

EUGENIO PACELI WERNECK

**ESTUDO DOS SOLOS DO ENTORNO DA CIDADE DE
RONDONÓPOLIS / MT COM VISTAS A SUA UTILIZAÇÃO EM
PAVIMENTAÇÃO**

**Dissertação submetida à Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil -
PPGEC, para a obtenção do Título de MESTRE em
Engenharia Civil.**

**Florianópolis
2006**

**ESTUDO DOS SOLOS DO ENTORNO DA CIDADE DE RONDONÓPOLIS /
MT COM VISTAS A SUA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO**

EUGENIO PACELI WERNECK

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Civil.**

Área de concentração: Infra Estrutura e Gerência Viária

Orientador: Prof. Dr. Leto Momm

**Florianópolis - SC
2006**

WERNECK, Eugenio Paceli

Estudo dos Solos do Entorno da Cidade de Rondonópolis / MT com vistas a sua Utilização em Pavimentação.
Florianópolis, 2006, volume único, 176 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil),
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. (PPGEC),
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Orientador: Prof. Dr. Leto Momm

Defesa: 26/09/2006

Palavras-chave: solos tropicais, classificação MCT, método das pastilhas.

ESTUDO DOS SOLOS DO ENTORNO DA CIDADE DE RONDONÓPOLIS / MT COM VISTAS A SUA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof. Dr. Leto Momm (Orientador)
Departamento de Engenharia Civil – UFSC.

Prof. Dr. Glicério Trichês
Coordenador do Curso do PPGEC – UFSC.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Liedi Legi Bariani Bernucci
Departamento de Engenharia de Transportes – EPUSP

Prof. PhD. Marciano MacCarini
Departamento de Engenharia Civil – UFSC.

Dr. Nilton Valle
Departamento Estadual de Infra-Estrutura – DEINFRA/SC

Prof. Dr. Orlando Martini de Oliveira
Departamento de Engenharia Civil – UFSC.

Florianópolis, 26 de setembro de 2006.

Dedicatória
Dedico este trabalho
a minha esposa Maria Clara
e a meus filhos: Larissa e Caio.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores do Programa de Pós Graduação da UFSC com os quais tive algum contato durante o período do desenvolvimento deste trabalho. Pela atenção e dedicação com que me receberam.

Ao Prof. Dr. Leto Momm, meu orientador, pela dedicação, paciência e empenho.

Ao amigo Eng. Francisco de Sales Henriques (Objetiva Engenharia e Construções Ltda), pelo total apoio dado durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Phd. Marciano Maccarini pela dedicação e disposição em auxiliar no desenvolvimento dos ensaios no laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC.

Aos Professores M. Sc. Édson de Moura e Dr^a. Liedi Legi Bariani Bernucci do Laboratório de Tecnologia em Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LTP – EPUSP), pela atenção e dedicação dispensadas no desenvolvimento desta pesquisa.

À Técnica Elaine Aparecida Sinfrônio do Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGC – USP), pela dedicação e disponibilidade na execução dos ensaios.

Aos funcionários Neir Franco (Objetiva Engenharia) e Erasmo (LTP – EPUSP) pelo inestimável auxílio na realização dos ensaios.

Ao Eng. Luiz Carlos Anselmo Siqueira (Ipiranga Asfaltos S.A.) que forneceu os materiais asfálticos usados nesta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.3 JUSTIFICATIVA PARA A PESQUISA.....	6
1.4 DELIMITAÇÕES DO ESPAÇO DA PESQUISA.....	6
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	7
CAPITULO 2	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOTÉCNICAS.....	9
2.2 CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA DOS SOLOS.....	10
2.2.1 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A SEPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS E DE FASES DE UNIDADES DE MAPEAMENTO.....	10
2.2.1.1 HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	10
2.2.1.2 ATRIBUTOS DIAGNÓSTICOS	14
2.2.1.3 GRUPAMENTOS DE CLASSES DE TEXTURA.....	17
2.2.1.4 FASES DE RELEVO.....	18
2.2.1.5 CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS.....	18
2.3 CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICA DOS SOLOS.....	20
2.4 CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DOS SOLOS	20

2.5	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA MCT DOS SOLOS	21
2.5.1	COMPACTAÇÃO NO Mini-MCV	26
2.5.2	COMPACTAÇÃO SEGUNDO PROCTOR (Mini-CBR)	33
2.5.3	MÉTODO EXPEDITO DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA	34
2.6	CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS PARA AS MISTURAS ASFÁLTICAS.....	42
2.7	ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS.....	44
2.8	DOSAGEM MARSHAL	48
CAPITULO 3		51
3	A ÁREA DE ESTUDO.	51
3.1	O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) USADO	51
3.2	AS CLASSES PEDOLÓGICAS DOS SOLOS DA REGIÃO.....	51
3.2.1	LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO.....	55
3.2.2	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	56
3.2.3	PLANOSSOLO	58
3.2.4	CAMBISSOLO	59
3.2.5	PLINTOSSOLO.....	61
3.2.6	GLEI POUCO HÚMICO	62
3.2.7	AREIAS QUARTZOSAS	63
3.2.8	AREIAS QUARTZOSAS HIDROMÓRFICAS.....	64
3.2.9	SOLOS ALUVIAIS	65
3.2.10	SOLOS LITÓLICOS	66
3.2.11	SOLOS CONCRECIONÁRIOS LATOSSÓLICOS	67
3.2.12	SOLOS CONCRECIONÁRIOS CÂMBICOS	67
3.2.13	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO PODZÓLICO.....	68
3.3	GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO	69

3.3.1	ALUVIÕES ATUAIS - Ha	72
3.3.2	FORMAÇÃO AQUIDAUANA – Cpa	73
3.3.3	FORMAÇÃO BOTUCATU - Jb.....	74
3.3.4	FORMAÇÃO FURNAS – SDf.....	76
3.3.5	FORMAÇÃO MARÍLIA – Km.....	79
3.3.6	FORMAÇÃO PANTANAL - Qp	81
3.3.7	FORMAÇÃO PONTA GROSSA – Dpg	82
3.3.8	GRUPO CUIABÁ - PScb.....	84
3.3.9	GRUPO RIO IVAÍ - OSri	85
3.3.10	SUÍTE INTRUSIVA SÃO VICENTE – eOgv.....	86
3.3.11	SUPERFÍCIE PALEOGÊNICA PENEPLANIZADA COM LATOSSOLIZAÇÃO – Tpspl.....	87
3.4	GEOMORFOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO.....	90
3.4.1	SISTEMA DE APLANAMENTO S1 - Ap1	93
3.4.2	SISTEMA DE APLANAMENTO S1 - PRESERVADO - Ap1/p	94
3.4.3	SISTEMA DE BLOCOS FALHADOS - Sf.....	95
3.4.4	SISTEMA DE DISSECAÇÃO EM COLINAS E MORROS - CI-Mr	97
3.4.5	SISTEMA DE DISSECAÇÃO EM ESCARPAS - EF	97
3.4.6	SISTEMA DE DISSECAÇÃO - Di	98
3.4.7	SISTEMA DE PEDIMENTO - Pd	98
3.4.8	SISTEMA DE PLANÍCIE ALUVIAL - Pf.....	98
3.4.9	SISTEMA DE LEQUES FLUVIAIS – Lq.....	99
CAPÍTULO 4	101
4	ESTUDOS DE LABORATÓRIO	101
4.1	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS.....	101

4.1.1	MÉTODO EXPEDITO DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA	101
4.1.2	ESTABILIZAÇÃO COM CAL E O MÉTODO EXPEDITO DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA.....	106
4.1.3	COMPACTAÇÃO NO MINI-MCV	108
4.1.4	ESTABILIZAÇÃO COM CAL E O MÉTODO MINI MCV	120
4.1.5	COMPACTAÇÃO MINI-CBR.....	125
4.1.6	ESTABILIZAÇÃO COM CAL E O MÉTODO MINI PROCTOR	130
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS	137
4.2.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	138
4.2.2	ANÁLISE MICROSCÓPICA.....	144
4.2.3	AREIA ASFALTO A FRIO – DOSAGEM MARSHALL	154
4.2.4	AREIA ASFALTO A FRIO - ENSAIO CÂNTABRO	159
4.2.5	AREIA ASFALTO A FRIO - MÓDULO RESILIENTE	161
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PÉTREOS.....	162
4.3.1	DESGASTE LOS ANGELES	164
4.3.2	ADESIVIDADE AO LIGANTE ASFÁLTICO.....	165
CAPÍTULO 5		168
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	168
5.1	CONCLUSÕES.....	168
5.2	RECOMENDAÇÕES	171
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		172

LISTA DE ABREVIações

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM - American Society for Testing and Materials

CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo

CAUQ - Concreto Asfáltico Usinado a Quente

DER-SP - Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

DXF - Data Exchange File

ECS - Environmental Conditioning System

EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ES - Especificação de Serviço

EUA - Estados Unidos da América

HRB - Highway Research Board

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LVDT - Linear Variable Differential Transducer

LTP - Laboratório de Tecnologia em Pavimentação

MCV - moisture condition value

ME - Método de Ensaio

MEAS - Massa Específica Aparente Seca

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

MR - Módulo de Resiliência

NBR - Norma Brasileira

PIB - Produto Interno Bruto

RBV - Relação Betume/Vazios

RPM - Rotações por Minuto

SEPLAN-MT - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral do estado do Mato Grosso.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

USA - United States of America

USCS - Unified Soil Classification System

USP - Universidade de São Paulo

%V - Percentual de Vazios

VAM - Volume de Vazios do Agregado Mineral

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Temperatura e Precipitações Pluviométricas na Região.....	3
Figura 1.2– Mapa com a divisão política da região com as principais cidades.	5
Figura 2.1 – Diagrama de classificação das classes de textura.....	17
Figura 2.2 - Esquema de ocorrência de solos em ambiente tropical (FORTES, 2006).....	22
Figura 2.3 - Corte em solo saprolítico de basalto, parte inferior (FORTES, 2006).....	23
Figura 2.4 – Equipamentos para execução do ensaio de compactação Mini MCV	29
Figura 2.5 - Exemplo de Curvas de Compactação	30
Figura 2.6 - Exemplo de Curvas de Deformabilidade.....	31
Figura 2.7 - Gráfico para classificação pela metodologia MCT.	32
Figura 2.8 – Espatulação da amostra	35
Figura 2.9 - Preenchimento dos anéis	36
Figura 2.10 – Amostras secando	36
Figura 2.11 - Amostras durante a reabsorção.	37
Figura 2.12 – Esferas de solo durante a reabsorção.	37
Figura 2.13 – Medição da penetração.	38
Figura 2.14 - Gráfico da nova classificação MCT.	39
Figura 2.15 – Procedimentos para penetração na amostra	41
Figura 2.16 – Padrões de grau de arredondamento.	43
Figura 2.17 - Determinação do grau de esfericidade.	44
Figura 2.18 - Determinação grau de arredondamento.....	44
Figura 2.19 – Influência da adição de NaCl nas misturas solo cal.....	48
Figura 3.1 – Pedologia - Representatividade da amostragem realizada.	53
Figura 3.2 - Mapa pedológico da Região.	54
Figura 3.3 – Latossolo Vermelho-Escuro.	56

Figura 3.4 – Podzólico Vermelho-Amarelo.....	58
Figura 3.5 – Areias Quartzosas - Pontos amostrados.	64
Figura 3.6 – Unidades litoestratigráficas predominantes na região.	69
Figura 3.7 - Mapa Geológico da Região.....	70
Figura 3.8 – Formação Furnas.....	78
Figura 3.9 – Formação Marília.	81
Figura 3.10 – Formação Ponta Grossa.	83
Figura 3.11 – Exploração de jazida de granito.	87
Figura 3.12 – Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização.	90
Figura 3.13 - Distribuição dos Principais Sistemas Geomorfológico.	92
Figura 3.14 – Perfil do sistema de aplanamento Ap1/P na Serra de São Gerônimo.....	95
Figura 4.1 – Classificação MCT dos solos pelo método das pastilhas (20mm).....	101
Figura 4.2 – Distribuição granulométrica das areias e solos arenosos.....	102
Figura 4.3 – Gráfico Contração x Penetração – Pastilhas de 35mm.....	105
Figura 4.4 – Gráfico Penetração Cone 10g x Índice de Reabsorção	105
Figura 4.5 – Avaliação da adição de cal.....	107
Figura 4.6 – Ensaio de compactação - Solo 01.....	109
Figura 4.7 – Ensaio de compactação – Solo 02.....	110
Figura 4.8 – Ensaio de compactação – Solo 03.....	111
Figura 4.9 – Ensaio de compactação – Solo 06.....	112
Figura 4.10 – Ensaio de compactação - Solo 07	113
Figura 4.11 – Ensaio de compactação - Solo 08	114
Figura 4.12 – Ensaio de compactação - Solo 09	115
Figura 4.13 – Ensaio de compactação - Solo 12	116
Figura 4.14 – Ensaio compactação - Solo 13.....	117

Figura 4.15 – Ensaio de compactação - Solo 19	118
Figura 4.16 – Resultado da classificação geotécnica MCT dos solos.....	119
Figura 4.17 – Curvas de compactação e Deformabilidade – 2 % de cal.	121
Figura 4.18 – Curvas de compactação e Deformabilidade – 4 % de cal.	122
Figura 4.19 – Curvas de compactação e Deformabilidade – 6 % de cal.	123
Figura 4.20– Avaliação da adição de cal.....	124
Figura 4.21 – Perda de massa por imersão x variação nos teores de cal.....	124
Figura 4.22 – Equipamento utilizado para a execução dos ensaios Mini Proctor.	125
Figura 4.23 – Correção da curva de penetração.	126
Figura 4.24 - Tanque para imersão – Mini CBR.....	126
Figura 4.25 - Medição da expansão Mini CBR.....	126
Figura 4.26 - Resultados de Mini CBR e MEAS do solo 03.....	127
Figura 4.27 - Resultados de Mini CBR e MEAS do solo 06.....	128
Figura 4.28 – Resultados de Mini CBR e MEAS do solo 06.....	128
Figura 4.29 – Módulo resiliente do solo 06	129
Figura 4.30 - Equipamento para ensaio triaxial de módulo resiliente.....	130
Figura 4.31 – Variação da MEAS com a variação do teor de cal.....	131
Figura 4.32 - Mini CBR com imersão em função da variação do teor de cal.....	132
Figura 4.33 - Variação do pH com a adição de cal.....	132
Figura 4.34 – Valores de Mini CBR x tempo de cura dos corpos de prova.....	133
Figura 4.35 – Expansão do solo x teores de cal.	134
Figura 4.36 – Variação na expansão do solo com o tempo de cura.....	135
Figura 4.37 – Módulo Resiliente – Solo natural.....	136
Figura 4.38 – Resultados dos ensaios de módulo resiliente.....	136
Figura 4.39 - Curvas granulométricas das areias	137

Figura 4.40 - Funcionamento do analisador de tamanho de partículas a laser.....	138
Figura 4.41 – Granulometria e classificação MCT do solo 01	139
Figura 4.42 - Granulometria e classificação MCT do solo 02	139
Figura 4.43 – Granulometria e classificação MCT do solo 03	140
Figura 4.44 – Granulometria e classificação MCT do solo 04	140
Figura 4.45 – Granulometria e classificação MCT do solo 06	140
Figura 4.46 – Granulometria e classificação MCT do solo 07	141
Figura 4.47 – Granulometria e classificação MCT do solo 08	141
Figura 4.48 – Granulometria e classificação MCT do solo 09	141
Figura 4.49 – Granulometria e classificação MCT do solo 10	142
Figura 4.50 – Granulometria e classificação MCT do solo 12	142
Figura 4.51 – Granulometria e classificação MCT do solo 13	142
Figura 4.52 – Granulometria e classificação MCT do solo 14	143
Figura 4.53 – Granulometria e classificação MCT do solo 18	143
Figura 4.54 – Granulometria e classificação MCT do solo 19	143
Figura 4.55 - Microscópio montado junto com uma WebCam e Microcomputador.	144
Figura 4.56 – Ampliação em microscópio - Amostra 01	145
Figura 4.57– Ampliação em microscópio - Amostra 02	146
Figura 4.58 – Ampliação em microscópio - Amostra 10	146
Figura 4.59 – Ampliação em microscópio - Amostra 19	147
Figura 4.60 - Amostra 01 - MEV	148
Figura 4.61 - Amostra 02 - MEV	149
Figura 4.62 - Amostra 10 - MEV	150
Figura 4.63 – Amostra 19 - MEV.....	151
Figura 4.64 – Avaliação da esfericidade.....	152

Figura 4.65 – Avaliação do grau de arredondamento.	153
Figura 4.66 – Seqüência de preparação dos CP´s Marshall.	156
Figura 4.67 – Equipamento utilizado para o ensaio Marshall.	157
Figura 4.68 – Resultados do ensaio Marshall.	158
Figura 4.69 – Corpos de prova após o ensaio de cântabro.	160
Figura 4.70 – Resultados do ensaio de cântabro.	161
Figura 4.71 - Exploração de jazida de granito da Suíte Intrusiva São Vicente	163
Figura 4.72- Exploração de jazida de arenito da formação Marília.....	164
Figura 4.73 – Resultados do ensaio de adesividade da amostra de arenito.....	166
Figura 4.74 – Resultados do ensaio de adesividade da amostra de granito.....	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Jazidas de materiais pétreos existentes na região.....	4
Tabela 2.1 – Classificação em função da saturação por bases.	15
Tabela 2.2 – Classificação em função da presença de cátions básicos trocáveis.....	16
Tabela 2.3 – Classificação em função da saturação por sódio.	16
Tabela 2.4 – Propriedades e utilização dos grupos de solos da metodologia MCT.	25
Tabela 2.5 – Valores numéricos das propriedades dos grupos.	26
Tabela 2.6 – Dados do ensaio de compactação.....	28
Tabela 2.7 - Guia identificatório de solos tropicais.	40
Tabela 2.8 – Classes de grau de arredondamento (SANTANNA, 1998).....	43
Tabela 3.1 – Pedologia - Representatividade dos solos na região.....	53
Tabela 3.2 - Principais unidades litoestratigráficas.....	69
Tabela 3.3 – Idade das principais unidades litoestratigráficas	71
Tabela 4.1 – Diferenças entre os peneiramentos a seco e úmido dos solos arenosos. ...	103
Tabela 4.2 – Resultado da classificação pelo método das pastilhas de 35mm.....	103
Tabela 4.3 – Resultado da classificação pelo método das pastilhas de 35mm.....	108
Tabela 4.4 – Análise química da cal (IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas).	120
Tabela 4.5 – Umidade ótima de compactação e MEAS para cada teor de cal.....	131
Tabela 4.6 – Resultados da Morfologia dos grãos.	153
Tabela 4.7 – Faixas Granulométricas dos grãos.....	154
Tabela 4.8 – Valores de módulo encontrados.	162
Tabela 4.9 – Valores de desgaste Los Angeles.....	165
Tabela 5.1 - Resultados da Classificação Geotécnica.....	169

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo estudar os solos da região de entorno da cidade de Rondonópolis, no estado do Mato Grosso, objetivando a sua utilização em pavimentação de baixo volume de tráfego. Foi desenvolvido o mapeamento geotécnico da área pesquisada empregando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) onde foram inseridos os resultados da classificação geológica, pedológica e geomorfológica além de incorporados os resultados dos ensaios da classificação MCT de solos tropicais (método das pastilhas para identificação expedita de solos e ensaios de compactação Mini-MCV e Mini-CBR). Para aumentar as possibilidades de uso dos diversos materiais estudados foi avaliada a influência da estabilização com cal no comportamento dos solos. As areias e solos arenosos foram avaliados quanto à granulometria e morfologia dos grãos, sendo escolhida uma amostra para a realização dos ensaios de dosagem Marshall, ensaio Cântabro e módulo resiliente visando seu emprego em areia asfalto a frio. Os materiais pétreos foram avaliados quanto a sua resistência à abrasão através do ensaio Los Angeles e quanto à adesividade ao ligante asfáltico. Os resultados desta pesquisa mostram que a classificação geotécnica MCT, desenvolvidos para solos tropicais, é uma ferramenta importante para viabilizar projetos de pavimentação de baixo volume de tráfego, minimizando custos com pesquisa e ensaios e otimizando o uso de solos tropicais nestes empreendimentos.

Palavras-chave: solos tropicais, classificação MCT, método das pastilhas.

ABSTRACT

This research was aimed at studying the soils of Rondonópolis boundary in the Mato Grosso state, Brazil, focusing its use for low traffic road pavement. Geographical Information System was employed for geotechnical mapping of the studied area based on geomorphological, pedological and geological classification. Tropical soil MCT classification (method of the tablets for quick soil identification and assays of compacting Mini-MCV and Mini-CBR) was used. Lime stone powder stabilization was evaluated to improve the applicability of the soils studied. Granulometry and grains morphology of the sand soil were assayed for use in cold sand-asphalt considering the Marshall's Dosage Procedures, Cantabro's Assay and resilient modulus. Abrasion by Los Angeles Assay and adhesive resistance between asphalt ligand and the aggregate materials were analyzed. The results of this research showed that tropical soil MCT classification is an important tool to make feasible low volume traffic assays and research pavement projects with minimized costs and optimizing tropical soil use.

Key-words: tropical soil, MCT classification, method of the tablets.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O estado de Mato Grosso tem registrado taxas expressivas de crescimento do PIB, 4,08% no período 90/96, contra 2,77% do Brasil. Possui o quarto maior rebanho bovino do país - 16 milhões de cabeças - além de ser o maior produtor de algodão e segundo maior produtor de arroz e soja, com uma área cultivada da ordem de 4,5 milhões de hectares, excluindo-se as pastagens. Produz 24,5 milhões de toneladas por ano de grãos. (INFRA-ESTRUTURA BRASIL , 2002).

A cidade de Rondonópolis, no sul do Mato Grosso, impulsionada pelas exportações de carne bovina, cresce 6,5% ao ano desde 1975. Sua economia registrou o terceiro maior Produto Interno Bruto (PIB) em expansão do Brasil. Segundo o IBGE, entre 1975 e 1996 a cidade cresceu 6,4% ao ano. A renda per capita, de R\$ 6.667,00, é 51% superior à do Estado e 15% maior do que a média nacional. Em quatro anos, a arrecadação de ICMS cresceu 100%. São indicadores viçosos em uma cidade com 49 anos e apenas 150 mil habitantes. O município concentra 40% da produção de soja do Mato Grosso. (EMERICK , 2002).

A prefeitura da cidade registra a cada mês recorde de arrecadação com ICMS com orçamento mensal de R\$ 100 milhões. As duas maiores “tradings” da área de grãos, Bunge e ADM, ampliam suas atividades na região.

Nos últimos dois anos a cidade recebeu R\$ 530 milhões em investimentos de novas empresas privadas e teve mais duas mil vagas no mercado de trabalho. O mais recente setor que pretende juntar-se às fiações, tecelagens, beneficiadoras de soja e frigoríficos é o das transportadoras. O motivo foi a construção, a 60 quilômetros de Rondonópolis, de um terminal de cargas da Ferronorte, que liga o Centro-Oeste e a Amazônia ao Sul do Brasil. Rondonópolis é hoje o principal entroncamento rodoferroviário do cerrado, a grande fronteira agrícola brasileira.

Esta situação tão otimista é ameaçada pela precariedade da malha viária não pavimentada, principalmente em períodos de chuva.

Apesar de todo este crescimento, grande parte das rodovias na região não possui pavimentação. A malha viária pavimentada se restringe a duas rodovias federais (BR 163 e BR 364), duas rodovias estaduais (MT 130 – Rondonópolis – Poxoréu e MT 270 Rondonópolis - Guiratinga) e ao centro urbano de Rondonópolis. Rodovias pavimentadas representam menos de 6 % da malha viária da região (EMERICK , 2002).

Os custos de transporte em vias pavimentadas diminuem em até 50%. Nos países europeus, a situação se contrasta com a nossa realidade. Lá, mais de 90% das vias são pavimentadas. (FERREIRA, 2002).

É importante salientar os benefícios sociais e econômicos que a pavimentação proporciona. Na área econômica, a redução direta nos custos de transporte, e na área social, facilitando a locomoção das pessoas e o melhor acesso aos recursos do município. Segundo BERNUCCI (2005), pode-se até calcular os benefícios econômicos, mas o ganho social é incalculável. A pavimentação viabiliza o acesso da população ao centro médico, da criança à escola, gera novos empregos. As pessoas não se fixam na zona rural porque não têm emprego, não conseguem escoar a produção em qualquer época do ano.

A região tem um clima tropical úmido com duas estações bem definidas, uma estação chuvosa com chuvas intensas e regulares e outra, que coincide com o inverno, que apresenta um período de poucas precipitações pluviométricas. De uma maneira geral, o período seco varia de 3 a 5 meses e ocorre entre maio e setembro, enquanto os meses de dezembro, janeiro e fevereiro registram as maiores precipitações (Figura 1.1).

O início do desenvolvimento das lavouras na região, que coincide com o período chuvoso, ocorre nos meses de dezembro e janeiro e o período de colheita, que ocorre no início do período seco, começa em maio.

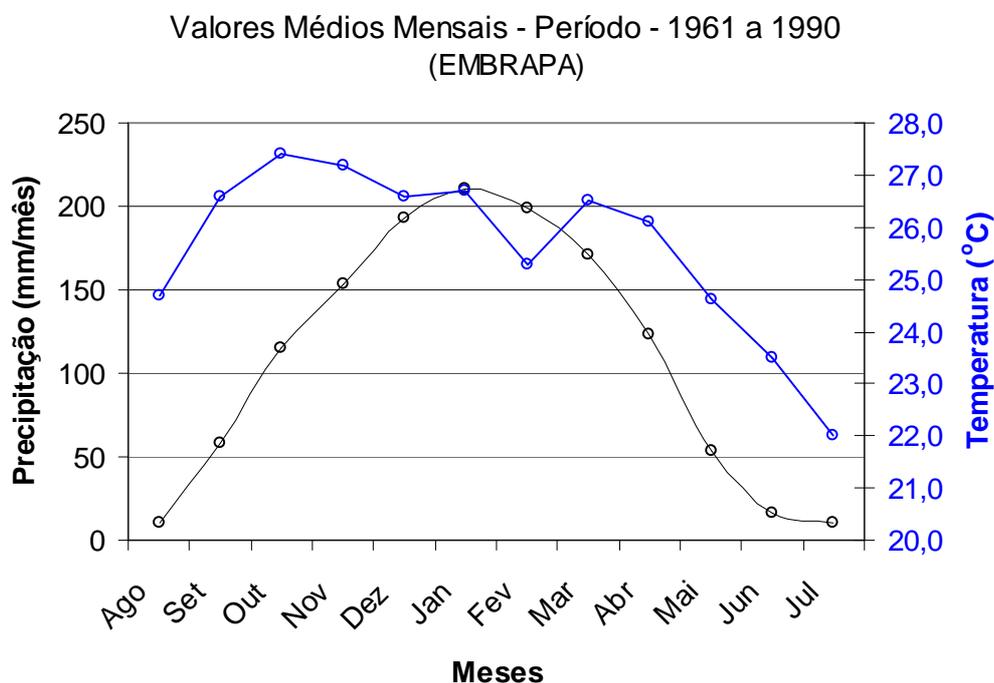


Figura 1.1- Temperatura e Precipitações Pluviométricas na Região

No verão, os problemas de tráfego estão relacionados com a dificuldade de trânsito nas rodovias não pavimentadas, elevação do nível da maioria dos rios e ao alagamento de diversas regiões, principalmente as próximas ao pantanal. No inverno, os problemas estão relacionados à grande quantidade de poeira e acúmulo de areia nas estradas (FERREIRA, 2002).

Esta região em franco desenvolvimento e ainda tão carente de infra-estrutura de transporte traz boas perspectivas de desenvolvimento e investimentos nesta área.

A utilização de materiais alternativos, com utilização distinta das tradicionais em pavimentação, pode constituir as camadas estruturais de rodovias com baixo volume de tráfego, viabilizando, em muitos casos, a pavimentação das vias. Os solos, tanto de subleito quanto constituintes de camadas subjacentes ao revestimento, desempenham papel de fundamental importância no comportamento deste tipo de pavimento (PINHEIRO, 2004). Assim é de fundamental importância a sua caracterização.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Avaliar os materiais de pavimentação, disponíveis no entorno da cidade de Rondonópolis, para utilização em pavimentação de rodovias de baixo volume de tráfego. Foi utilizado, para este objetivo, o mapeamento geotécnico da área pesquisada empregando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a classificação MCT de solos tropicais (método das pastilhas para identificação expedita de solos e ensaios de compactação Mini-MCV e Mini-CBR).

A classificação vai identificar as possibilidades de uso para os vários tipos e/ou grupos de materiais identificados, dando um caráter didático do presente estudo.

Existem, na região, poucas jazidas de rochas apropriadas ao uso tradicional em pavimentação, além disso, com grandes distâncias de transporte. Entre as jazidas conhecidas foi avaliada uma de granito e outra de arenito. O emprego de materiais pétreos em pavimentação de estradas vicinais e de baixo volume de tráfego pode ser amplamente beneficiado se considerarmos as tolerâncias quanto às especificações que este tipo de emprego permite. A Tabela 1.1 apresenta as jazidas disponíveis na região e a distância média ao centro urbano de Rondonópolis. A Figura 1.2 apresenta a divisão política da região pesquisada com suas principais cidades e a localização das jazidas.

Tabela 1.1 – Jazidas de materiais pétreos existentes na região.

Jazida	Distância à Rondonópolis	Mapa
Jazida de granito junto a serra de São Vicente	119 km	01
Jazida de calcáreo próximo a Cuiabá	280 km	02
Jazida de arenito próximo a Rondonópolis	33km	03
Jazida de seixo, na cidade de Poxoréu	85km	04

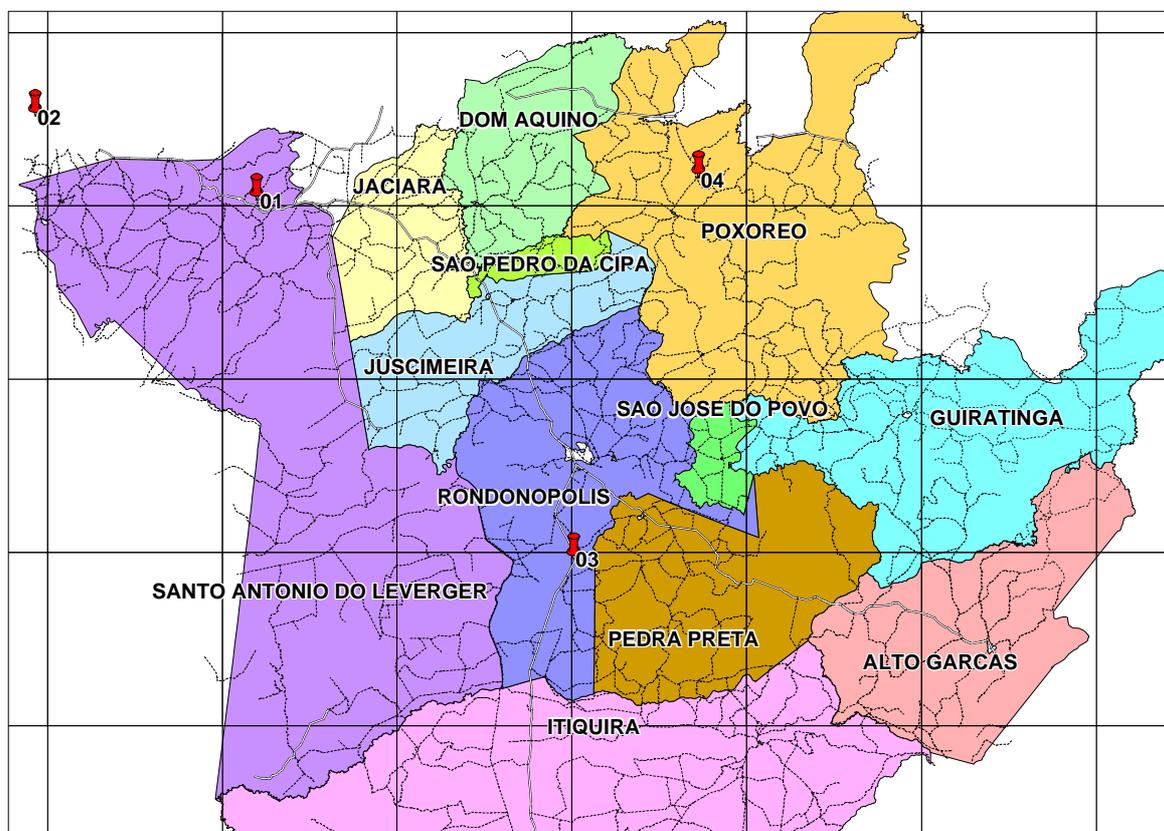


Figura 1.2– Mapa com a divisão política da região com as principais cidades.

Entre os solos de comportamento laterítico, com melhores perspectivas de utilização em base de pavimento de baixo volume de tráfego, foi escolhido um para avaliação com a utilização dos ensaios Mini-CBR, expansão e módulo resiliente.

No grupo dos solos de comportamento não Laterítico, foi escolhido um para avaliação da influência da estabilização com cal na classificação MCT, visando sua possível utilização em uma base de solo estabilizado com cal.

No grupo das areias e solos arenosos, solos de ocorrência abundante na região, foi investigada a sua utilização em revestimento a base de areia asfalto a frio.

1.3 JUSTIFICATIVA PARA A PESQUISA

Na região de Rondonópolis, objeto desta pesquisa, observa-se uma crescente escassez de materiais granulares adequados para utilização em pavimentação. O cascalho laterítico, habitualmente utilizado em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis estão sendo encontrados cada vez mais distantes.

Os métodos tradicionais de dimensionamentos de pavimentos, aplicados às grandes obras, tem sido empregado com relativo sucesso. Contudo, na construção de rodovias para médio e baixo volume de tráfego estes métodos têm levado a altos custos, devido principalmente às restrições que impõe aos materiais utilizados, inviabilizando, muitas vezes, a pavimentação de vias urbanas e vicinais (NOGAMI, 1995).

Pesquisar os solos e materiais de construção disponíveis na região, utilizando métodos de caracterização desenvolvidos para solos oriundos de regiões tropicais criará grandes perspectivas de desenvolvimento para a região.

Os métodos de pesquisa e caracterização dos materiais, propostos neste estudo, aliam ainda a grande vantagem de serem de baixo custo e fácil implementação, podendo ser absorvidos com relativa facilidade pelas empresas e secretarias de obras dos governos.

1.4 DELIMITAÇÕES DO ESPAÇO DA PESQUISA

A área a ser avaliada neste trabalho foi definida em função da distância média ao centro urbano da cidade de Rondonópolis. O raio médio é de aproximadamente 100km.

Na montagem do SIG não houve a intenção de inserir informações completas e/ou definitivas sobre cada unidade, mas iniciar um sistema que, através de dados oriundos de futuras explorações, possa ser complementado continuamente, contendo cada vez mais informações e permitindo o planejamento e execução de projetos mais planejados, com mais segurança em relação aos critérios técnicos e econômicos.

Foi definida como premissa básica para este trabalho a utilização da metodologia MCT e dos ensaios a ela associados. Dentre estes ensaios, no entanto, não foram realizados os de infiltrabilidade e permeabilidade devido a inexistência de equipamentos da metodologia

MCT, para a realização destes ensaios, no laboratório da UFSC e a exigüidade de tempo. Os resultados dos ensaios das pastilhas, no entanto, dão uma previsão deste comportamento através do tempo de reabsorção.

As características de permeabilidade e infiltrabilidade dos solos são muito importantes, principalmente nas locais onde é freqüente a interface solo/água, como por exemplo nas valetas de drenagem superficial não revestidas nas camadas do pavimento, através do acostamento. Segundo NOGAMI (1995), estes ensaios, quando realizados pela metodologia MCT são muito imprecisos, sendo aconselhado que, na necessidade de cálculos mais precisos, sejam usados os métodos tradicionais da mecânica dos solos.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Capítulo 1:

Breve apresentação da região, objeto da presente pesquisa, mostrando os principais aspectos sociais, culturais e econômicos.

Situando a região dentro do contexto da pavimentação de baixo custo, esta pesquisa mostra a importância da aplicação dos conceitos de mapeamento geotécnico voltados à necessidade de uma exploração racional dos recursos naturais disponíveis.

Em função da grande abrangência dos assuntos discutidos ao longo deste trabalho, mostra as limitações impostas a esta pesquisa, salientando o caráter didático dado aos temas e à necessidade de aperfeiçoamento das informações e bases de dados aqui iniciadas.

Capítulo 2:

É apresentada as ferramentas usadas para a realização desta pesquisa, fazendo uma breve revisão dos assuntos e do modo como os ensaios e pesquisas foram realizados.

Procurou-se, nesta pesquisa, utilizar recursos modernos que estão disponíveis, sem que isto implique, necessariamente, em aumento de custos.

Capítulo 3:

Neste capítulo é apresentada a caracterização da área em estudo sob os aspectos geológico, pedológico e geomorfológico.

São descritas as características dos principais sistemas identificados. Dando maior ênfase aos aspectos relacionados ao projeto e execução de obras viárias.

Capítulo 4:

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento dos ensaios, os resultados obtidos e as conclusões de cada ensaio ou pesquisa.

Capítulo 5:

É feita uma análise da pesquisa, agora vista como um todo, procurando mostrar os benefícios alcançados e as perspectivas que o tema abre para o futuro da pavimentação, sempre focado na pavimentação de baixo custo.

CAPITULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOTÉCNICAS

Os estudos geotécnicos rodoviários com a utilização de mapas geotécnicos, obtidos através de informações pedológicas, geológicas, geomorfológicas etc. possibilitam a associação das características geomecânicas dos solos com a sua gênese. O meio rodoviário vem, cada vez mais, descobrindo esta importante ferramenta que possibilita o entendimento mais preciso da influência da estrutura do solo no seu desempenho geomecânico (ABITANTE, 1998).

Os mapas geológicos não fornecem as características dos solos residuais ou saprolíticos associados às diferentes litologias e até mesmo ignoram a existência de materiais de alteração. Nas regiões tropicais e subtropicais, entretanto, as camadas de solo têm grandes espessuras e se constituem em materiais de jazida dos mais utilizados para construção de aterros para os mais variados fins. Nesses horizontes, as propriedades dos minerais das rochas interferem no comportamento do produto final. Dessa forma o conhecimento de geologia e dos produtos de alteração dos minerais das rochas são de extrema importância nos estudos geotécnicos (DIAS, 2001).

Os mapas geotécnicos constituem-se, basicamente, da sobreposição das cartas das áreas (geologia, pedologia e geomorfologia). A Unidade Geotécnica resultante traz consigo as informações dos materiais originais, processos evolutivos e estrutura atual dos solos de cada unidade, além de fornecer informações quanto à morfologia da área delimitada por cada unidade (ABITANTE, 1998).

A primeira caracterização das propriedades dos solos de cada unidade geotécnica é, por decorrência da metodologia, dada pela geologia e pedologia. A estas informações (tais como mineralogia, estrutura, plasticidade, drenagem e estabilidade volumétrica) deve-se agregar os parâmetros utilizados na engenharia rodoviária (ABITANTE, 1998).

O agrupamento dos solos em unidades geotécnicas permite uma diminuição no coeficiente de variação dos resultados dos ensaios laboratoriais, particularizando o comportamento geomecânico de cada tipo de solo.

2.2 CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA DOS SOLOS

Os levantamentos de solos para a agricultura fornecem subsídios importantes aos estudos geotécnicos. Muitos geotécnicos, brasileiros ou, não já sugeriram que se utilizasse a pedologia nos estudos de solos de grandes áreas (DIAS, 2001).

Os solos são estudados, há mais tempo e em maior detalhamento, por profissionais ligados à agricultura. Os estudos de solos, principalmente dos agrônomos, e neste grupo especialmente pedólogos, preocuparam-se em determinar os fatores genéticos e a associação destes às características finais dos solos (ABITANTE, 1998).

Segundo a pedologia os solos são identificados de acordo com perfis constituídos por diferentes horizontes. Os horizontes mais superficiais “A” e “B”, designados horizontes pedogenéticos, são os mais evoluídos. A seguir vem o horizonte “C”, designado, pelos geotécnicos como horizonte saprolítico, solo saprolítico ou solo jovem. Na seqüência temos a rocha alterada, horizonte “RA” e depois a rocha sã, horizonte “R” (DIAS, 2001).

2.2.1 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A SEPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS E DE FASES DE UNIDADES DE MAPEAMENTO

Os principais atributos diagnósticos, horizontes diagnósticos e características de natureza intermediária de unidades taxonômicas são:

2.2.1.1 HORIZONTES DIAGNÓSTICOS

- **Horizonte A chernozêmico:** é um horizonte mineral superficial, relativamente espesso, predominantemente saturado com cátions bivalentes, rico em matéria orgânica com alta saturação de bases.
- **Horizonte A proeminente:** Horizonte mineral superficial cujas características são compatíveis com o horizonte A chernozêmico, no que se refere a cor, teor de matéria orgânica, consistência, estrutura e espessura, diferindo, essencialmente,

pelo fato de apresentar saturação por bases (V%) inferior a 50%, podendo ser de espessura crescente quanto menos rico for em matéria orgânica.

- **Horizonte A húmico:** é um horizonte mineral superficial que, além de possuir todas as características do horizonte A proeminente, apresenta maior desenvolvimento, expresso por maior espessura e/ou maior riqueza em matéria orgânica, associada à cor mais escura, desde que não satisfaça os requisitos de horizonte turfoso.
- **Horizonte A moderado:** é um horizonte superficial que apresenta teores de carbono orgânico variáveis, espessura e/ou cor que não satisfaça as condições requeridas para caracterizar um horizonte A chernozêmico, proeminente ou húmico, além de não satisfazer, também, os requisitos para caracterizar um horizonte A antrópico, turfoso ou fraco.
- **Horizonte turfoso:** trata-se de horizonte essencialmente orgânico, formado ou formando-se em decorrência de acumulações de resíduos vegetais, depositados superficialmente sob condições de excesso de d'água permanente ou temporário, ainda que possa encontrar-se presentemente recoberto por horizonte(s) orgânico(s) ou minerais mais recentes.
- **Horizonte B textural:** É um horizonte mineral sub-superficial onde houve incremento de argila resultante de acumulação decorrente de processos tais como: iluviação, formação in situ, herdado do material de origem e perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B textural é sempre maior que o do horizonte A.

A natureza coloidal da argila torna-a susceptível de mobilidade com a água no solo. As argilas translocadas tendem a formar películas de partículas argilosas, com orientação paralela às superfícies que revestem, ao contrário das argilas formadas in situ, que apresentam orientação desordenada.

A cerosidade, que é resultante de revestimento com material coloidal inorgânico, também pode caracterizar o horizonte B textural. No entanto, na identificação de campo, a cerosidade sozinha é muitas vezes inadequada para identificação, pois,

devido ao escoamento turbulento da água por fendas, a mesma pode formar-se em decorrência de uma única chuva ou inundação.

Entretanto, uma série de outras condições são necessárias para a caracterização deste horizonte: a espessura, a ocorrência de lamelas, a presença de horizonte E (eluvial), ao incremento de argila, a relação estrutura/cerosidade/teor de argila entre outras.

