	< 40	91	9
5	LG'	< 40	78	22
6	LG'	< 40	51	49
7	LA'	< 40	43	57
8	LA	< 40	54	46
9	LA'	< 40	73	27

4.5 EXPANSÃO

Os valores da expansão das 5 unidades de todos os solos estão apresentados na Tabela 4-14. Observa-se que a expansão dos solos, na umidade ótima (W3) é baixa, sendo inferior a 0,5% e, independente da umidade de compactação, inferior a 5%, tanto nos ensaios de CBR como nos ensaios em miniatura, conforme previsto pela classificação MCT. O coeficiente de correlação, para a reta de igualdade da expansão é de 0,5820, demonstrando uma baixa relação entre os dados.

Tabela 4-14 - Valores de expansão nos ensaios de CBR e Mini-CBR (CICS)

UG	W	Expansão no ensaio de CBR (%)	Expansão no ensaio de Mini-CBR (CICS) (%)	UG	W	Expansão no ensaio de CBR (%)	Expansão no ensaio de Mini-CBR (CICS) (%)
1	W1	0,03	-0,06	6	W1	0,41	0
	W2	0,05	-0,12		W2	4,64	0
	W3	0,06	0,10		W3	0,24	0
	W4	0,13	1,88		W4	0,16	0
	W5	0,09	1,10		W5	1,93	0
3	W1	0,01	0	7	W1	0,03	0,02
	W2	0,02	0		W2	0,06	0,00
	W3	0,03	0		W3	0,06	0,00
	W4	0,13	0		W4	0,07	0,00
	W5	0,04	0		W5	0,28	0,00
4	W1	0,01	0	8	W1	0,02	0,06
	W2	0,02	0		W2	0,02	0,02
	W3	0,03	0		W3	0,02	0
	W4	0,13	0		W4	0,09	0
	W5	0,04	0		W5	0,02	0,02
5	W1	0,06	0,18	9	W1	0,10	0,15
	W2	0,05	0,05		W2	0,07	0,01
	W3	0,03	0,08		W3	0,04	0,02
	W4	0,03	-0,01		W4	0,03	0,07
	W5	0,03	-0,07		W5	0,17	0

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Ao fazer uma análise minuciosa dos resultados obtidos nos ensaios dos solos estudados pode-se asseverar que não existe uma relação clara entre os valores de CBR e Mini-CBR, independente da unidade geotécnica (origem), da classificação MCT, e da forma de execução do ensaio (SISS e CICS). Assim, ao relacionar os resultados de CBR e Mini-CBR obteve-se uma nuvem de pontos e não uma reta de igualdade, os quais apresentaram baixo coeficiente de correlação para os ensaios em miniatura (sem imersão/sem sobrecarga e com imersão/com sobrecarga).

Com relação à massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima na energia do Proctor Normal, no intervalo de umidade de $\pm 2\%$ para as areias e $\pm 4\%$ para as argilas, há uma ótima relação entre os valores obtidos pela compactação em miniatura e o Proctor Normal, independente de ser realizada no cilindro grande ou pequeno. Tal fato confirma o que foi observado por Barros (2003) e Vilar e Rohm (1994). Em outras palavras, é possível substituir os ensaios convencionais pelos de dimensões reduzidas para a determinação da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima. A execução da compactação em miniatura pode ainda ser simplificada realizando-se a compactação com a aplicação do número total de golpes em uma única face do corpo-de-prova.

A fórmula proposta por Marson, L. A., (2004) para o cálculo do valor do Mini-CBR, além de apresentar alguns valores negativos, não apresentou correlação entre esses valores e os valores de CBR, para todos os solos analisados.

Todos os solos estudados apresentaram valores de CBR relativamente baixos. Os solos com maiores valores de CBR são os da UG 3 em primeiro lugar, seguido pela UG 8 e 9 respectivamente. Apesar disso, os solos das UG's 8 e 9 apresentam valores de CBR menores do que os previstos pela classificação HRB. Todos os solos analisados apresentam valores de CBR dentro da faixa prevista pelo sistema de classificação SUCS, e valores de Mini-CBR dentro do previsto pela classificação MCT.

Os valores de RIS encontrados em 7 das 8 unidades geotécnicas estudadas foram superiores a 50%, confirmando a baixa perda de resistência por imersão e o caráter laterítico dos mesmos. Somente o solo da UG 7 não forneceu valor acima de 50%, fato que pode ser atribuído a uma laterização parcial desse solo. Como era de se esperar, devido ao caráter laterítico, todos os solos estudados eram pouco expansivos, com expansões inferiores a 1%, na umidade ótima.