- **Horizonte B Latossólico:** É um horizonte mineral sub-superficial cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização, explícita pela alteração completa ou quase completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e/ou de minerais de argila do tipo 2:1, seguida de intensa dessilicificação, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos, argilas do tipo 1:1 e minerais primários resistentes ao intemperismo. Em geral é constituído por quantidades variáveis de óxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila do tipo 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo, podendo haver a predominância de quaisquer desses minerais.

Em síntese, horizonte B Latossólico é um horizonte sub-superficial que não apresenta características diagnósticas de horizonte Glei, B textural e horizonte Plíntico.

A argila 1:1 é constituída por folha de silicato tetraédrica e folha de hidróxido octaédrica, empilhadas regularmente na proporção de 1:1, temos como exemplo a caulinita (LUNA et al, 1999).

A argila 2:1 é um argilomineral constituído por folha de silicato tetraédrica e folha de hidróxido octaédrica, empilhadas regularmente na proporção 2:1. A camada de octaedros ocupa a posição central encontrando-se ligada aos vértices dos tetraedros adjacentes. Pertencem a essa classe as argilas do grupo das montmorilonitas (LUNA et al, 1999).

- **Horizonte B incipiente (câmbico):** Trata-se de horizonte sub-superficial, subjacente ao horizonte A, que sofreu alteração física e química em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor ou de estrutura e no qual mais da metade do volume de todos os sub-horizontes não deve consistir em estrutura de rocha original.
- **Horizonte B nátrico:** É um horizonte mineral sub-superficial que apresenta, em adição às características para identificar um horizonte B textural, marcante diferença de textura entre o horizonte A e o horizonte B.

Apresenta estrutura colunar ou prismática em alguma parte do horizonte B, ou mais raramente, estrutura em blocos angulares grandes com alguma penetração de material aluvial, com grãos de areia e silte sem revestimentos, pelo menos na parte superior do horizonte B.

- **Horizonte B espódico (B podzol):** É um horizonte mineral sub-superficial que apresenta acumulação de matéria orgânica e compostos de alumínio amorfo, com maior ou menor presença ferro iluvial. Ocorre normalmente sob qualquer tipo de horizonte A, sob horizonte turfoso, ou ainda, sob um horizonte eluvial E, álbico ou não.

A estrutura no horizonte B espódico, de um modo geral, está ausente; entretanto, pode ocorrer estrutura prismática ou em blocos, com um fraco grau de desenvolvimento, bem como estrutura granular, grumosa ou laminar. No horizonte B espódico há presença de partículas de areia e silte, com revestimentos de matéria orgânica, matéria orgânica e alofana ou alofana e sesquióxidos livres, bem como grânulos arredondados a sub-angulares de matéria orgânica e sesquióxidos de diâmetro entre 20 e 50 micra.

- **Horizonte plíntico:** Caracteriza-se, fundamentalmente, pela presença de plintita em quantidade igual ou superior a 15% e espessura de pelo menos 15 cm.

É um horizonte mineral B e/ou C, que apresenta um arranjo de cores vermelhas e acinzentadas ou brancas, com ou sem cores amareladas ou brunadas, formando um padrão reticulado, poligonal ou laminar. A coloração é usualmente variada, com predominância de cores avermelhadas, bruno-amareladas, amarelo-brunadas, acinzentadas e esbranquiçadas (menos frequentemente amarelo-claras). Muitos horizontes Plínticos possuem matriz acinzentada ou esbranquiçada, com mosqueados abundantes de cores avermelhadas, ocorrendo também mosqueados com tonalidades amareladas.

A presença de concreções de ferro imediatamente acima da zona do horizonte plíntico, pode ser uma comprovação de plintita no perfil, evidenciando, desse modo, o final do processo de hidratação e desidratação nestes pontos. Este processo é acelerado quando o material é exposto em trincheiras, valas ou corte de estradas antigas, sendo neste caso característica diagnóstica.

- **Horizonte glei:** É um horizonte sub-superficial ou eventualmente superficial, com espessura de 15 cm ou mais, caracterizado por redução de ferro e prevalência deste no estado reduzido, devido principalmente à água estagnada, como evidenciado por cores neutras ou próximas de neutras na matriz do horizonte, com ou sem mosqueados de cores mais vivas, cuja quantidade seja menor que 15% quando consista em plintita. Trata-se de horizonte fortemente influenciado pelo lençol freático em regime de umidade redutora, virtualmente livre de oxigênio dissolvido, em razão da saturação com água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associada à demanda de oxigênio pela atividade biológica.

2.2.1.2 ATRIBUTOS DIAGNÓSTICOS

A classificação dos solos é feita pela observação da maneira como o perfil se apresenta, identificando o conjunto de atributos próprios dos horizontes integrantes de cada solo.

Os atributos dos horizontes abrangem as características inerentes ao solo, como a constituição mineralógica das argilas e sua textura, bem como as propriedades que dizem respeito ao comportamento ou reação evidenciada, como a cor, a consistência, a capacidade de troca de cátions e outros mais.

Alguns atributos, pela sua importância, são escolhidos como critério diagnóstico para a classificação dos solos e estabelecimento de agrupamentos. A seguir temos a descrição dos principais atributos reconhecidos como diagnóstico para a distinção das classes dos solos.

- **Argila de atividade alta (Ta) e de atividade baixa (Tb):** a atividade das argilas se refere à capacidade de troca de cátions da fração mineral. Atividade alta designa valor igual ou superior a $24 \text{ cmol}_c/\text{kg}^1$ de argila e atividade baixa valor inferior a esse.
- **Mudança textural abrupta:** consiste em um considerável aumento no teor de argila dentro de uma pequena distância na zona de transição entre horizonte A ou E e o horizonte subsequente B. Segundo a “Soil Taxonomy”, caso o horizonte A ou E tenha menos que 20% de argila, o horizonte B deve ter o dobro ou mais numa distância menor que 8cm; caso o horizonte A ou E tenha mais que 20% de argila, o horizonte B deve ter 20% a mais, em valores absolutos, num intervalo menor que 8cm, e o conteúdo de argila em relação ao horizonte A ou B deve ser o dobro ou mais em alguma parte do B.
- **Saturação por bases:** Tabela 2.1, refere-se à proporção de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca de cátions determinada a pH7.

Tabela 2.1 – Classificação em função da saturação por bases.

Classificação	Saturação por bases (%)
Alta saturação	$\geq 65\%$
Média saturação	$< 65\%$ e $\geq 35\%$
Baixa saturação	$< 35\%$

- **Distrófico e Eutrófico:** Refere-se à proporção (taxa percentual) de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca de cátions determinada a pH7 (Tabela 2.2).

¹ cmol_c/kg - centimol de carga; unidade de capacidade de troca de cátions

Tabela 2.2 – Classificação em função da presença de cátions básicos trocáveis.

Classificação	Saturação por bases (%)
Distrófico	< 50%
Eutrófico	≥ 50%

- **Álico:** especifica distinção de relação alumínio/bases ($\frac{Al_{3+}}{(Base + Al_{3+})} \times 100$) igual ou superior a 50%. Para essa distinção é considerada a relação alumínio/bases no horizonte B, ou no C quando não existe B, sendo levada em conta também essa característica no horizonte A de alguns solos, principalmente no caso de solos Litólicos.
- **Característica solódica ou sódica:** Tabela 2.3, são atributos referentes ao estado do solo quanto à saturação por sódio. Refere-se à proporção desse cátion retido em relação à capacidade de troca de cátions determinada a pH 7,0.

Tabela 2.3 – Classificação em função da saturação por sódio.

Classificação	Saturação por sódio (%)
Sódico	$Na^+ \geq 20\%$
Solódico	$8\% < Na^+ < 8\%$

- **Cerosidade:** designação dos revestimentos e faceamentos de aspecto lustroso e brilho graxo que ocorrem em superfícies de unidades estruturais dos solos. É uma característica importante na identificação do horizonte B textural. Quando bem desenvolvida é facilmente perceptível, sendo a superfície do revestimento usualmente livre de grãos desnudos de areia e silte.
- **Plintita e Petroplintita:** a plintita consiste em segregações localizadas de enriquecimento de ferro e, secundariamente, alumínio, com argila, quartzo ou outros minerais, pobres em matéria orgânica. Ocorre comumente sob a forma de mosqueados vermelhos e vermelhos-escuros, com padrões usualmente laminares, poligonais ou reticulados.

Essas concentrações de ferro, ou ferro e alumínio, apresentam consistência firme ou muito firme e pequena dureza, porém têm como propriedade inerente a

capacidade de endurecer irreversivelmente quando expostas a repetidas secagens e umedecimentos, transmutando-se por solidificação em petroplintita.

2.2.1.3 GRUPAMENTOS DE CLASSES DE TEXTURA

A textura refere-se à proporção relativa das frações granulométricas que compõem a massa do solo. Diz respeito à granulometria do material sólido integrante de cada horizonte. Convencionalmente se refere às frações de diâmetro igual ou inferior a 2mm. As partículas maiores, que constituem as frações grosseiras ou esqueleto do solo, não participam do conceito de textura.

Para as determinações quantitativas visando ao estudo granulométrico do solo, são arbitrados limites de intervalos conforme o diâmetro das partículas. Na classificação menos pormenorizada de solos e para distinguir amplas unidades de mapeamento em levantamentos de solos, emprega-se no Brasil classes generalizadas, que constituem uma simplificação das classes primárias de textura. Esta classificação é mostrada na Figura 2.1.

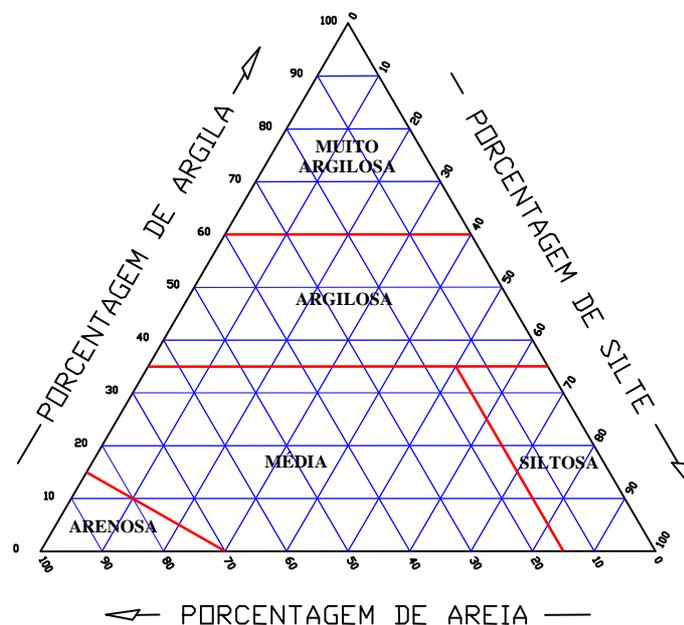


Figura 2.1 – Diagrama de classificação das classes de textura.

2.2.1.4 FASES DE RELEVO

As fases de relevo classificam as condições de declividade, comprimento de encostas e configuração superficial dos terrenos, implicando na forma do modelado (formas topográficas) das áreas de ocorrência das unidades de solo.

- **Plano:** superfície de topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%.
- **Suave ondulado:** superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%.
- **Ondulado:** superfícies de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%.
- **Forte ondulado:** superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitude relativa) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%.
- **Montanhoso:** superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%.
- **Escarpado:** áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75%.

2.2.1.5 CARACTERIZAÇÃO DAS CLASSES DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS

Para efeito de ordenação e representação cartográfica, procurou-se agrupar os diversos tipos de solos em cinco categorias de erodibilidade distintas:

- **Muito Fraca**

- **Características diagnósticas:** nesta classe constam solos com horizonte B latossólico, de textura muito argilosa, argilosa e alguns de textura média;
- **Características adicionais:** solos profundos, com grande homogeneidade de características ao longo do perfil, muito porosos, permeáveis e com valores baixos de erodibilidade calculada;

- **Fraca**

- **Características diagnósticas:** alguns solos com horizonte B latossólico e com textura média tendendo para arenosa; solos com horizonte B textural e espódico de textura arenosa/média e média; solos de textura argilosa intermediários para Latossolos e solos com seqüência de horizontes A e C de textura arenosa;
- **Características adicionais:** solos profundos, relativamente homogêneos verticalmente, porosos, permeáveis e com baixa erodibilidade calculada;

- **Moderada**

- **Características diagnósticas:** nesta classe foram enquadrados os solos com horizonte B textural de textura argilosa ou muito argilosa e solos com horizonte plíntico de textura média;
- **Características adicionais:** geralmente têm relação textural moderada, são profundos e com valores intermediários de erodibilidade calculada;

- **Forte**

- **Características diagnósticas:** solos com presença de horizonte B textural, B nátrico, B câmbico ou horizonte plíntico de textura argilosa;

- **Características adicionais:** no caso de solos com B textural ou nátrico, apresentam elevada relação textural (abruptos); em todos os casos, ou são profundos, ou têm mediana profundidade, muitas vezes têm argila de atividade alta. Têm valores médios e altos de erodibilidade calculada;
- **Muito Forte**
 - **Características diagnósticas:** inclui solos em vários estágios de desenvolvimento, porém com predomínio de solos jovens, com seqüência de horizontes dos tipos A, C; A, C, R e A, Bi, R. Esporadicamente ocorrem solos com B textural e com os condicionantes seguintes;
 - **Características adicionais:** ou são rasos (< 50 cm profundidade), ou têm mudança textural abrupta e argila de atividade alta, ou apresentam ambas as características e têm valores geralmente altos de erodibilidade calculada;

2.3 CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICA DOS SOLOS

Os levantamentos geológicos fornecem dados importantes sobre o leito rochoso, bem como informações valiosas sobre os sedimentos do Terciário e Quaternário. Com bons conhecimentos de geologia, a interpretação dos mapas geológicos auxilia sobremaneira os projetos geotécnicos (DIAS, 2001).

Em função da geologia estrutural, da litologia, das características mineralógicas das rochas e da alterabilidade desses minerais pode-se projetar o aproveitamento dos mesmos nas construções rodoviárias bem como inferir problemas decorrentes de seu uso.

2.4 CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DOS SOLOS

A geomorfologia dos solos é determinada, de um lado, pelos componentes internos (estrutura e litologia) e, de outro lado, pelos processos externos de modificação (chuvas, ventos, insolação etc).

A geomorfologia típica de boa parte do Pantanal, por exemplo, é determinada pela ocorrência de prolongadas inundações e suas interações com variáveis de estado e de transformação: baixos relevos, solos desenvolvidos sobre a Formação Pantanal, sistemas de leques gigantes, rede de drenagem pouco integrada com padrão distributário.

A mudança de uma variável externa provoca reajustes em todos os parâmetros dos sistemas. Em geral, os sistemas podem ser caracterizados pelo grau de estabilidade que varia entre limites amplos. Por exemplo, as áreas inundáveis do Pantanal podem ser modificadas drasticamente durante uma temporada de seca, mas não teremos modificações importantes no mesmo momento para uma Superfície de Aplanamento, que se mantém relativamente estável ao longo de, pelo menos, alguns milhões de anos.

Os sistemas estáveis absorvem bem as perturbações, mas os sistemas instáveis reagem rapidamente e modificam-se em função da nova situação. Neste caso, entra em jogo a inércia do sistema e a memória. A memória é a informação geomorfológica que persiste no sistema como informação acumulada e que nos permite reconstruir o ambiente e os processos do passado. A inércia é a persistência das formas ao longo do tempo, depois que o clima que as originou ter desaparecido como, por exemplo, as grandes Superfícies de Aplanamento Regional do Estado de Mato Grosso.

Um fato de fundamental importância é que as unidades mapeadas podem ser ativas. O aspecto dominante para a classificação é aquilo que domina a cena e, portanto, o que se impõe sobre o observador. No caso do Pantanal e algumas planícies aluviais, é relativamente simples determinar a existência de unidades que estão presentemente em gestação. Porém, no caso das grandes superfícies de aplanamento, não é difícil constatar que se trata de uma unidade originada no passado, atualmente inativa e em etapa de degradação.

2.5 CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA MCT DOS SOLOS

Os solos das regiões tropicais apresentam uma série de peculiaridades que são decorrentes das condições climáticas. Apresentam propriedades de comportamento em decorrência da atuação de processo geológico e/ou pedológico típicos das regiões tropicais úmidas. Estes solos podem ser divididos em três grandes categorias:

lateríticos, saprolíticos e transportados. A Figura 2.2 ilustra um perfil esquemático da ocorrência destes tipos de solos.

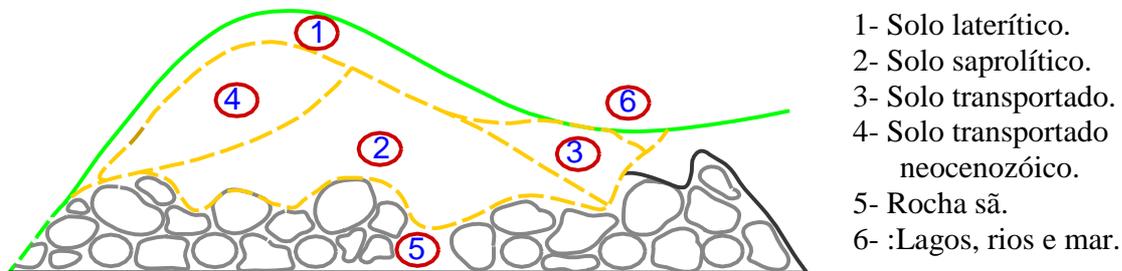


Figura 2.2 - Esquema de ocorrência de solos em ambiente tropical (FORTES, 2006).

Dentre os solos tropicais destacam-se duas classes: solos de comportamento laterítico e solos de comportamento saprolíticos.

Pedologicamente, o solo laterítico é uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas. É um solo zonal, pois ocorre de acordo com as condições climáticas.

A formação dos solos lateríticos se dá pela atuação dos processos de alteração pedológicos que envolvem os mecanismos de desagregação e decomposição provocados por processos geológicos (mecânicos e químicos), com atuação mais intensa dos processos químicos. Com esses processos, vão ser formados os processos pedológicos denominados de laterização ou latossolização, com a intensa migração de partículas sob a ação das infiltrações e evaporação, dando origem a um horizonte superficial poroso, permanecendo quase que exclusivamente os minerais mais estáveis (quartzo, magnetita, ilmenita e caolinita) (NOGAMI et al, 1995).

O processo de laterização é muito lento, atuando nas camadas superficiais bem drenadas, situadas acima do nível da água. Grande parte desse solo é constituída por colúvio, sendo solos antigos ou maduros.

Esses solos constituem perfis naturais caracterizados pedologicamente por conterem horizontes B, designados:

- 1) B latossólico, que integram perfis designados **Latossolos**,

2) B texturais, que integram perfis designados **Podzólicos** e **Terras Roxas Estruturadas**.

Os solos saprolíticos resultam da decomposição e/ou desagregação “in situ” da rocha, mantendo ainda, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem. É, portanto, um solo genuinamente residual, razão pela qual é freqüentemente designado solo residual ou, mais especificamente, solo residual jovem. No passado, os solos saprolíticos eram designados por alteração de rocha. As camadas que os solos saprolíticos constituem em suas condições naturais são designadas horizonte saprolítico (NOGAMI et al, 1995).

A peculiaridade estrutural mais notável do horizonte saprolítico é a de possuir estrutura herdada do maciço de rocha que lhe deu origem. Assim, por exemplo, se o maciço de rocha matriz for estratificado ou dobrado, o horizonte saprolítico também terá camadas estratificadas ou dobradas.

A Figura 2.3 ilustra uma ocorrência típica onde se diferencia um horizonte de um solo laterítico de um horizonte saprolítico. A camada superior onde o processo pedogenético está em estágio mais avançado, o solo é mais resistente a atuação da erosão do que a camada inferior, bem mais sensível ao processo erosivo.

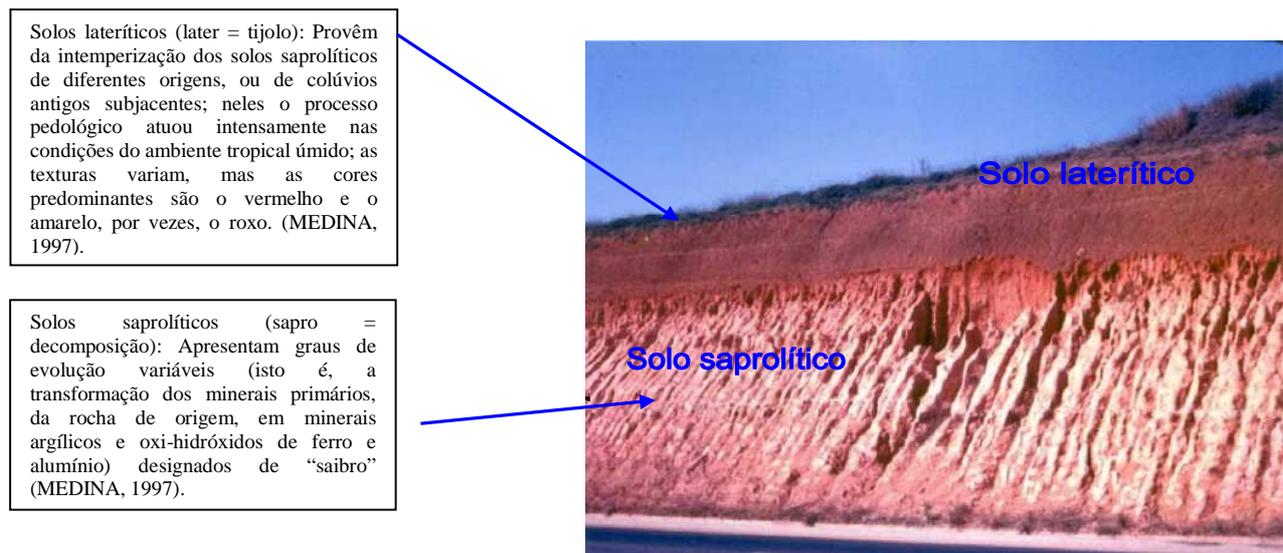


Figura 2.3 - Corte em solo saprolítico de basalto, parte inferior (FORTES, 2006).

As classificações geotécnicas tradicionais, entre elas a HRB – AASHTO e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos – USCS, que se baseiam nos limites de Atterberg (LL e LP) e na granulometria, quando aplicadas a solos de regiões de clima tropical, apresentam discrepâncias quanto ao comportamento geotécnico esperado do solo. Dois solos geneticamente diferentes, um saprolítico e outro laterítico, podem apresentar a mesma classificação, mas comportamento geotécnico totalmente distinto (FORTES, 2006).

Em função das dificuldades e deficiências encontradas na utilização das classificações tradicionais em solos de clima tropical, NOGAMI et al (1995) desenvolveram a metodologia designada MCT (Miniatura Compactada Tropical) que utiliza ensaios em corpos de prova de dimensões reduzidas (corpos de prova com 50mm de diâmetro) com solos tropicais compactados e o da pastilha para os estudos expeditos.

A metodologia MCT, desenvolvida em razão das peculiaridades dos solos tropicais, abriu um horizonte na área de pavimentação ainda pouco explorado no Brasil, viabilizando o uso de solos tropicais tanto para pavimentação de elevado tráfego quanto para baixo volume de tráfego.

A construção de rodovias de baixo custo em regiões com abundância de solos de comportamento laterítico e escassez de jazidas de materiais pétreos é muito utilizada, porém, sem a utilização dos recursos da metodologia MCT, tem levado a muitos insucessos e custos não totalmente otimizados. A metodologia MCT vem dar uma base científica a estas obras, ampliando grandemente o leque de opções de materiais a serem utilizados, com uma conseqüente melhora na qualidade técnica e redução de custos.

A classificação dos solos pela metodologia MCT é baseada em propriedades mecânicas e hídricas obtidas de corpos de prova compactados de dimensões reduzidas. Esta classificação não utiliza a granulometria, o limite de liquidez e o índice de plasticidade.

Os solos de comportamento laterítico, designados pela letra “L”, segundo a classificação MCT podem ser classificados em 3 grupos: LA - areia laterítica, LA´ - solo arenoso laterítico e LG` - solo argiloso laterítico.

Os de comportamento não laterítico, designados pela letra “N”, segundo esta classificação, são divididos em 4 grupos: NA – areia não laterítica, NA’ - solo arenoso não laterítico, NS’ - solo siltoso não laterítico e NG’ - solo argiloso não laterítico.

O comportamento mecânico e hidráulico do solo pode ser estimado utilizando-se a Tabela 2.4 (NOGAMI et al, 1995).

Tabela 2.4 – Propriedades e utilização dos grupos de solos da metodologia MCT.

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 (equivalente da Missipi River Commission, USA)										
k = caolínico 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	M, E	E	M, E	E	E	E, EE	E	
		perda por imersão	B, M	B	E	E	B	B	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	
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)		E	B, M	E	M, E	B	B	B	
	Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal.		EE = Muito Elevado (a) E = Elevado (a)			M = Médio (a) B = Baixo (a)		Vide Tabela 2.5 para equivalente numérico		
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°	
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°	
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°	
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°	
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°	
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°	
n = não recomendado										
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificaram nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas.			USCS	SP SM	MS SC ML	SM, Cl ML, H	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
			AASHO	A - 2	A - 2 A - 4 A - 7	A - 4 A - 5 A - 7 - 5	A - 6 A - 7 - 5 A - 7 - 5	A - 2	A - 2 A - 4	A - 6 A - 7 - 5

Tabela 2.5 – Valores numéricos das propriedades dos grupos.

SUPORTE Mini CBR (%) (C/ SOBRECARGA PADRÃO)	Muito levado	> 30	PERDA DE SUPORTE Mini CBR POR IMERSÃO (%)	Elevada	> 70
	Elevado	12 a 30		Média	40 a 70
	Médio	4 a 12		Baixa	< 40
	Baixo	< 4			
EXPANSÃO (%)	Elevada	> 3	CONTRAÇÃO (%)	Elevada	> 3
	Média	0,5 a 3		Média	0,5 a 3
	Baixa	< 0,5		Baixa	< 0,5
COEFICIENTE DE SORÇÃO - s $\log(\text{cm}/\text{min}^{1/2})$	Baixo	> (-1)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE - k $\log(\text{cm}/\text{s})$	Elevado	> (-3)
	Médio	(-1) a (-2)		Médio	(-3) a (-6)
	Baixo	< (-2)		Baixo	< (-6)

2.5.1 COMPACTAÇÃO NO MINI-MCV

O procedimento de compactação MCV (Moisture Condition Value) proposto por Parsons em 1976 para emprego nas condições prevalentes na Inglaterra sofreu diversas modificações para ser adaptado às peculiaridades dos solos tropicais. Neste trabalho foram utilizados os procedimentos propostos por NOGAMI et al (1995) e as alterações introduzidas posteriormente, designadas “procedimento simplificado”, propostas também por NOGAMI et al (2003).

O procedimento “simplificado” veio facilitar a interpretação das curvas de deformabilidade, que é difícil no procedimento original proposto por Parsons (1976), que adota a série de golpes de soquete de 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12,n....4n golpes, e o cálculo das deformações pelo uso da expressão $a_n = L_n - L_{4n}$, onde a_n é a deformação e L_{4n} e L_n são respectivamente as leituras correspondentes às alturas do corpo de prova a 4n e n golpes do soquete. Neste procedimento, a compactação é interrompida quando a deformação a_n atinge um valor menor que 2mm (NOGAMI et al, 2001).

No procedimento simplificado, as séries de golpes são realizadas conforme NOGAMI et al (2003), na seguinte seqüência: 02, 04, 06, 10, 20, 40, 60, 80. A interrupção do processo de compactação ocorre quando a deformação A_n atinge valor menor que 0,05 mm/golpe, para acréscimo de golpes superior a 10. Os demais parâmetros como altura do corpo de prova e massa específica aparente seca são calculados conforme o método de ensaio DNIT-ME 258/94 e DNIT-ME 228/94.

A Tabela 2.6 mostra uma planilha com os dados de um ensaio realizado nesta pesquisa.

O ensaio de Perda de Massa por Imersão (P_i), que tem grande importância para a engenharia geotécnica porque se relaciona ao comportamento dos solos em presença d'água mostra a suscetibilidade à erosão hídrica, fator importante em ambientes tropicais.

O tempo de imersão do corpo de prova, para avaliar seu comportamento em presença d'água é de 20 h, segundo norma DNIT-ME 256/94. MARSON et al (2005) mostrou que este tempo é excessivo e que o coeficiente P_i , utilizado na classificação, já estaria definido a partir da 4^o hora de imersão. Outra constatação, também publicada neste artigo, é que o resultado independe do lado do corpo de prova que é exposto à ação da água.

Os parâmetros c' , d' , e' e P_i permitem a classificação do solo segundo os conceitos da classificação MCT. Somente com a introdução dos índices e' e P_i , proposta por NOGAMI et al (1995), foi possível conceituar a laterização dos solos sob o ponto de vista geotécnico.

Os procedimentos e equipamentos para a execução do ensaio de perda de massa por imersão foram executados de acordo com o método de ensaio DNIT-ME 256/94.

A Figura 2.4 mostra os equipamentos utilizados para a execução dos ensaios de compactação.

Tabela 2.6 – Dados do ensaio de compactação

ENSAIO DE CLASSIFICAÇÃO M-MCV - Simplificado

REGISTRO DOS DADOS DO ENSAIO

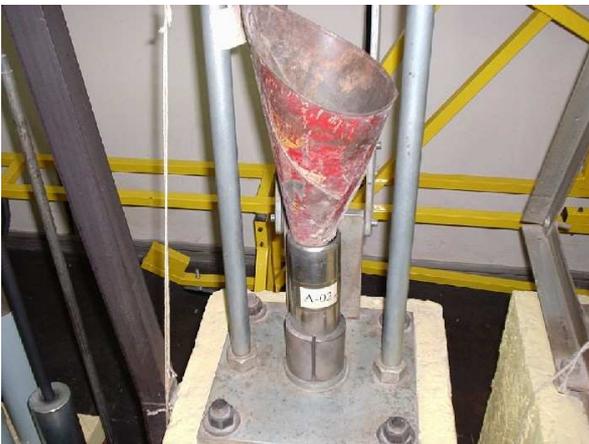
Solo: 12					Interessado:								
Obra:					Laboratorista: Eugenio				Data do ensaio : 14/06/05				
Massa do cp = 200 g					k = 119,2								
Porção+Água		300 + 54				300 + 48				300 + 42			
Cilindro		05				04				03			
Golpes	Leitura	An	Defor.	Dens.	Leitura	An	Defor.	Dens.	Leitura	An	Defor.	Dens.	
(n)	(mm)	(mm)	Espec.	(g/cm³)	(mm)	(mm)	Espec.	(g/cm³)	(mm)	(mm)	Espec.	(g/cm³)	
0	59,61	9,03	o	1,41	60,27	8,82	o	1,44	54,27	16,41	o	1,34	
2	67,03	1,61	3,71	1,61	66,25	2,84	2,99	1,61	61,99	8,69	3,86	1,52	
4	68,62	0,02	0,80	1,66	68,60	0,49	1,18	1,68	65,88	4,80	1,95	1,64	
6	68,64	0,00	0,01	1,66	69,08	0,01	0,24	1,70	67,72	2,96	0,92	1,69	
10					69,09	0,00	0,01	1,70	69,60	1,08	0,94	1,76	
20									70,62	0,06	0,51	1,80	
40									70,68	0,00	0,03	1,80	
60													
Umidade	Capsula n.		52	51	Capsula n.		54	38	Capsula n.		34	36	
	Mu.+ Tara (g)		98,40	88,80	Mu.+ Tara (g)		106,20	74,80	Mu.+ Tara (g)		96,30	78,50	
	Ms + Tara (g)		83,37	75,67	Ms + Tara (g)		90,64	64,99	Ms + Tara (g)		84,37	69,05	
	Tara (g)		17,16	16,71	Tara (g)		17,16	17,04	Tara (g)		17,62	16,54	
	Umidade (%)		22,7%	22,3%	Umidade (%)		21,2%	20,5%	Umidade (%)		17,9%	18,0%	
		22,5%				20,8%				17,9%			
Porção+Água		300 + 36				300 + 30							
Cilindro		02				01							
Golpes	Leitura	An	Defor.	Dens.	Leitura	An	Defor.	Dens.	Leitura	An	Defor.	Dens.	
(n)	(mm)	(mm)	Espec.	(g/cm³)	(mm)	(mm)	Espec.	(g/cm³)	(mm)	(mm)	Espec.	(g/cm³)	
0	52,75	18,38	o	1,33	50,24	20,45	o	1,31					
2	60,35	10,78	3,80	1,51	57,75	12,94	3,76	1,47					
4	64,04	7,09	1,85	1,61	61,55	9,14	1,90	1,57					
6	66,16	4,97	1,06	1,67	63,74	6,95	1,10	1,63					
10	68,53	2,60	1,19	1,75	66,23	4,46	1,25	1,71					
20	70,28	0,85	0,88	1,82	68,60	2,09	1,19	1,79					
40	71,13	0,00	0,42	1,85	70,09	0,60	0,75	1,84					
60					70,69	0,00	0,30	1,87					
80													
Umidade	Cápsula n.		33	32	Cápsula n.		56	45	Cápsula n.				
	Mu.+ Tara (g)		107,70	62,90	Mu.+ Tara (g)		96,10	65,70	Mu.+ Tara (g)				
	Ms + Tara (g)		95,05	56,90	Ms + Tara (g)		86,42	59,83	Ms + Tara (g)				
	Tara (g)		17,75	17,95	Tara (g)		16,25	16,73	Tara (g)				
	Umidade (%)		16,4%	15,4%	Umidade (%)		13,8%	13,6%	Umidade (%)				
		15,9%				13,7%							



a - Equipamentos utilizados no ensaio



b - Detalhe da meia-cana para apoio do cilindro.



c - Dispositivo para colocação da amostra no cilindro.



d - Equipamento para compactação da amostra.



e - Câmara úmida para guardar amostra.



f - Determinação da perda de massa por imersão.

Figura 2.4 – Equipamentos para execução do ensaio de compactação Mini MCV

As curvas de compactação são traçadas representando nas abscissas os valores de umidade de compactação e nas ordenadas os valores de massa específica aparente seca. Os pontos são ligados entre si para um mesmo número de golpes, conforme Figura 2.5.

O parâmetro d' , usado para a classificação do solo, corresponde à maior inclinação, multiplicada por 10^3 , do tramo seco da curva de compactação correspondente a dez golpes do soquete padrão.

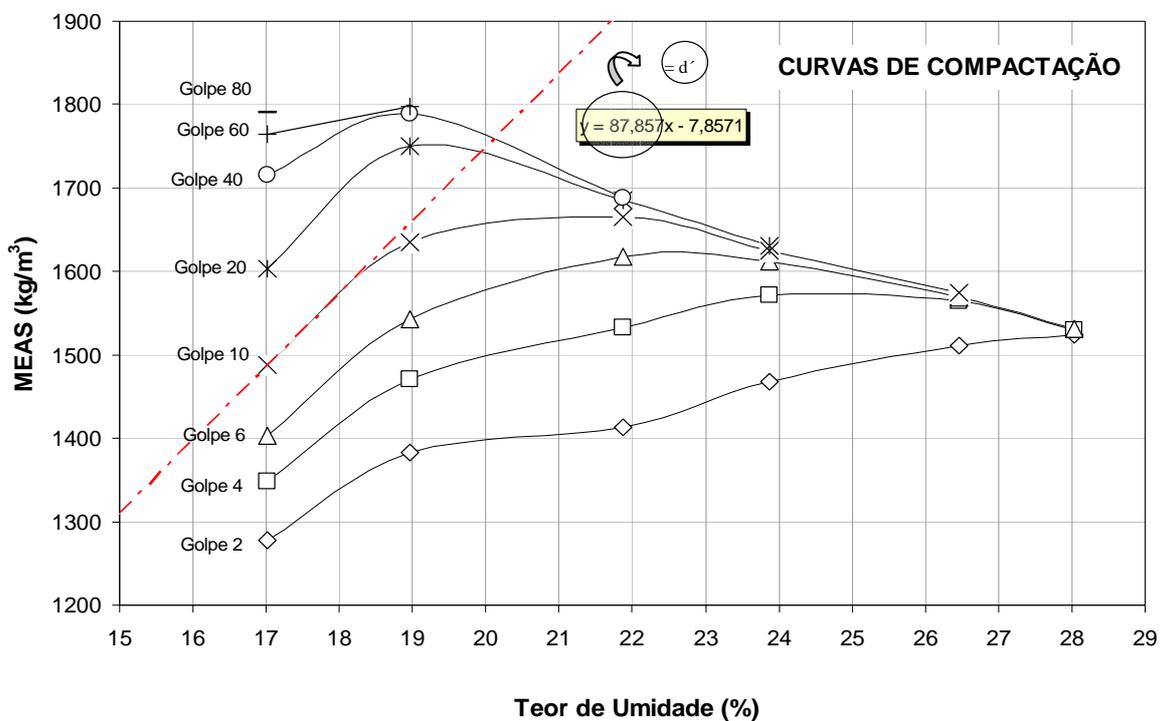


Figura 2.5 - Exemplo de Curvas de Compactação

As curvas de deformabilidade são traçadas representando nas abscissas o número de golpes, em escala logarítmica, e nas ordenadas os valores da deformação A_n (Figura 2.6).

O parâmetro c' , usado para a classificação do solo, corresponde à inclinação da reta que passa pela interseção da curva de deformabilidade com as linhas horizontais correspondentes a 2mm e 10mm de deformação (A_n). A curva de deformabilidade considerada é a curva correspondente à umidade de máxima densidade aparente seca,

determinada pelo gráfico de deformabilidade, no exemplo da Figura 2.6 corresponde a umidade de 21,9%.

Para a determinação do parâmetro P_i , os resultados do ensaio de perda de massa por imersão devem ser lançados no gráfico de deformabilidade do seguinte modo: Nas ordenadas, em um eixo auxiliar, os valores de perda de massa por imersão e nas abscissas, em escala logarítmica, o número de golpes correspondente ao ponto em que a curva de deformabilidade cruza a linha horizontal de deformação (A_n) igual a 2mm.

O parâmetro P_i , da amostra, é o valor de perda de massa por imersão, lido no eixo auxiliar, correspondente ao ponto em que a curva dos pontos de perda de massa por imersão traçada cruza a linha vertical correspondente a dez golpes.

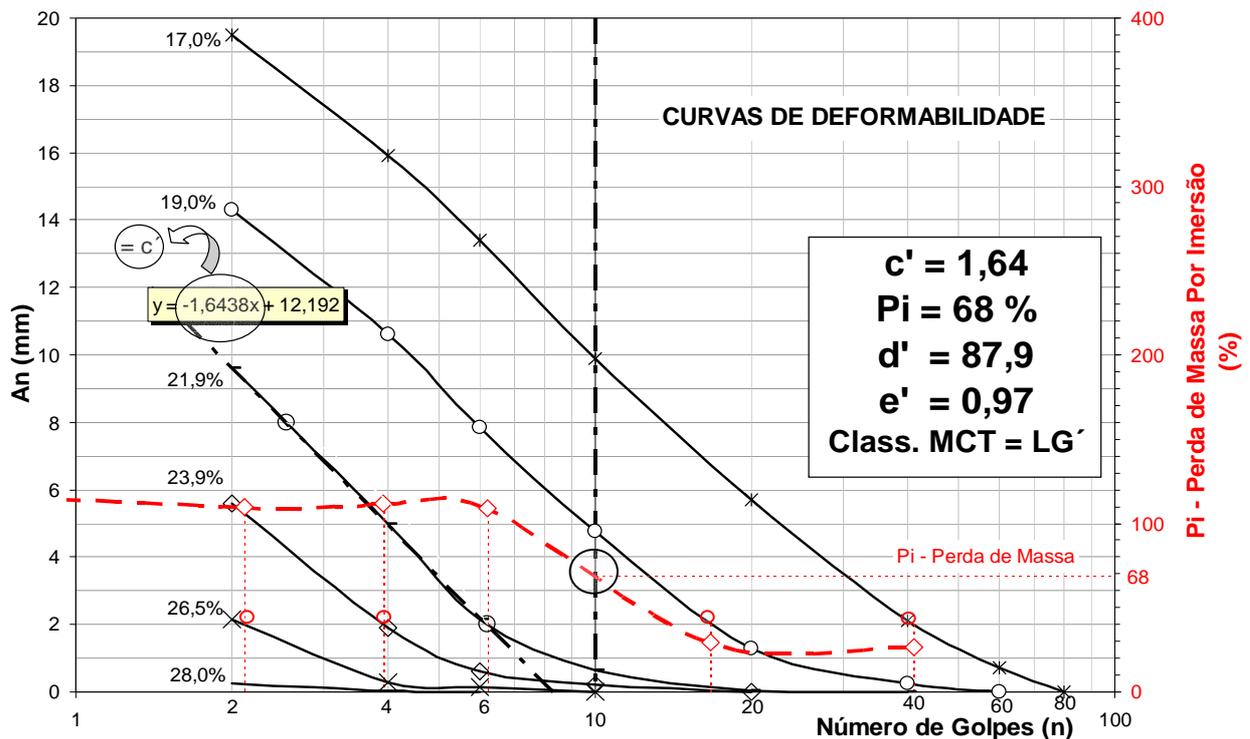


Figura 2.6 - Exemplo de Curvas de Deformabilidade

Para a classificação geotécnica MCT do solo utiliza-se o gráfico da Figura 2.7. A linha tracejada separa os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico. O valor de e' é determinado pela seguinte fórmula:

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (2.1)$$

onde:

e' = Parâmetro classificatório

P_i = Perda de massa por imersão em %

d' = É a maior inclinação do tramo seco da curva de compactação de dez golpes,

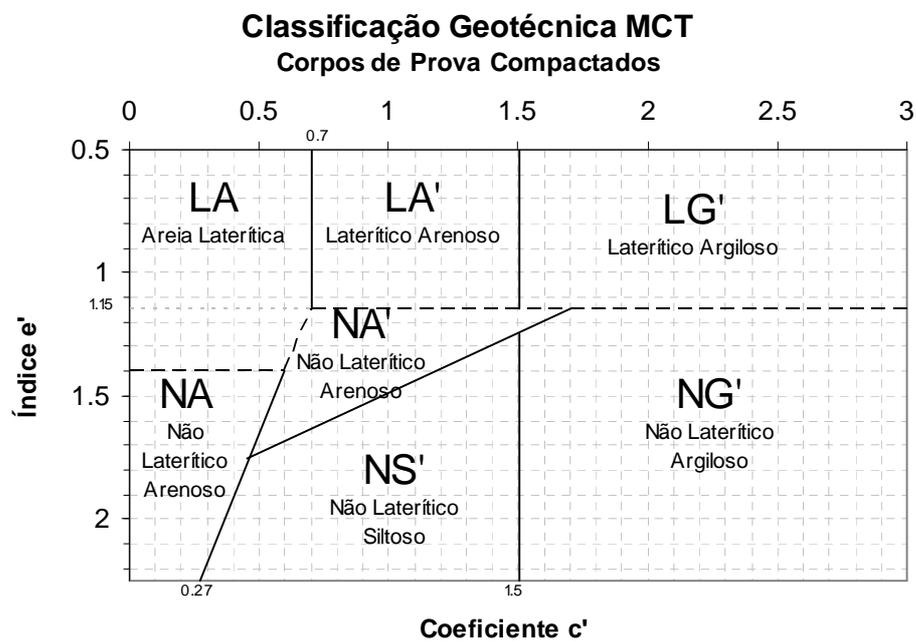


Figura 2.7 - Gráfico para classificação pela metodologia MCT.

2.5.2 COMPACTAÇÃO SEGUNDO PROCTOR (MINI-CBR)

Enquanto não se dimensiona os pavimentos considerando a deformabilidade (resiliência), o ensaio de CBR ainda é um ensaio amplamente utilizado para caracterizar a capacidade de suporte dos solos.

O ensaio Mini CBR possibilita flexibilidade nas variáveis que influenciam o valor de suporte, sendo facilmente determinados valores com e sem imersão, com vários tipos de sobrecarga, vários teores de umidade e energias de compactação.

Analogamente ao procedimento do CBR tradicional, a expansão é determinada nos corpos de prova submetidos à imersão em água. A diferença é que no procedimento Mini CBR o tempo de imersão é reduzido para 20h, segundo NOGAMI et al (1995).

Segundo NOGAMI et al (1995) a relação de valor de suporte entre o Mini CBR e o CBR, desenvolvida empiricamente com os solos do estado de São Paulo, na condição de umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, pode ser expressa pelas fórmulas seguintes:

$$\text{Log}_{10}(\text{MiniCBR}_1) = -0,254 + 0,896 \times \text{Log}_{10} C_1 \quad (2.2)$$

$$\text{Log}_{10}(\text{MiniCBR}_2) = -0,356 + 0,937 \times \text{Log}_{10} C_2$$

onde:

$(\text{Mini CBR}_1), (\text{Mini CBR}_2)$ = Mini CBR correspondente às penetrações 2,0 e 2,5mm; adota-se geralmente, como valor final, o maior deles;

C_1, C_2 = forças correspondentes às penetrações 2,0 e 2,5mm, expressas em kgf.

Alguns autores afirmam que os resultados do ensaio Mini CBR não são compatíveis com os do ensaio de CBR (ASSALI et al, 2003). O ensaio Mini CBR só possui significado quando utilizado na metodologia MCT, que apresenta resultados superiores no caso de solos coesivos e menores no caso de solos não coesivos.

Em uma pesquisa realizada por ASSALI et al (2003), intitulada “Comparação da Incerteza de Medição Entre Ensaios CBR e Mini CBR”, os autores concluíram que o ensaio Mini CBR é mais vantajoso que o CBR pelas seguintes razões:

- Tomando os valores absolutos das grandezas envolvidas, os resultados dos ensaios de CBR e Mini CBR não possuem uma diferença significativa;
- O ensaio Mini CBR é mais fácil de ser realizado;
- O custo do Mini CBR é 45% menor que o do CBR;
- O Mini CBR demanda menor tempo na sua determinação (um dia para o Mini CBR e aproximadamente uma semana para o CBR)
- O ensaio Mini CBR foi desenvolvido atendendo-se as peculiaridades dos solos tropicais, onde o Brasil se insere.

Em sua tese de doutorado, BARROSO (2002) afirmou que não há correlação entre os valores de CBR e Mini CBR, nem para a energia de compactação normal, nem para a energia intermediária.

2.5.3 MÉTODO EXPEDITO DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

Posteriormente à metodologia MCT, NOGAMI et al (1995) propuseram um procedimento expedito para atender às necessidades de identificação expeditas dos solos tropicais. Esta metodologia baseia-se em uma série de determinações rápidas e simples, baseada em índices empíricos e determinações qualitativas, utilizando aparelhagem simples, podendo ser executada no campo, distinguindo os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico.

O método das pastilhas é um método expedito para a classificação geotécnica dos solos segundo os grupos da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

A classificação dos solos, dentro dos grupos MCT, é feita através de um gráfico com o valor da contração diametral (c') versus penetração (e'). O método baseia-se em determinações efetuadas em pastilhas que são moldadas em anéis. Após a secagem, mede-se a contração diametral. Após serem submetidas a processo de reabsorção de

água, em condições padronizadas, observa-se o surgimento de trincas, expansão e determina-se resistência à penetração com o uso de um penetrômetro padrão.

A classificação geotécnica MCT dos solos pelo método das pastilhas de 20mm de diâmetro foram feitas segundo procedimentos definidos por NOGAMI et al (1995) e com as modificações propostas nesta classificação por NOGAMI et al (2003). Este método usa um penetrômetro padronizado com 10 g de massa e agulha de 1,3 mm de diâmetro, a ponta é plana e perpendicular ao seu eixo (Figura 2.13).

A seguir são sucintamente descritos os passos para a realização do ensaio:

- Secagem da amostra de solo, ao ar livre ou em estufa com no máximo 60°C, para eliminar a umidade natural.
- Peneiramento em peneira nº 40 (0,425 mm), podendo ser destorroado em almofariz com mão de gral protegida por borracha. O método das pastilhas limita seu uso a solos com mais de 80% das partículas passante na peneira nº 40.
- Espatulação de aproximadamente 50cm³ do solo sobre uma placa de vidro. Adicionar água destilada à massa de solo até que esta apresente consistência, medida com penetrômetro padrão de 1,3mm de diâmetro e 10g de peso, equivalente à penetração de 1mm do penetrômetro. A espatulação deve ser repetida por aproximadamente 400 vezes (Figura 2.8).



Figura 2.8 – Espatulação da amostra

- Atingida a penetração especificada acima, são confeccionadas as pastilhas e esferas. As pastilhas são moldadas em 3 anéis de aço inox de 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura, utilizando-se os dedos e um fio de nylon fino para rasamento da superfície da pastilha (Figura 2.9). Leva-se para a estufa a 60°C por no mínimo 6 horas. São moldadas 2 esferas com diâmetro aproximado de 20 mm, e levadas para a estufa junto com as pastilhas.



Figura 2.9 - Preenchimento dos anéis

- Após a secagem, as pastilhas e as esferas são deixadas esfriar por 10 minutos. Determina-se a contração medindo-se o diâmetro das pastilhas com o auxílio de um paquímetro, fazendo-se a média de três medições defasadas, entre si, de 120° (Figura 2.10).

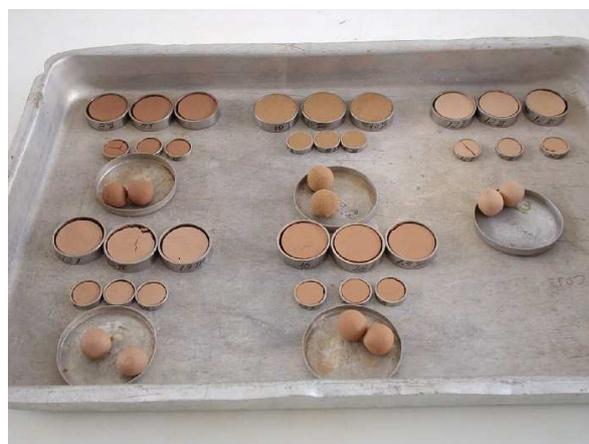


Figura 2.10 – Amostras secando

- A reabsorção da água é feita colocando-se a pastilha sobre uma placa de pedra porosa de 5mm de altura recoberta por papel filtro. Deve-se anotar o tempo de ascensão da água na pastilha através da mudança de cor da mesma (Figura 2.11).



Figura 2.11 - Amostras durante a reabsorção.

- Uma das esferas é imersa em um recipiente com cerca de 50 ml de água destilada para avaliação da sua interação com esse meio (Figura 2.12). O tempo necessário e suficiente para esta interação é de no máximo 2 horas e o produto final pode ser pastas (siltes), partículas (areias), blocos de alguns milímetros ou esferas que não se alteram, conforme a granulometria e os argilominerais constituintes no solo.

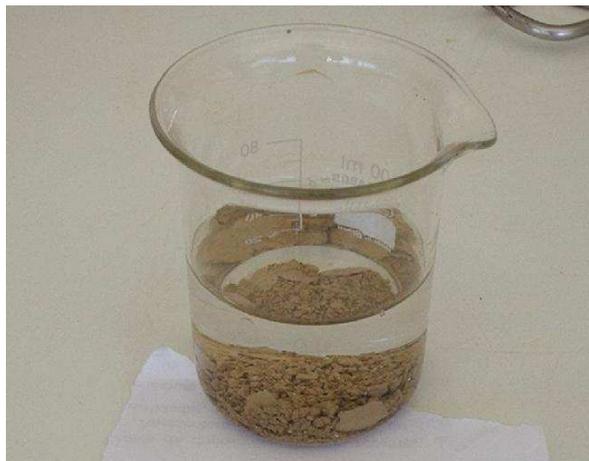


Figura 2.12 – Esferas de solo durante a reabsorção.

- Após 3 horas de reabsorção de água através de pedra porosa, as pastilhas são avaliadas segundo a expansão, trincas e penetrações. São feitas observações

sobre o aspecto da expansão e trincas surgidas de forma visual. As penetrações são feitas com o penetrômetro padrão de 1,3mm de diâmetro e 10g de peso (Figura 2.13).



Figura 2.13 – Medição da penetração.

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

Os dados são lançados em uma planilha para o cálculo dos parâmetros de classificação da amostra: diâmetro médio após secagem (mm), tempo médio de reabsorção (s), penetração média (mm), característica do esmagamento da esfera, tempo de reabsorção e aspecto da esfera após reabsorção.

A classificação do solo é realizada com o emprego do gráfico da Figura 2.14. Neste gráfico a escala do eixo horizontal superior é linear, enquanto que a escala do eixo horizontal inferior é uma escala não linear, deduzida segundo as equações de correlação seguintes:

Se a contração diametral $Ct > 0,5\text{mm}$: $C' = (\log_{10} Ct + 0,7)/0,5$
 $Ct < 0,5\text{mm}$: $C' = (\log_{10} Ct + 1,55)/1,55$ (2.3)

onde:

Ct = Contração diametral em mm.

C' = Parâmetro classificatório.

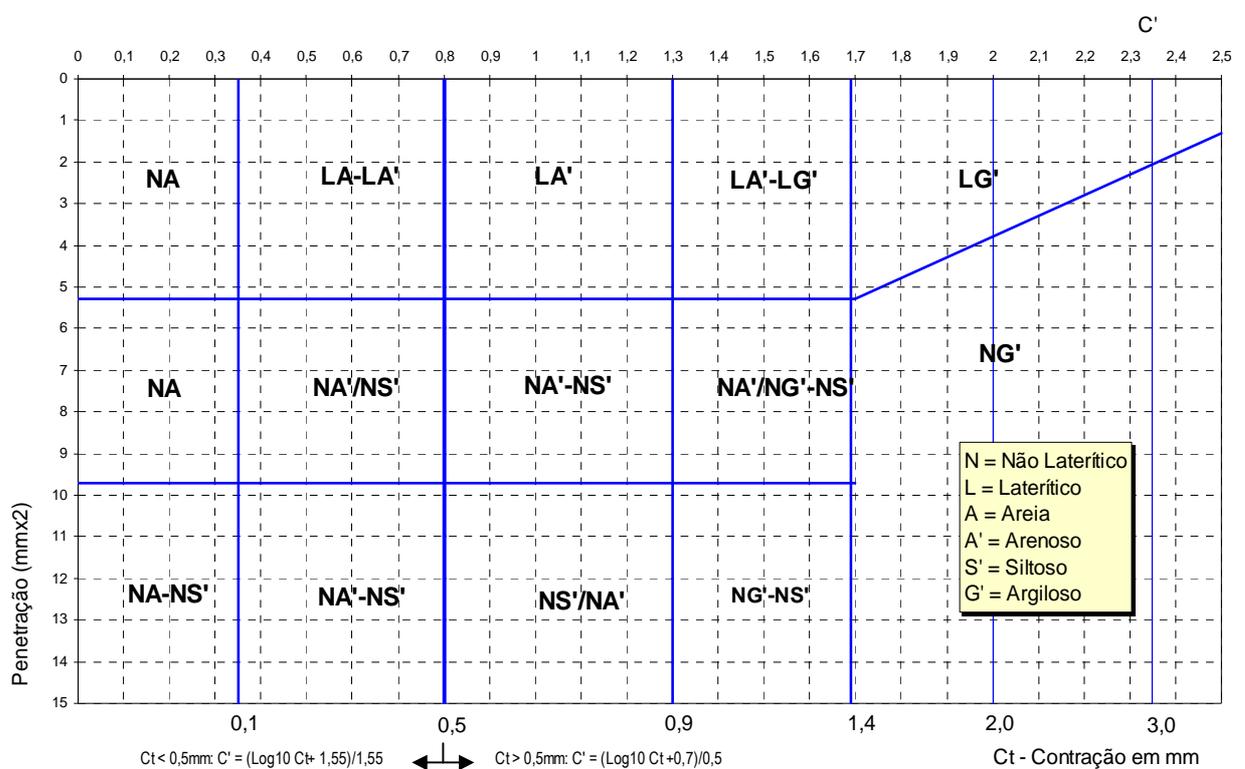


Figura 2.14 - Gráfico da nova classificação MCT.

Posteriormente, o método das pastilhas foi desenvolvido para pastilhas de 35mm de diâmetro por GODOY et al (2000), em sua tese de pós-doutorado. Nesta pesquisa foram utilizadas as interpretações atualizadas por BERNUCCI et al (2002) conforme mostrado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Guia identificatório de solos tropicais.

Classes de solos	Características	Contração (%)	Inchamento (%)	Penetração Cone 10g (mm)	Penetração Cone 30 g (mm)	Índice de Reabsorção
	Grupos de solos					
LATERÍTICOS	Típicos	> 2	< 1	0	0	Negativo
	Argilosos	≥ 6	≤ 10,5	≤ 4	≤ 6	< 0,6
	Arenosos	2 a 6				
	Areias	≤ 2				
TRANSICIONAIS	Argilosos	≥ 6	5,5 a 13,0	3 a 5	6 a 8	0,3 a 0,9
	Arenosos	2 a 6				
	Areias	≤ 2				
NÃO-LATERÍTICOS	Argilosos	≥ 6	> 8	≥ 4	≥ 8	> 0,4
	Siltosos	2 a 4	9 a 15	≥ 6	≥ 11	0,4 a 0,7
	Arenosos	2 a 6	> 8	≥ 4	≥ 8	> 0,4
	Areias	≤ 2	> 5	≥ 4	≥ 8	> 0,4

Os procedimentos, em sua maioria, são semelhantes aos descritos para as pastilhas de 20mm de diâmetro. As principais diferenças são:

- Durante a espatulação adiciona-se água destilada à massa de solo até que esta apresente consistência, medida com penetrômetro cônico de 60°C e 60 gramas, equivalente à penetração de 5mm deste penetrômetro.
- Atingida a penetração especificada acima, são confeccionadas as pastilhas e esferas. As pastilhas são moldadas em 2 anéis de aço inox de 35 mm de diâmetro interno e 10 mm de altura. Determina-se o peso da pastilha úmida e leva-se para a estufa a 60°C por no mínimo 3 horas. São moldadas 2 esferas com diâmetro aproximado de 20 mm, e levadas para a estufa junto com as pastilhas.

- Após a secagem faz-se a pesagem do conjunto pastilha de solo mais anel e somente a pastilha. Determina-se a contração medindo-se o diâmetro das pastilhas com o auxílio de um paquímetro, fazendo-se a média de três medições defasadas, entre si, de 120°.
- Após a reabsorção de água as pastilhas são avaliadas segundo a expansão, trincas e penetrações. A expansão é determinada com o paquímetro a partir da medida do diâmetro da pastilha após reabsorção. As trincas são avaliadas de forma visual verificando o grau de trincamento. As penetrações são feitas com o penetrômetro de cone de 60° e 10 e 30 gramas de peso, montados em um pedestal apropriado (Figura 2.15).



Figura 2.15 – Procedimentos para penetração na amostra

- Após a avaliação as pastilhas são pesadas com papel de filtro umedecido e, posteriormente, somente o papel.
- Em uma planilha são feitos os cálculos da umidade de moldagem das pastilhas, contração (%), expansão (%), reabsorção de água (%) e do índice de reabsorção de água. Ainda, são feitas atribuições qualitativas para o estado das esferas e pastilhas.

2.6 CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS PARA AS MISTURAS ASFÁLTICAS

A morfologia e a textura dos grãos que compõem as misturas asfálticas são primordiais na avaliação do desempenho mecânico (deformação permanente) e da aderência pneu-pavimento do pavimento e influenciam, também, nos parâmetros de estabilidade e fluência do ensaio Marshall, resistência e rigidez (BARRA, 2005).

Hoje, nos projetos de misturas asfálticas, são usados, preferencialmente, os grãos de forma sub-angular e aproximadamente cúbica em relação aos agregados de formato mais arredondados ou esféricos. O mesmo ocorre no caso da textura rugosa ou áspera quando comparado à de aspecto liso ou polido (BARRA, 2005).

Esta preferência é explicada pelo aumento do ângulo de atrito interno entre os granulares e melhor ancoragem do cimento asfáltico de petróleo aos grãos. Os granulares cúbicos e angulosos, dotados de superfície áspera, são responsáveis por aumento na estabilidade da mistura (BARRA, 2005).

Devido à importância das características de esfericidade e arredondamento das partículas, foram elaborados processos que expressassem numericamente tais características. SANTANA (1998).

O grau de arredondamento de uma partícula pode ser expresso como a relação entre a média dos raios de curvatura de seus vértices e o raio de curvatura da máxima esfera inscrita na partícula. Por praticidade faz-se necessário trabalhar com figuras bidimensionais ao invés de se trabalhar com a partícula tridimensional.

O método normalmente utilizado para determinar o grau de arredondamento dos grãos é por comparação visual com padrões (Figura 2.16). Este método consiste no exame um a um de uma amostra dos grãos, projetados em uma tela para facilitar a visualização, fazendo comparação com uma tabela com imagens de partículas separadas em classes. Cada classe tem um intervalo numérico de graus de arredondamento (Tabela 2.8).

Baixa Esfericidade	Alta Esfericidade	
		Muito angular
		Angular
		Subangular
		Subarredondado
		Arredondado
		Muito arredondado

Figura 2.16 – Padrões de grau de arredondamento.

Tabela 2.8 – Classes de grau de arredondamento (SANTANNA, 1998).

Nomenclatura das classes	Graus de arredondamento
Angular	0,0 – 0,15
Subangular	0,15 -0,25
Subarredondado	0,25 – 0,40
Arredondado	0,40 – 0,60
Bem arredondado	0,60 – 1,00

O grau de arredondamento indica a presença de arestas vivas no grão. A amplitude de variação é de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 for o grau mais arredondadas são as arestas do grão.

O grau de esfericidade exprime numericamente o quanto a forma da partícula se aproxima de uma esfera. Novamente o método normalmente utilizado é o de comparação visual com padrões.

A Figura 2.17 exemplifica um método de avaliação do grau de esfericidade e a Figura 2.18 do grau de arredondamento. Este método foi utilizado nesta pesquisa.

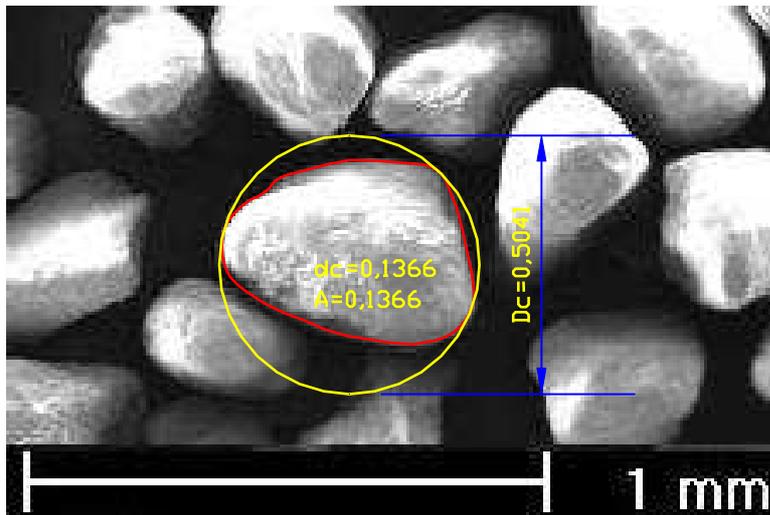


Figura 2.17 - Determinação do grau de esfericidade.

Grau de esfericidade

$$\emptyset = dc/Dc \quad (2.4)$$

Onde:

\emptyset = Grau de esfericidade da partícula

dc = Diâmetro de um círculo com área igual a da partícula.

Dc = Diâmetro do menor círculo que circunscreve a partícula

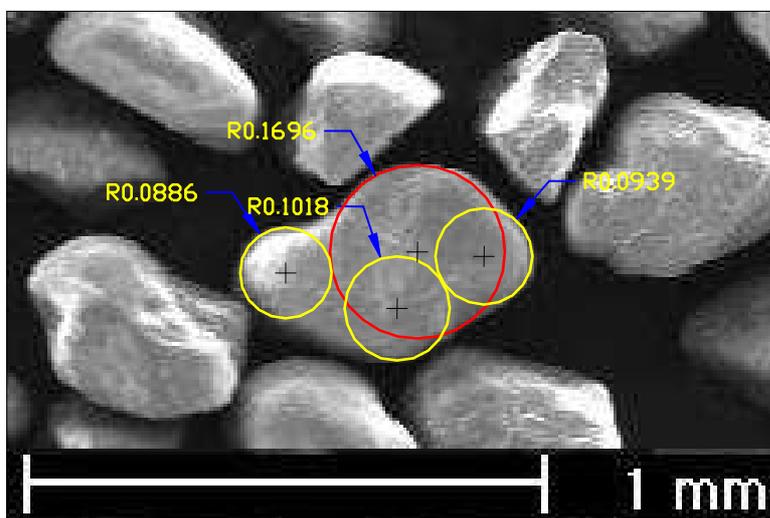


Figura 2.18 - Determinação grau de arredondamento.

Grau de arredondamento

$$P = \Sigma(ri/R)/N \quad (2.5)$$

Onde:

P = Grau de arredondamento.

ri = Raios individuais dos vértices.

N = Número de vértices.

R = Raio do máximo círculo inscrito

2.7 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

O melhoramento de solos constitui, provavelmente, a técnica mais antiga e intrigante de todas as que são utilizadas na Engenharia Civil. Há mais de 3000 anos o melhoramento

de solos já era utilizado na construção dos templos da antiga Babilônia. Neste período, os chineses usavam madeira, bambu ou palha para reforço do solo (CRISTELO, 2001).

A história da estabilização de solos na construção de pavimentos rodoviários remonta ao tempo das civilizações Mesopotâmica e Romana. Os gregos e romanos foram os primeiros a utilizar cal como estabilizante. A necessidade de superfícies rígidas tornou-se ainda mais importante com a invenção dos veículos com rodas, à medida que o tempo foi passando, tornou-se cada vez mais óbvia a incapacidade das vias de comunicação, então existentes, de suportar este tipo de cargas (CRISTELO, 2001).

Dentre os vários produtos estabilizantes existentes, como ácido fosfórico e a cinza volante, a cal e o cimento foram as mais utilizadas até hoje, sendo a primeira a mais difundida desde os antigos povos. Em civilizações como Babilônia, Assíria, Egito, China e Roma, e até as americanas Maia, Inca e Azteca, pode-se observar obras de grande porte que resistiram séculos e existem até hoje, graças ao uso da cal. Uma dessas construções mais conhecidas é a Via Ápia, em Roma (BRANDÃO FILHO et al, 2001).

O solo natural é um material complexo e variável que devido a sua disponibilidade e baixo custo de obtenção, oferece grandes oportunidades para uso como material de construção (CRISTELO, 2001).

A resolução de muitos problemas de engenharia passa pela necessidade de melhorar as características dos solos para a sua utilização como material de fundação na construção de aterros, barragens, camadas de pavimentos, etc. assegurando que ele seja capaz de suportar as cargas nele aplicadas, sem deformações excessivas e mantendo a sua estabilidade (BONAFÉ, 2005).

Os métodos de estabilização são freqüentemente classificados em: estabilização mecânica, onde se procura melhorar as características do solo através da melhor “arrumação” das suas partículas e/ou recorrendo a correções na sua composição granulométrica; estabilização física, na qual se alteram as propriedades do solo através da ação do calor, da eletricidade (eletro-osmose) etc; e a estabilização química que modifica permanentemente as propriedades do solo através de aditivos (CRISTELO, 2001).

A estabilização mecânica de um solo consiste num conjunto de operações que lhe conferem estabilidade quando solicitado. São consideradas operações mecânicas aquelas que apenas modificam o arranjo das partículas do solo, ou a sua granulometria, por meio da subtração ou adição de algumas frações (CRISTELO, 2001). A estabilização granulométrica deve conferir ao solo as características requeridas de atrito, de modo que não ocorram deformações excessivas ou ruptura por cisalhamento.

Existe uma relação direta entre estabilização e granulometria, sendo que a estabilização é maior para distribuições granulométricas que proporcionem uma máxima densificação, através do preenchimento, por grãos menores, dos vazios existentes entre os grãos maiores, mas sem perder o contato entre eles, a fim de que existam forças de atrito entre os mesmos.

A técnica de compactação ou estabilização mecânica proporciona uma melhoria significativa nas propriedades do solo em comparação com o solo natural. Quando, para alguma situação específica, tais propriedades não forem satisfatórias, as técnicas de estabilização química ou de micro reforço são alternativas a serem consideradas (BONAFÉ, 2005).

A estabilização química pode ser realizada através de vários tipos de aditivos. Neste caso, partículas do solo são aglutinadas através de reações químicas e não físicas. A estabilização química utilizada em obras de pavimentação rodoviária recorre normalmente ao cimento, à cal, aos materiais betuminosos e às cinzas (CRISTELO et al, 2003).

A estabilização com emulsão asfáltica funciona garantindo a constância do teor de umidade da mistura após a compactação. O asfalto incorporado tem ação impermeabilizante que ocorre devido a dois fatores: o primeiro através do obturamento dos canalículos do solo onde poderia haver a ação capilar da água; o segundo pela criação de partículas hidrorrepelentes envolvendo agregações de partículas finas, impedindo a penetração de água do meio exterior (REZENDE, 1999).

O principal motivo para o uso da cal na estabilização de solos finos é a mudança das propriedades físicas e químicas que este produto proporciona à argila. A atividade

pozolânica está intimamente ligada a escolha adequada do tipo de argilomineral existente no solo, do tipo de cal e, sobretudo, da proporção entre os dois materiais. Os argilominerais são compostos complexos, constituintes da argila e cuja essência é formada de hidrossilicato de alumínio. São os responsáveis pela reação com a cal e por algumas características do solo (BRANDÃO FILHO et al, 2001).

A atividade pozolânica da mistura solo-cal é um processo lento, o qual se completa anos após o seu início. Conseqüentemente, as características do solo, como resistência, também melhoram ao longo do tempo, de acordo com o avanço da estabilização (BRANDÃO FILHO et al, 2001).

Um dos problemas que se tem estudado é a determinação da quantidade apropriada de cal para a estabilização de um solo. O método do pH consiste em adicionar cal ao solo e fazer medidas do pH até atingir um valor acima ou igual a 12,4.

O método “Lime Fixation Point” consiste em determinar o limite de plasticidade do solo, que aumenta com o teor de cal, até atingir um certo valor a partir do qual permanece constante ou pode até diminuir (POMATT, 2000).

O ensaio de CBR pode ser utilizado para a determinação da porcentagem de cal. Para solos granulares essa porcentagem, em geral, está entre 2 e 5% e para solos plásticos entre 5 e 10% (PRUDENTE et al, 2005).

A adição de cloreto de sódio na mistura de solo cal pode funcionar como um catalisador, onde os íons aceleram as reações pozolâmicas. Em uma estabilização de um solo residual de granito, após oito semanas de cura, a adição de 10% de cal obteve os mesmos ganhos de resistência que com a adição de 6% de cal e 0,12% de cloreto de sódio, Figura 2.19 (CRISTELO et al, 2003).

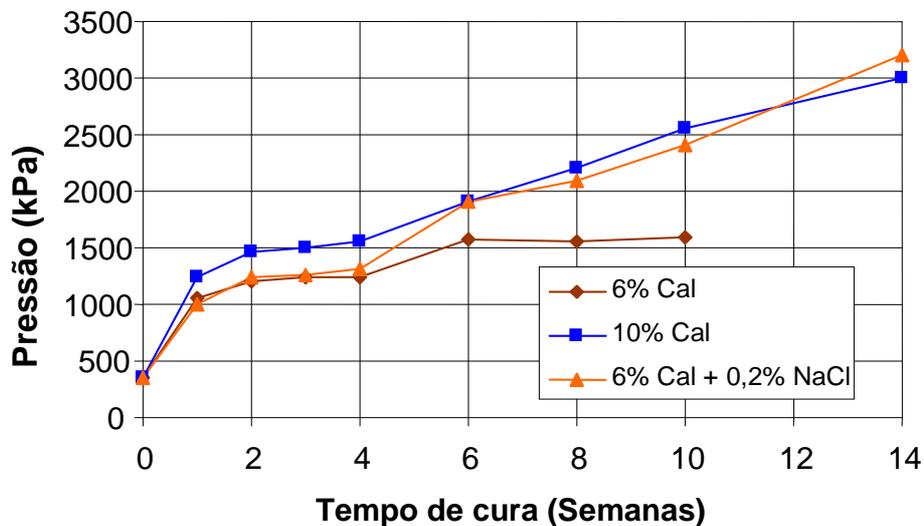


Figura 2.19 – Influência da adição de NaCl nas misturas solo cal

Na estabilização com cal, a massa específica aparente seca normalmente diminui após a estabilização e a umidade ótima de compactação aumenta (LÉGÈRE, 2003).

2.8 DOSAGEM MARSHAL

O método de projeto de misturas asfálticas Marshall é o método mais utilizado no mundo, Este método foi desenvolvido por Bruce Marshall do Departamento de Transportes do Mississippi (EUA), na década de 40. O método se baseia em um ensaio laboratorial destinado a dimensionar uma mistura asfáltica através da análise da parâmetros físicos de densidade de massa aparente, volume de vazios, vazios no agregado mineral, relação betume-vazios e os parâmetros empíricos de estabilidade Marshall e fluência.

A grande vantagem do método Marshall é que o equipamento é relativamente barato e portátil, permitindo um controle de qualidade em campo. As desvantagens do método é que, acredita-se, a compactação usada não simula, de fato, o que ocorre no campo.

Dependendo das propriedades apresentadas pelo agregado utilizado nas misturas, o processo de compactação por impacto tende a alterar a granulometria dos materiais granulares, através da quebra dos grãos. Isto pode implicar em uma mudança no comportamento mecânico da mistura (BARRA, 2005).

No processo de compactação no campo através de rolos pneumáticos e lisos por amassamento da mistura, a probabilidade de ocorrência de uma alteração da granulometria da mistura é menor se comparada ao processo de compactação por impacto utilizado em laboratório (BARRA, 2005).

Nesta pesquisa o processo utilizado foi o preconizado pela norma do DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes) ME 107/94 – Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica, que consiste na moldagem de corpos de prova em molde cilíndrico de 101,5 a 101,7 mm de diâmetro e $63,5 \pm 1,3$ mm de altura com os diferentes teores de ligante usados na pesquisa. Os corpos de prova podem ser compactados através da aplicação de 50 (0,69 MPa) ou 75 (1,38 MPa) golpes de energia de compactação de cada lado.

A fórmula de Vogt (2.6) é usada para estimar os teores iniciais de ligante, é uma adaptação da fórmula de Duriez usada para determinação da superfície específica e da segunda fórmula de Duriez (2.7) para dosagem de misturas asfálticas (SILVEIRA, 1999).

$$100\Sigma = 0,07P_4 + 0,14P_3 + 0,33P_2 + 0,81P_1 + 2,7S_3 + 9,15S_2 + 21,9S_1 + 135F(m^2 / kg) \quad (2.6)$$

onde

P_4 = Fração entre as peneiras 50~25mm

P_3 = Fração entre as peneiras 25~12,5mm

P_2 = Fração entre as peneiras 12,5~4,76mm

P_1 = Fração entre as peneiras 4,76~2mm

S_3 = Fração entre as peneiras 2~0,42mm

S_2 = Fração entre as peneiras 0,42~0,177mm

S_1 = Fração entre as peneiras 0,177~0,074mm

F = Fração passando na peneira 0,074mm

$$p = k \cdot \Sigma^{0,2} \quad (2.7)$$

onde

p = % de asfalto residual, em relação ao peso total dos agregados

Σ = Superfície específica (m²/kg)

k = Módulo de riqueza

CAPITULO 3

3 A ÁREA DE ESTUDO.

3.1 O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) USADO

Nesta pesquisa foi desenvolvido um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para organizar as informações e disponibiliza-las para futuros projetos de pavimentação na região.

Este sistema foi gerenciado pelo software “Mapinfo Professional Version 7.0” da “Mapinfo Corporation”. Este software foi escolhido por ser o software utilizado pela Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN-MT) do governo do estado do Mato Grosso. Esta secretaria forneceu uma ampla base de dados nesta plataforma composta de mapas (shapes) em escala 1:250.000 nos seguintes temas: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Aptidão Agrícola, Hidrografia, Rodovias, Unidades de Conservação e Vegetação.

Foi incorporado ao sistema o resultado das análises realizadas nas 14 amostras coletadas durante a expedição exploratória (Resultados de todo os ensaios, fotos etc.) além dos dados dos perfis descritos no projeto RADAN, localizados dentro da área em estudo. Neste trabalho exploratório procurou-se identificar todos os materiais disponíveis para emprego em pavimentação e que tenham ocorrência significativa na região.

O sucesso de futuros empreendimentos está ligado à quantidade de informações disponíveis sobre a região, portanto, a utilização e incrementação rotineira de um sistema de informações geo-referenciadas permite redução nos tempos de projeto e redução nos custos com ensaios e execução da obra.

3.2 AS CLASSES PEDOLÓGICAS DOS SOLOS DA REGIÃO

A região estudada situa-se na porção sudeste do Estado de Mato Grosso e os principais centros urbanos são às cidades de Rondonópolis, Pedra Preta, Juscimeira e Itiquira. O Rio São Lourenço é o principal curso d’água da área, drenando-a no sentido leste-oeste.

Pequenos rios cortam a área, podendo ser destacados o Piquiri, o Itiquira, o Correntes e o Peixe de Couro.

A região é constituída, de uma maneira geral, por rochas das Formações Aquidauana, Ponta Grossa, Furnas, Formações Bauru, Botucatu, Grupo Cuiabá, sedimentos da Formação Pantanal e da Superfície Peneplanizada Terciária.

O relevo varia de plano à montanhoso e a cobertura vegetal é de Floresta, Cerradão, Cerrado, Campo Cerrado e Vereda Tropical.

Nas áreas aplanadas e altas ocorrem Latossolos Vermelho-Escuros, Latossolos Vermelho-Amarelos e Areias Quartzosas, enquanto nas áreas baixas referentes ao pantanal estão presentes Plintossolos, Planossolos, Areias Quartzosas Hidromórficas e Podzólicos Vermelho-Amarelos distróficos. Na planície do Rio São Lourenço ocorrem Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos, Cambissolos eutróficos e Solos Aluviais.

Nas porções central e leste da região predominam os Latossolos e as Areias Quartzosas em relevo plano e suave ondulado, sendo que à nordeste em áreas de relevo dissecado, ocorrem Podzólicos Vermelho-Amarelos e Solos Litólicos. Na serra São Gerônimo, que separa a chapada do pantanal, ocorrem Solos Litólicos associados à Areias Quartzosas e na área do pantanal, estão presentes solos hidromórficos como Plintossolos, Planossolos, Areias Quartzosas Hidromórficas e Glei Pouco Húmico, sob relevo plano, sendo que em cotas um pouco mais altas ocorrem Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Quanto ao uso agrícola, a pastagem é dominante nas áreas de relevo movimentado e onde predominam as Areias Quartzosas. Em condição de relevo plano e suave ondulado, principalmente ao sul de Rondonópolis, predominam lavouras de soja e milho. Nos chapadões onde ocorrem Latossolos de textura argilosa, verificam-se lavouras de soja e milho, principalmente

A vegetação é muito variada, ocorrendo Campo Cerrado, Cerrado, Cerradão, Floresta e Vereda Tropical.

Na Tabela 3.1 estão representados os solos identificados na área. Em destaque os solos amostrados durante pesquisa exploratória, números 1, 2, 7 e 10. Na Figura 3.1 as áreas amostradas estão representadas pelas partes em destaque no gráfico. Nas amostragens estão representados 89 % dos solos da região, considerando que toda a área de Plintossolo está inserida dentro de áreas de reservas indígenas, indisponíveis para obras, e as áreas de Cambissolos localizadas nas áreas alagadas do pantanal. Na Figura 3.2 temos o mapa pedológico da área pesquisada.

Tabela 3.1 – Pedologia - Representatividade dos solos na região.

	NOME DA UNIDADE	SIGLA DAS UNIDADES	%
01	Latossolo Vermelho-Escuro	LE	21.1%
02	Podzóico Vermelho-Amarelo	PV	17.7%
03	Planossolo	PL	1.1%
04	Cambissolo	C	5.9%
05	Plintossolo	PT	13.8%
06	Glei Pouco Húmico	HGP	0.9%
07	Areias Quartzosas	AQ	23.7%
08	Areias Quartzosas Hidromórficas	HAQ	1.2%
09	Solos Aluviais	A	0.2%
10	Solos Litólicos	Ra	6.9%
11	Solos Concrecionarios Latossólicos	SCL	2.4%
12	Solos Concrecionarios Câmbicos	SCC	0.4%
13	Latossolo Vermelho-Amarelo Podzóico	LV	4.1%
	Total		100.00%

Distribuição Solos na Região em Estudo

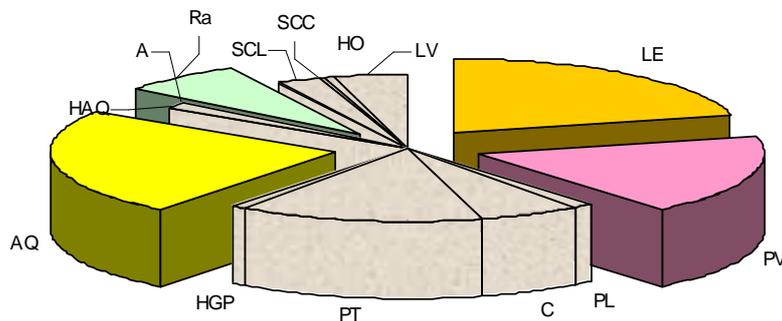


Figura 3.1 – Pedologia - Representatividade da amostragem realizada.

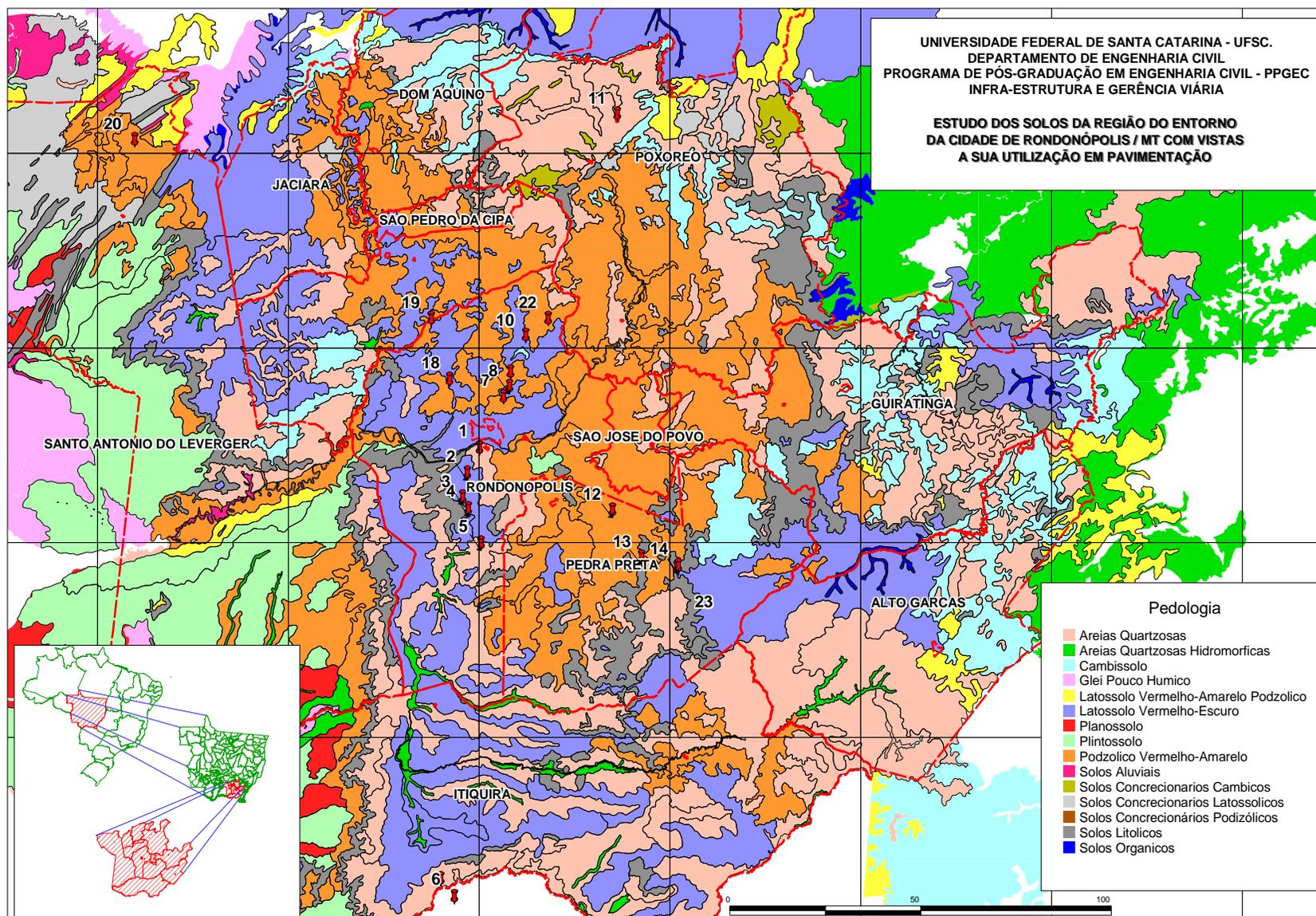


Figura 3.2 - Mapa pedológico da Região.

3.2.1 LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO

São solos minerais, profundos, bastante intemperizados, caracterizados por apresentar um horizonte B latossólico, de cor vermelho-escura, geralmente no matiz 2,5 YR e teores de Fe_2O_3 entre 8 e 18% nos solos argilosos podendo ser menor que 8%.

Apresentam boa drenagem interna, condicionada por elevada porosidade e homogeneidade de características ao longo do perfil e, em razão disto, elevada permeabilidade. Este fato os coloca como solos de razoável resistência à erosão de superfície (laminar e sulcos).

Apresentam textura média e argilosa e está relacionada a arenitos da formação Ponta Grossa a coberturas sobre litologia do Grupo Cuiabá e em especial sobre as Superfícies Peneplanizadas Terciárias.

São cobertos tanto por vegetação de Cerrado, quanto por Floresta.

Os solos argilosos, em geral, são muito utilizados com lavouras cíclicas em sistemas de manejo desenvolvidos, enquanto os de textura média são mais explorados com pastagens plantadas.