Embora a classificação MCT e as características granulométricas dos solos das UG's 3, 4, 8 e 9 indiquem que estes solos podem ser utilizados como base de Solo Arenoso Fino Laterítico (SAFL), somente o solo da UG 3 apresentou valor de CBR mais elevado, mostrando que apenas ele poderia ser empregado nesta função. No entanto, é o solo que ocorre em maior área do município de Uberlândia. Já os solos das UG's 1, 5, 6 e 7 podem ser empregados em bases de SLA (Solo Laterítico Agregado).

Portanto, apesar de não se verificar correlações entre os ensaios de CBR e Mini-CBR, este estudo foi válido no sentido do conhecimento das características de suporte dos solos da cidade de Uberlândia, nos ensaios tradicionais e nos ensaios em miniatura, mostrando que a pavimentação de baixo custo, com solos lateríticos, pode ser uma opção viável para a pavimentação de ruas de baixo volume de tráfego da referida localidade.

Enfim, cabe um estudo mais detalhado a respeito das características dos solos de cada unidade geotécnica, tendo em vista que, eventualmente, uma mesma unidade pode apresentar características diferentes, conforme comentado por Andrade (2005) em sua dissertação de mestrado.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSALI, M. P. et al. *Comparação da Incerteza de Medição entre ensaios CBR e Mini-CBR*. In: 34ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Campinas, 2003.

ASSALI, M. P.; FORTES, R. M. *Comparação da Incerteza de Medição entre ensaios CBR e Mini CBR em Solos para Pavimentação*. 40 p. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459 – Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 6508 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7180 – Determinação do Limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 7181 – Granulometria conjunta*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia*. Rio de Janeiro, 1987.

ANDRADE, R. F. de. *Mapeamento Geotécnico Preliminar em Escala de Semi-detálhe (1:25.000) da Área de Expansão Urbana de Uberlândia – MG*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005.

BARROS, C. O. de A. *Revisão da Correlação Mini-CBR / CBR para Solos do Município de São Carlos -SP*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BARROSO, S. H. de *Estudo dos solos da região metropolitana de Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária*. 178 p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BEZERRA NETO, R. S. *Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecânico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)*. 169 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BRITO, J. L. S. PRUDENTE, T. D. *Mapeamento do Uso da Terra e Cobertura Vegetal do Município de Uberlândia-MG, utilizando imagens CCD/CBERS2*. Revista on line – Caminhos de Geografia. <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> - Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia 2005.

DEDALUS: *Banco de dados bibliográficos da USP catálogo on-line global*. Disponível em < <http://dedalus.usp.br:4500/ALEPH/POR/USP/USP/DEDALUS/SHORT/327927/1>> Acesso em 15 de agosto de 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 049: Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas, 1994.

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

_____. *DNER-ME 254: Solos - Compactação em Equipamento Miniatura - Mini-CBR e Expansão*, 1997.

_____. *DNER-ME 256: Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão*, 1994.

_____. *DNER-ME 258: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV*, 1994.

_____. *DNER-CLA 259: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura*, 1996.

DIAS I. de M; REZENDE, M. E. B. *Levantamento dos solos lateríticos de Uberlândia.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 2003, REGIO'2003. Anais... Porto Alegre, 2003.

FABBRI, G. T. P. *Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno.* Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FERREIRA, M. A. G. *Considerações sobre Misturas Solo-Agregado Compostas por Materiais Tropicais para uso em Pavimentação.* 62 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

FORTES, R. M. et al. *Proposta de Normalização do Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais.* In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA 11ª, ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação, Porto Alegre, 2002.

GODOY, H. de. *Identificação e Classificação Geotécnica de Latossolos do Estado de São Paulo pelo Método das Pastilhas MCT.* 132 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GODOY, H. de; BERNUCCI, L. B. *Caracterização de propriedades geotécnicas de solos realizada no próprio campo e de maneira expedita.* In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO 32ª, Brasília/DF, 2000.

GUIMARÃES, E. H.; REZENDE, M. E. B. *Aplicação da Metodologia MCT – expedita a solos superficiais de Uberlândia.* In: II SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS NO CENTRO-OESTE, 2005. Anais... Goiânia – GO.

IGNATIUS, S. G. *Solos Tropicais: Proposta de Índice Classificatório.* Solos e Rochas, São Paulo, v.14, nº 2: p.89-9, 1991.

LAFLEUR, J. D. et al. *Relationship Between the CBR and Iowa Bearing Value.* In: Methods for Testing Engineering Soils Progress Report. The Iowa State University Bulletin, Ames, USA, 1960. p. 257 - 308.

MACKENZIE. Disponível em
<http://meusite.mackenzie.com.br/pavimento/PDF/Capacidade%20de%20Suporte%20CBR>.

pdf. Acesso em 02 de dezembro de 2005.

MARANGON, M.; MOTTA, L. M. G. *Avaliação da Metodologia MCT simplificada para classificação dos solos*. In: 36ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36ª RAPv, Curitiba, 2005.

MARSON, L. A. *Correlações entre ensaios CBR e Mini-CBR para solos lateríticos de textura fina*. 139 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

MARSON, M. *Análise Crítica da Classificação MCT para Solos Tropicais*. 216 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

MEDINA, J. *Notas Históricas acerca da Mecânica dos Pavimentos* – In: 23ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Florianópolis, RS, 1988. V. 01 p. 330 – 345.

MEDINA, J. *A Importância do Estudo de Solos Tropicais e Subtropicais*. In: Colóquio de Solos Tropicais e Subtropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil. CPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 1989. p. 1 – 11.

NISHIYAMA, L. *Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes*. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 01, nº 1: p. 9-15, 1989.

NISHIYAMA, L. *Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000, aplicados ao município de Uberlândia-MG*. Tese de Doutorado. USP de São Carlos. São Carlos, 1998.

NOGAMI, J. S. *Determinação do Índice de Suporte Califórnia em equipamento de Dimensões Reduzidas (Mini-CBR)*. International Road Federation Meeting, In: II Reunião das Organizações Rodoviárias 2. Anais, Brasília/ DF, 1972. 35 p.

NOGAMI, J. S. e COZZOLINO, V. M. N. *A identificação de Solos Tropicais: dificuldades e proposta de um método preliminar*. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 20 Fortaleza, 1985. Anais. ABPv. p. 117-134.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. São Paulo: Villibor, 1995. 213 p.

OLIVEIRA, L. E. *Contribuição à Implantação de Obras Viárias Urbanas de Baixo Volume de Tráfego com o Uso de Solos Transicionais*. 153 p. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1998.

PARSONS, A. W. (1976) *The rapid measurement of the moisture condiction of earthworkmaterial*. Transport and Road Research Laboratory. Report nº 750.

PINTO, C. S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*, São Paulo, Oficina de Textos, 2000.

SANTANA, H.; GONTIJO, P. R. A. *Os Materiais Lateríticos na Pavimentação de Baixo Custo no Brasil*. In: 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió, 1987. p. 850 – 899.

SENÇO, W. de. *Manual de Técnicas de Pavimentação*. São Paulo: Volume I., Pini, 1997. p. 89.

TORMIN FILHO, R. B. et al. *Caracterização geotécnica de solos superficiais de Uberlândia*. In: II SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS NO CENTRO-OESTE, Goiânia, 2005.

VERTAMATTI, E. *Contribuição ao Conhecimento Geotécnico de Solos da Amazônia com Base na investigação de Aeroportos e nas Metodologias MCT e Resiliente*. 276 p. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 1988.

VIEIRA, A.; PRATES, M. de C. *Considerações sobre a correlação entre o ensaio Mini-CBR e o ensaio CBR*. In: 11ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, Porto Alegre, 2002.

VILAR, O. M.; ROHM, S. A. *Comparação entre um ensaio de ompactação de solos em molde de dimensões reduzidas e o ensaio Proctor Normal*. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Foz do Iguaçu, 1994.

VILLIBOR, D. F. et al. *Pavimentos com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas*. 138 p. São Paulo, SP. Ed. Impresso, 2000.

ZUPPOLINI, A. N. *Pavimentação Urbana no Estado de São Paulo – Novas Considerações*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

YODER, E. J., WITCZAC, M. W. *Principles of Pavement Design* (2^a ed.) – Wiley-Interscience Publication, USA. 1975.