Os Latossolos Vermelhos-Escuros possuem ótimas condições físicas que aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado onde ocorrem, favorecem sua utilização com as mais diversas culturas adaptadas à região. Estes solos por serem ácidos e distróficos, ou seja, com baixa saturação de bases, requerem sempre correção de acidez e fertilização. A ausência de elementos tanto os considerados macros quanto os micronutrientes é uma constante para estes solos.

Em geral, não apresentam nenhum tipo de impedimento físico, tais como presença de cascalhos, pedras, matacões ou outros, que comprometam o uso de máquinas ou o desenvolvimento de raízes.

Com relação à erosão superficial têm relativamente boa resistência ao processo em condições naturais ou de bom manejo.

No que diz respeito à erosão em profundidade, são muito susceptíveis, tanto os originados de arenitos quanto os da Superfície Peneplanizada Terciária, cabendo destaque para os de textura média.

Os argilosos, localizados nos chapadões, por possibilitarem uma utilização intensiva de máquinas, via de regra, apresentam problemas de compactação de sua camada subsuperficial, junto a uma pulverização excessiva da camada superficial, o que facilita a erosão e algumas vezes até mesmo a erosão eólica, além de reduzir a produtividade.



Ponto 02



Ponto 03



Ponto 03



Ponto 03

Figura 3.3 – Latossolo Vermelho-Escuro.

3.2.2 PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO

São solos minerais, não hidromórficos, com horizontes B textural, de cor vermelho-amarelada e distinta diferenciação entre os horizontes no tocante a cor, estrutura e

textura, principalmente. São profundos, com argila de atividade baixa, horizonte A dos tipos moderado e chernozêmico e textura média/argilosa em sua maioria.

Solos com textura arenosa/média, foram constatados também, porém com menor frequência. A presença de cascalho e os caracteres plíntico e epiconcrecionário, bem como as fases pedregosa e rochosa foram verificados.

Ocorrem solos álicos, distróficos e eutróficos e são cobertos por vegetação de Floresta e Cerrado. O principal tipo de uso verificado sobre os mesmos é a pastagem plantada.

Originam-se da intemperização de material litológico diverso, relativo a unidades geológicas referidas desde o Cenozóico ao pré-Cambriano.

Em face da grande diversidade de características que interferem no uso agrícola, tais como saturação de bases e por alumínio, textura, profundidade, atividade da argila, presença de cascalhos e pedras, além da ocorrência nos mais variados relevos, não se pode generalizar para a classe como um todo suas qualidades e limitações ao uso agrícola. De uma maneira geral, pode-se dizer que os Podzólicos são solos bastante susceptíveis à erosão, sobretudo quando há maior diferença de textura do A para o B, presença de cascalhos e relevo mais movimentado com fortes declividades. Neste caso, não são recomendados para agricultura, prestando-se para pastagem e reflorestamento ou preservação da flora e fauna.

Quando localizados em áreas de relevo plano e suavemente ondulado, livres de cascalhos, pedras e outros impedimentos físicos, estes solos podem ser usados para diversas culturas, desde que sejam feitas correção da acidez e adubação, principalmente quando se tratar de solos distróficos ou álicos.

Pode-se afirmar que a presença do B textural é um fator negativo particularmente no caso de erosão do tipo superficial. Entretanto, outras características têm também grande importância no processo erosivo. Assim, diferenças com relação à classe textural, ao gradiente textural, ao tipo de estrutura, à permeabilidade etc., influenciarão na maior ou menor erodibilidade. A erosão em profundidade, no caso de solos com B textural argiloso ou muito argiloso, encontra maior dificuldade para desenvolvimento.



Ponto 07



Ponto 07



Ponto 12



Ponto 12

Figura 3.4 – Podzólico Vermelho-Amarelo.

3.2.3 PLANOSSOLO

Solos minerais hidromórficos, com mudança de textura abrupta entre o A ou o E e o horizonte B textural que tem alta densidade aparente, cores de redução e/ou mosqueados, decorrentes de drenagem imperfeita ou má.

São solos rasos ou de profundidade média, com baixa permeabilidade abaixo da superfície, em decorrência da porosidade total muito baixa. Isto favorece o encharcamento temporário a que estão sujeitos em consequência da situação topográfica baixa que ocupam em áreas receptoras de águas, provenientes dos terrenos de cotas mais elevadas. Em contraposição ao período em que permanecem molhados, durante a época seca, estes solos tornam-se duros a extremamente duros e usualmente fendilham-se no

horizonte Bt. Quanto à saturação por bases e por alumínio ocorrem solos eutróficos, distróficos ou álicos, porém são predominantemente eutróficos. Alguns desses Planossolos possuem teores de sódio trocável entre 8 e 20%, sendo neste caso, caracterizados como Planossolo Solódico.

Quanto à textura há também grande variação, sendo mais freqüente arenosa no A e média no B ou média no A e argilosa no Bt.

São desenvolvidos a partir de sedimentos semi-consolidados e inconsolidados da Formação Pantanal (Quaternário) e encontram-se cobertos por vegetação Florestal ou campestre em relevo plano.

As principais limitações decorrem de: drenagem imperfeita ou má; alta densidade aparente e permeabilidade lenta no horizonte Bt.

Nos Planossolos Solódicos, além das limitações decorrentes das propriedades físicas já mencionadas, há restrições ao uso em função dos teores médios de sódio trocável no Bt e/ ou C.

São, do ponto de vista morfológico, muito propensos aos processos erosivos, particularmente àqueles de ação superficial. A presença do horizonte B textural de muito baixa permeabilidade e a mudança textural abrupta, são os principais condicionantes de sua elevada erodibilidade, entretanto há que se ressaltar que a sua ocorrência em locais planos e abaciados, com tendência à acumulação de água e sedimentos, de certa forma ameniza o problema.

3.2.4 CAMBISSOLO

Solos minerais não hidromórficos, com horizonte A sobre horizonte B incipiente, ou seja, um horizonte pouco evoluído, no qual apenas se manifestam as características de cor e/ou estrutura, sem contudo haver outras características indicadoras de maior evolução para caracterizar outros horizontes tais como B textural, B latossólico, B espódico ou horizonte plíntico.

São solos pouco profundos a rasos, com pequena diferenciação de horizontes, ausência de acumulação de argila, textura franco-arenosa ou mais fina (mais argilosa), cores normalmente amareladas e brunadas. Quando derivados de rochas cristalinas (gnaisses, granitos, migmatitos etc.), de um modo geral apresentam materiais primários facilmente decomponíveis no interior de sua massa. A textura é média ou argilosa, podendo ocorrer cascalhos.

Na área em estudo predominam os cambissolos com argila de atividade baixa e quanto à saturação de bases são distróficos, ou seja, apresentam saturação de bases e com alumínio baixas, sendo entretanto mais freqüente a ocorrência de solos com saturação com alumínio alta, maior que 50%, tendo, portanto, caráter álico.

As características presença de plintita e de concreções (epiconcrecionários), são comuns em áreas mais abaciadas.

Em face da grande diversidade de propriedades e também de relevo, não se pode generalizar o uso e as limitações destes solos. A maior parte da área destes solos tem relevo ondulado, forte ondulado ou montanhoso, onde as limitações são fortes ou muito fortes em decorrência da susceptibilidade à erosão.

Nas áreas de relevo plano e suavemente ondulado, quando os solos tem boa profundidade e não apresentam pedregosidade e/ou rochosidade, podem ser usados para agricultura, porém tem que haver controle da erosão, além da correção da acidez e adubação, tendo em vista que os solos são álicos ou distróficos.

As áreas mais acidentadas, sobretudo com relevo forte ondulado e montanhoso, devem ser preservadas para a proteção da flora e fauna.

Têm também erodibilidade bastante variável em razão da diversidade de suas características de textura, profundidade, permeabilidade etc. Sulcos e ravinas são muito comuns sobre estes solos.

3.2.5 PLINTOSSOLO

São solos minerais hidromórficos ou pelo menos com sérias restrições de drenagem, tendo como característica principal a presença de horizonte plíntico dentro de 40 cm da superfície ou a maiores profundidades quando subsequente a horizonte E ou abaixo de horizontes com muitos mosqueados de cores de redução ou de horizontes petroplínticos.

Geralmente ocorrem em locais planos e baixos, onde há oscilação do lençol freático.

São solos imperfeitamente ou mal drenados, tendo horizonte plíntico de coloração variegada com cores acinzentadas alternadas com cores avermelhadas e intermediárias entre estas. Este horizonte submetido a ciclos de umedecimento e secagem e após rebaixamento drástico e prolongado do lençol freático, desidrata-se irreversivelmente e torna-se extremamente duro quando seco.

Apresentam uma grande diversificação em textura, tendo-se constatado desde solos arenosos até argilosos, sendo característica a grande diferença de textura do A ou E para o horizonte B, por vezes, com mudança textural abrupta.

Quanto às características químicas, foram constatados solos normalmente com argila de atividade baixa. Quanto à saturação de bases e alumínio verifica-se uma grande diversidade, ocorrendo solos distróficos e eutróficos e também álicos, sendo que estes últimos e os distróficos predominam na área, havendo portanto dominância de solos ácidos.

Originam-se em geral de sedimentos recentes do Quaternário comuns em planícies de inundação de rios/córregos e de arenitos. A cobertura vegetal natural é de Campo, Campo Cerrado e Floresta, via de regra em relevo plano ou suave ondulado com murundus (covoal).

A principal limitação relaciona-se com a drenagem imperfeita ou má, que limita bastante o uso destes solos durante uma parte do ano, quando ficam saturados com água. Em face da diversidade da textura e de suas características químicas, há que se considerar estes aspectos no uso destes solos.

A questão é semelhante aos Planossolos e Solonetz Solodizados. Por ocorrerem em áreas de recepção, estão sujeitas a um regime especial de sedimentação/remoção, que está diretamente ligado à dinâmica hídrica regional.

Porém, a ocorrência do horizonte plíntico de baixa permeabilidade é responsável por elevadíssima erodibilidade. A presença constante de covoads em suas áreas de ocorrência é tida como consequência de processos erosivos, embora haja controvérsias. Entretanto é válido mencionar que em todas as áreas de covoads a presença de solos com presença de plintita ou petroplintita é uma constante.

3.2.6 GLEI POUCO HÚMICO

Solos minerais hidromórficos, com horizontes glei abaixo do horizonte superficial (A ou H com menos de 40 cm) e cores de redução (normalmente cinzentas ou azuladas) em decorrência da presença de ferro em sua forma reduzida (Fe_{+2}).

São mal ou muito mal drenados, encharcados, ocorrendo em áreas baixas, com textura variável de média a muito argilosa, argila de atividade baixa, saturação de bases normalmente baixas, por vezes, álicos e menos freqüentemente com alta saturação de bases.

Invariavelmente se desenvolvem a partir de sedimentos do Quaternário Recente, geralmente aluvionares.

As principais limitações ao uso agrícola decorrem da má drenagem, com presença de lençol freático alto e dos riscos de inundações que são freqüentes. A drenagem artificial é imprescindível para torná-los aptos à utilização agrícola com um maior número de culturas. Há limitações também ao emprego de máquinas agrícolas.

Após drenagem e correção das deficiências químicas, sobretudo nos solos álicos e distróficos, prestam-se para pastagens, capineiras, e diversas culturas, principalmente cana-de-açúcar, banana e olericultura. Em áreas próximas aos grandes centros consumidores, estes solos podem ser usados intensivamente com olericultura.

Também têm erodibilidade variável em razão de fatores como, textura, descontinuidades litológicas, etc. Porém, sua ocorrência em locais inundáveis, os coloca na mesma condição dos Planossolos e outros.

3.2.7 AREIAS QUARTZOSAS

Esta classe compreende solos minerais arenosos, bem a fortemente drenados, normalmente profundos ou muito profundos, essencialmente quartzosos, virtualmente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo.

Têm cores vermelhas, amarelas e vermelho-amareladas, baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes, excessiva drenagem e grande propensão ao desenvolvimento de erosão profunda (voçorocas e ravinas).

Ocorrem geralmente em relevo que varia do plano ao ondulado, sob vegetação tanto de Cerrado quanto de Floresta e têm como material de origem arenitos diversos e mais raramente sedimentos arenosos quaternários.

A preservação da vegetação natural seria a melhor recomendação no caso destes solos. Entretanto, podem ser usados para cultivo de espécies adaptadas como o cajueiro e reflorestamentos com espécies pouco exigentes em nutrientes, e ainda para pastagens nativas ou plantadas.

São particularmente susceptíveis à erosão em profundidade, em razão de sua constituição arenosa com grãos soltos, que possibilitam o fácil desbarrancamento, principalmente no caso de barrancos de beira de estradas e de caixas de empréstimo de material para construção, devido a fácil desagregabilidade de seu material constituinte.

A erosão superficial também é verificada, porém perde sua eficácia em razão da grande permeabilidade dos solos, determinada principalmente pela textura arenosa.



Ponto 01



Ponto 01

Figura 3.5 – Areias Quartzosas - Pontos amostrados.

3.2.8 AREIAS QUARTZOSAS HIDROMÓRFICAS

São solos minerais, hidromórficos, com textura nas classes areia ou areia franca até a profundidade de 2 metros pelo menos.

Ocorrem em ambientes com restrição de drenagem, geralmente com lençol freático elevado, condicionando a ocorrência de cores claras, com mosqueados ao longo do perfil do solo. Colorações mais escuras são verificadas no horizonte superficial A em razão da matéria orgânica que encontra dificuldades de mineralização nestes ambientes.

Originam-se, via de regra, de sedimentos arenosos recentes, referidos ao Quaternário e estão cobertos quase sempre por vegetação de Floresta Hidrófila de Várzea. Mais esporadicamente se verificam Campos Hidrófilos e Vereda Tropical.

A fertilidade natural é baixa (álícos ou distróficos), o que impõe sempre a necessidade de correções químicas para seu aproveitamento.

A textura muito arenosa, a presença do lençol freático elevado e as possibilidades de inundação, são os principais fatores limitantes ao aproveitamento agrícola.

Por ocorrerem sob regime hídrico especial, sujeitos a constantes inundações, este fato determina também um comportamento especial destes solos no tocante a susceptibilidade a erosão.

3.2.9 SOLOS ALUVIAIS

Solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, formados em depósitos aluviais recentes, nas margens de cursos d'água. Apresentam apenas um horizonte A sobre camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si.

Devido a sua origem de fontes as mais diversas, esses solos são muito heterogêneos quanto à textura e demais propriedades físicas e químicas que podem variar num mesmo perfil entre as diferentes camadas, e podem ser tanto eutróficos como distróficos ou álicos. A atividade da argila varia de alta a baixa.

Geralmente constituem os diques marginais à água dos rios e quase sempre estão cobertos por vegetação Florestal.

Decorrem dos riscos de inundação por cheias periódicas ou por acumulação de água de chuvas na época de intensa pluviosidade. De uma maneira geral, os solos aluviais são considerados de grande potencialidade agrícola, mesmo os de baixa saturação de bases. As áreas de várzeas onde ocorrem, são de relevo plano, favorecendo a prática de mecanização agrícola intensiva. Pela própria origem, são solos heterogêneos no que diz respeito às características físicas e químicas, o que certamente vai influenciar seu uso. Os solos eutróficos, de textura média, são os mais apropriados para diversas culturas.

Como já mencionado, são solos que apresentam grande diversificação de características e isto faz com que também tenham grande diversificação no tocante a erodibilidade. Porém, de uma maneira geral apresentam razoável vulnerabilidade à erosão laminar, por quase sempre apresentarem camadas de diferentes permeabilidades internamente.

Quanto à erosão em profundidade, via de regra, são muito susceptíveis, em razão de se tratarem de camadas descontínuas e muito distintas entre si.

Invariavelmente ocorrem nas diversas planícies de inundação de rios e córregos, dispersos por todo o Estado, entretanto quase sempre como componentes subdominantes em planícies muitas vezes não cartografáveis em escalas pequenas.

3.2.10 SOLOS LITÓLICOS

Os solos litólicos são pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos, com horizonte A sobre a rocha ou sobre horizonte C, sendo que estes horizontes apresentam, geralmente, fragmentos de rocha.

A textura é freqüentemente arenosa ou média, podendo ocorrer textura argilosa e raramente siltosa. As propriedades químicas são heterogêneas, podendo ocorrer caráter álico, distrófico ou eutrófico, com capacidade de troca de cátions variando de baixa a alta.

Os solos litólicos podem ter sua origem relacionada a vários tipos de material geológico, tanto de rochas ígneas como sedimentares e metamórficas e desde básicas a ácidas, e ocorrem sob vegetação Campestre, de Cerrado e Floresta.

Preferencialmente ocupam locais com forte declividades, geralmente encostas de morros e bordas de chapadas.

As fases pedregosa e/ou rochosa são comuns nesta classe de solos.

As limitações mais comuns para este tipo de solo são a pequena espessura, a freqüente ocorrência de cascalhos e fragmentos de rocha no seu perfil e a grande susceptibilidade à erosão, mormente nas áreas de relevo acidentado.

Nos solos distróficos e álicos, há também o problema da baixa fertilidade natural, que impõe a necessidade de correções químicas.

As áreas de ocorrência destes solos, sobretudo quando acidentadas, são mais apropriadas para preservação da flora e fauna.

A susceptibilidade à erosão é altíssima em qualquer dos casos e é determinada basicamente pela ocorrência do substrato rochoso à pequena profundidade. Este fato é agravado pela sua ocorrência preferencialmente em locais declivosos.

3.2.11 SOLOS CONCRECIONÁRIOS LATOSSÓLICOS

São solos bem drenados, com horizonte B latossólico e ocorrência de elevada quantidade de concreções ferruginosas ao longo do perfil (geralmente acima de 50% por volume) que dificultam muito o uso de máquinas agrícolas e a penetração de raízes. Além disso, os solos são pobres, com baixa saturação de bases.

O horizonte A é quase sempre do tipo moderado, a fertilidade natural é baixa, são distróficos ou álicos, a textura é média ou argilosa.

São profundos, com transição quase sempre difusa entre os horizontes.

Geralmente ocorrem em superfícies aplanadas dos Planaltos elevados, relacionados a Superfície Peneplanizada Terciária, sob vegetação de Cerrado, Carrasco e mesmo Floresta.

A presença da característica “latossólica” atribuída aos mesmos, é um fator que funciona como atenuante dos processos erosivos, pois pressupõe um material de melhor permeabilidade, pelo menos em relação a outros solos, como os Solos Concrecionários Podzólicos ou Câmbicos.

3.2.12 SOLOS CONCRECIONÁRIOS CÂMBICOS

São solos bem drenados, de profundidade mediana, caracterizados por apresentar um horizonte B câmbico e presença de concreções de ferro ao longo do perfil em quantidade maior que 50% por volume, na massa do solo.

O horizonte A é do tipo moderado, a textura é média ou argilosa, estão sob vegetação de Cerrado Tropical Subcaducifólio e o relevo de ocorrência é suave ondulado.

Não se prestam à utilização com lavouras, sendo a pastagem de capim brachiária o tipo de utilização mais comum sobre estes solos.

Estão relacionados aos filitos do Grupo Cuiabá, em sua maioria.

A presença expressiva de concreções e a baixa fertilidade natural, associam-se neste caso a uma menor profundidade do perfil do solo, para restringir as possibilidades de uso agrícola sobre os mesmos.

3.2.13 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO PODZÓLICO

São solos bem drenados, caracterizados pela ocorrência de horizonte B latossólico de cores vermelhas a vermelho-amareladas, com teores de Fe_2O_3 iguais ou inferiores a 11% e normalmente maiores que 7%, quando a textura é argilosa ou muito argilosa.

São profundos, bastante intemperizados, o que se reflete na baixa capacidade de troca de cátions e saturação de bases.

As características físicas são muito favoráveis ao aproveitamento agrícola, refletidas em boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e penetração de raízes.

Ocorrem tanto com textura argilosa quanto média. Em ambos os casos são bastante utilizados, ora com pastagens plantadas (textura média) e ora com lavouras (textura argilosa). O relevo de sua ocorrência é suave ondulado ou plano, sob vegetação de Cerrado e Floresta.

Estes Latossolos, assim como os demais, também possuem boas condições físicas, que aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado, favorecem a utilização com diversas culturas adaptadas ao clima da região. As principais limitações decorrem da acidez elevada e da fertilidade baixa. Requerem um manejo adequado, preocupado com correção da acidez e fertilidade e controle de erosão, sobretudo nos solos de textura média que são mais susceptíveis. A deficiência de micronutrientes ocorre também, sobretudo nos solos de textura média.

Apenas a diferença textural marcante atua como um fator indutor dos processos erosivos de superfície, considerando-se os demais Latossolos. Portanto, esta característica lhes atribui uma maior vulnerabilidade frente aos processos erosivos.

3.3 GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO

Na região em estudo afloram 11 unidades litoestratigráficas (Tabela 3.2), na Figura 3.6 temos uma representação gráfica da distribuição destas unidades e na Figura 3.7 o mapa com a localização destas ocorrências na área de abrangência da pesquisa.

Neste capítulo é apresentada a conceituação das unidades litoestratigráficas no que tange à sua definição, distribuição, seus principais constituintes litológicos, suas relações litoestruturais, potencialidade mineral e feições geotécnicas mais relevantes, no que se refere à fragilidade à erosão, instabilizações e tipos de solo.

Tabela 3.2 - Principais unidades litoestratigráficas

	NOME DA UNIDADE	SIGLA DAS UNIDADE	%
01	Aluviões Atuais	Ha	1.64%
02	Formação Aquidauana	CPa	28.12%
03	Formação Botucatu	Jb	9.66%
04	Formação Furnas	SDf	14.75%
05	Formação Marília	Km	8.82%
06	Formação Pantanal	Qp	11.42%
07	Formação Ponta Grossa	Dpg	7.29%
08	Grupo Cuiabá	PScb	6.12%
09	Grupo Rio Ivai	OSri	1.42%
10	Suite Intrusiva São Vicente	eOgv	1.02%
11	Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização	Tpspl	9.73%
	Total		100.00%

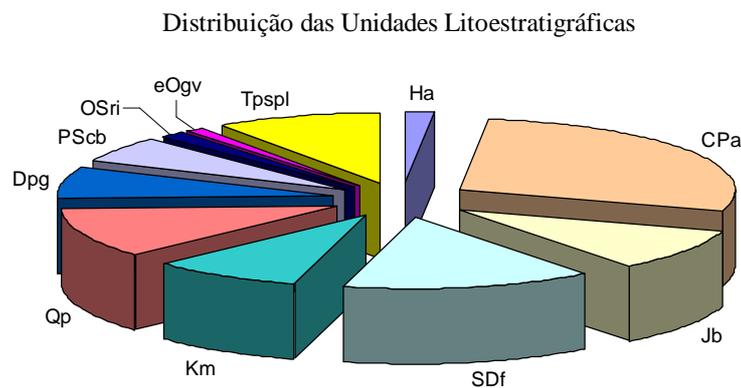


Figura 3.6 – Unidades litoestratigráficas predominantes na região.

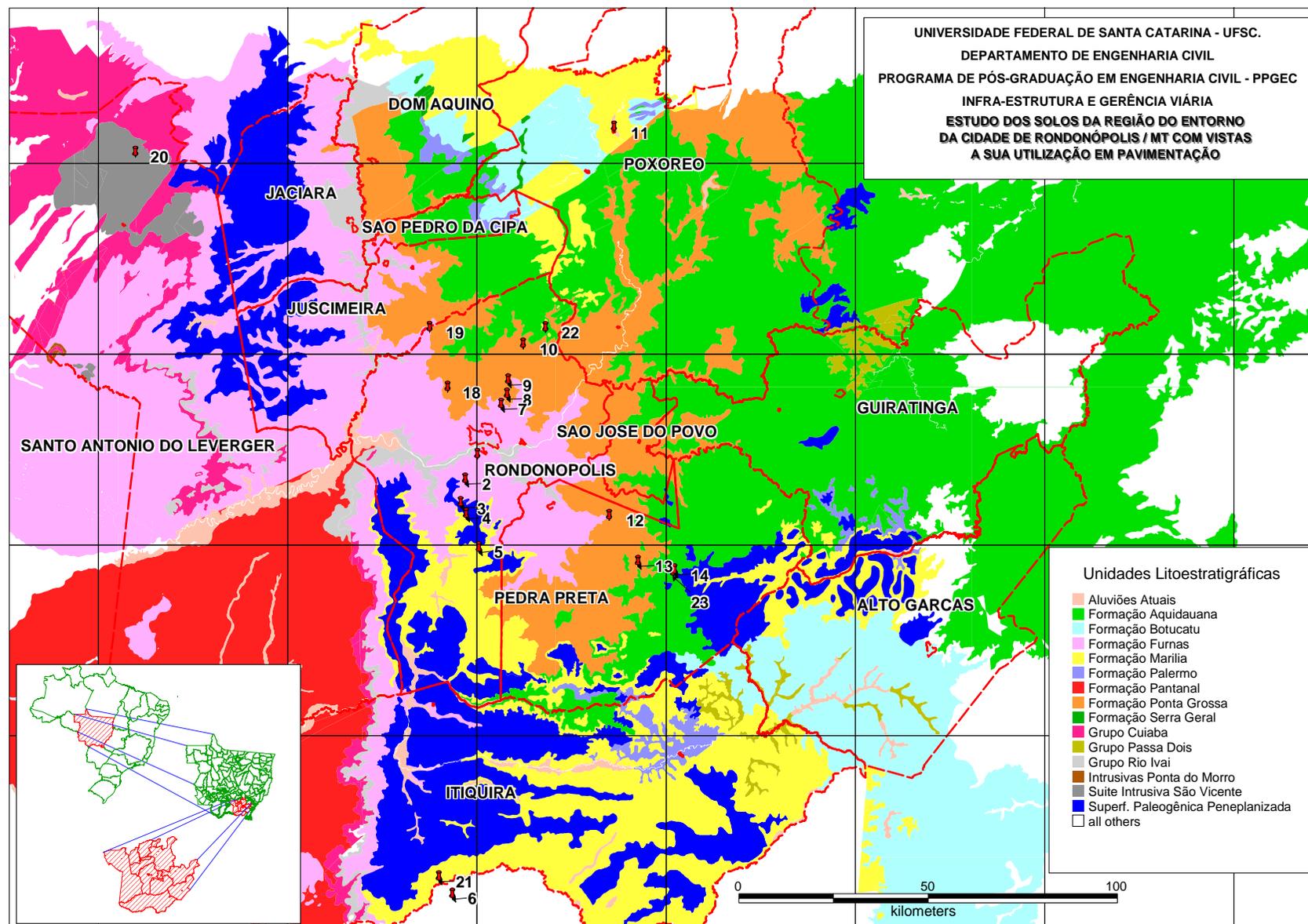


Figura 3.7 - Mapa Geológico da Região.

Tabela 3.3 – Idade das principais unidades litoestratigráficas

EON	ERA	PERÍODO	DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Ha - Aluviões Atuais: areias, siltes, argilas e cascalhos		
			Qp - Formação Pantanal: Sedimentos arenosos, siltico-argilosos, argilo-arenosos e areno-conglomeráticos semi-consolidados e inconsolidados. Localmente com ferruginosas e salinas		
	MESOZÓICO	PALEO-GENO	Tpspl - Superfície Peneplanizada com Latossolização: solos argilosos a argilo-microagregados de coloração vermelha-escura. Podem apresentar na base crosta ferruginosa, raramente com nódulos concrecionários de caulinita sotopostos às crostas ferruginosas.		
		CRETÁ-CEO	Km - Formação Marília: arenitos de granulometria variada, paraconglomerados e arenitos argilosos, calcíferos em diferentes horizontes e, subordinadamente, níveis de siltitos e argilitos		
	PALEOZÓICO	JURÁSSICO	GRUPO SÃO BENTO	Jb - Formação Botucatu: arenitos finos a médios, bimodais, com grãos bem arredondados e estratificações cruzadas de grande porte. Podem ocorrer na forma de intertrapes com basaltos. Desenvolvem extensos areiais	
		PERMO-CARBONÍFERO	SUPERGRUPO TUBARÃO	CPa - Formação Aquidauana: arenitos com níveis conglomeráticos e intercalações de siltitos, argilitos e subordinadamente diamictitos.	
		DEVONIANO	GRUPO PARANÁ	Dpg - Formação Ponta Grossa: arenitos finos a muito finos com intercalações de siltitos, argilitos e delgados níveis conglomeráticos	
		SILURO-DEVONIANO		Sdf - Formação Furnas: arenitos ortoquartzíticos de granulometria grosseira a localmente fina. Na base apresentam horizontes conglomeráticos monomíticos de espessuras métricas	
		ORDOVÍCIO-SILURIANO	OSri - Grupo Rio Ivaí: arenitos finos em bancos espessos e maciços, grosseiros e conglomeráticos em posições basais		
		CAMBRIANO	eOgv - Suite Intrusiva São Vicente: Granitos isotropos róseos de composição alcalina e subalcalina.		
PROTEROZÓICO	SUPERIOR	PScb - Grupo Cuiabá: filitos diversos, metassiltitos, ardósias, metarenitos, metagrauvascas, xistos, metaconglomerados, quartzitos, metavulcânicas ácidas e básicas, mármore calcícticos e dolomíticos. Presença conspícua de veios de quartzo.			

3.3.1 ALUVIÕES ATUAIS - Ha

As aluviões são constituídos por areias, siltes, argilas e cascalhos com litificação variável. Representam unidades do Quaternário e conseqüentemente as litologias mais jovens.

Compreendem todos os depósitos de planícies aluviais ao longo da rede de drenagem. São muito expressivos ao longo do Rio São Lourenço, no âmbito da planície pantaneira. São muitos restritos no restante da área, refletindo alvéolos condicionados por litotipos resistentes a erosão.

No entorno de Rondonópolis, ao longo do Rio Vermelho e afluentes, existem várias extrações de areia e cascalho, ligados a depósitos fluviais.

Nos terrenos altos, as planícies aluviais são muito restritas e embutidas, destacando-se apenas um alvéolo do rio Itiquira, originado por barramento associado a falha normal, onde o rio alcança a Serra São Jerônimo. Da região da cidade de Itiquira para montante, há grande quantidade de cascalhos nas aluviões. Na mesma área ocorrem cascalheiras pré-aluviões holocênicas, em níveis ligados à drenagem atual, produto do retrabalho dos depósitos pleistocênicos e de contribuição de termos silicosos de unidades mais antigas.

Cabe maior expressão apenas para os depósitos pantaneiros dos rios Itiquira e Piquiri. São depósitos constituídos basicamente por termos arenosos com características muito variáveis, essencialmente quartzosos. Ambientes associados à planície podem apresentar deposição mais notável de finos.

Da análise da distribuição de depósitos aluvionares, observa-se uma correlação direta entre esses depósitos e a dinâmica sub-atual/atual dos terrenos que apresentam tendência a agradação ou denudação, e que essa tendência, por sua vez, encontra-se controlada pelo arcabouço geológico-geotectônico que controla o aparecimento de províncias morfoestruturais.

3.3.2 FORMAÇÃO AQUIDAUANA – Cpa

O nome Aquidauana foi utilizado pela primeira vez para designar sedimentos vermelhos que ocorrem no vale do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul, indicando como seção tipo aquela atravessada pela estrada de Ferro Noroeste do Brasil, neste mesmo vale.

No Estado de Mato Grosso a Formação Aquidauana constitui-se predominantemente de sedimentos arenosos de coloração vermelha arroxeada.

Foram identificados três conjuntos litológicos nessa unidade. A porção inferior caracteriza-se por predominância de arenitos vermelho-arroxeados, médio a grosseiros, estratificação cruzada acanalada, com desenvolvimento subordinado de diamictitos, clásticos finos, arenito esbranquiçado grosseiro e delgado conglomerado basal.

Na porção média existe amplo desenvolvimento de siltitos, folhelhos e arenitos finos, vermelho-arroxeados, finamente estratificados plano-paralelamente; localmente, intercalados neste conjunto, ocorrem diamictitos, folhelhos cinza e cinza esverdeados; nos termos argilosos a estratificação apresenta localmente aspecto várvido.

Na porção superior da formação voltam a predominar os sedimentos arenosos, no topo da unidade ocorre, em muitos locais, um pacote de 30 m de espessura constituído de arenito vermelho-tijolo, médio, regularmente selecionado, com estratificação cruzada do tipo planar.

A coloração avermelhada dos sedimentos e as estruturas sedimentares, principalmente cruzada acanalada, sugerem que a deposição ocorreu em ambiente continental, altamente oxidante, por sistemas fluviais e lacustrinos associados. Não são encontrados sedimentos tipicamente glaciais, embora seja suposta a presença de ambiente glacial próximo à área de sedimentação.

Rumo ao sul podem ser reconhecidos, de uma maneira geral, dois níveis estratigráficos nesta unidade, sendo que o superior corresponde aos bancos de arenitos maciços que sustentam os relevos alcantilados, enquanto que o nível inferior apresenta maior predomínio de sedimentos finos, siltico-argilosos, argilo-arenosos e argilosos.

A seqüência superior é constituída por arenitos avermelhados, ligeiramente feldspáticos, no geral de granulometria fina e com pouca matriz, ocorrendo em bancos com espessuras decimétricas a métricas, maciços ou com tênue laminação plano-paralela e desenvolvendo solos arenosos e quartzosos; enquanto que na seqüência inferior aparecem sedimentos predominantemente argilosos, com franca estratificação plano-paralela, laminados, quebradiços e dispostos em estratos delgados ou maciços de maior espessura. Argilitos com lentes de arenitos apresentando dobras convolutas são observados na área, possivelmente retratando ambiente glacial proximal.

A Formação Aquidauana mostra-se fortemente estruturada por tectonismo E-NE, NE e, secundariamente, NW, detectável pela análise do mapa geológico, sendo reconhecível um eixo de reativação que passa pelas cidades de Rondonópolis, Guiratinga, Tesouro, General Carneiro, Barra do Garças. Ao longo desse eixo encontra-se importante província de águas termais, cuja origem é atribuída a águas de formação que se aquecem em profundidade e retornam à superfície, com ou sem artesianismo.

Blocos basculados da Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização observáveis da Serra da Saudade, refletem uma tectônica moderna, com o topo da superfície cimeira inclinado.

De forma geral, a Formação Aquidauana desenvolve solos de textura arenosa, delgados, da ordem de 0,2 a 1 m, ou ligeiramente superiores em casos específicos. São comuns processos de ravinamento e algumas voçorocas, no geral associadas às águas servidas ao longo de rodovias, ou no sopé de paredões em morros residuais, resultando de processos naturais de recuo de escarpas, cujos processos podem estar mais ou menos relacionados com a ocupação antrópica.

3.3.3 FORMAÇÃO BOTUCATU - Jb

Compreende uma seqüência de arenitos avermelhados, finos a médios, com abundantes estratificações cruzadas. Os grãos apresentam distribuição bimodal, são quartzosos, friáveis, foscos e geralmente bem arredondados. Localmente, e com maior freqüência na parte basal, ocorrem arenitos argilosos mal selecionados.

A fração mais fina deste arenito é constituída predominantemente por grãos angulosos e sub-angulosos, enquanto que a fração mais grossa é formada por grãos sub-angulosos e arredondados, sendo comum a presença de grãos perfeitamente esféricos, geralmente com superfícies fosca.

Sobre os arenitos desta formação desenvolvem-se solos muito arenosos, apresentando espessuras médias de 1 a 2 m sendo freqüente a presença de extensos areais, muito susceptíveis a formação de ravinas e voçorocas, com espessuras maiores, de até 5 metros.

As exposições de arenitos argilosos devem-se à alteração da rocha, com forte componente de hidromorfismo. Na borda ocidental dos afloramentos, exatamente no contato com o Grupo Bauru, ocorrem areníticos muito finos, com laminação milimétrica destacada por silicificação, originando bandamento fino ou ainda arenitos totalmente silicificados, com nódulos de sílica que desorganizam totalmente a trama original da rocha. Apresentam cores arroxeadas com manchas brancas.

A Formação Botucatu desenvolve espessos horizontes pedológicos, com grande domínio de Latossolos e de areias quartzosas. Nas áreas de cobertura laterítica desenvolvem-se tipos pedológicos argilosos. Os perfis lateríticos chegam a atingir de 10 a 15 m de espessura, como na Serra Vermelha.

Os solos arenosos oriundos da unidade são suscetíveis aos processos erosivos mais drásticos, como nas bordas dos planaltos residuais ou em pontos isolados. Aparentemente, os arenitos Botucatu, friáveis e porosos, sobrepostos à Formação Corumbataí, de natureza argilosa e impermeável, acumula água no lençol freático. Esta água, ao alimentar as drenagens nas quebras de relevo, torna-se foco natural de processos erosivos que evoluem por piping e por solapamento das encostas.

A rodovia BR-364 praticamente limita os solos claros e arenosos do Botucatu ao sul, com os solos argilo-arenosos vermelho-escuros ao norte (Latosolos Argilosos Vermelhos - Escuros). A Formação Botucatu caracteriza-se, no geral, por relevos de colinas amplas,

suavemente convexas, com vales amplos, abertos e rasos, ocorrendo bossas de arenitos silicificados que localmente desenvolvem os chamados “cocurutos”.

Presença de ferruginização capeando o solo ou cimentando os arenitos ocorrem ocasionalmente. Os arenitos podem se apresentar silicificados ou não. Em geral, apresentam granulometria fina, são quartzosos, de cor bege ou rosada, com estratificações cruzadas tabulares, bom grau de arredondamento e seleção.

3.3.4 FORMAÇÃO FURNAS – Sdf

A Formação Furnas é a unidade basal do Grupo Paraná. O nome Furnas foi utilizado para designar os arenitos das escarpas da Serra de Furnas e de Serrinha (PR), aflorantes desde o norte da estação Serrinha até as imediações de Itapeva (SP). A mesma seqüência sedimentar havia recebido anteriormente outras denominações, entre as quais a de Serrinha, Arenito Branco de Faxina e Arenito da Chapada. Em que pese o caráter prioritário destas últimas denominações, o nome Furnas prevalece por ser de aceitação e uso generalizado.

A Formação Furnas consiste de arenitos esbranquiçados, localmente arroxeados, médios a grosseiros, friáveis em superfície, regularmente selecionados, grãos angulares a sub-angulares, quartzosos e com matriz caulínica. Secundariamente, desenvolvem-se intervalos de pequena espessura de arenitos conglomeráticos, arenitos finos e siltitos argilosos, sendo estes últimos freqüentemente micáceos. Os arenitos conglomeráticos são mais freqüentes na parte inferior da formação, constituídos principalmente de seixos e grânulos de material quartzoso. Estratificação cruzada acanalada é a feição sedimentar mais conspícua da formação. Além desta, encontram-se também intervalos com estratificação cruzada planar e estratificação plano-paralela. O ambiente de sedimentação é controverso sendo postulado ambiente praiar, estuarino principalmente, francamente marinho a continental para sua gênese, por diferentes autores.

O tipo de estratificação cruzada, a presença de estruturas de corte e preenchimento, depósitos residuais de canais nos quais são encontrados seixos de argila e a neoformação de caulinita indicam ambiente continental fluvial para a Formação Furnas.

No Estado de Mato Grosso ocorre sobreposta, por discordância, ao Grupo Rio Ivaí, ao longo da borda oriental da Serra de São Jerônimo e em desconformidade sobre o Grupo Cuiabá, e sotoposta à Formação Ponta Grossa, ambas aflorantes na região em estudo, mostrando contatos transicionais. Para o topo, seu limite é balizado pelas primeiras ocorrências de pelitos laminados, intercalados a arenitos. Com a Formação Marília o contato é erosivo.

A unidade distribui-se em quatro regiões distintas e de forma descontínua. A primeira e mais extensa ocorre ao longo da borda ocidental da Serra de São Jerônimo, ocupando extensas áreas no topo da serra. Nesta posição recobre o Grupo Rio Ivaí e estende-se para leste, ocupando os vales dos rios São Lourenço, Vermelho e Jerigue, em ampla região rebaixada ao longo dos mesmos. Sua distribuição regional, tanto quanto a do Grupo Rio Ivaí, obedece ao condicionamento de grandes blocos estruturais

Os arenitos Furnas estão dispostos, predominantemente, em bancos maciços de espessuras métricas. Ocasionalmente, apresentam estratificação cruzada de porte variado e tangencial na base. Pacotes com laminação grossa refletem arenitos com constituição micácea, sendo mais comumente encontrados no topo da unidade. As seqüências mais comuns mostram bancos de arenitos finos e muito finos alternados, ocasionalmente de granulometria média e, mais raramente, com intercalações conglomeráticas de matriz média a grossa e pequenos seixos e grânulos de quartzo.

São freqüentemente quartzosos, ocasionalmente com alguma mica. Podem conter feldspatos e, neste caso, filmes de caulim envolvem os grãos de areia. De modo geral, são arenitos bem selecionados, com grãos sub-angulosos a arredondados, pobres em matriz. Texturas sacaróides são raras. A cor branca é característica.

Nesta região, observa-se que os sedimentos Furnas foram sujeitos aos processos de aplanamento que atuaram no paleogênico (Superfície de Aplanamento Sul Americana), e suas camadas foram pedogenizadas e também deram origem aos Latossolos Argilosos Vermelho-Escuros.

Os arenitos Furnas desenvolvem solos espessos nos topos dos chapadões, que quando observado em ravinas variam de 3 a 5 m de espessura. São arenosos, predominantemente residuais, porém observam-se solos mais delgados nas áreas mais íngremes. Ravinas, algumas voçorocas e quedas de blocos são os processos dominantes na evolução das escarpas.

Nos chapadões, os solos são arenosos, quartzosos, pouco espessos, da ordem de 1 m, com ravinas ocasionais. Nas escarpas há queda de blocos, escorregamentos e ravinamento no sopé. Na Figura 3.8 um exemplo de solo comum nesta formação.



Formação Furnas – Área de aterro para instalação de indústria
Coordenadas X: L 750.142 Y: UTM 8.172.390 (Ponto 01)



Formação Furnas – Plantação de soja
Coordenadas X: L 746.928 Y: UTM 8.165.927 (Ponto 02)

Figura 3.8 – Formação Furnas.

3.3.5 FORMAÇÃO MARÍLIA – Km

As primeiras considerações a respeito da Formação Marília ocorreram quando, no Estado de São Paulo, definiram-na para representar sedimentos ricos em cimento calcífero, amplamente fossilíferos, ocorrentes na parte superior da “Série” Bauru. A unidade foi descrita composta por arenitos grosseiros a conglomeráticos, matriz calcífera, ocorrência em bancos com espessura média de 1 a 2 m, maciços ou com acamamento incipiente subparalelo e descontínuo, raramente apresentando estratificações cruzadas de médio porte, com seixos concentrados nos estratos cruzados; raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcário são encontrados.

A Formação Marília ocorre na porção leste do Estado de Mato Grosso, na forma de manchas descontínuas e isoladas, distribuídas caoticamente na Bacia do Paraná e controlada por grandes lineamentos que permitem supor uma sedimentação mais extensa e que esta tenha sido destruída em decorrência de atividade tectônica moderna e processos erosivos subseqüentes.