ANEXOS

Anexo A – Valores de Massa específica seca de todos os pontos ensaiados para cada ensaio realizado					
UG	W ref. (%)	W SISS (%)	ps SISS (g/cm³)	W CICS (%)	ps CICS (g/cm³)
1	16,25	14,95	1,270	14,95	1,398
	20,25	18,53	1,486	18,53	1,540
	24,25	22,60	1,589	22,60	1,589
	28,25	27,20	1,542	27,20	1,553
	32,25	31,34	1,491	31,34	1,529
3	7,00	6,97	1,813	6,97	1,809
	9,00	8,99	1,854	8,99	1,885
	11,00	11,01	1,909	11,01	1,902
	13,00	12,97	1,884	12,97	1,895
	15,00	14,95	1,873	14,95	1,867
4	11,10	11,11	1,458	11,10	1,447
	15,10	15,09	1,629	15,08	1,615
	19,10	19,07	1,755	19,09	1,734
	23,10	23,08	1,645	23,09	1,633
	27,10	27,11	1,560	27,12	1,536
5	20,00	20,07	1,289	20,07	1,276
	24,00	23,89	1,398	23,89	1,388
	28,00	27,89	1,519	27,89	1,517
	32,00	31,93	1,461	31,93	1,431
	36,00	36,14	1,395	36,14	1,394
6	19,50	19,48	1,659	19,43	1,637
	21,50	21,38	1,690	21,36	1,694
	23,50	23,24	1,691	23,29	1,700
	25,50	25,40	1,635	25,64	1,647
	27,50	27,49	1,622	27,30	1,588
7	21,00	21,76	1,331	20,58	1,278
	26,00	26,02	1,420	26,01	1,392
	31,00	31,73	1,476	31,62	1,471
	36,00	36,29	1,385	36,29	1,398
	41,00	41,06	1,340	40,50	1,304
8	7,30	7,23	1,796	7,27	1,784
	9,30	9,24	1,875	9,32	1,873
	11,30	11,27	1,910	11,23	1,933
	13,30	13,26	1,900	13,28	1,931
	15,30	15,32	1,872	15,29	1,904
9	9,20	9,24	1,743	9,23	1,778
	11,20	11,18	1,794	11,17	1,798
	13,20	13,16	1,822	13,10	1,870
	15,20	15,19	1,813	15,27	1,803
	17,20	17,17	1,768	17,11	1,774

Anexo A – Valores de massa específica seca de todos os pontos ensaiados para cada ensaio realizado						
UG	W Marson (%)	ps Marson (g/cm³)	W CBR (%)	ps CBR (g/cm³)	W PN (%)	ps PN (g/cm³)
1	14,95	1,268	17,00	1,293	19,50	1,475
	18,53	1,449	20,25	1,491	21,60	1,532
	22,60	1,638	24,25	1,578	24,25	1,593
	27,20	1,566	28,25	1,517	26,60	1,550
	31,34	1,473	32,25	1,408	28,10	1,505
3	7,05	1,793	5,70	1,759	7,60	1,747
	9,01	1,847	8,50	1,829	9,60	1,853
	10,98	1,876	10,20	1,867	11,00	1,890
	13,02	1,864	13,20	1,810	13,70	1,787
	14,99	1,847	15,30	1,787	15,60	1,688
4	11,11	1,440	11,00	1,346	15,50	1,497
	15,09	1,586	15,10	1,570	17,30	1,628
	19,07	1,744	18,40	1,725	19,10	1,670
	23,08	1,645	23,50	1,517	21,60	1,608
	27,11	1,548	27,30	1,470	23,20	1,542
5	20,07	1,272	20,00	1,298	24,40	1,344
	23,89	1,345	24,20	1,395	26,80	1,416
	27,89	1,497	28,10	1,458	28,00	1,430
	31,93	1,455	32,20	1,334	30,80	1,392
	36,14	1,375	36,40	1,322	33,20	1,34
6	19,45	1,656	20,50	1,467	20,10	1,398
	21,48	1,662	22,80	1,621	22,10	1,600
	23,15	1,667	24,60	1,720	23,50	1,640
	25,56	1,637	26,70	1,636	26,30	1,510
	27,27	1,605	28,70	1,467	28,20	1,380
7	20,94	1,270	21,30	1,274	26,30	1,373
	25,95	1,270	26,80	1,402	28,70	1,407
	30,92	1,342	31,40	1,444	31,00	1,420
	35,94	1,324	36,00	1,345	32,60	1,406
	40,95	1,305	41,00	1,253	34,00	1,373
8	7,39	1,733	8,10	1,659	6,90	1,647
	9,26	1,854	8,40	1,737	8,80	1,779
	11,23	1,928	10,90	1,875	11,30	1,880
	13,29	1,935	12,80	1,809	12,50	1,863
	15,27	1,911	15,00	1,785	14,80	1,721
9	9,12	1,687	9,30	1,742	9,30	1,693
	11,14	1,759	11,10	1,733	11,30	1,807
	13,11	1,784	13,80	1,858	13,20	1,890
	15,15	1,768	15,00	1,747	15,10	1,808
	17,17	1,745	16,60	1,713	17,60	1,633