Na região em estudo, a Formação Marília ocupa posições cimeiras em extensos chapadões cobertos por espessos horizontes lateríticos que condiciona latossolos argilosos. Aflora nas escarpas da Serra Petrovina e no fundo de vales suaves que ocorrem no topo do chapadão, que se estende para leste; nas rupturas sustentadas por laterita da Serra São Jerônimo e extensões para leste; na Serra Bogovira, um residual aplanado no interior da planície pantaneira; a norte no interflúvio entre os rios São João/Poxoréu e tributários do São Lourenço e Vermelho, onde ocupa o topo de morros residuais.

A caracterização da Formação Marília na área é restrita a conglomerados e arenitos silicificados, com níveis de silcretos intercalados. Os conglomerados mostram características que variam localmente. São comumente silicificados, de cor marrom e marrom-arroxeadado, ricos em matriz, com grânulos, seixos e blocos polimíticos. Clastos de quartzo e sílica amorfa são predominantes, com tamanhos mais comuns entre 1,5 e 6,0cm, variando para cada local. O arredondamento é muito variado. São comuns clastos maiores de arenitos e argilitos Ponta Grossa e Aquidauana. É comum matriz com argila e areia grossa a média. Muito raramente a silicificação deixa preservadas estruturas fluviais,

principalmente estratificações cruzadas e feições de granocrescência internas aos pacotes.

Os solos são arenosos, residuais, geralmente espessos, da ordem de 1 a 3 m, podendo atingir espessuras entre 3 a 5 m. São comuns cascalhos dispersos na superfície. Ravinamento é o processo dominante de erosão concentrada, embora não generalizado.

A porção basal é predominantemente constituída por arenitos conglomeráticos silicificados e ferruginizados. Os clastos são cimentados por uma massa afanítica silicosa. São grânulos e seixos pequenos, de quartzo, sílica amorfa e arenito silicificado, em matriz arenosa média e grossa. Constituem bancos métricos, maciços, que não guardam qualquer evidência da sedimentação. A cor típica é marrom arroxeadado, com variações para vermelho rosado e marrom pálido, dependendo do grau de alteração. Os seixos atingem até 10 cm, mas em pequenas quantidades. Na Figura 3.9 temos exemplos de solos típicos desta formação.



Afloramentos da formação Marília sobre formação furnas
Coordenadas X: L 768.112 Y: UTM 8.205.627 (Ponto 22)



Exploração de jazida de arenito da formação Marília
 Coordenadas X: L 750.529 Y: UTM 8.147.941 (Ponto 05)

Figura 3.9 – Formação Marília.

3.3.6 FORMAÇÃO PANTANAL - Qp

Referem-se a vazas, arenitos e argilas formando uma capa relativamente delgada sobre o embasamento paleozóico da bacia do Alto Paraguai. A Formação Pantanal é constituída de sedimentos de natureza arenosa fina a siltico argilosa, com pouco cascalho disperso. Sua presença sugere a existência de um terraço mais antigo, elevado, isto é, pleistocênico, que não é inundável nas épocas de cheia. Englobam dentro da Formação Pantanal os sedimentos que compõem todos os níveis de terraços fluviais, sendo, o mais elevado, caracterizado como planície aluvial antiga, o nível intermediário, como terraço aluvial sub-recente; e o nível mais baixo, como aluviões recentes.

A planície pantaneira bordeja o limite oeste da área, mais expressivamente no quadrante sudoeste. Em superfície, ocorrem areias inconsolidadas de cor bege, granulometria predominantemente fina a média, mal selecionadas e com bom arredondamento. São essencialmente quartzosos e pobres em matriz, onde em superfícies ligeiramente deprimidas, condicionam termos areno-argilosos ricos em matéria orgânica. Esse conjunto ocupa os terraços mais altos, não submetidos as inundações sazonais.

Depressões úmidas condicionam termos areno-argilosos ricos em matéria orgânica. Esse conjunto ocupa terraços mais altos, não submetidos à inundação sazonal. A seqüência subsuperficial não aflora nos vales rasos, onde se observa apenas aluviões recentes. Os solos são arenosos com pouca matriz argilosa e espessuras médias ao redor de 1 m.

3.3.7 FORMAÇÃO PONTA GROSSA – Dpg

O termo Ponta Grossa foi utilizado pela primeira vez para designar os folhelhos aflorantes nos arredores da cidade homônima, no Paraná. A Formação Ponta Grossa constitui-se de folhelhos, folhelhos sílticos e siltitos cinza-escuros a pretos, localmente carbonosos, fossilíferos, micáceos, com intercalações de arenitos cinza-claros, finos a muito finos, grãos angulares e sub-angulares, argilosos, localmente formando bancos de até 5 m de espessura. Quando alterada, a Formação apresenta cores variegadas, predominando colorações amarela, arroxeadas e castanha.

A estrutura sedimentar mais conspícua é a laminação plano-paralela. Em certos intervalos são observadas estratificações cruzadas de pequeno porte, localmente acanalada, laminação cruzada, laminação flaser, marcas onduladas, bioturbação e estruturas de escorregamento.

O conteúdo fossilífero da Formação Ponta Grossa indica, de maneira inquestionável, condições marinhas de deposição. A maior parte dos sedimentos da Formação Ponta Grossa foram depositados em ambiente de águas rasas sob influência de marés. Os folhelhos pretos laminados parecem ter-se depositados em águas calmas, e estão presentes em subsuperfície.

A Formação Ponta Grossa apresenta ampla distribuição no Estado de Mato Grosso, na área em estudo, ocorre sob Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização, tendo seu contato inferior balizado pelas cidades de Jaciara, Juscimeira e Rondonópolis.

Camadas e lentes de siltitos micáceos aparecem intercalados com freqüência. São acinzentados, maciços ou com laminação grossa, geralmente decimétricos. Mais raramente ocorrem camadas de arenitos e arenitos siltosos, micáceos, maciços ou com laminação grosseira. O conjunto de camadas, quando presentes termos mais grossos,

podem configurar estratos cruzados de grande porte, com inclinações muito suaves, geralmente capeados por argilitos horizontalizados.

Os solos são residuais e de texturas argilosas, bem desenvolvidos, salvo raras exceções argilo-arenosas. No geral, apresentam pequenas espessuras, ocorrendo desde solos com predomínio de afloramentos rochosos até solos com espessuras aproximadas de 3 m ou mais. Delgados níveis de crostas ferruginosas, atribuíveis ao nível freático, são relativamente comuns e apresentam-se descontínuos, intercalados nas laminações dos pacotes. Os processos erosivos são principalmente ravinas, assim como, as incisões de encostas, embora pouco freqüentes. Na Figura 3.10 temos exemplos de ocorrências típicas nesta formação.



Área de serrado (Ponto 09)



Ravinamento (Ponto 10)



Corte de estrada (Ponto 12)



(Ponto 08)

Figura 3.10 – Formação Ponta Grossa.

3.3.8 GRUPO CUIABÁ - PScb

Os calcários, via de regra, ocorrem juntamente com os mármore em bancos maciços sob forma lenticular dentro da seqüência xistosa, possuem pequena espessura e aspecto sacaróide. Os quartzitos possuem granulação fina, estratificação plano-paralela, raramente cruzada, com abundância de moscovita. As grauvacas relativamente freqüentes, têm grande dureza e quase nunca ostentam estratificação, as vezes intercalam-se com filitos produzindo típicos acamamentos gradacionais.

Os solos são geralmente muito rasos, entre 0,1 e 1,0 m argilosos e argilo-arenosos, amarelados e avermelhados, freqüentemente muito cascalhentos, ricos em fragmentos de quartzos angulosos e, localmente, muito laterizados e/ou associados à crosta laterítica ferruginosa. Erosão concentrada é desencadeada quando ocorre remoção da crosta laterítica, normalmente utilizada como material de empréstimo para cascalhar estradas.

Na região em estudo, o Grupo Cuiabá ocorre ao longo da Serra de São Jerônimo, em contato com os sedimentos quaternários da planície pantaneira, no sopé da serra, e sotoposto às seqüências paleozóicas do Grupo Rio Ivaí e da Formação Furnas.

É constituído por metassedimentos com grau metamórfico incipiente. São metargilitos, metassiltitos e metarenitos com tênue foliação. A constituição dos arenitos é quartzofeldspática. Micas ocorrem em pequena porcentagem, mesmo nos termos finos.

Metarenitos e metassiltitos ocorrem no núcleo de dobras macroscópicas, muito pouco foliados e mesmo maciços. Os metargilitos, em posição de flanco de dobra, apresentam foliação mais desenvolvida.

A orientação geral da foliação está para nordeste, com mergulhos para sudeste. É deslocada freqüentemente por falhamentos normais. A estruturação geral indica dobras recumbentes com vergência para norte. São dobras muito fechadas, de flancos paralelos e eixos direcionados para nordeste, com mergulho das camadas para sudeste.

3.3.9 GRUPO RIO IVAÍ - OSrI

No Estado de Mato Grosso, a distribuição espacial do Grupo Rio Ivaí está condicionado ao limite inferior de grandes blocos estruturais, delimitados por importantes lineamentos tectônicos, verificados na borda ocidental da Serra de São Jerônimo, onde a unidade foi cartografada na forma de uma franja acompanhando as escarpas que delimitam a referida serra. Movimentos relativos de blocos foram diagnosticados ao longo de seus traçados, com rejeitos ainda indeterminados, mas, presumivelmente, da ordem de dezenas de metros.

Os arenitos são finos a muito finos, menos freqüentemente médios, quartzosos, pobres em matriz e quase sempre micáceos, ocasionalmente feldspáticos. O selecionamento é bom e o arredondamento variado, geralmente bom. Constituem bancos maciços, esbranquiçados, de espessuras métricas, por vezes, internas aos estratos, laminação grossa e cruzadas de porte médio. Os termos areníticos são mais expressivos na Serra São Jerônimo, com intercalações finas, extremamente micáceas, subordinadas.

A constituição litológica do Grupo Rio Ivaí nos Estados de Goiás e Mato Grosso, particularmente na região de Rondonópolis, apresenta muita similaridade quando confrontada com as seqüências atribuíveis à Formação Furnas. É provável que a inexistência de trabalhos sistemáticos de detalhe estejam levando a considerar os mesmos pacotes no âmbito de uma ou outra unidade estratigráfica.

A regionalização das unidades deve ser feita a partir de mapeamento sistemático, apoiado por cuidadoso estudo paleontológico, pois critérios litológicos não são conclusivos na distinção das unidades estratigráficas silurianas ou pré-silurianas. O conteúdo fossilífero é o critério diagnóstico.

Desse modo, adotou-se cartografia conservadora para o Grupo Rio Ivaí, atribuindo-lhe apenas os termos sobrepostos ao Grupo Cuiabá na delgada faixa ao longo das escarpas da Serra São Jerônimo e aqueles aflorantes nas calhas dos rios São Lourenço, Vermelho e Jerigue. Não se pode descartar, que a unidade tenha maior extensão que a mapeada, principalmente ante a Formação Furnas.

3.3.10 SUÍTE INTRUSIVA SÃO VICENTE – eOgv

A Suíte Intrusiva São Vicente corresponde a um conjunto de 6 corpos granitóides Rapakivi (São Vicente, Cuiabá - MT; Serra Negra, Sul de Goiás; Coxim, MS; Taboco, MS; Serra do Iran, MS; e Granito Serra do Impertinente, MS). Estes corpos apresentam características de corpos intrusivos pós-tectônicos, formando comumente auréolas de contato nas encaixantes. O corpo de São Vicente possui coloração rosada, com matizes variadas amarelas ou cinzas. É de granulação média a grosseira, isótropo, com cristais de ortoclásio ultrapassando um centímetro de comprimento, não tendo sido observados tipos pórfiros e só raramente tipos orientados.

As rochas da Suíte Intrusiva São Vicente ocorrem na serra de São Vicente, município de Santo Antônio de Leverger, norte da área estudada. Estudos petrográficos efetuados pelo IPT, (1981), em rochas desta suíte, caracterizou granito/adamelito, com textura hipidiomórfica granular a porfirítica de granulação média, constituído de ortoclásio-microclínio ($\pm 35\%$), quartzo ($\pm 35-40\%$), plagioclásio-oligoclásio ($\pm 20-25\%$), biotita ($\pm 5\%$) e traços de allanita, apatita, zircão e magnetita.

O relevo sobre este granito, no geral, é dissecado com interflúvios de topo colinoso e aguçado, cuja drenagem é controlada principalmente por fraturamento. A estruturação apresenta padrão ortogonal e losangular. Na porção leste, o maciço apresenta na imagem textura rugosa e tonalidade cinza escura, enquanto que na sua porção oeste, onde o mesmo é mais arrasado, o relevo é mais suave e na imagem apresenta uma textura rugosa fina e tons cinza claro. Os solos na área mais acidentada são de natureza predominantemente coluvionar e apresentam profundidades inferiores a 1 m, enquanto que, na porção mais arrasada, apresentam profundidades variáveis de 1 a 2 m. Tratam-se de solos areno-argilosos e argilo-arenosos. Na superfície verifica-se comumente a presença de uma areia grossa constituída de quartzo anguloso proveniente da desagregação do granito. Junto a este maciço destaca-se ainda a presença freqüente de lajedos e campos de matações.

No domínio dessas rochas não foram registrados problemas de erosão concentrada e assoreamento de drenagem. O impacto ambiental ocasionado pelas pedreiras instaladas

sobre este granito restringem-se às proximidades das áreas de lavra. A porção sul do maciço granítico está parcialmente recoberta pelos sedimentos da Formação Pantanal. Na Figura 3.11 temos uma jazida de exploração de granito nesta área.



Figura 3.11 – Exploração de jazida de granito.

3.3.11 SUPERFÍCIE PALEOGÊNICA PENEPLANIZADA COM LATOSSOLIZAÇÃO – Tpspl

Trata-se de uma extensa superfície de aplanamento paleogênica, com grandes testemunhos na Chapada dos Parecis e na Bacia do Paraná, que se desenvolveu mais tipicamente sobre formações cretácicas.

O material subjacente a esta superfície corresponde a porção desmantelada por processos intempéricos. Apresentam cor vermelha escuro, sem estruturação e nem segregações de ferro ao longo do perfil de natureza eminentemente argilosa, podendo atingir até 30 m de espessura. Na base do perfil, pode ou não aparecer crosta laterítica com 1 a 2 m de espessura, capeando horizonte arenoso com nódulos concrecionários de caulinita com 2 a 10 cm de diâmetro.

É considerada como formação edafoestratigráfica, supostamente admitida de ter-se desenvolvida em superfície peneplanizada no Paleogeno, laterizada com geração de crostas lateríticas, as quais foram posteriormente destruídas por processos pedogenéticos que geraram os latossolos argilosos vermelho-escuro.

Estes solos têm como característica uma macro estrutura porosa constituída por grumos de argila ligados entre si através de pontes de materiais mais finos e/ou ligações cimentantes e por partículas maiores de silte e areia. Do ponto de vista geotécnico, estes solos quando submetidos a uma solicitação externa e saturados sofrem deslocamentos verticais (recalques) significativos, que podem chegar a dezenas de centímetros. Estes recalques são devidos a perda de estabilidade de sua estrutura, ocasionada pela queda de resistência das ligações de sua macro-estrutura. A queda de resistência é provocada principalmente pela saturação da água que, por sua vez, ocasiona queda de resistência das ligações cimentantes e redução das tensões de sucção (tensões capilares) existentes nas pontes de materiais mais finos.

A grande quantidade de argila neste material imprime excelente resistência ao estabelecimento de processos erosivos, não tendo sido identificado processos de erosão concentrada nestes materiais argilosos.

Na região de Rondonópolis tais coberturas ocorrem no chapadão da Serra Petrovina; em extensões para norte na Serra da Jibóia, que se eleva no limite sul da folha; no chapadão da Serra São Jerônimo e extensões laterais para leste; e, localmente, sobre o chapadão da Serra São Jerônimo a norte do Rio São Lourenço. Ocorrências de pequena extensão ocorrem invariavelmente, não sendo passíveis de cartografia.

No SE da folha, nas escarpas da Serra Petrovina, observou-se as maiores espessuras do perfil de alteração, essencialmente argiloso, com cerca de 8 m de espessura mínima.

Coberturas autóctones ocorrem no amplo chapadão que se esboça na Serra São Jerônimo e se estende para leste nos divisores principais. Isoladamente aparecem na Serra da Jibóia e em níveis pedimentares rebaixados. Aparentemente, na Folha Itiquira desenvolve-se sobre rochas da seqüência Marília, exceto em pequeno trecho da Serra São Jerônimo, onde recobre o Furnas.

Na vertente do Rio Corrente, a escarpa que sustenta as bordas do chapadão apresenta entre 10 e 15 m de laterita sob o Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa. Nessa região, à medida que se avança dos vales para o topo, em encostas suavemente convexas com longos segmentos retilíneos, percebe-se a passagem de areia quartzosa para latossolos arenosos e, gradativamente, para os latossolos argilosos típicos da cobertura. Tais passagens refletem a dinâmica superficial atual, denotando o progressivo desmantelamento do chapadão e a intensa lixiviação dos solos.

A homogeneidade dos materiais é notória. São horizontes lateríticos de espessuras de 2 a 5 m, podendo chegar a 15 m, com solos espessos, argilo-arenosos, de cor vermelho escuro em perfis métricos e uniformes. Variações no gradiente textural devem-se à compactação em glebas agrícolas. Na Figura 3.12 apresenta exemplos de solos existentes nesta formação.



a) Plantação de soja (Ponto 03 no mapa)



b) Jazida de solo laterítico (Ponto 14 no mapa)

Figura 3.12 – Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização.

3.4 GEOMORFOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO

Um Sistema Geomorfológico tem uma estrutura interna definida, caracterizada pelas suas variáveis de estado, tais como litologia, pendente regional, estruturas, etc. Estas variáveis de estado relacionam-se e modificam-se por processos climáticos e geológicos, ou seja as variáveis de transformação. Estas variáveis são numerosas, tais como erosão, transporte, sedimentação, intemperismo, pedogênese, oscilação de nível freático, etc. As variáveis de transformação (processos) se mobilizam por aportes externos de energia e matéria (calor solar, ventos, chuvas, etc.).

Na geomorfologia da região se destacam as serras de São Jerônimo a oeste e a Serra da Petrovina a sudeste, Pantanal a oeste e a Serra Preta a sudeste. A região é drenada pela bacia hidrográfica do Rio São Lourenço e de seu principal afluente, o Rio Vermelho, que correm para a região pantaneira e pelos rios Itiquira e Corrente, este fazendo limite entre os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A região abriga a cidade de Rondonópolis, principal centro urbano da região meridional do Estado de Mato Grosso. Apresenta ainda outras localidades de menor importância, tais como: Pedra Preta e Nova Galiléia, ao longo da rodovia BR-364; Anhumas e Itiquira, ao sul e, Santa Elvira e Juscimeira, ao norte.

O principal acesso à Rondonópolis, a partir de Cuiabá, é feito pela BR-364, a mesma rodovia faz ligação com a cidade de Alto Garças e Alto Araguaia e daí para os estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo. Para sul, sua ligação com o Estado de Mato Grosso do Sul é feita pela BR-163. Várias estradas vicinais cortam a região, provendo-a de boa malha rodoviária, que fica mais rarefeita na sua porção ocidental, em terrenos mais próximos da região do Pantanal. O restante da área é coberta por uma malha de estradas de terra, relativamente rarefeita, mas transitável em época seca.

Os sistemas identificados na área em estudo estão inseridos na grande unidade estrutural denominada Bacia Sedimentar do Paraná, que ocupa extensões consideráveis no centro-leste da Plataforma Sul-Americana e comporta-se como uma unidade geotectônica autônoma de idade fanerozóica. Seu preenchimento, com mais de 5.000 m de sedimentos e lavas, está associado a deformações tectônicas e movimentos epirogênicos regionais (SANTOS, 2000).

No território nacional, essa bacia sedimentar tem extensão aproximada de 1.000.000 km² e abrange vários estados da Federação. No Estado de Mato Grosso, ocupa grandes áreas da região sudeste.

Os compartimentos geomorfológicos foram esculpidos, predominantemente, em rochas paleozóicas das formações Aquidauana, Ponta Grossa e Furnas e mais localizadamente no Grupo Rio Ivaí. Em porções mais restritas, de topografia elevada, seu substrato é formado por sedimentos de unidades mesozóicas (Formação Botucatu e Grupo Bauru) e de coberturas terciárias. Os relevos de agradação estão localizados na porção ocidental da região, ao longo do Rio São Lourenço, principalmente a jusante da barra do Rio Vermelho (SANTOS, 2000). A distribuição dos principais compartimentos geomorfológicos estão representados na Figura 3.13.

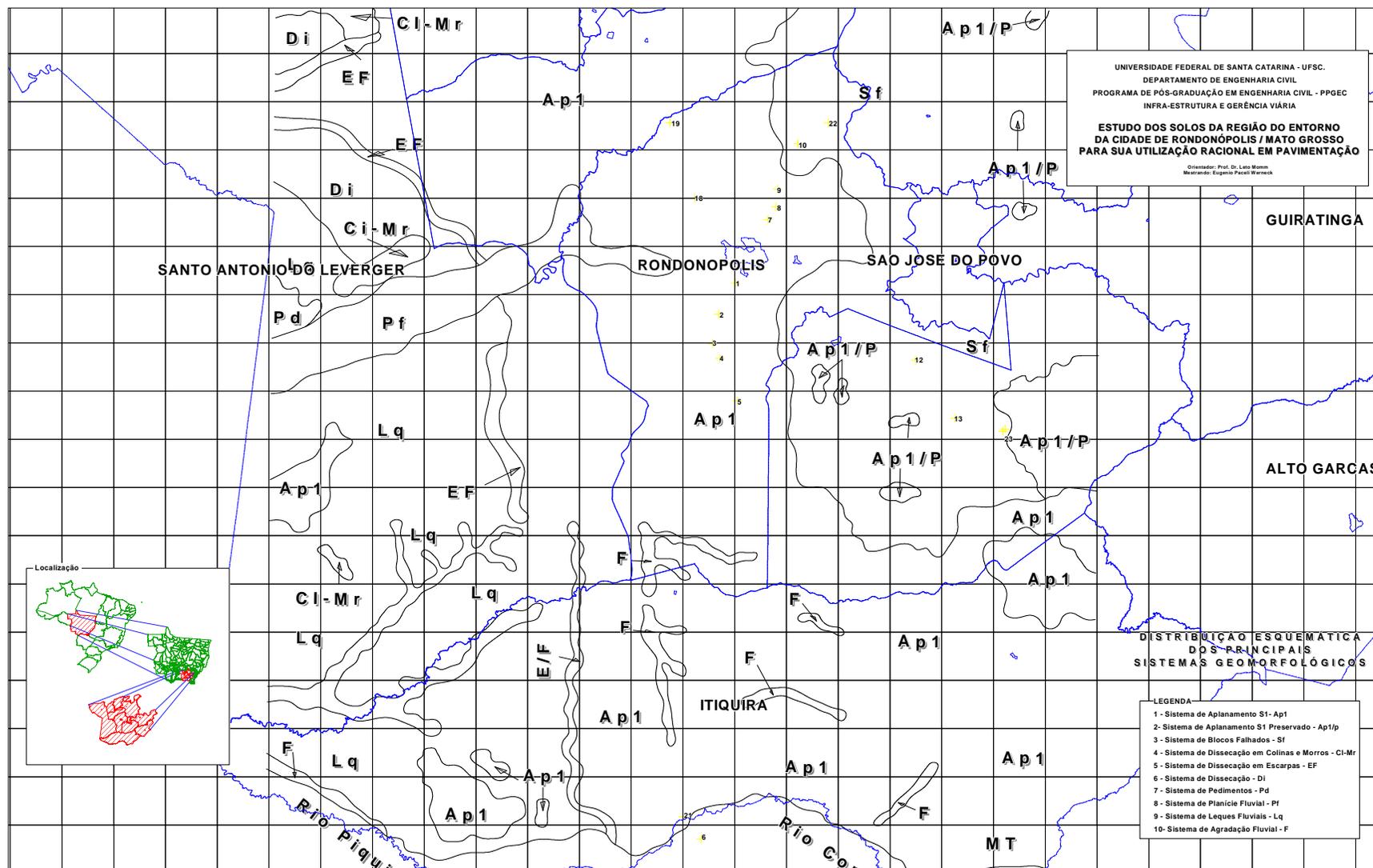


Figura 3.13 - Distribuição dos Principais Sistemas Geomorfológico.

3.4.1 SISTEMA DE APLANAMENTO S1 - Ap1

Esse sistema constitui a superfície cimeira da área e apresenta uma cobertura pedogênica terciária desenvolvida sobre os sedimentos siliciclásticos das formações Furnas, Aquidauna e Marília. Ocupa a maior parte da área distribuindo-se em duas faixas; a primeira, de maior distribuição, localiza-se nas porções central e ocidental, correspondendo a uma extensão sul da Chapada dos Guimarães. Altimetricamente, a superfície cai suavemente para sul. Ao norte, apresenta altitudes acima de 700 m, nas cabeceiras do Rio Prata e do Córrego Saia Branca, formadores do Rio São Lourenço; enquanto que, ao sul, acha-se subnivelada em cotas ao redor de 500 m, na região da Serra da Onça e na localidade de Anhumas.

A segunda faixa, estreita e descontínua, situa-se porção ocidental, encontrando maior expressão ao sudeste na Serra da Petrovina. Corresponde ao compartimento topograficamente elevado, com altitudes entre 740 a 770 m, fazendo limite ao sul com o Estado do Mato Grosso do Sul.

O relevo é caracterizado por modelados planos com topos tabulares preservados e tabulares suavemente dissecados Ap1/s e convexos Ap/s, com graus de dissecação crescentes relacionados às calhas fluviais. Esse modelado está desenvolvido notadamente sobre arenitos da Formação Furnas. Nas regiões onde o relevo está mais preservado, predominam Latossolos Argilosos Vermelho-Escuro, enquanto que nas porções dissecadas podem aparecer Podzólicos Vermelho-Amarelos e Areias Quartzosas.

As formas altas, tabulares, preservadas, apresentam declives inferiores a 3%, correspondendo às chapadas. As porções com algum grau de dissecação apresentam vales rasos, amplos e de fundos planos, com vertentes longas, retilíneas, de fracos declives. Esses vales são denominados de “veredas”, característicos da morfogênese do cerrado.

Esse compartimento de relevo conecta-se com o compartimento do Sistema Estrutural - Blocos Falhados por escarpas abruptas e fortes rupturas de declives, na região leste da área. Ao oeste, seu limite com esse mesmo sistema é feito por ressaltos topográficos em anfiteatros erosivos.

3.4.2 SISTEMA DE APLANAMENTO S1 - PRESERVADO - Ap1/p

Esse modelado caracteriza-se pela sua homogeneidade morfológica, dada por extensas áreas aplanadas, limitadas, em geral, por escarpas.

Nesta área encontram-se remanescentes desse sistema geomorfológico em duas regiões: a primeira, no extremo sudeste, constituindo a Serra da Petrovina (Serra da Saudade), e a segunda, na porção centro sul, representada pela porção norte da Serra de São Jerônimo, ao sul do Rio Vermelho, correspondente à projeção da Chapada dos Guimarães para sul.

O primeiro setor planáltico encontra-se entre as cotas de 740 a 770 m e o segundo entre 520 e 570 m e apresentam substratos diferentes. O setor sudeste, Serra da Petrovina, é suportado por rochas areníticas da Formação Aquidauna e Botucatu, enquanto que o setor noroeste, pela Formação Marília.

O modelado de relevo é monótono, caracterizado por extensas áreas de formas planas, localmente interrompidas pelo entalhe da drenagem. Aí, no geral, os vales são amplos de fundo chato, característico das veredas. Tal modelado é comum nos altos da Serra da Petrovina.

As formações superficiais são de textura argilosa a muito argilosa, que dão origem aos Latossolos Argilosos Vermelho-Escuro, que apresentam como vegetação original Cerrados, hoje, em grande parte, substituída por agricultura mecanizada.

A dinâmica superficial é predominantemente controlada por escoamento superficial difuso, que em condições naturais é fraco. No entanto, o desmatamento e a agricultura propiciam uma erosão laminar mais acentuada. Localmente, foram observados sulcos e ravinas oriundas da má drenagem das estradas.

Na Figura 3.14 temos um perfil do sistema de aplanamento existente na Serra de São Jerônimo caracterizado por uma cobertura argilosa autóctone (superfície paleogênica peneplanizada com latossolização - Tpspl), passando através de uma articulação por escarpas estruturais, decorrente de recuo de linha de falha, para o sistema agradacional da bacia do Pantanal.

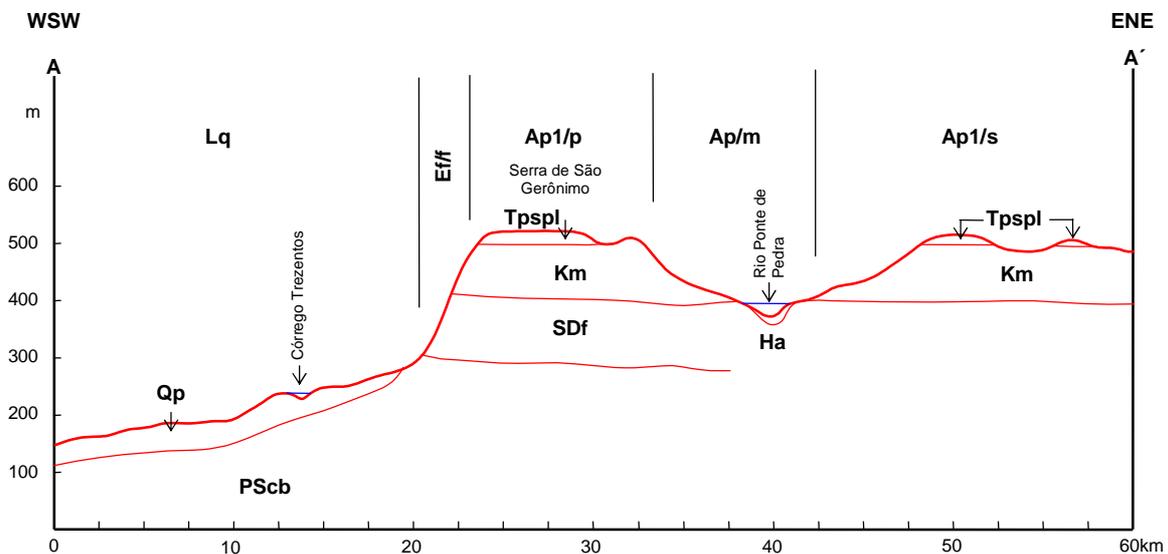


Figura 3.14 – Perfil do sistema de aplanamento Ap1/P na Serra de São Gerônimo.

3.4.3 SISTEMA DE BLOCOS FALHADOS - Sf

É caracterizado por forte controle estrutural que propiciou inúmeros blocos abatidos e outros tantos elevados, afetados por níveis de pedimentos embutidos. O controle estrutural é dado por descontinuidades que apresentam orientação principal NE-SW e, secundariamente, NW-SE e N-S. Aparentemente, muitos topos apresentam-se inclinados.

Desenvolve-se essencialmente sobre rochas areníticas paleozóicas da Formação Aquidauana (CPa) e mais restritamente sobre arenitos finos, siltitos e argilitos da Formação Ponta Grossa. No norte da área, desenvolve-se, restritamente, sobre rochas areníticas mesozóicas do Grupo Bauru, nos relevos mais elevados (acima de 660 m). A variação altimétrica desse compartimento geomorfológico situa-se entre 350 e 700 m.

Esse compartimento tem grande expressão na área em estudo. Seu limite oriento-meridional, festonado e escarpado, é dado pela Serra da Petrovina. O limite ocidental é mais impreciso, erosivo e irregular, particularmente onde a dissecação perde sua intensidade, até se juntar ao nível de aplanamento S1, mais dissecado constituído pela Serra de São Jerônimo.

Nesse compartimento, o relevo guarda estreita relação com as estruturas geológicas. Mesmo sendo pequena a área de ocorrência desse sistema, podem ser notadas depressões e altos condicionados pelas estruturas.

Os relevos desse sistema distribuem-se entre as cotas 400 a 600 m, de onde sobressaem morros residuais acima dos 700 m. A maior parte do modelado desenvolve-se sobre rochas da Formação Aquidauana e, mais restritamente (topos mais elevados), por rochas do Grupo Bauru.

É constituído genericamente por dois grupos de formas. Nas bordas escarpadas dos patamares e vales, a superfície revela-se como intensamente dissecada. As formas são de topos convexos e aguçados, com vales encaixados na própria rocha, formando verdadeiros canyons. É comum a freqüência de degraus, expondo os estratos rochosos. Nos topos dos terrenos, a superfície apresenta-se fracamente dissecada, com topos tabulares ou levemente convexos. Essa paisagem está ligada às rochas areníticas da Formação Aquidauana e suas formas refletem possíveis estruturas do tipo horst, grabens e semi-grabens.

Grande parte do limite leste desse compartimento é formado por paredões rochosos abruptos, em forma de alcantis, condicionados pelas estruturas geológicas, como por exemplo, no vale do Rio Prata.

Nas áreas de relevo mais acidentado, com predomínio de escarpas, ocorrem solos Litólicos. Nos topos dos modelados planos, onde as formações superficiais são mais espessas, desenvolve-se Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa. Nas áreas mais rebaixadas, com espaçamento interfluvial muito estreito, inferiores a 400m, ocorrem rochas de composição síltica e argilosa, com fragmentação em placas. Aí, desenvolvem-se solos Podzólicos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho-Amarelos. No restante do sistema, com suave dissecção ocorrem predominantemente Areias Quartzosas de espessuras variáveis.

A rede de drenagem principal, que tem suas nascentes na Serra da Petrovina, rios Jurigão, Prata e Areia, apresenta vales encaixados, alguns trechos formando canyons. Nas porções mais escarpadas, são comuns escorregamentos e queda de blocos.

As áreas de agradação correspondem às deposições arenosas em setores restritos, como por exemplo, ao longo dos córregos da Olaria e do Goiano, no sopé da Serra da Petrovina, junto a rodovia BR-364, onde é clara a retomada erosiva da drenagem sobre tais depósitos.

3.4.4 SISTEMA DE DISSECAÇÃO EM COLINAS E MORROS - CI-Mr

Esse sistema inclui o conjunto de relevos elaborados por processos de dissecação, constituídos por colinas, morro e morrotes, por vezes apresentando morros isolados e cristas.

O substrato rochoso dessa área corresponde a rochas do Grupo Cuiabá e sedimentos da Formação Furnas e do Grupo Bauru. A cobertura superficial é pouco espessa e são comuns afloramentos locais e matações de arenito silicificado.

Esse modelado de relevo corresponde à transição entre os compartimentos do Planalto Setentrional da Bacia do Sedimentar do Paraná e os pantanais matogrossenses. Compreende as escarpas da Serra de São Jerônimo e manchas de colinas e morros a margem direita do Rio Corrente, em parte fazendo o interflúvio com o Rio Itiquira.

As escarpas desenvolvem-se entre as cotas de 190 a 350 m, enquanto o modelado de colinas e morros se situam entre as cotas de 200 a 300 m, podendo localmente atingir 400m, como na Serra Solteira.

3.4.5 SISTEMA DE DISSECAÇÃO EM ESCARPAS - EF

Esse modelado de dissecação corresponde a uma faixa de 1 a 5 km de largura (mais comumente com 1 a 2 km), que acompanha o limite ocidental da Serra de São Jerônimo, interrompida pela passagem do Rio São Lourenço.

3.4.6 SISTEMA DE DISSECAÇÃO - Di

Este sistema está presente numa faixa, que acompanha o limite oeste da Serra de São Jerônimo mais ou menos alongada, situada no quadrante sudoeste da folha, ocorrendo com dois conjuntos de formas.

O primeiro conjunto constitui um sistema que inclui formas de relevos fortemente dissecadas, que correspondem à transição entre o Sistema Aplanado Ap1 da Serra de São Jerônimo e as porções mais altas que limitam os sedimentos da Bacia do Pantanal. Tais formas são representadas por cristas, morros e morrotes.

Esse compartimento desenvolve-se sobre arenitos da Formação Furnas e subordinadamente do Grupo Rio Ivaí e metassedimentos argilosos e siltosos do Grupo Cuiabá. Sobre os sedimentos, as formas são tabulares ou levemente convexas, enquanto que sobre os metamorfitos são convexas e mais aguçadas.

O segundo conjunto é representado por um relevo baixo, relativamente plano, onde predominam formas tabulares e convexas, localmente com ressaltos topográficos de topos tabulares e/ou aguçados, na forma de cristas.

3.4.7 SISTEMA DE PEDIMENTO - Pd

No quadrante noroeste da área, estão presentes aplanamentos, representados por pedimentos desenvolvidos como uma superfície levemente inclinada para sudoeste, onde se junta com os sistemas Leques Fluviais, em relevos de colinas amplas e planas. Abrangem cotas ao redor dos 200 m (de 150 a 220 m).

No extremo noroeste encontra-se representado o Sistema de Aplanamento- Pedimento- Pd/s (t11), que diz respeito a uma superfície aplanada sobre a Formação Furnas que ocorre na forma de ilha na Bacia do Pantanal, contornada por leques aluviais.

3.4.8 SISTEMA DE PLANÍCIE ALUVIAL - Pf

Esse sistema desenvolve-se ao longo da drenagem principal. Nos altos da Serra de São Jerônimo apresenta-se com pequena expressão e está associado às cabeceiras do Rio Prata, ao norte e às do Rio Ponte de Pedra, ao sul. Na região pantaneira, ocupam áreas

maiores, principalmente ao longo do Rio São Lourenço. Ocorrências menores desse sistema são encontradas também ao longo do Rio Peixe de Couro e da Vazante Formosa. Muitas planícies aluviais não foram mapeadas, devido as suas pequenas dimensões, não compatíveis com a escala de mapeamento.

As planícies fluviais são terrenos planos, levemente inclinados em direção ao rio, e compreendem a planície de inundação e os baixos terraços. Associam-se-lhes alagadiços e pântanos. Essas áreas são formadas por sedimentos inconsolidados, constituídos por areias, argila orgânica, argila siltosa, e, raramente, cascalhos.

Constituem relevos que se caracterizam por apresentar lençol freático elevado e, sazonalmente, sujeitos a enchentes. Ocorrem processos de deposição de finos, por decantação, durante as enchentes e de areia por acréscimo lateral. Associados ao canal fluvial ocorrem também processos de erosão.

Essas áreas são mapeadas como Aluviões Quaternários e os solos desenvolvidos, nesse material, correspondem às Areias Quartzosas Hidromórficas associadas a solos Glei Pouco Húmicos.

3.4.9 SISTEMA DE LEQUES FLUVIAIS – Lq

O Sistema de Leques Fluviais estão situados a sudoeste. Corresponde a terrenos planos, levemente inclinados na direção sudoeste, constituídos, principalmente, por depósitos arenosos e, em menor quantidade, por siltes e argilas. A área de exposição dessa feição corresponde às porções proximais de leques, ou à aba superior do leque fluvial formado pelo Rio São Lourenço e pelo Rio Itiquira.

Nota-se que essa unidade geomorfológica está sendo retrabalhada pela drenagem atual, como bem os denotam as planícies fluviais meandriforme dos rios Itiquira, Peixe de Couro, Corrente e São Lourenço.

Os leques dos rios São Lourenço e Itiquira fazem parte de uma coalescência de leques formados pelos rios Cuiabá, o próprio São Lourenço e o Taquari, mais a sul, que adentram a região deprimida do Pantanal a partir das terras altas do norte e oeste. Ao deixar o

planalto a leste, os rios São Lourenço e Itiquira adentram a zona pantaneira em cotas ao redor de 150 a 170 m.

Esse sistema tem seu substrato rochoso constituído por sedimentos quaternários, formados principalmente por areias, subordinadamente ocorrem siltes, argilas e cascalho. Os solos desenvolvidos nesses materiais são Plintossolos, Planossolos e, subordinadamente, Gleis Pouco Húmicos.

CAPÍTULO 4

4 ESTUDOS DE LABORATÓRIO

4.1 CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS

Nesta pesquisa foi utilizado, para a classificação geotécnica dos solos, o método expedito das pastilhas, utilizando anéis de 20mm e 35mm e os ensaios da metodologia MCT.

A utilização dos dois métodos das pastilhas, de 20mm e 35mm de diâmetro, teve a finalidade de avaliar os resultados dos ensaios para um mesmo solo. Foram comparadas as classificações encontradas em cada método, os procedimentos para a execução dos ensaios, os possíveis desvios etc.

4.1.1 MÉTODO EXPEDITO DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

O resultado final da classificação pelo método das pastilhas de 20mm, mostrado na Figura 4.1, apresenta os solos distribuídos em três grupos bem distintos. Em um primeiro grupo as areias e solos arenosos, no segundo grupo os solos finos de comportamento laterítico e em um terceiro os solos de comportamento não laterítico.

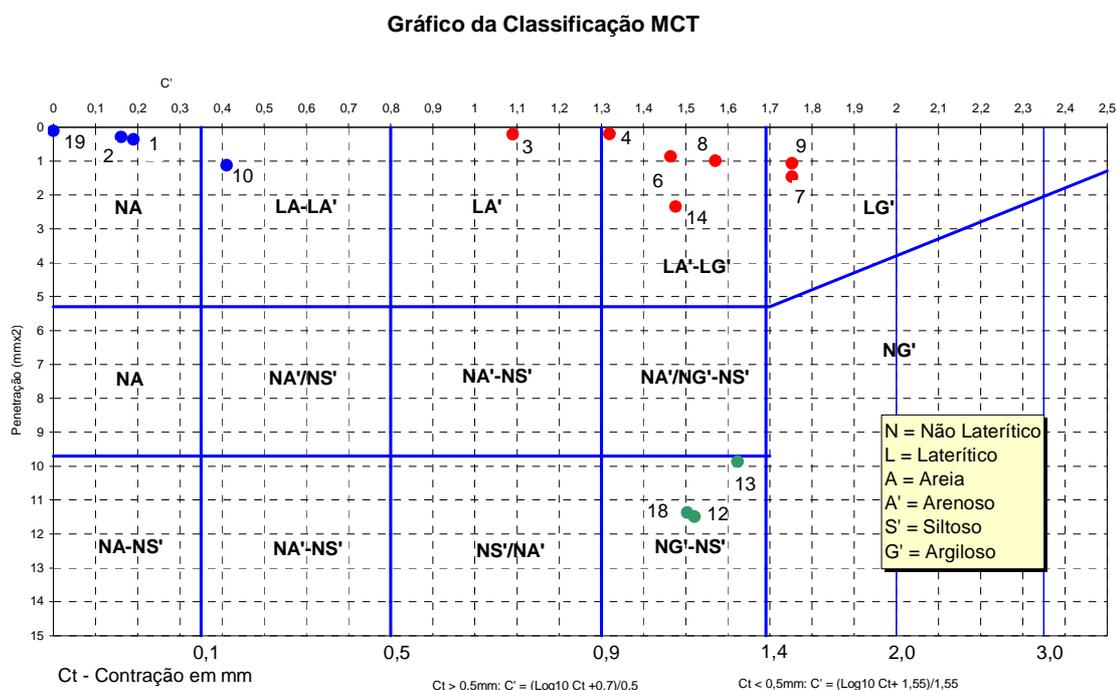


Figura 4.1 – Classificação MCT dos solos pelo método das pastilhas (20mm).

No primeiro grupo onde ficaram as amostras de números 19, 02 e 01, classificadas como areia não laterítica e a mostra 10 em uma faixa de transição entre areia laterítica e solo arenoso laterítico. O gráfico da Figura 4.2 apresenta a distribuição granulométrica destas quatro amostras. Este gráfico foi montado com o peneiramento das amostras a seco e úmido, através da lavagem do material durante o peneiramento.

A Tabela 4.1 mostra a variação do percentual passante na peneira de 0,074mm (200#) resultante dos dois peneiramentos para os quatro solos.

A avaliação destes dados sugere que o material fino aderido aos grãos, que se desprende pela ação mecânica do peneiramento e da água, confere o comportamento laterítico a estes solos. Quanto maior a presença destes finos mais se deslocou na classificação em direção aos solos lateríticos.

O solo 19, com a menor variação entre os dois peneiramentos, foi classificado como areia não laterítica, os solos 01 e 02, apesar de classificados também como areia não laterítica, tiveram um deslocamento na tabela em direção às areias lateríticas e o solo 10, que obteve a maior variação entre os dois peneiramentos, foi classificado numa faixa de transição entre areia laterítica e solo arenoso laterítico.

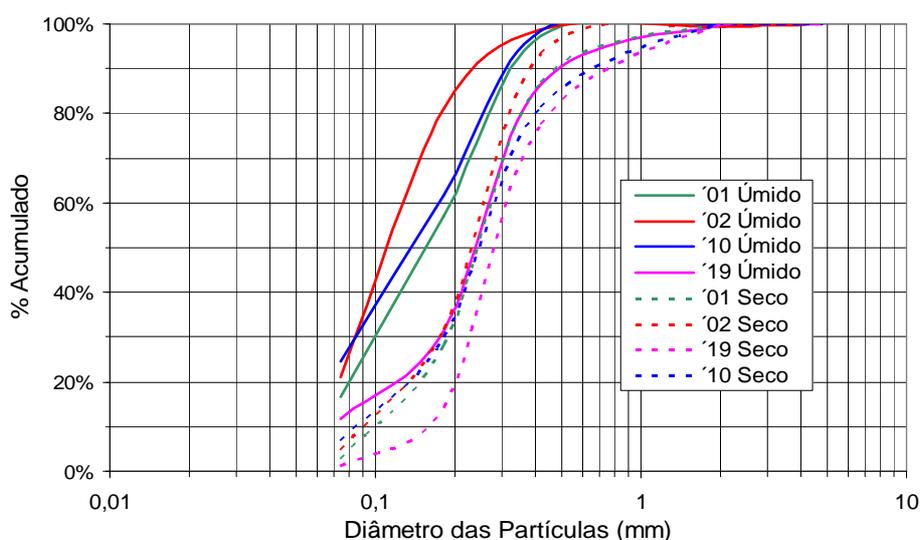


Figura 4.2 – Distribuição granulométrica das areias e solos arenosos.

Tabela 4.1 – Diferenças entre os peneiramentos a seco e úmido dos solos arenosos.

Amostras das areias				
Solo	Peneiramento a seco % < 0,074mm	Peneiramento úmido % < 0,074mm	Varição %	Contração mm
01	3%	17%	16%	0,06
02	5%	21%	22%	0,05
10	7%	25%	28%	0,08
19	1%	12%	10%	0,00

O resultado da classificação dos solos pelo método das pastilhas de 35mm de diâmetro é apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultado da classificação pelo método das pastilhas de 35mm.

Classificação Geotécnica - Método Expedito Pastilhas de 35mm							
Amostra	Contração %	Inchamento %	Penetração Cone 10g (mm)	Penetração Cone 30g (mm)	Umidade %	Índice de Reabsorção %	Classificação
1	0,4%	9,3%	2,7	4,8	20%	0,31	LA
2	0,4%	11,7%	3,4	5,7	20%	0,46	Transic. A
3	4,2%	1,2%	0,0	0,1	21%	-0,39	LA'
4	4,6%	0,6%	0,0	0,1	25%	-0,45	LA'
6	5,4%	1,3%	0,0	0,1	34%	-0,43	LA'
7	8,2%	5,9%	0,0	2,1	33%	-0,21	LG'
8	6,2%	2,0%	0,1	0,2	31%	-0,42	LG'
9	8,2%	7,2%	0,2	4,0	40%	-0,27	LG'
10	0,5%	8,4%	3,0	5,5	19%	0,50	LA
12	6,3%	9,2%	3,1	5,8	49%	0,32	Transic. G'
13	7,2%	13,0%	3,1	5,3	39%	0,18	Transic. G'
14	5,6%	5,3%	0,7	1,8	40%	-0,09	LA'
18	5,8%	14,3%	4,6	8,9	37%	0,32	NA'
19	0,0%	1,6%	0,8	1,7	17%	0,05	LA

O resultado desta classificação mostrou comportamento semelhante à classificação com as pastilhas de 20mm.

Uma observação deve ser feita com relação aos solos 01, 02 e 19. Na classificação pelas pastilhas de 20mm, devido a valores de contração menores que 0,1mm, que geram valores de C' menores que 0,35, classificaram estes solos como sendo areias não

lateríticas. Na classificação com as pastilhas de 35mm, estes solos foram classificados como areia laterítica (solos 01 e 19) e transicional areia (solo 02).

A redução na quantidade de finos, passantes na peneira 0,074mm, explica a redução na contração destas amostras. A classificação pelas pastilhas de 20mm de diâmetro definem estes materiais como sendo areias de comportamento não laterítico, independentemente do comportamento destes finos e das características que estes emprestam ao solo. A classificação pelas pastilhas de 35mm permite diferenciar este comportamento em função da penetração dos penetrômetros de 10g e 30g. Para as areias de comportamento laterítico a penetração deve ser $\leq 4\text{mm}$ e $\leq 6\text{mm}$, para os penetrômetros de 10g e 30g respectivamente. Para as areias de comportamento não laterítico a penetração deve ser $\geq 4\text{mm}$ e $\geq 8\text{mm}$ para os penetrômetros de 10g e 30g respectivamente (Tabela 2.7 da página 40).

Nos casos de solos arenosos, a classificação pelas pastilhas de 35mm de diâmetro fornecem resultados mais adequados se forem confrontados com o comportamento do material durante o ensaio. O solo 19, após o período de reabsorção e após as medições e ensaios de penetração, apresentava-se perfeitamente íntegro, sendo possível o seu manuseio sem que se desfizesse, apesar da pouca quantidade de finos e de estar fora do anel, mostrando que os finos lhe empregam um comportamento laterítico.

Uma comparação entre os gráficos das Figura 4.1 e Figura 4.3 permite observar valores de penetração mais dispersos, nos solos arenosos e areias, em relação aos outros solos, nas pastilhas de 35mm do que nas pastilhas de 20mm. Esta diferença de comportamento entre os dois ensaios pode ter ocorrido pelo efeito de confinamento que os anéis de 20mm exercem sobre a amostra. Este efeito não ocorre na pastilha de 35mm porque os anéis são retirados no instante de se proceder à reabsorção sobre a placa porosa, conforme Figura 2.11, página 37 e Figura 2.15, página 41.

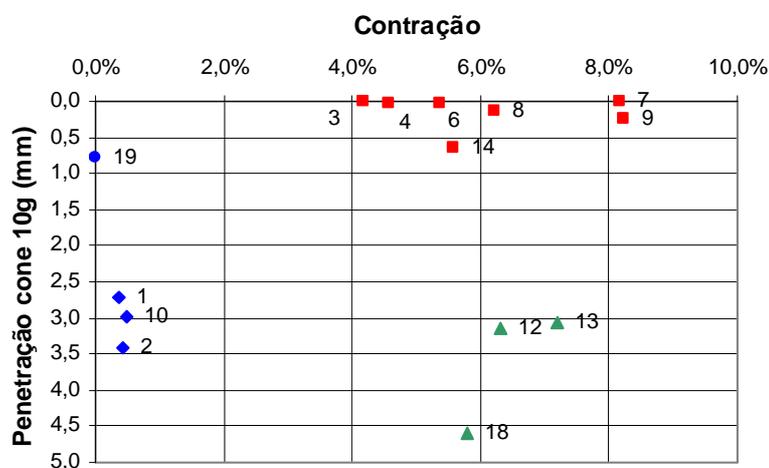


Figura 4.3 – Gráfico Contração x Penetração – Pastilhas de 35mm

Segundo BERNUCCI et al (2002), os valores de reabsorção variam normalmente na ordem de -0,5 até 1,5. Os valores negativos representam os solos de comportamento laterítico típico. O gráfico da Figura 4.4 mostra os solos analisados representados em função do seu índice de reabsorção versus penetração do penetrômetro de 10g.

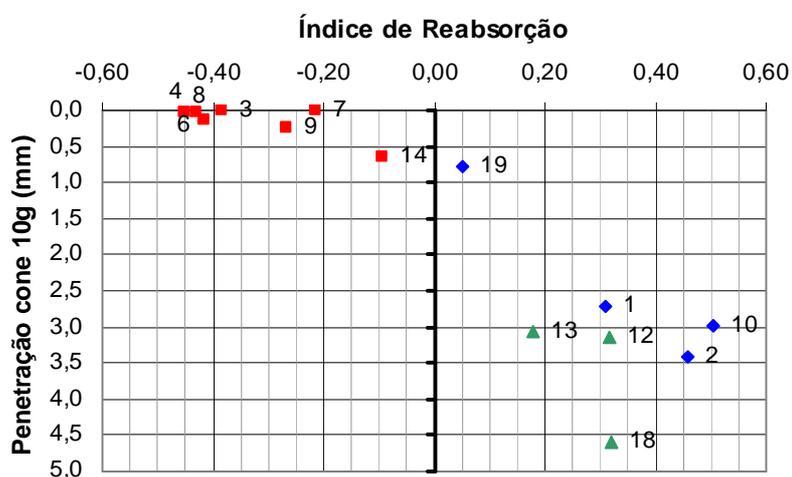


Figura 4.4 – Gráfico Penetração Cone 10g x Índice de Reabsorção

4.1.2 ESTABILIZAÇÃO COM CAL E O MÉTODO EXPEDITO DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

Para avaliar a influência da adição de cal nos solos foi também utilizado nesta pesquisa o método expedito de classificação geotécnica MCT.

Para os teste de estabilização com a cal foi escolhido o solo de pior desempenho para utilização como camada de pavimento. Esta escolha recaiu sobre o solo 12 (um solo litólico tendo como substrato o arenito da Formação Ponta Grossa, Paleozóico), classificação MCT NG'. Este solo apresentou baixo índice de suporte (CBR), alta expansão e grande suscetibilidade à água.

O teor de cal foi limitado a um valor máximo de 6%. Este valor foi definido em função da experiência na região, objeto do presente estudo, onde valores maiores se mostraram economicamente inviáveis, quando comparados aos custos de transporte de solos de jazidas de cascalhos lateríticos disponíveis na região, cada vez mais distantes dos centros urbanos.

Todos os ensaios foram executados com o solo natural e com a adição de 2%, 4% e 6% de cal, com 1, 7, 14 e 21 dias de cura. Foram realizados ensaios pelo método expedito das pastilhas com pastilhas com 20mm e 35 mm de diâmetro. Foram moldados 4 anéis de cada diâmetro, totalizando 24 amostras, que foram ensaiados com 1, 7, 14 e 21 dias de cura.

Os resultados da classificação pelas pastilhas de 20mm de diâmetro mostraram grande sensibilidade para avaliar a influência da adição da cal no comportamento deste solo, Figura 4.5.

Com o teor de 2% praticamente não houve alteração na classificação, havendo apenas um pequeno deslocamento para a direita passando de uma região de transição NG'-NS' para NG'. O tempo de cura praticamente não influenciou os resultados.

Com o teor de 4% houve uma sensível melhora, houve um deslocamento para uma região de transição NA'/NG'-NS'. O tempo de cura também teve influência, sendo que com 14 e 21 dias houve um deslocamento para a região LA'-LG', já indicando um comportamento

semelhante a solos lateríticos. Este deslocamento pode ser explicado pela mudança na granulometria que ocorre com a adição de cal.

Com o teor de 6% houve um deslocamento para a região LA'-LG', havendo pouca influência do tempo de cura. Com 21 dias de cura a penetração do penetrômetro foi de 0mm.

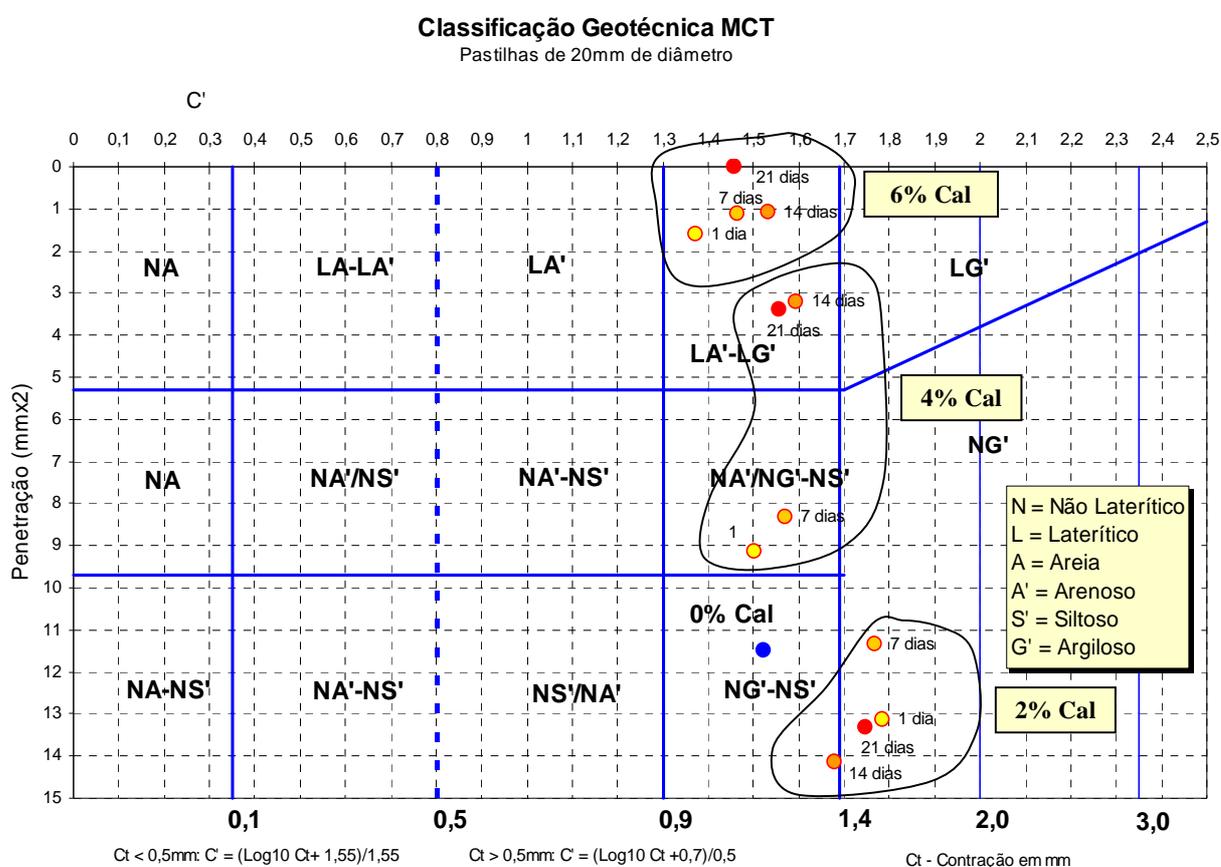


Figura 4.5 – Avaliação da adição de cal.

A classificação dos solos pelo método das pastilhas de 35mm de diâmetro é apresentada na Tabela 4.3. Os resultados tiveram o mesmo comportamento da classificação com as pastilhas de 20mm. A amostra com 6% de cal e 21 dias de cura teve comportamento semelhante a um solo laterítico típico.

Tabela 4.3 – Resultado da classificação pelo método das pastilhas de 35mm.

Classificação Geotécnica - Método Expedito Pastilhas de 35mm								
% Cal	Cura (Dias)	Contração %	Inchamento %	Penetração Cone 10g (mm)	Penetração Cone 30g (mm)	Umidade %	Índice de Reabsorção %	Classificação
0%	1	6,3%	9,2%	3,1	5,8	49%	0,18	Trans. G´
2%	1	5,0%	14,0%	4,1	8,1	37%	0,51	NG´
	7	7,2%	16,5%	4,4	7,8	37%	0,54	NG´
	14	8,0%	16,1%	4,7	9,3	37%	0,51	NG´
	21	7,5%	15,6%	4,2	7,0	37%	0,53	NG´
4%	1	4,4%	11,8%	2,9	5,0	39%	0,29	Trans. A´
	7	5,8%	11,5%	3,2	5,6	38%	0,33	Trans. A´
	14	6,2%	13,6%	2,5	4,2	38%	0,33	Trans. G´
	21	6,6%	13,6%	1,8	3,4	39%	0,24	Trans. G´
6%	1	5,4%	1,7%	0,1	0,5	38%	-0,21	LA´
	7	4,9%	1,6%	0,9	1,4	19%	0,00	LA´
	14	5,5%	1,5%	0,8	1,5	37%	0,00	LA´
	21	5,3%	0,8%	0,0	0,0	37%	-0,29	Later. Típico

4.1.3 COMPACTAÇÃO NO MINI-MCV

Apesar dos ensaios utilizarem equipamentos simples que podem ser confeccionados sem maiores problemas, sua execução requer muita atenção e organização.

Com a utilização do software Excel o processo ficou bastante simples e otimizado. Com o lançamento dos dados nos campos apropriados a maioria dos parâmetros é calculada automaticamente. Um processo interativo foi utilizado para, através de retas auxiliares, determinar as inclinações dos trechos das curvas correspondentes aos valores de d' e C' , assim como o valor de P_i , que corresponde ao ponto de interseção da curva de perda de massa por imersão com a reta correspondente à 10 golpes, no gráfico das curvas de deformabilidade.

A Figura 4.6 até a Figura 4.15 apresentam os resultados dos ensaios de compactação da metodologia Mini MCV dos solos.

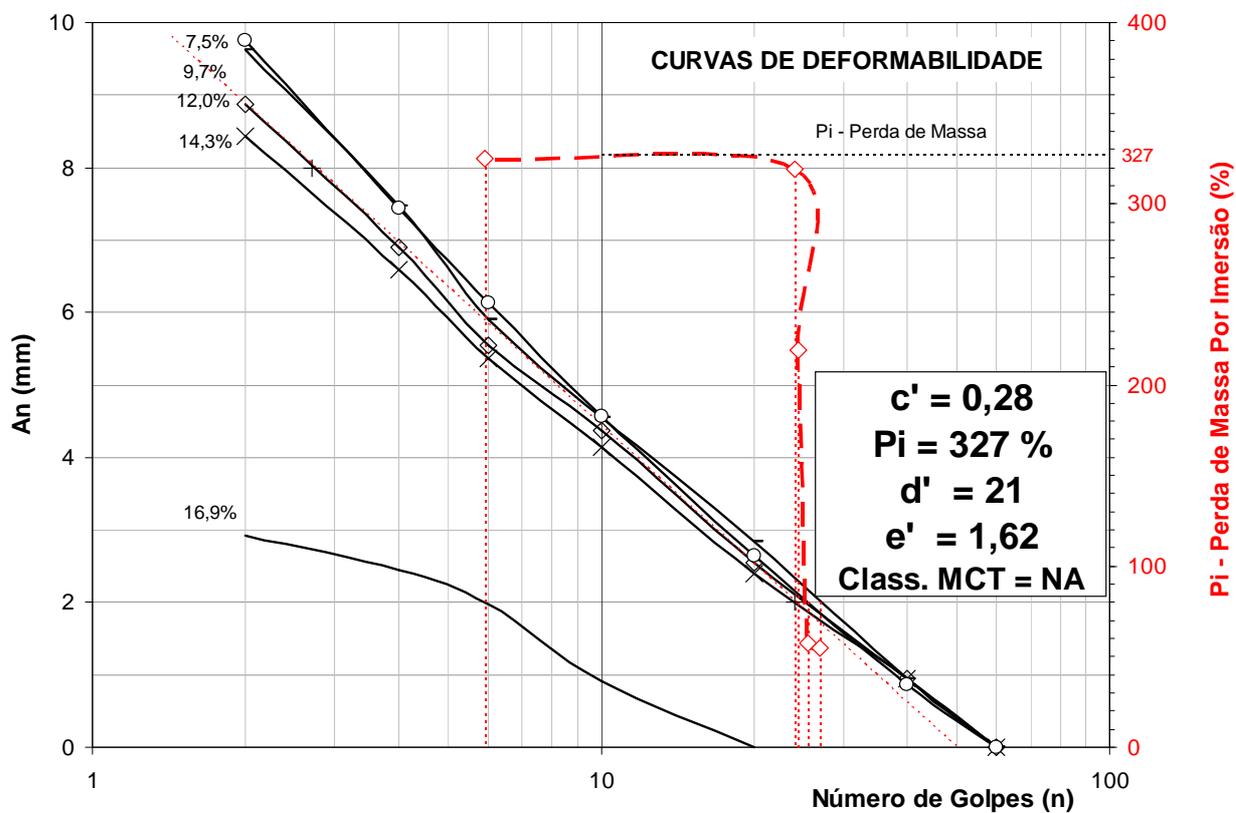
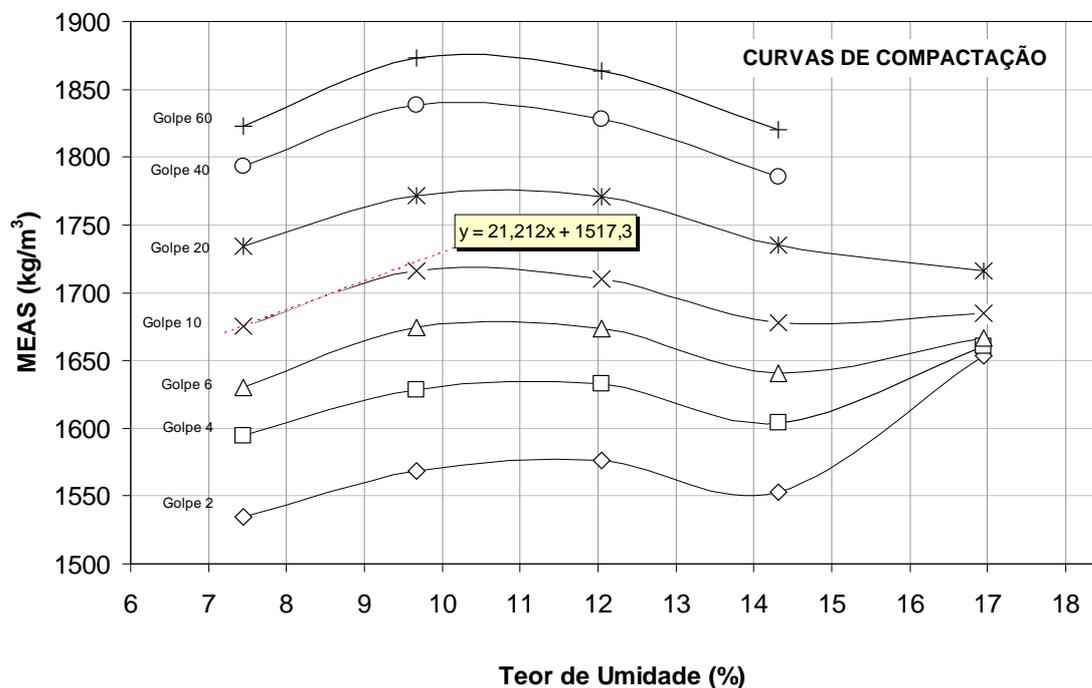


Figura 4.6 – Ensaio de compactação - Solo 01

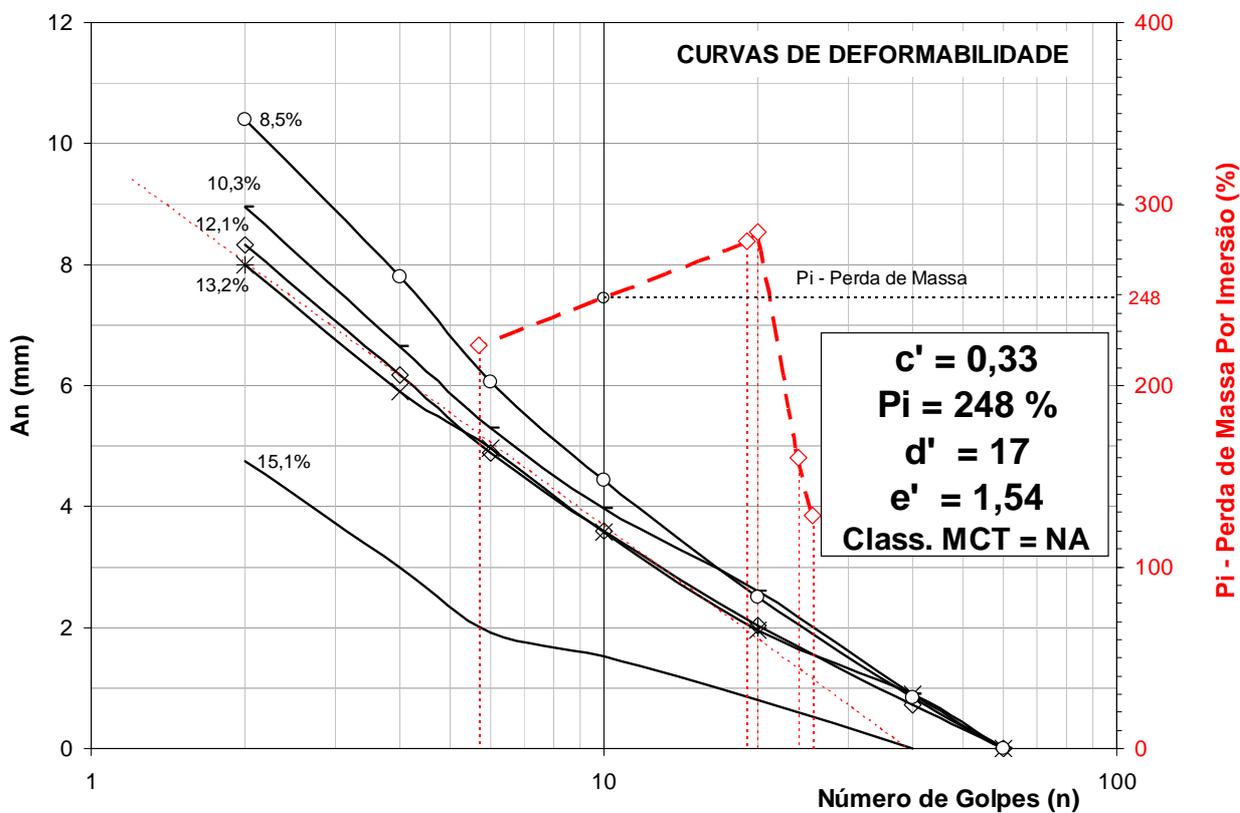
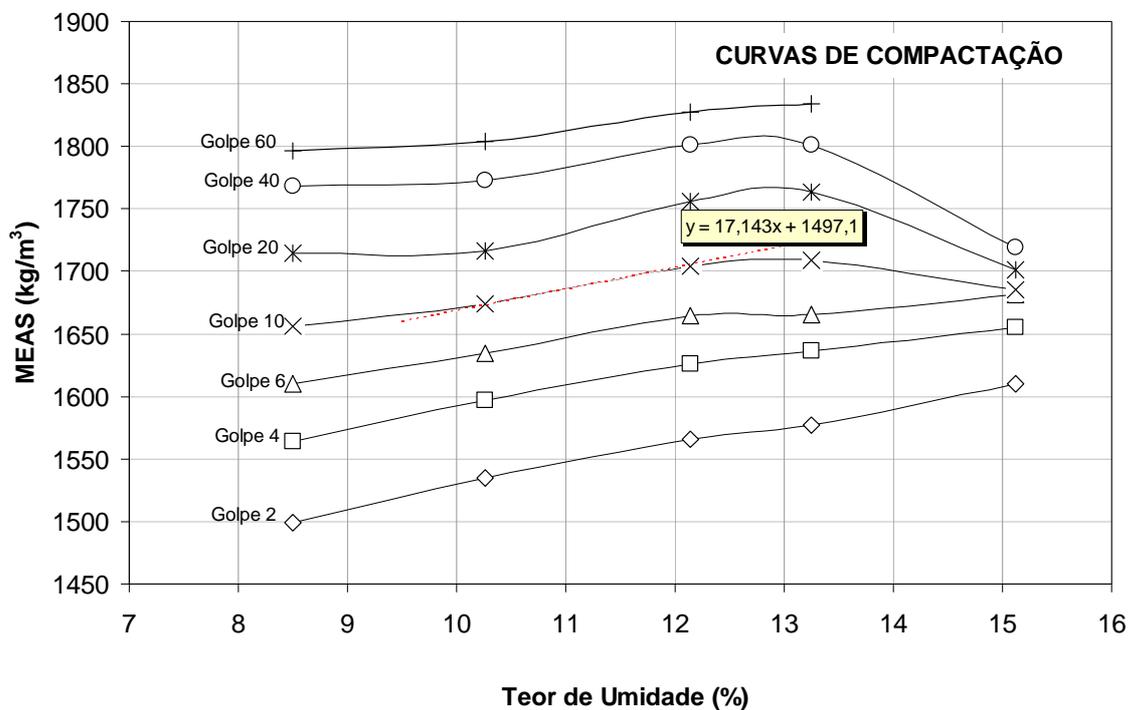


Figura 4.7 – Ensaio de compactação – Solo 02

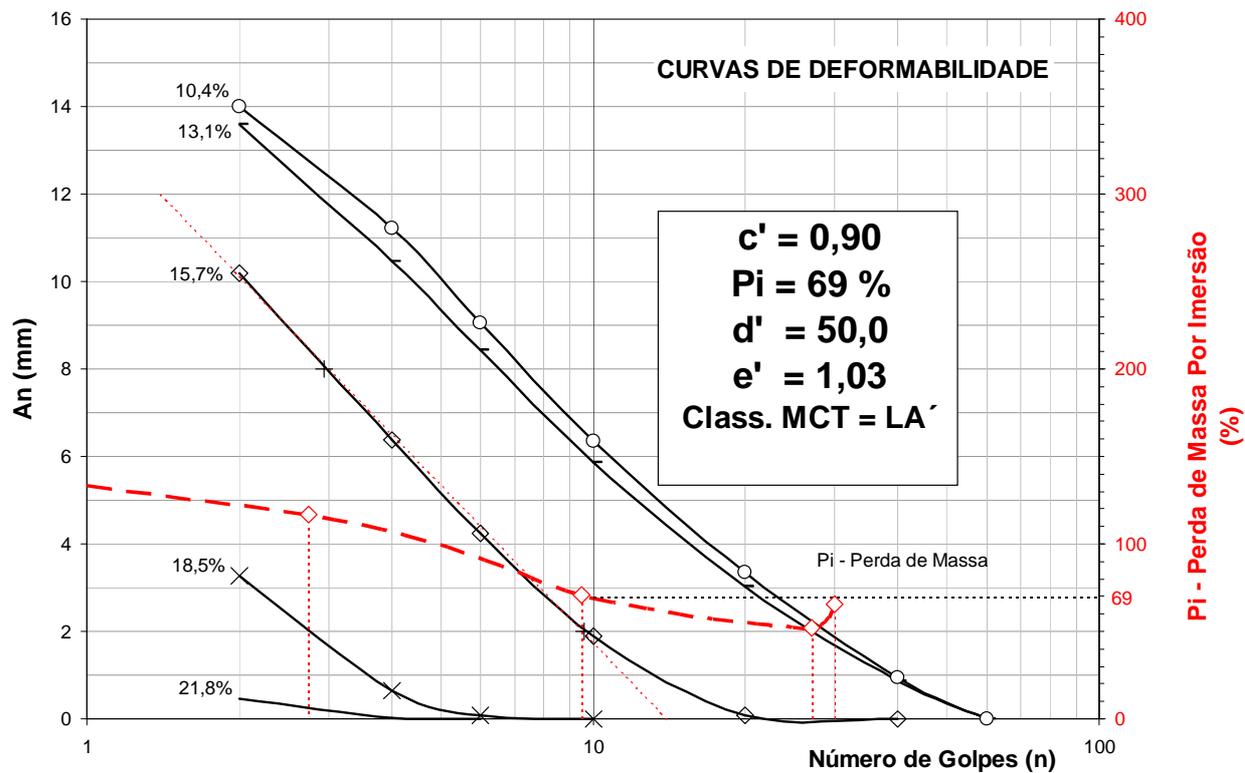
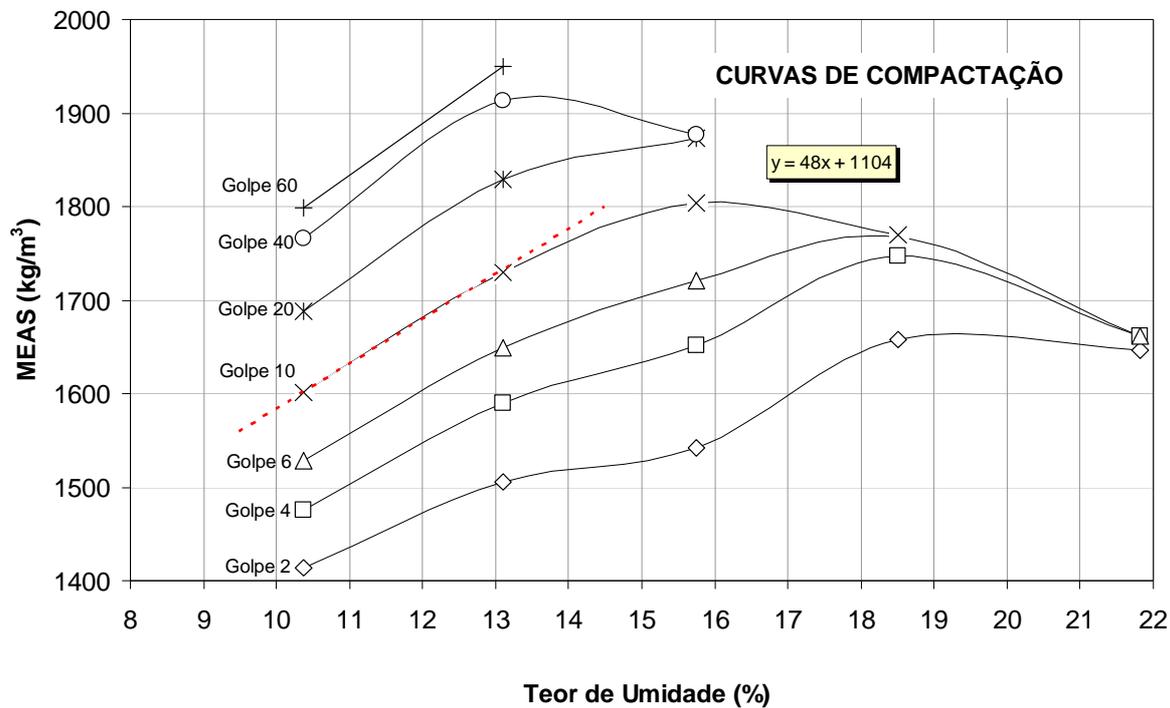


Figura 4.8 – Ensaio de compactação – Solo 03

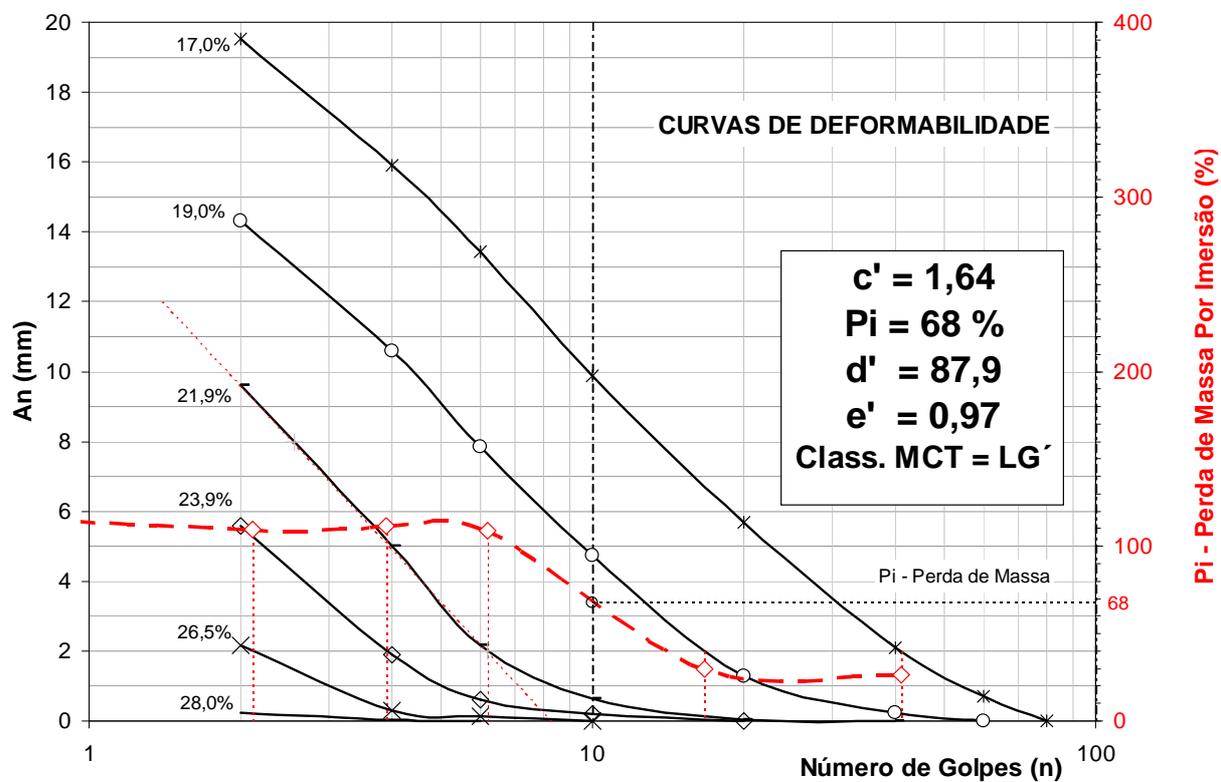
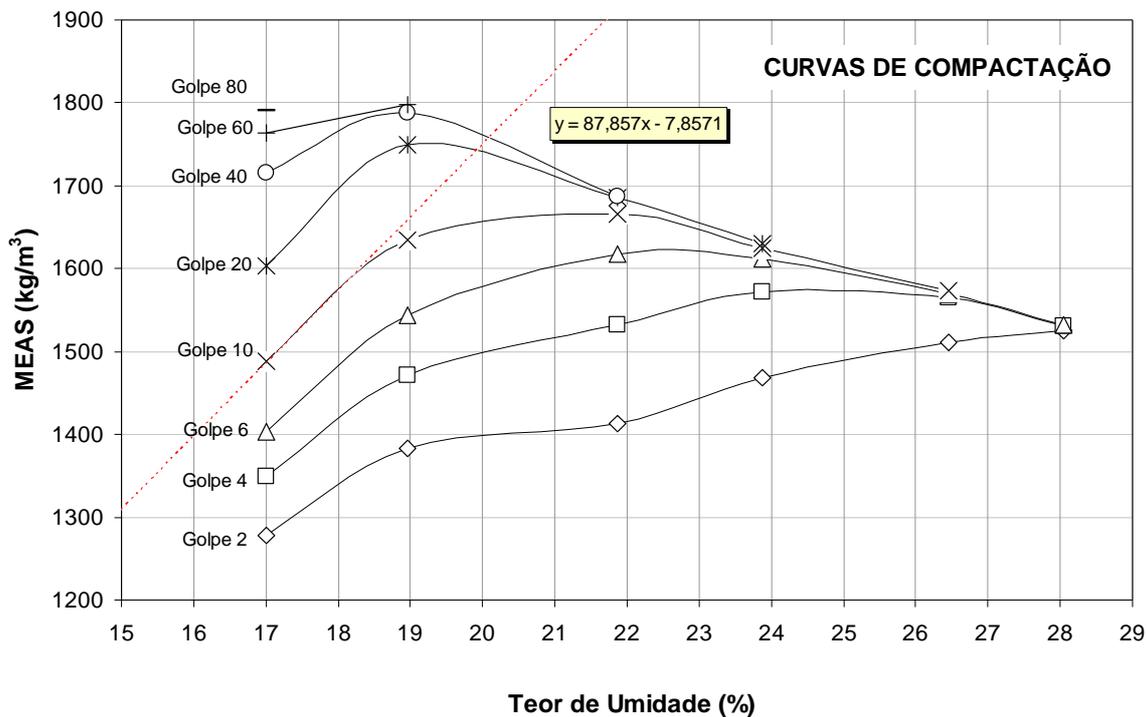