Anexo B – Valores de Mini-CBR e CBR de todos os pontos ensaiados					
UG	W ref. (%)	SISS (%)	CICS (%)	Marson (%)	CBR (%)
1	16,25	33,01	3,64	45,59	2,00
	20,25	25,62	13,28	41,32	10,00
	24,25	16,05	13,36	29,47	13,00
	28,25	6,51	7,84	23,4	2,00
	32,25	3,64	2,47	9,76	1,00
3	7,00	21,84	12,45	30,97	14,00
	9,00	20,12	15,57	26,11	16,00
	11,00	19,25	18,62	22,5	25,00
	13,00	24,01	16,21	24,58	2,00
	15,00	8,37	10,94	-20,43	3,00
4	11,10	45,54	3,64	61,3	2,00
	15,10	27,38	13,19	19,96	13,00
	19,10	12,11	11,02	7,56	7,00
	23,10	5,88	3,83	-5,67	3,00
	27,10	1,22	2,06	-9,26	5,00
5	20,00	39,41	3,74	58,13	2,00
	24,00	23,86	7,84	15,96	7,00
	28,00	14,26	11,11	6,18	5,00
	32,00	3,74	4,02	-11,18	1,00
	36,00	1,85	2,06	-11,32	1,00
6	19,50	20,98	14,18	20,51	7,00
	21,50	4,59	2,67	-9,26	10,00
	23,50	8,89	5,33	5,63	12,00
	25,50	2,77	3,93	-2,64	5,00
	27,50	2,47	3,35	-9,12	2,00
7	21,00	29,42	2,47	12,38	1,00
	26,00	19,01	0,73	21,75	5,00
	31,00	17,82	5,05	15,27	5,00
	36,00	13,44	6,78	6,87	1,00
	41,00	1,22	0,38	-11,18	1,00
8	7,30	13,93	6,6	30,28	9,00
	9,30	22,85	7,83	3,88	13,00
	11,30	25,55	13,85	4,02	18,00
	13,30	18,54	9,23	11,11	3,00
	15,30	0	8,41	-25,29	1,00
9	9,20	17,42	2,28	21,94	7,00
	11,20	15,65	5,6	-4,03	15,00
	13,20	13,46	9,83	-1,95	14,00
	15,20	17,02	9,75	-1,95	1,00
	17,20	2,67	13,77	-12,79	2,00

Anexo C – Valores de Mini-CBR Marson calculados pela fórmula de Marson e pela fórmula do DNER de todos os pontos ensaiados			
UG	W ref. (%)	Mini-CBR MARSON / fórmula DNER (%)	Mini-CBR MARSON / fórmula MARSON (%)
1	16,25	34,27	45,59
	20,25	31,97	41,32
	24,25	25,47	29,47
	28,25	22,07	23,40
	32,25	14,18	9,76
3	7,00	37,95	30,97
	9,00	35,38	26,11
	11,00	33,46	22,50
	13,00	34,57	24,58
	15,00	9,15	-20,43
4	11,10	42,60	61,30
	15,10	20,12	19,96
	19,10	12,86	7,56
	23,10	4,50	-5,67
	27,10	1,96	-9,26
5	20,00	40,93	58,13
	24,00	17,82	15,96
	28,00	12,03	6,18
	32,00	0,41	-11,18
	36,00	0,29	-11,32
6	19,50	21,39	20,51
	21,50	1,96	-9,26
	23,50	11,69	5,63
	25,50	6,51	-2,64
	27,50	2,12	-9,12
7	21,00	15,73	12,38
	26,00	21,14	21,75
	31,00	17,42	15,27
	36,00	12,45	6,87
	41,00	0,41	-11,18
8	7,30	37,58	30,28
	9,30	23,32	3,88
	11,30	23,39	4,02
	13,30	27,30	11,11
	15,30	6,06	-25,29
9	9,20	33,16	21,94
	11,20	18,85	-4,03
	13,20	12,78	-1,95
	15,20	17,02	-1,95
	17,20	1,22	-12,79

ANEXO D

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS EM CADA UG ESTUDADA