Figura 4.9 – Ensaio de compactação – Solo 06

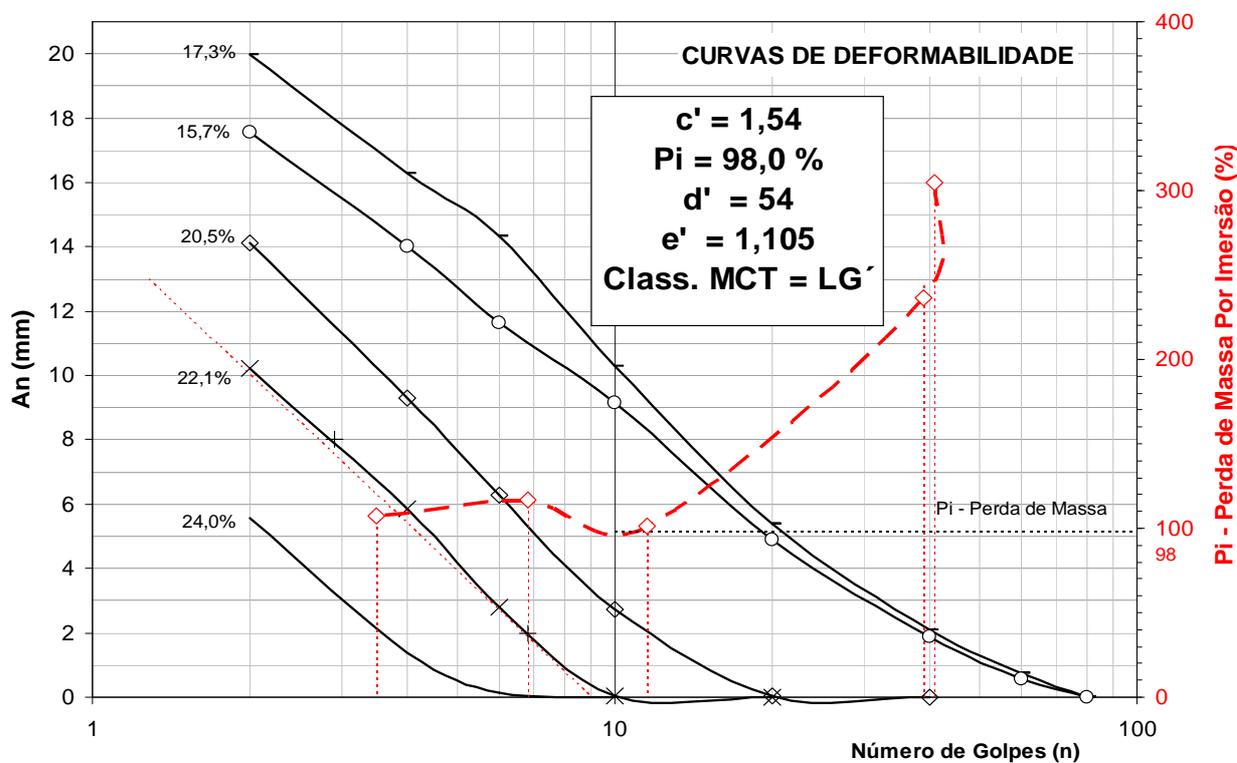
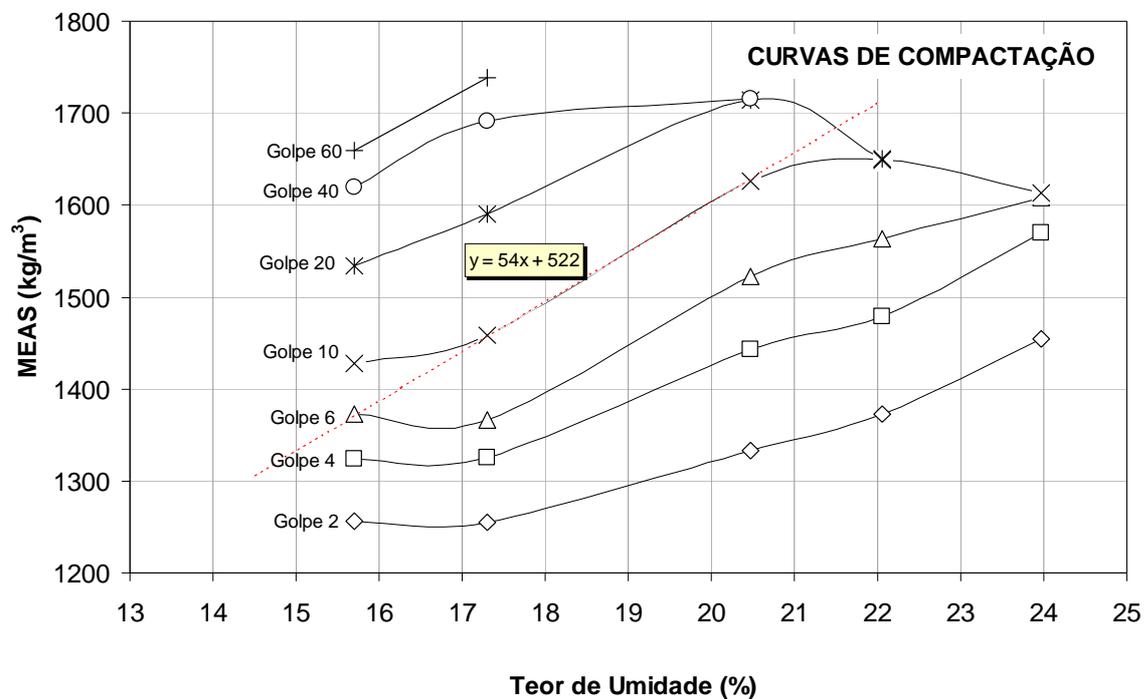


Figura 4.10 – Ensaio de compactação - Solo 07

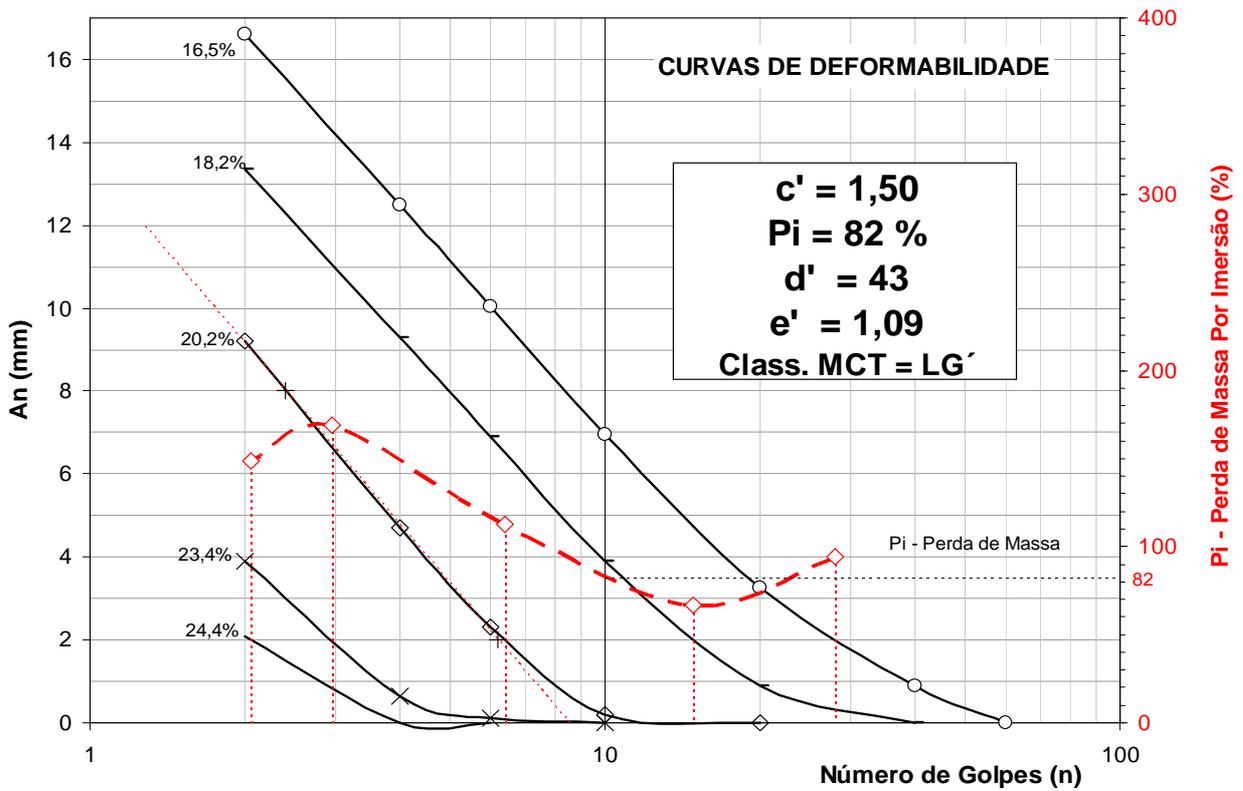
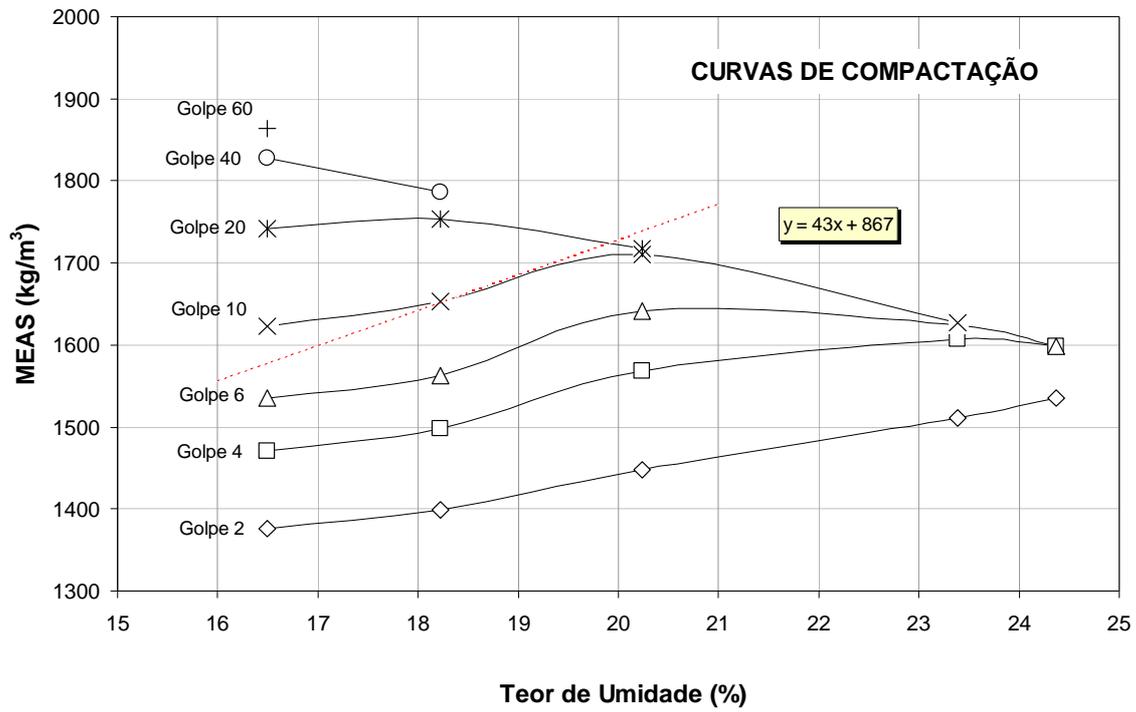


Figura 4.11 – Ensaio de compactação - Solo 08

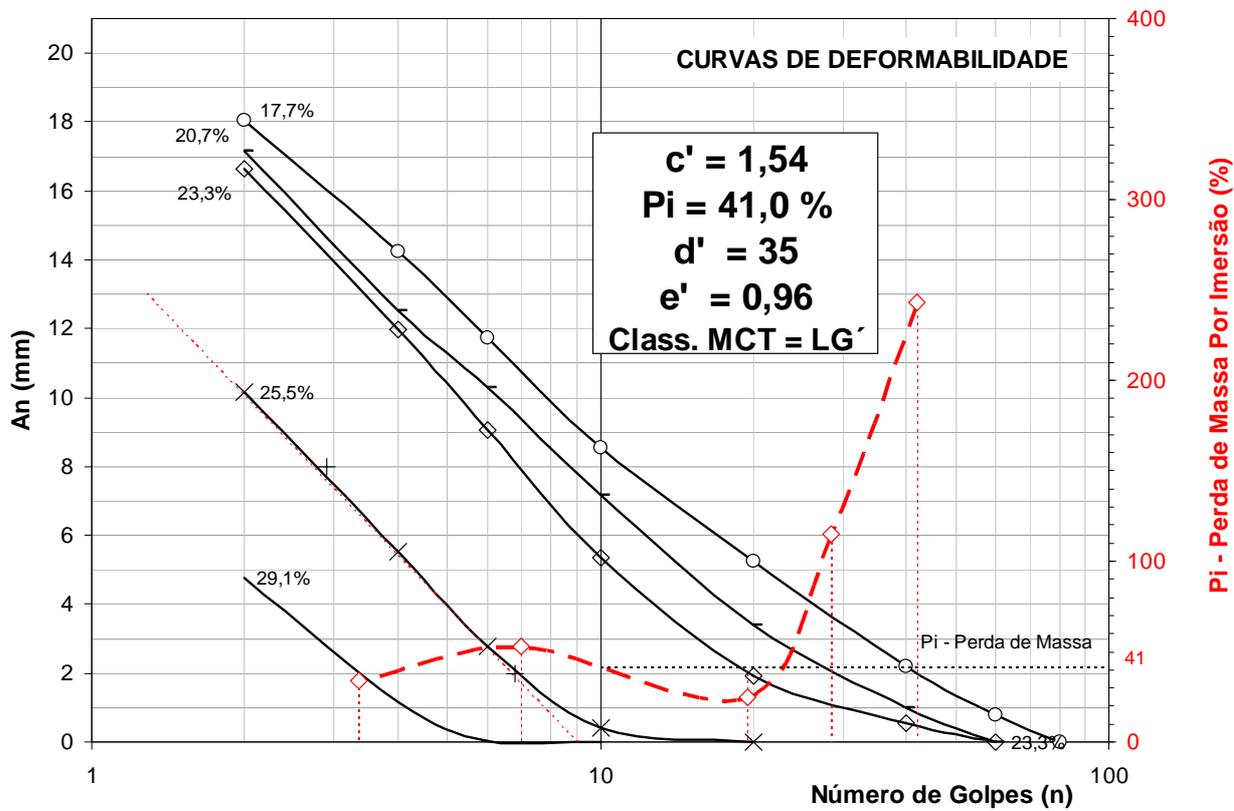
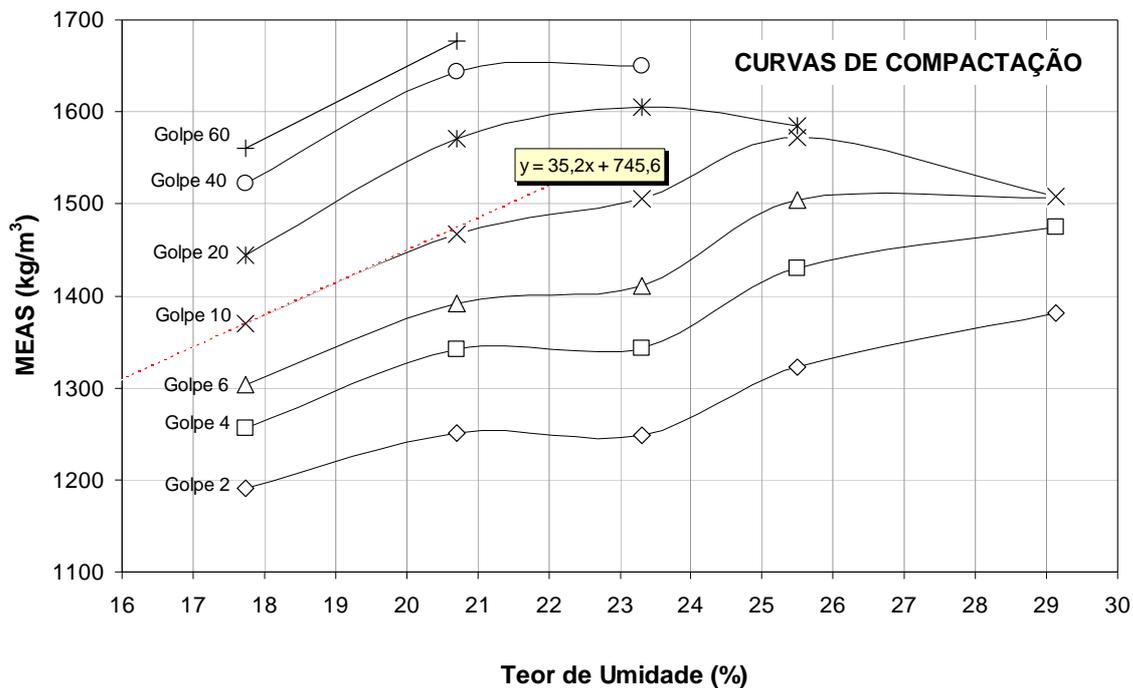


Figura 4.12 – Ensaio de compactação - Solo 09

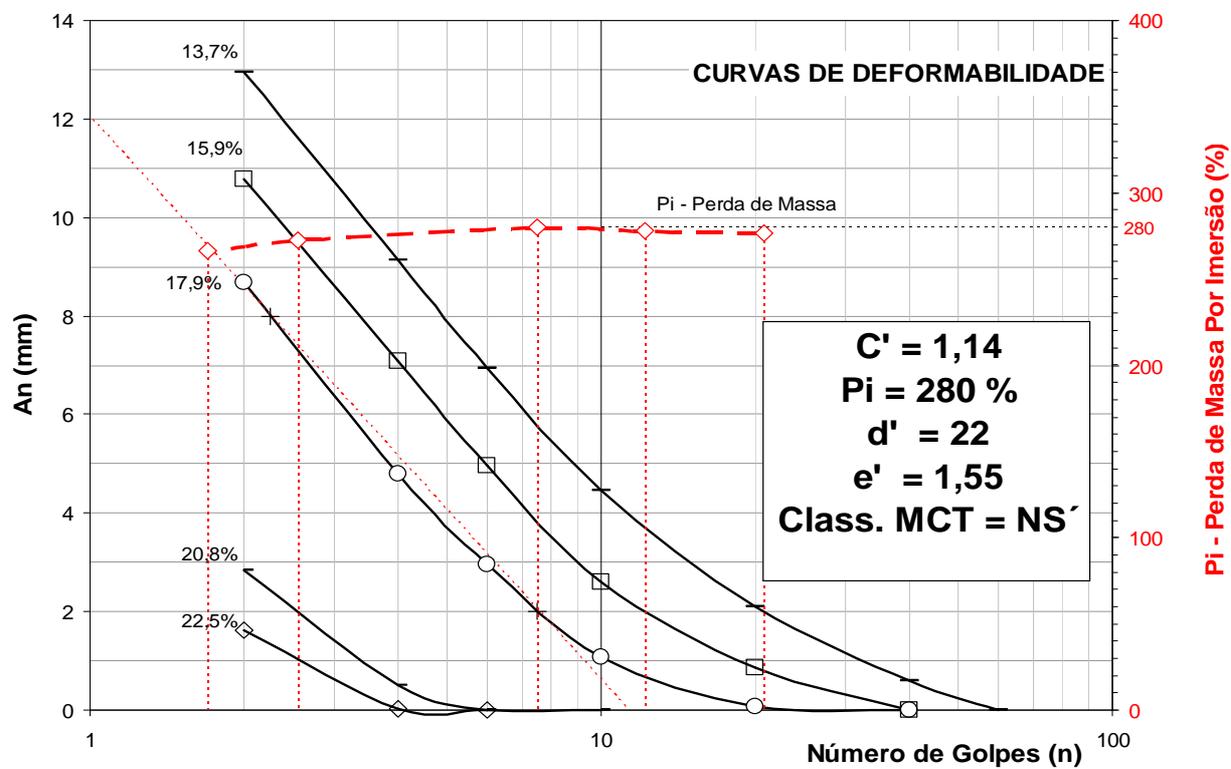
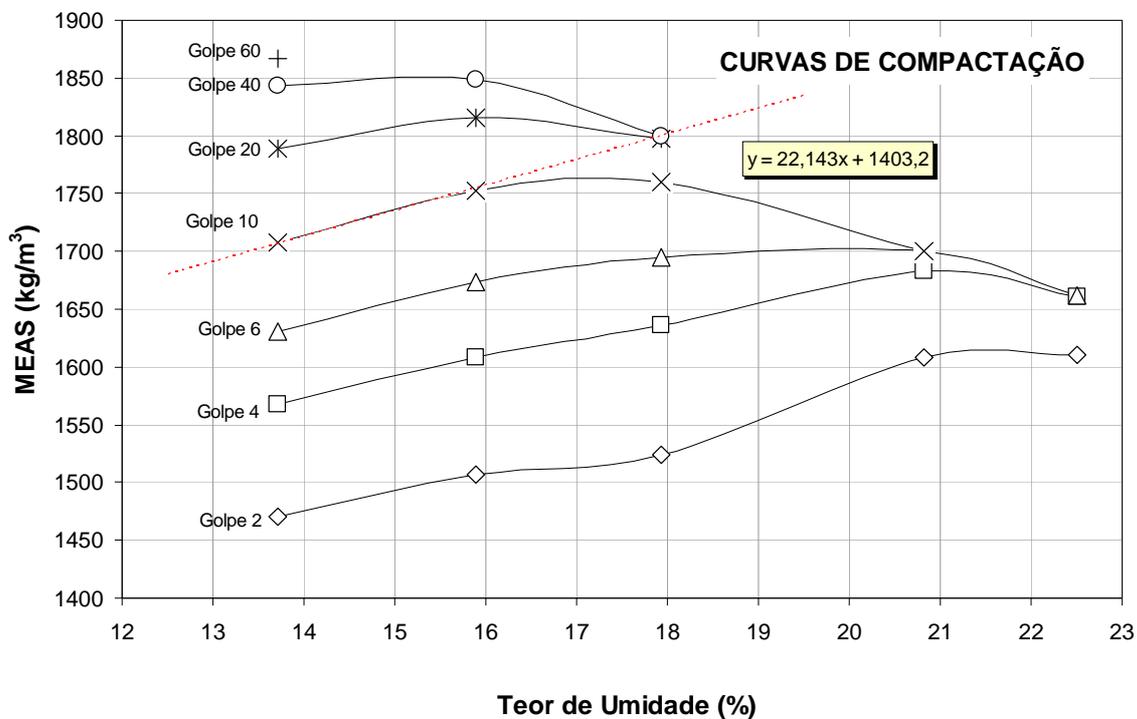


Figura 4.13 – Ensaio de compactação - Solo 12

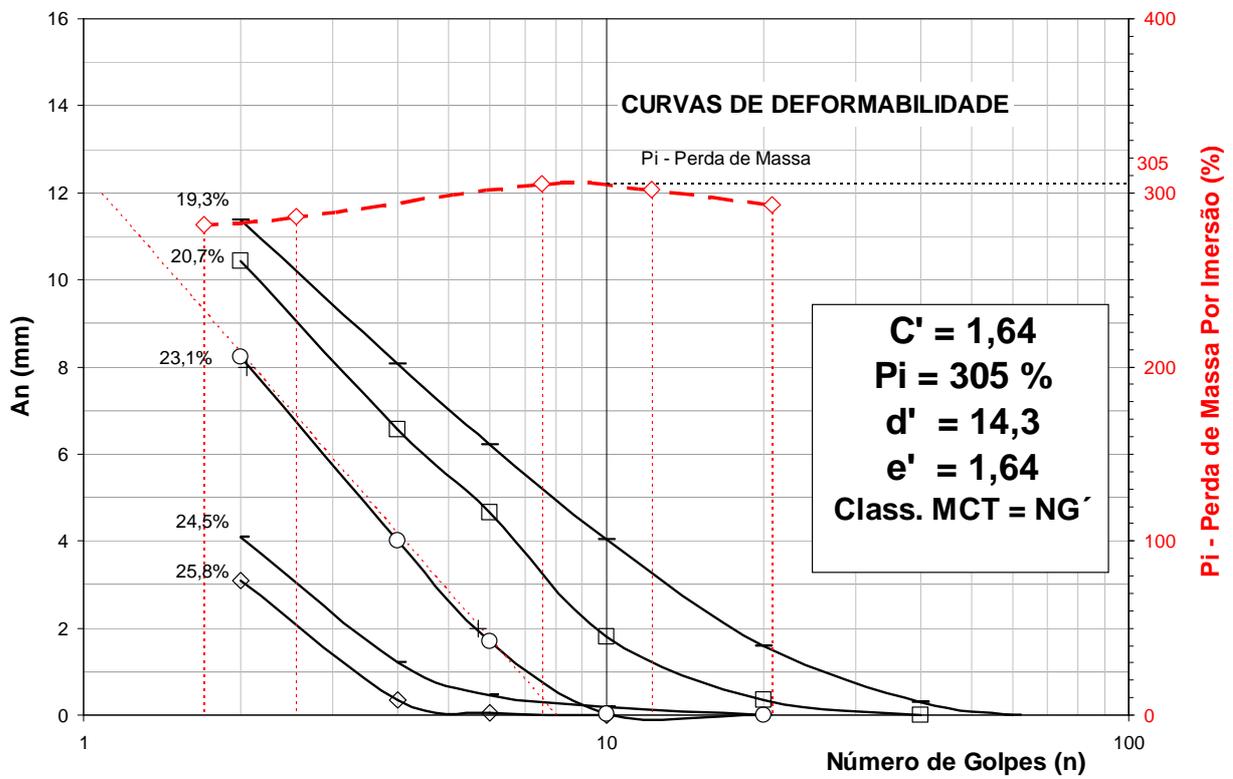
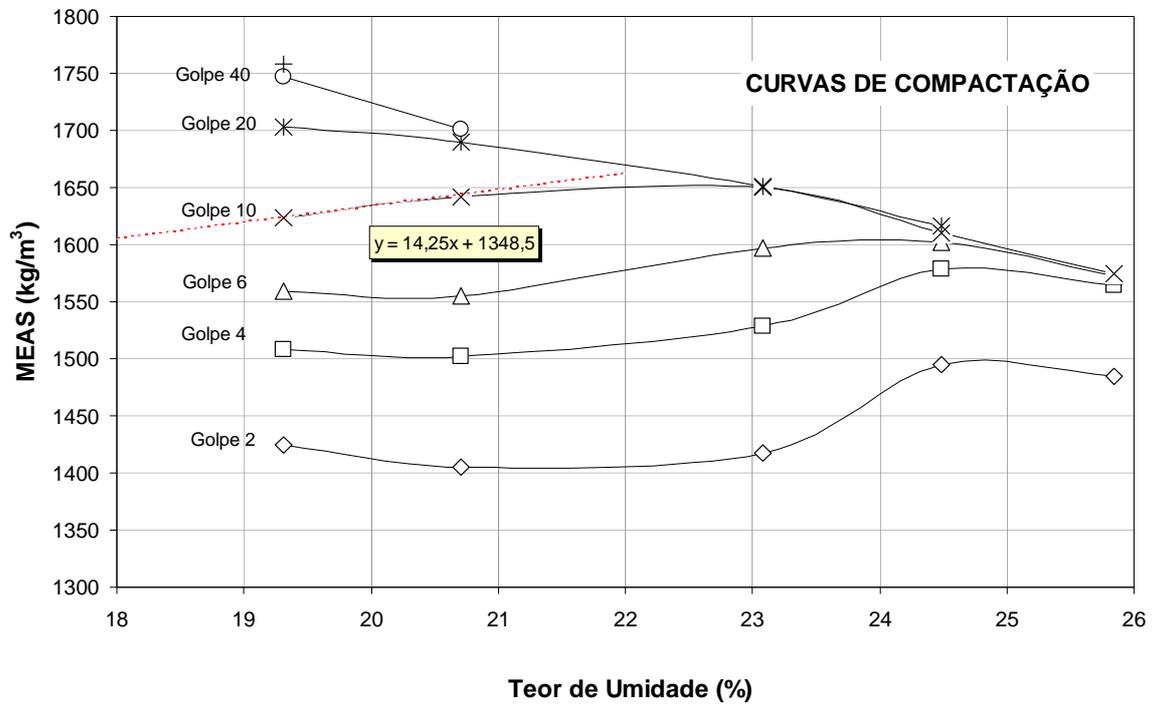


Figura 4.14 – Ensaio compactação - Solo 13

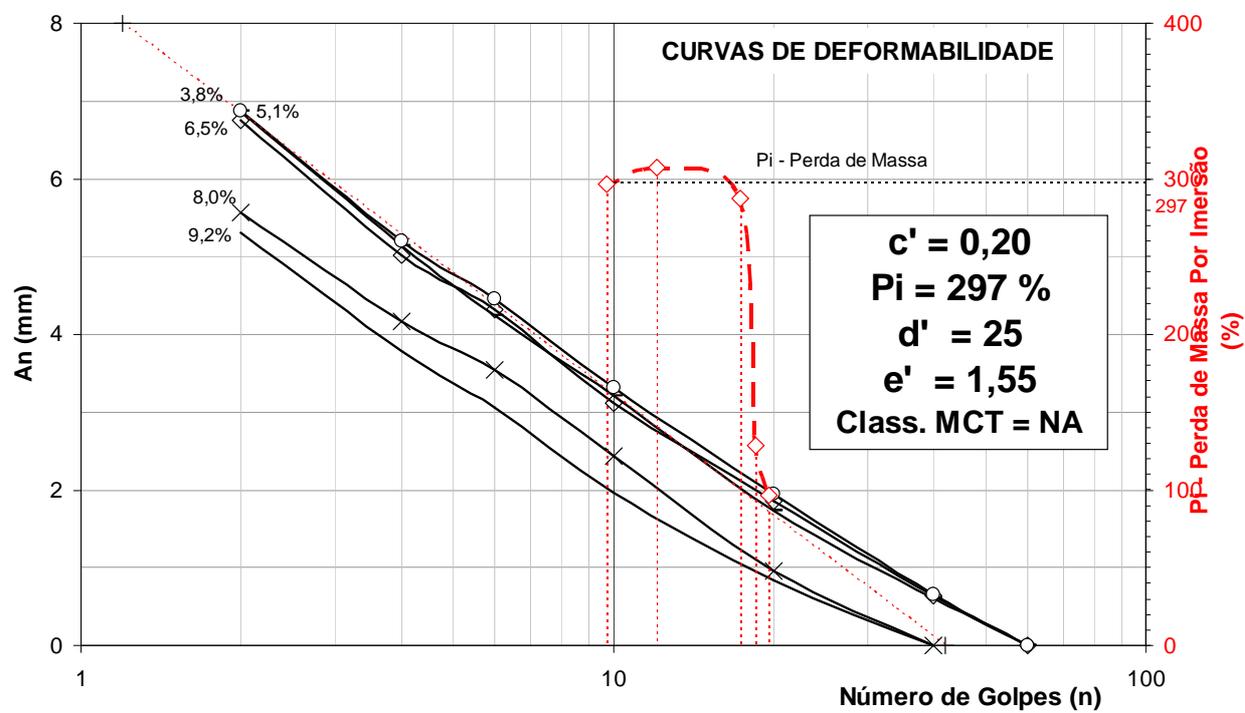
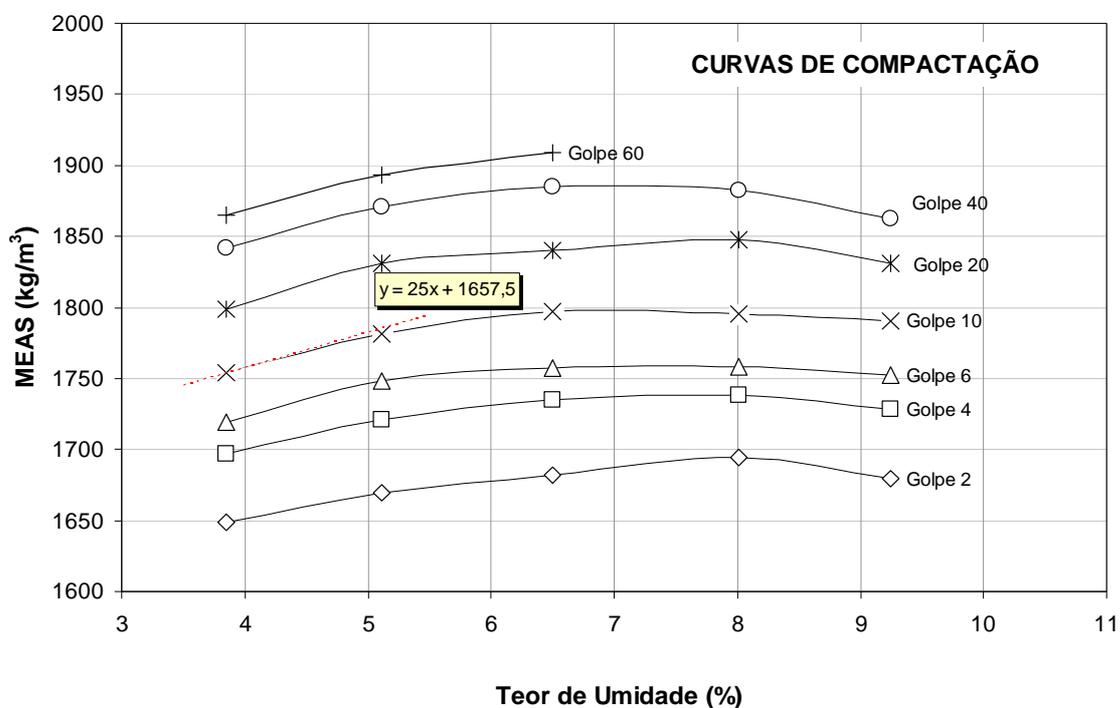


Figura 4.15 – Ensaio de compactação - Solo 19

A classificação geotécnica dos solos segundo os ensaios de compactação Mini MCV chegou a resultados similares aos encontrados pelo método das pastilhas, Figura 4.16.

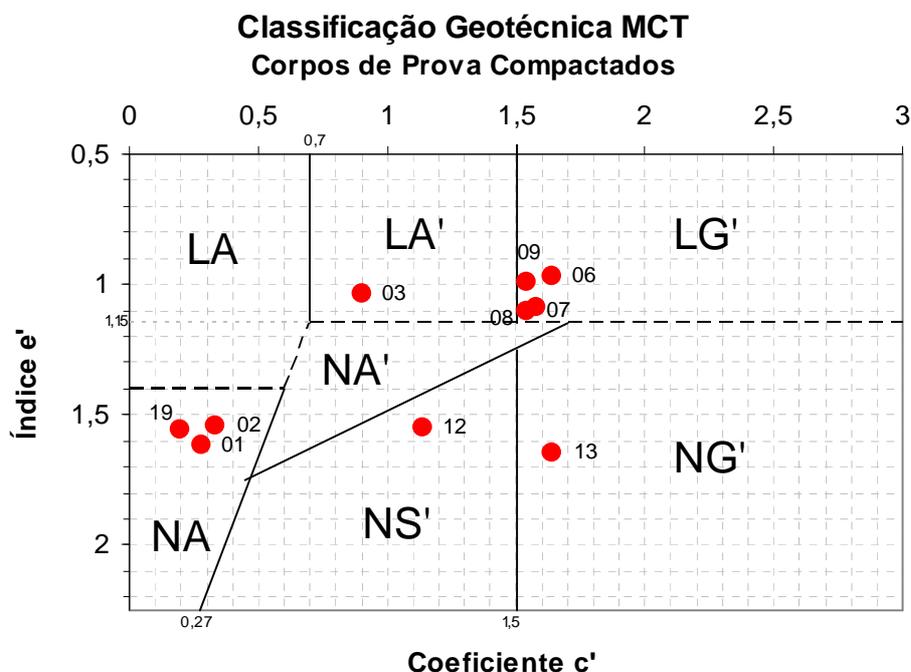


Figura 4.16 – Resultado da classificação geotécnica MCT dos solos

A maior variação ocorreu em relação aos solos arenosos. As amostras 01 e 19 foram classificadas como areia de comportamento não laterítico (NA), semelhante ao encontrado nos ensaios com as pastilhas de 20mm, porém discordantes dos resultados das pastilhas de 35mm, que classificaram estes solos como areia de comportamento laterítico (LA).

As curvas dos solos arenosos (01, 02 e 19), tanto as de deformabilidade quanto as de compactação, apresentam uma faixa de variação mais estreita em relação aos siltes e solos argilosos. Esta característica dificulta tanto a interpretação dos resultados (dificuldade de leitura dos gráficos), quanto a própria execução dos ensaios, visto serem mais sensíveis às oscilações nas variáveis do ensaio (determinação das umidades de compactação, leituras das alturas durante a compactação, etc).

4.1.4 ESTABILIZAÇÃO COM CAL E O MÉTODO MINI MCV

A amostra do solo 12 foi misturada à cal e umedecida, procurando obter pontos abaixo e acima da umidade ótima de compactação. Após a homogeneização foi deixada em câmara úmida por 24h até o início do ensaio.

Este ensaio foi, dos ensaios realizados, o menos sensível à adição de cal ao solo. Se houvesse a possibilidade de um maior tempo de cura, provavelmente seriam percebidas as alterações que normalmente a cal promove como a alteração na granulometria. A análise química da cal utilizada nos ensaios é apresentada na Tabela 4.4. Esta cal é fabricada em Cuiabá/MT pela empresa EMAL - Empresa de Mineração Aripuana Ltda.

Tabela 4.4 – Análise química da cal (IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

Determinações	Resultados (%)	Determinações	Resultados (%)
Perda ao fogo	27,1	Anidrido Sulfúrico (SO ₃)	0,04
Insoluções em ácido clorídrico	4,15	Anidrido Carbônico (CO ₂)	11,5
Óxidos de ferro e alumínio (Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃)	1,08	Óxidos não hidratados (CaO+MgO)	11,2
Óxido de cálcio (CaO)	39,2	Óxidos totais (CaO+MgO)	92,5
Óxido de magnésio (MgO)	28,2		

Os gráficos de compactação e deformabilidade resultantes dos ensaios, para os teores de 2%, 4% e 6% são mostrados nas figuras: Figura 4.17, Figura 4.18 e Figura 4.19 respectivamente.

A Figura 4.20 mostra a classificação resultante dos ensaios. Com o teor de 2% os resultados foram praticamente os mesmos do solo natural (Figura 4.13, página 116).

Os teores de 4% e 6% praticamente obtiveram os mesmo resultados, deslocando a classificação para cima, passando de NS` para NA´. Este comportamento pode ser explicado pelas alterações que ocorrem na granulometria do solo.

Os gráficos das curvas de deformabilidade permitem observar uma significativa redução nos valores de Pi (perda de massa por imersão). Mostrando que há um ganho significativo no comportamento do solo quando em presença de água, este comportamento é mostrado na Figura 4.21.

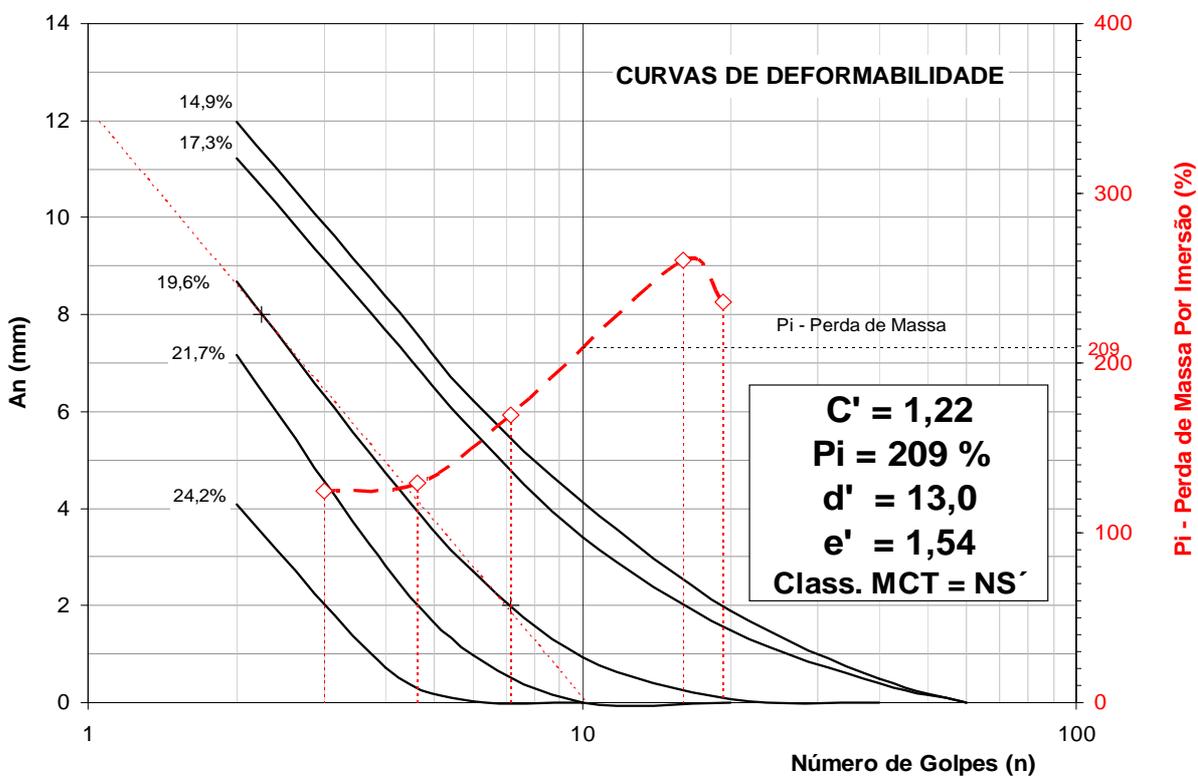
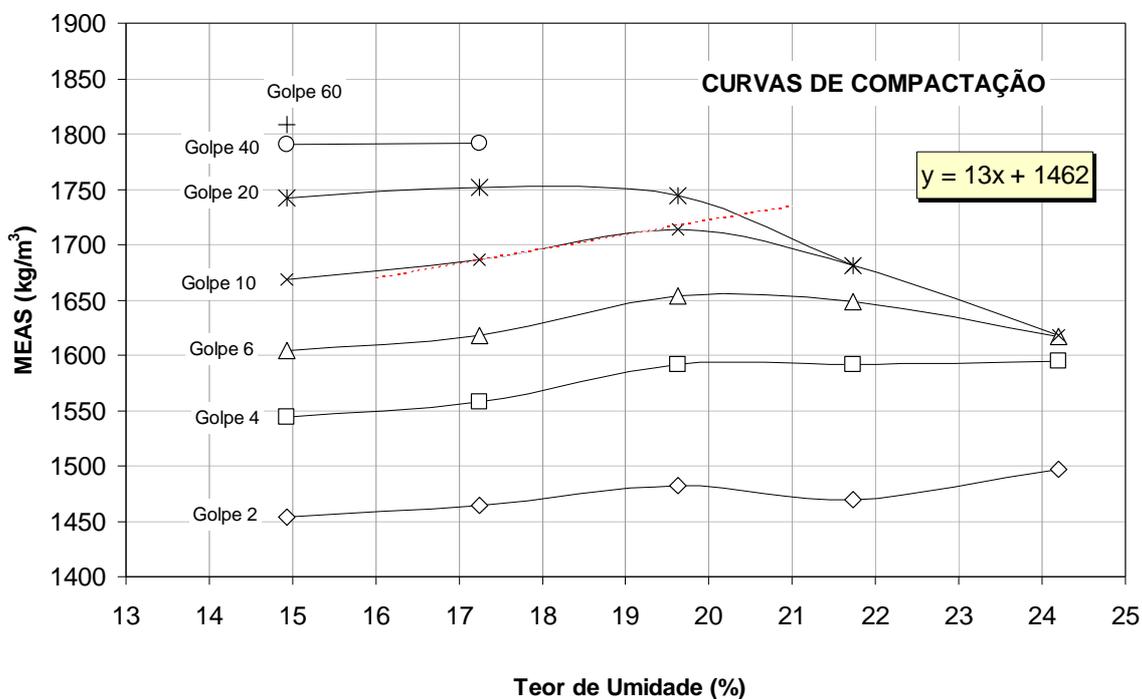


Figura 4.17 – Curvas de compactação e Deformabilidade – 2 % de cal.

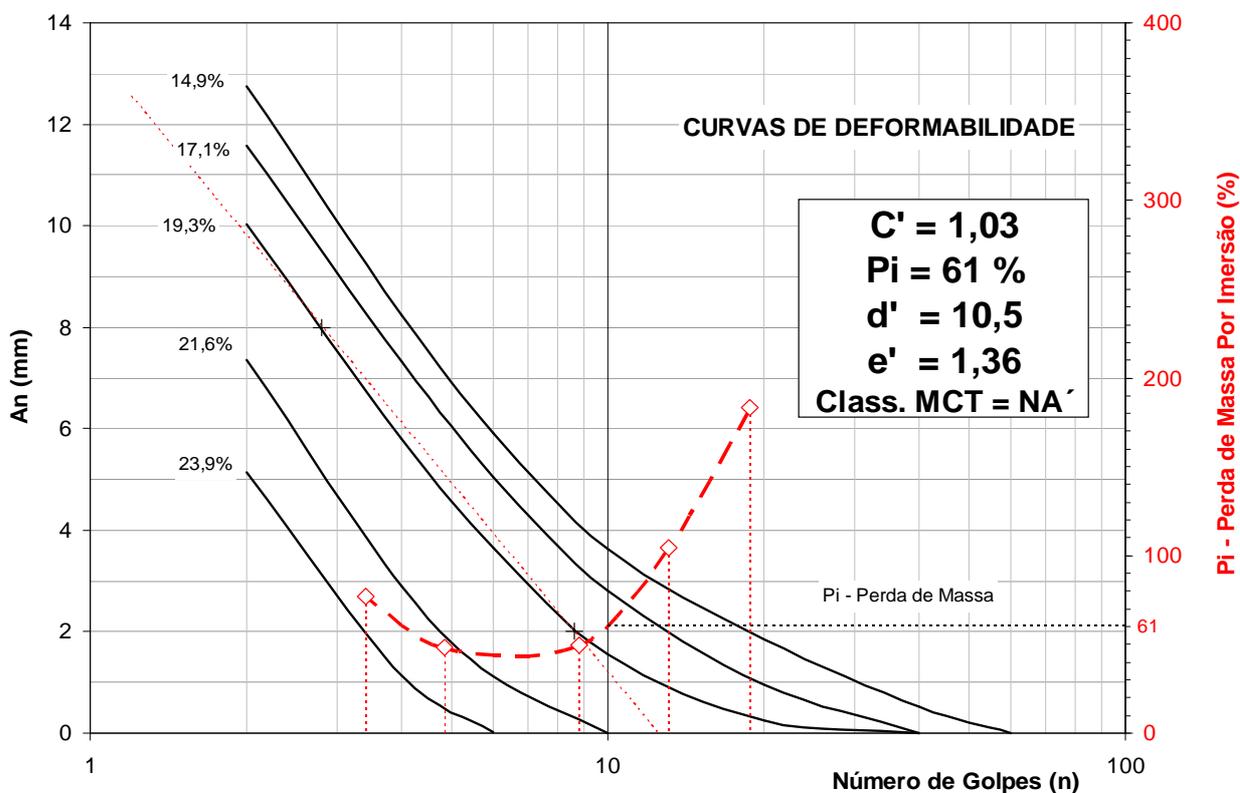
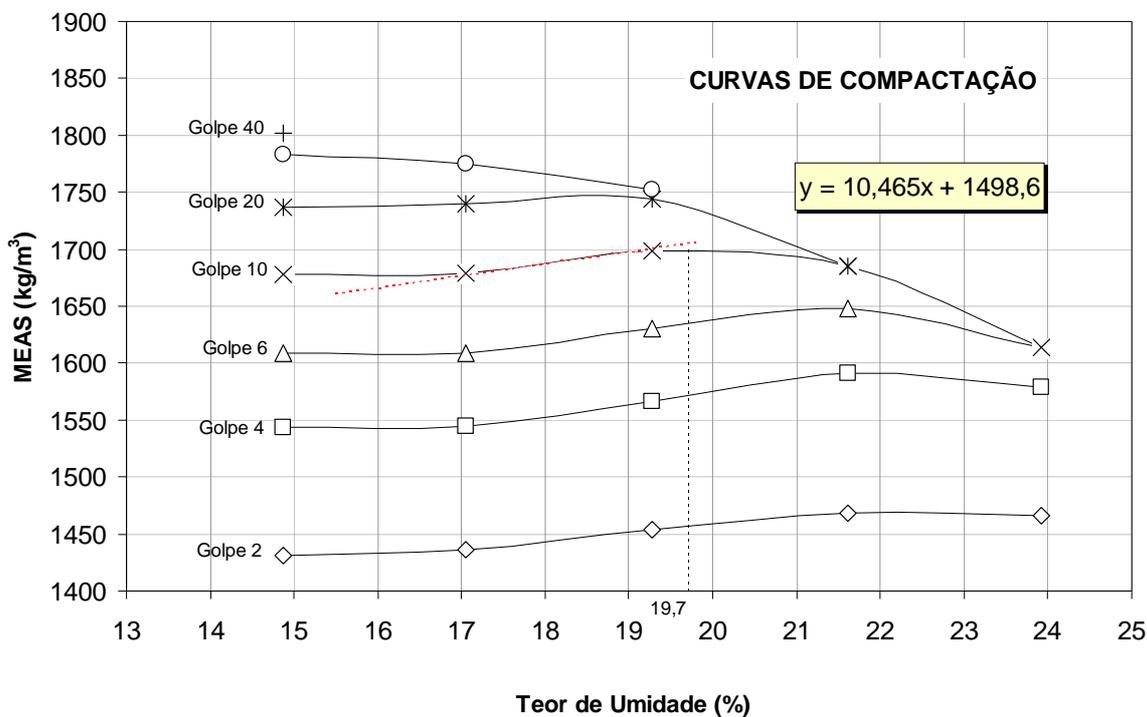


Figura 4.18 – Curvas de compactação e Deformabilidade – 4 % de cal.

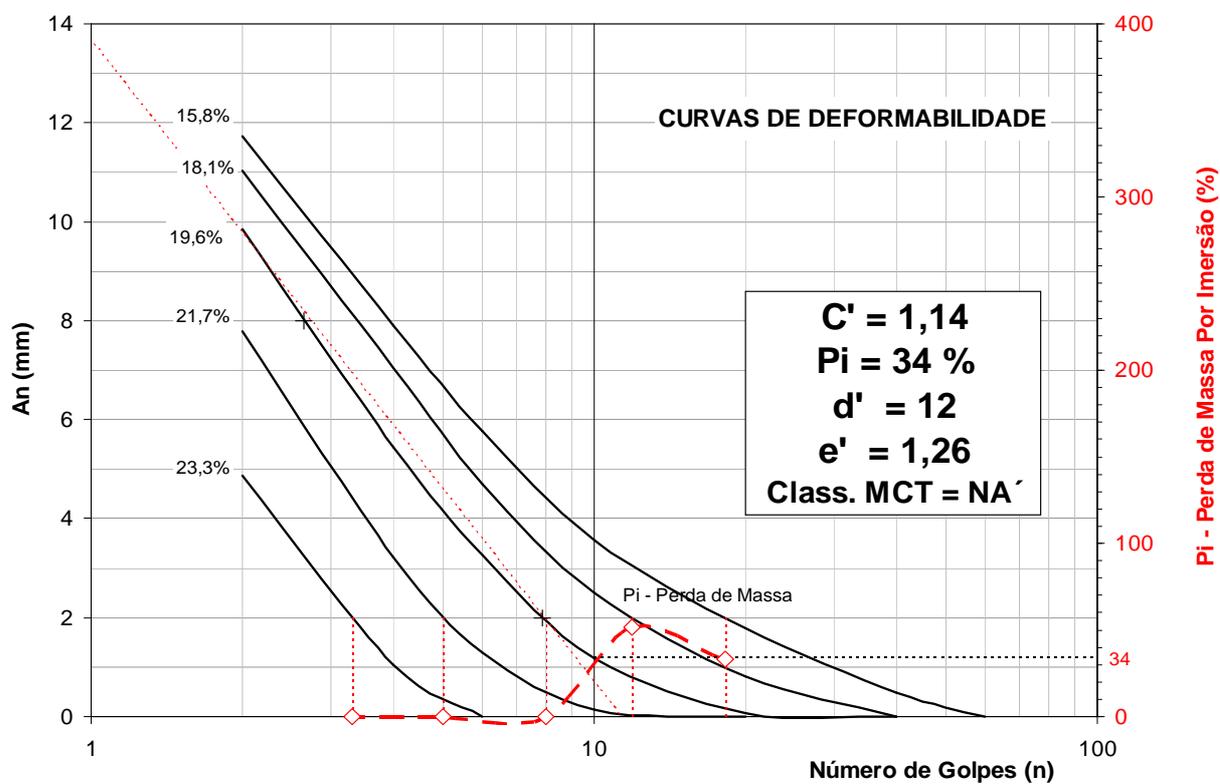
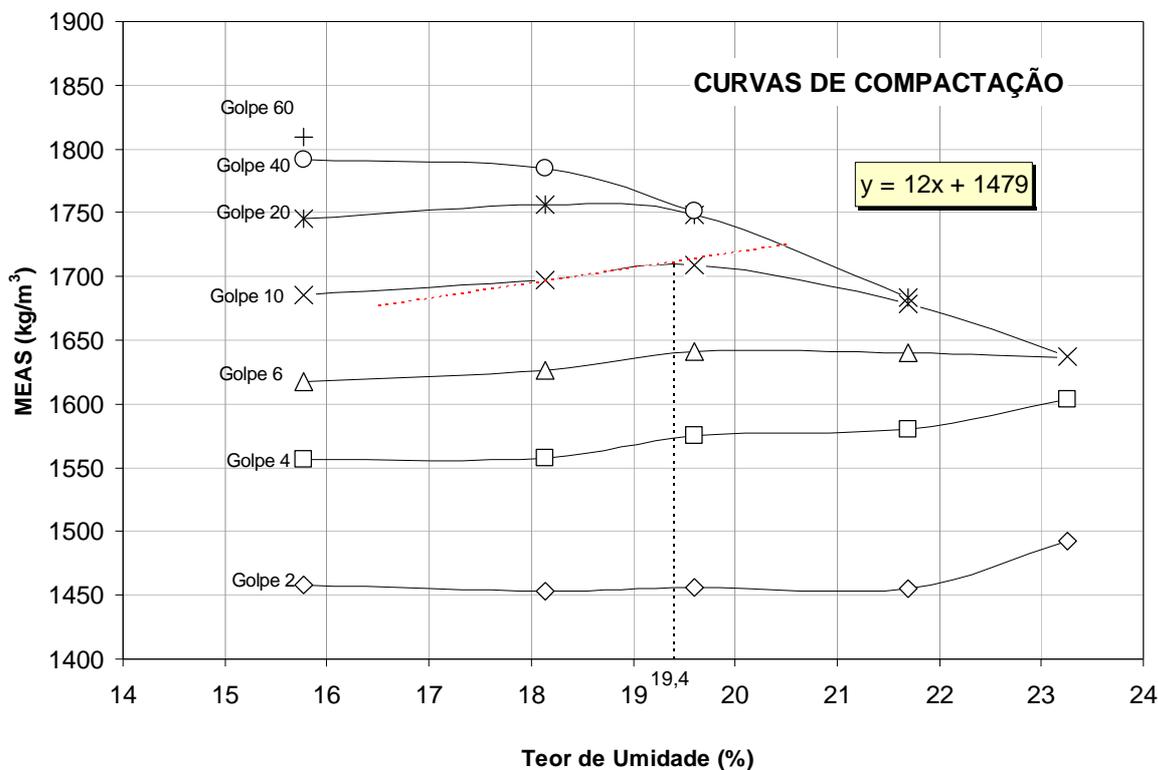


Figura 4.19 – Curvas de compactação e Deformabilidade – 6 % de cal.

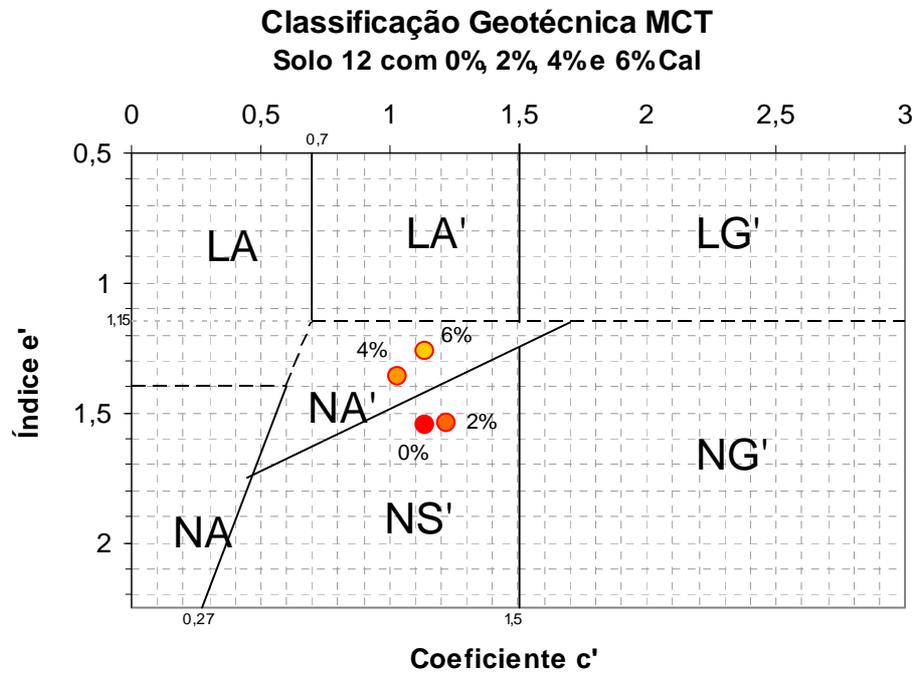


Figura 4.20– Avaliação da adição de cal.

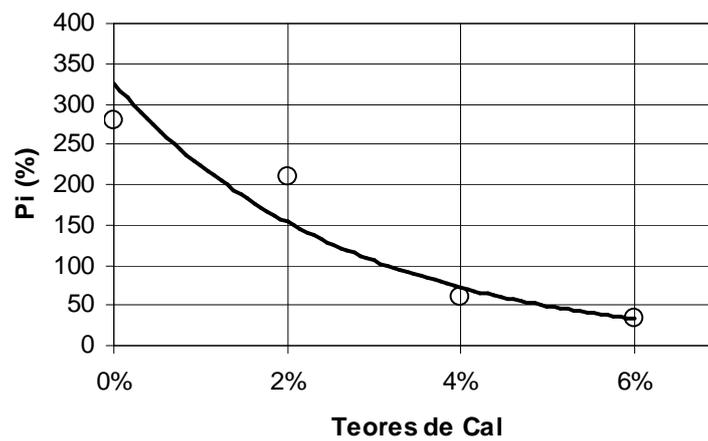


Figura 4.21 – Perda de massa por imersão x variação nos teores de cal.

4.1.5 COMPACTAÇÃO MINI-CBR

Os ensaios foram executados em uma máquina de compressão automática, as leituras de penetração foram realizadas através de LVDT e a carga aplicada foi medida através de uma célula de carga de 4,9 kN, Figura 4.22.



Figura 4.22 – Equipamento utilizado para a execução dos ensaios Mini Proctor.

Este método objetivou reduzir as interferências do operador nos resultados dos ensaios. Os dados foram transferidos para uma planilha do Excel onde era possível fazer a correção da curva com grande rapidez. A Figura 4.23 mostra um exemplo de correção do zero e do cisalhamento que era possível ser feita na curva de penetração.

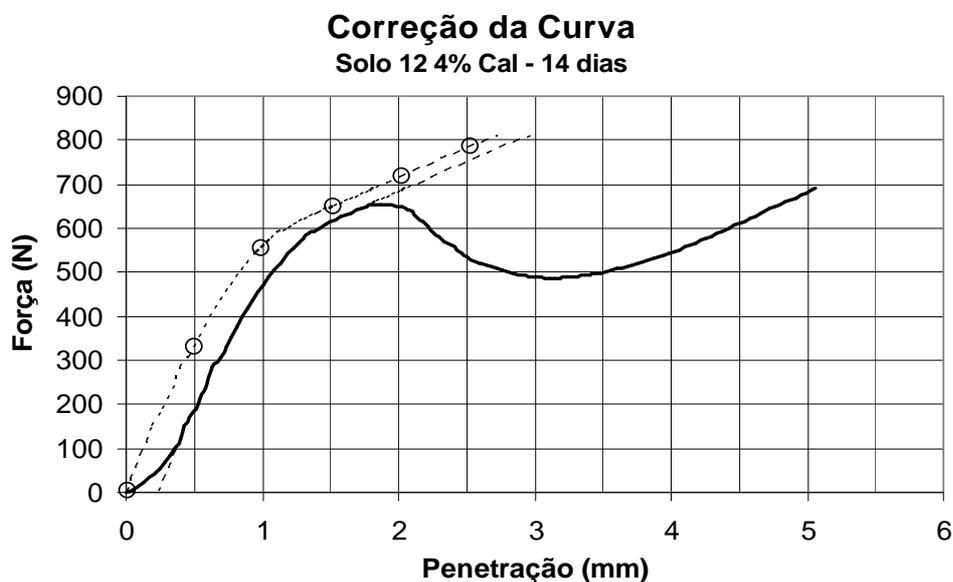


Figura 4.23 – Correção da curva de penetração.

A Figura 4.24 e Figura 4.25 mostram a cuba de imersão e o dispositivo adaptado para a leitura da expansão, que foi feita através de um extensômetro com precisão de 0,01mm.



Figura 4.24 - Tanque para imersão – Mini CBR.



Figura 4.25 - Medição da expansão Mini CBR.

Após a análise dos resultados da classificação geotécnica MCT dos solos pelo método expedito (pastilhas de 20m e 35mm) e pelo ensaio de compactação Mini MCV, selecionou-se três solos para a realização dos ensaios de compactação Mini Proctor (Mini CBR). Estes ensaios objetivaram verificar a possibilidade do uso destes solos como camadas de pavimento de baixo custo para vias de baixo volume de tráfego.

Em função dos resultados da classificação MCT (ensaios das pastilhas e ensaio de compactação) foi selecionado a amostra 03, após os primeiros ensaios chegou-se a valores muito baixos de Mini CBR, tanto com imersão quanto sem imersão sendo, em função destes dados, abandonado. Os dados do ensaio são apresentados na Figura 4.26.

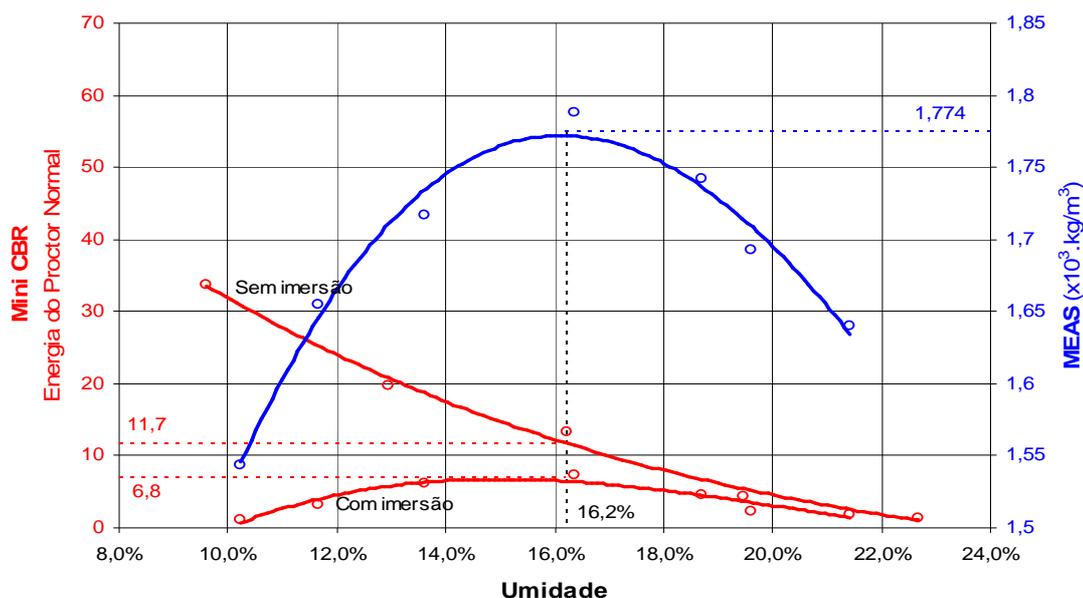


Figura 4.26 - Resultados de Mini CBR e MEAS do solo 03.

O segundo solo selecionado, considerando dos resultados da classificação MCT, foi o solo 06. Este solo foi ensaiado nas energias do Proctor normal (Figura 4.27) e intermediário (Figura 4.28).

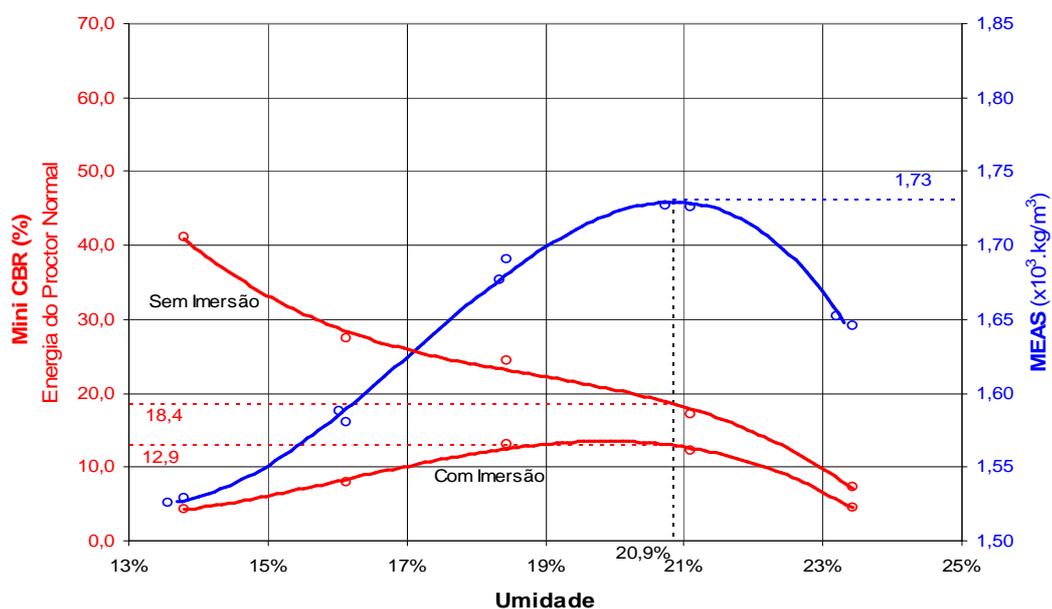


Figura 4.27 - Resultados de Mini CBR e MEAS do solo 06.

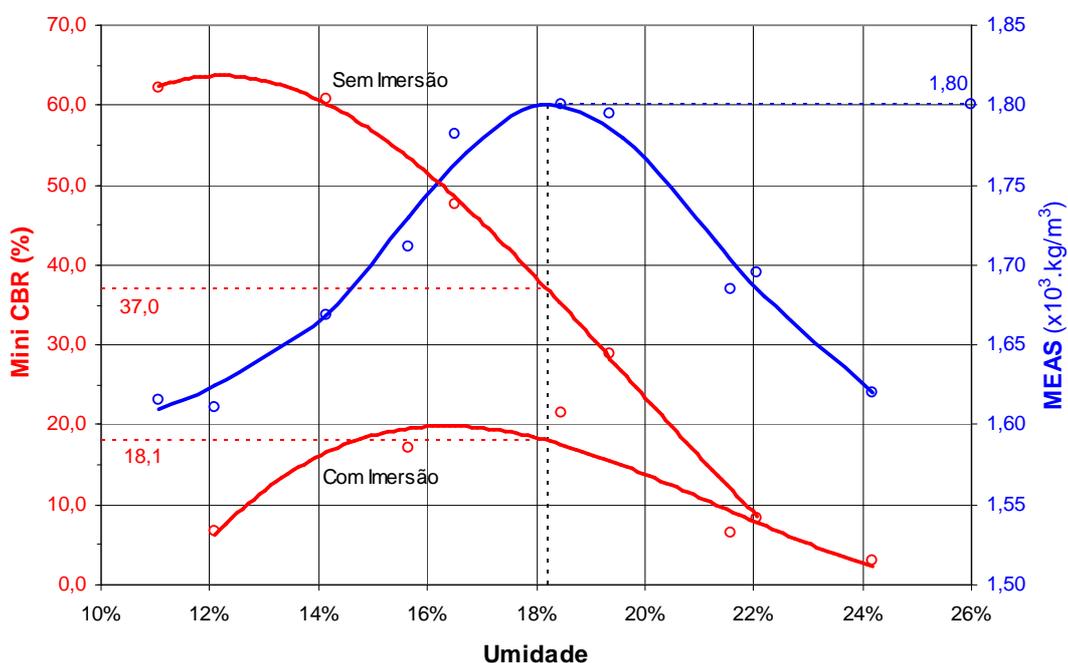


Figura 4.28 – Resultados de Mini CBR e MEAS do solo 06.

Foi moldado 1 corpo de prova deste solo para ensaio de módulo resiliente no Laboratório da Pavimentação da Universidade de São Paulo. O corpo de prova foi moldado na

umidade ótima de compactação. O valor de módulo resiliente é representado pela seguinte expressão:

$$MR = \frac{\sigma d}{\varepsilon} \quad (4.1)$$

onde:

σd = F/A tensão desvio.

ε = $\Delta h/H$ = deformação específica

O resultado do ensaio é apresentado na no gráfico da Figura 4.29. Resultando em um comportamento de solos coesivo (LG'), com módulo representado a partir de um modelo combinado.

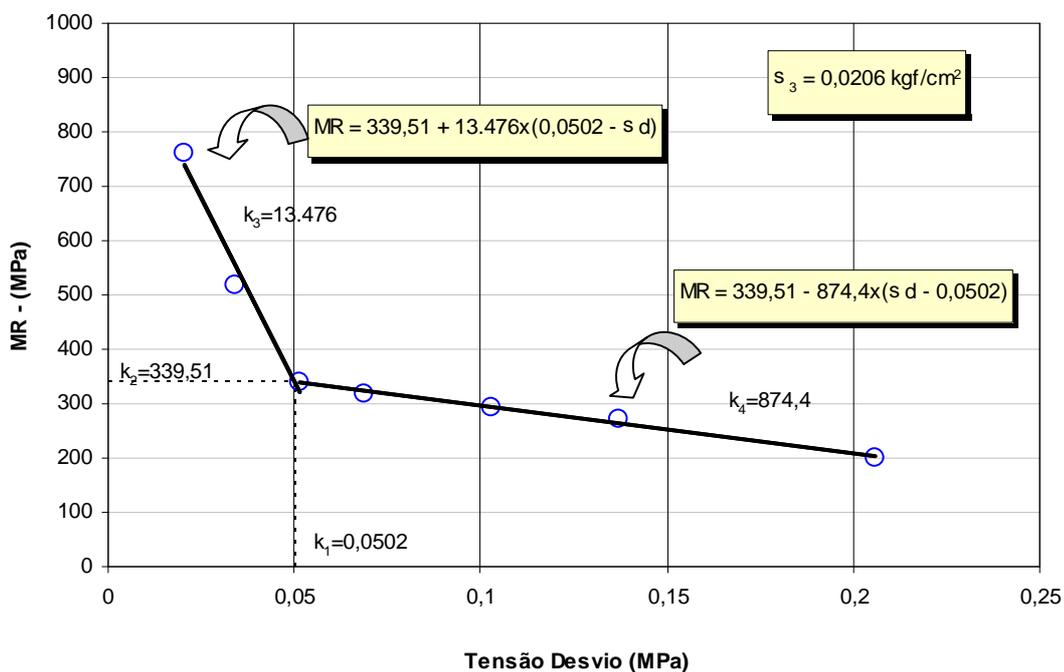


Figura 4.29 – Módulo resiliente do solo 06



Figura 4.30 - Equipamento para ensaio triaxial de módulo resiliente.

4.1.6 ESTABILIZAÇÃO COM CAL E O MÉTODO MINI PROCTOR

O terceiro solo escolhido, considerando dos resultados da classificação MCT, foi o solo 12, este solo foi selecionado para se verificar a possibilidade de seu uso em camada de pavimento, após estabilização com cal. Ficou evidente a sua restrição, após a análise dos resultados dos ensaios, para uso direto, sem estabilização.

Este solo foi ensaiado com teores de cal variando de 0%, 2%, 4% e 6% e tempo de cura variando de 0, 7, 14 e 21 dias.

Inicialmente foram moldados 8 corpos de prova para cada teor de cal, totalizando 32 corpos de prova, que foram ensaiados com o objetivo de determinar as umidades ótimas de compactação para cada teor, os dados estão na Tabela 4.5 e o gráfico na Figura 4.31.

Com o aumento do teor de cal há um aumento na umidade ótima de compactação e uma redução na MEAS. Este comportamento está relacionado ao aumento do teor de finos no solo com a adição da cal (aumento da umidade ótima), e às reações de floculação provocam um aumento da granulometria (redução da massa específica aparente seca).

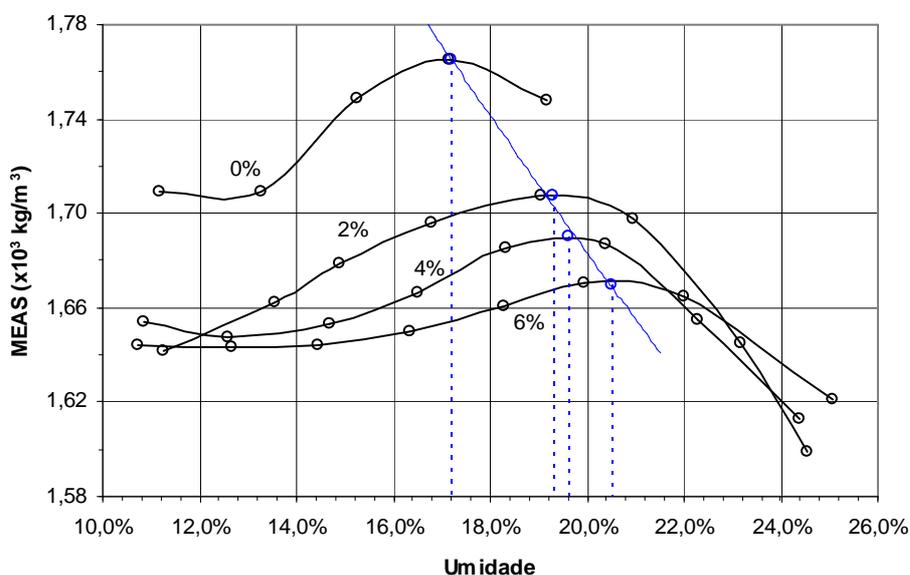


Figura 4.31 – Variação da MEAS com a variação do teor de cal.

Tabela 4.5 – Umidade ótima de compactação e MEAS para cada teor de cal.

% Cal	0%	2%	4%	6%
MEAS	1,77	1,71	1,69	1,67
Umidade	17,2%	19,3%	19,6%	20,5%

Determinada a umidade ótima para cada teor de cal, foram então moldados 10 corpos de prova para cada teor (2%, 4% e 6%), totalizando 30 corpos de prova. Estes foram, então, ensaiados dois a dois com 1 dia de cura sem imersão e com 1, 7 14 e 21 dias de cura com imersão.

Os corpos de prova foram compactados na energia normal de compactação. Estes ensaios visam avaliar a utilização do ensaio Mini CBR para a determinação do teor ótimo de cal para estabilização de solos.

O gráfico da Figura 4.32 e permite concluir que maiores teores de cal poderiam aumentar os valores de Mini CBR deste solo. A aplicação do método do pH, página 41, indicou que

para esta amostra o teor ideal de cal ficaria em torno de 10%, conforme o gráfico da Figura 4.33.

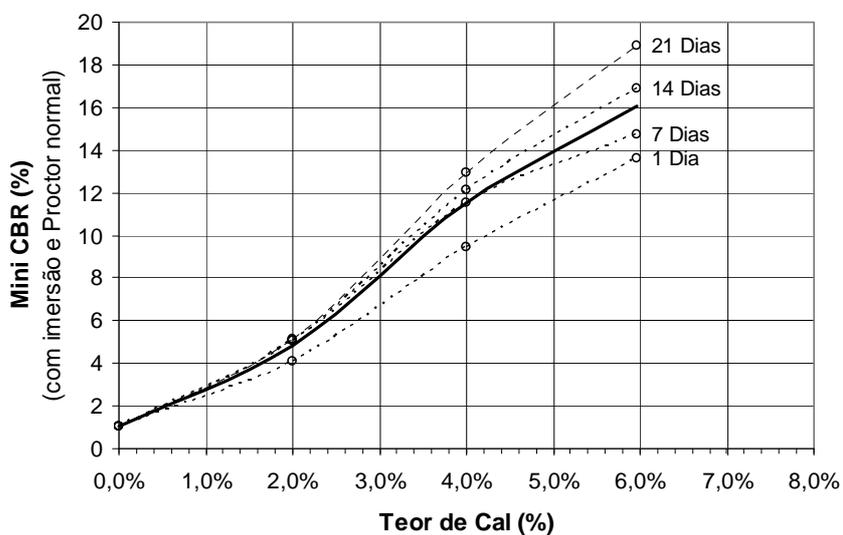


Figura 4.32 - Mini CBR com imersão em função da variação do teor de cal.

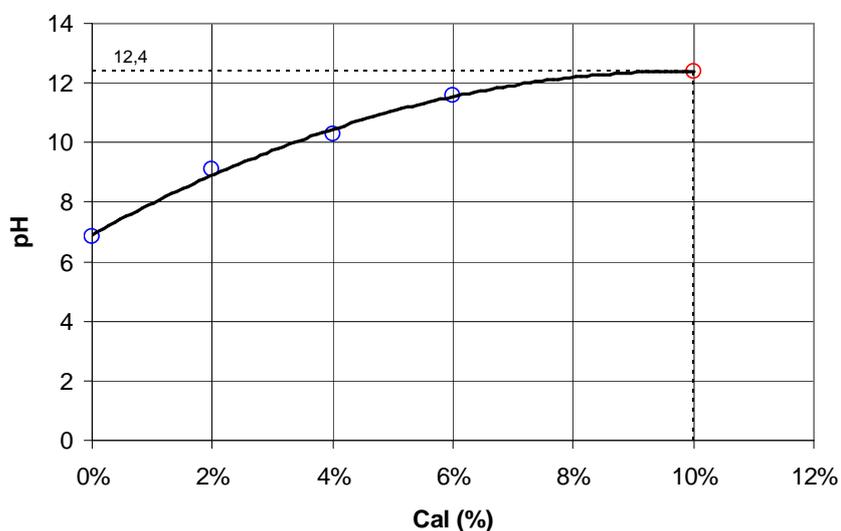


Figura 4.33 - Variação do pH com a adição de cal.

O gráfico da Figura 4.34 mostra que os valores de Mini CBR aumentam com o tempo de cura, sendo necessários maiores períodos de cura para maiores teores de cal. O tempo de

21 dias de cura, utilizados nesta pesquisa foram insuficientes para atingir um patamar na curva, sugerindo que haverá aumento no Mini CBR com o passar do tempo para o teor de 6%.

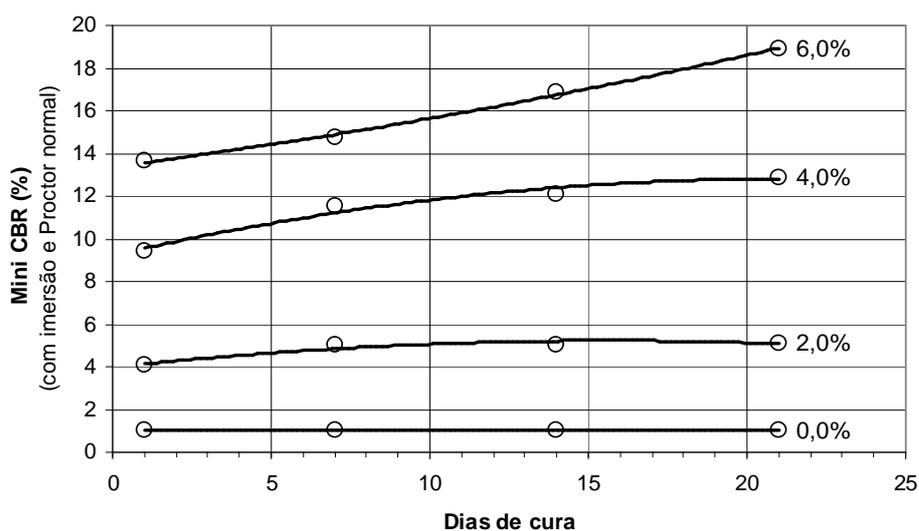


Figura 4.34 – Valores de Mini CBR x tempo de cura dos corpos de prova.

O gráfico da Figura 4.35 mostra a variação na expansão do solo em relação à variação no teor de cal. Há uma redução expressiva na expansão do solo com pequenos teores de cal.

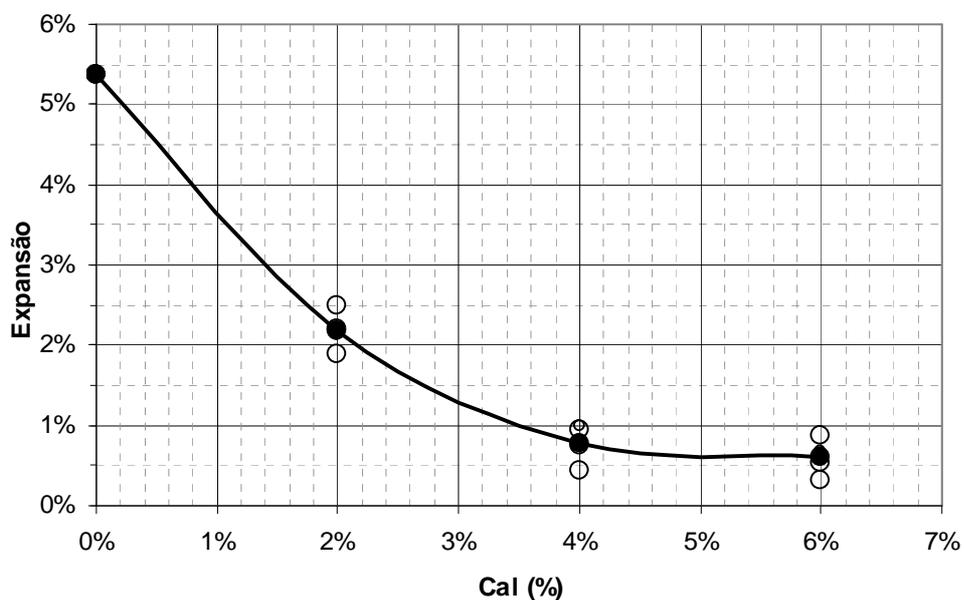


Figura 4.35 – Expansão do solo x teores de cal.

O gráfico da Figura 4.36 mostra que o tempo de cura influencia pouco no controle da expansão do solo. Há um ligeiro aumento na expansão nos primeiros dias, voltando a reduzir ligeiramente sem, contudo, atingir os valores inicialmente encontrados dentro do período de cura utilizado nesta pesquisa. Os gráficos sugerem que com o prolongamento da cura haverá uma gradual redução nestes valores.

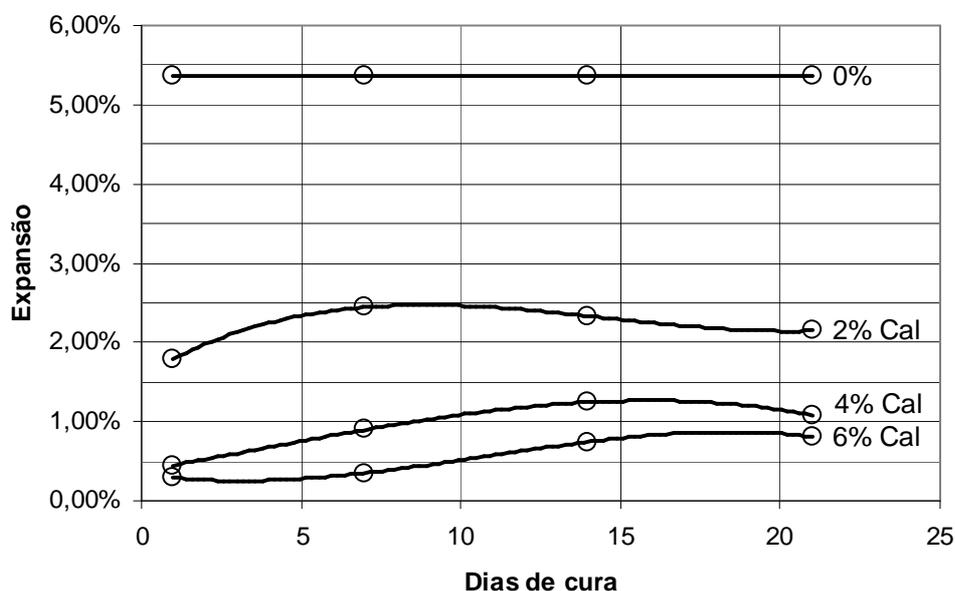


Figura 4.36 – Variação na expansão do solo com o tempo de cura.

Foram moldados 3 corpos de prova deste solo para ensaio de módulo resiliente no Laboratório da Pavimentação da Universidade de São Paulo. Os corpos de prova foram moldados com teores de 0% e 6% de cal e umidade ótima de compactação. Os corpos de prova com 6% de cal foram rompidos com 7 e 28 dias de cura em câmara úmida. O resultado do solo natural (0% de Cal) e mostrado na Figura 4.37 e a Figura 4.38 mostra os três resultados.

Os resultados dos ensaios de módulo resiliente vieram confirmar o excelente desempenho da estabilização com cal já identificado nos ensaios Mini Proctor. Este solo, que quando ensaiado em estado natural apresentou baixo valor de CBR (1%) e alta expansão (> 5%), passou a ter um comportamento muito mais adequado para uso em pavimentação. A expansão reduziu-se a níveis de 0,5%, o valor do Mini CBR passou para valores próximos a 20% e o módulo resiliente atingiu valores adequados para uso em camadas de pavimento.

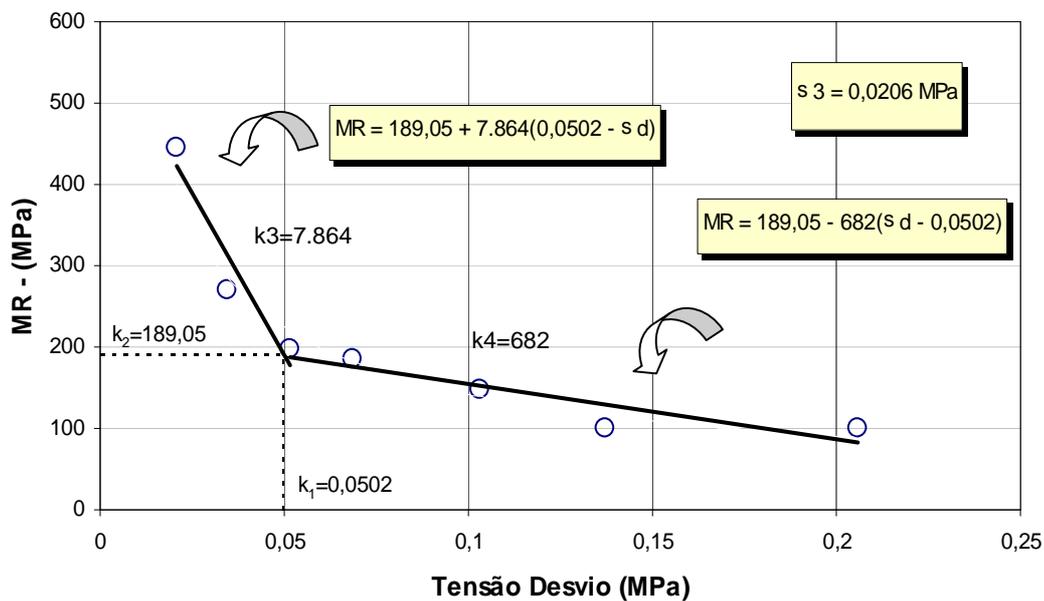


Figura 4.37 - Módulo Resiliente – Solo natural

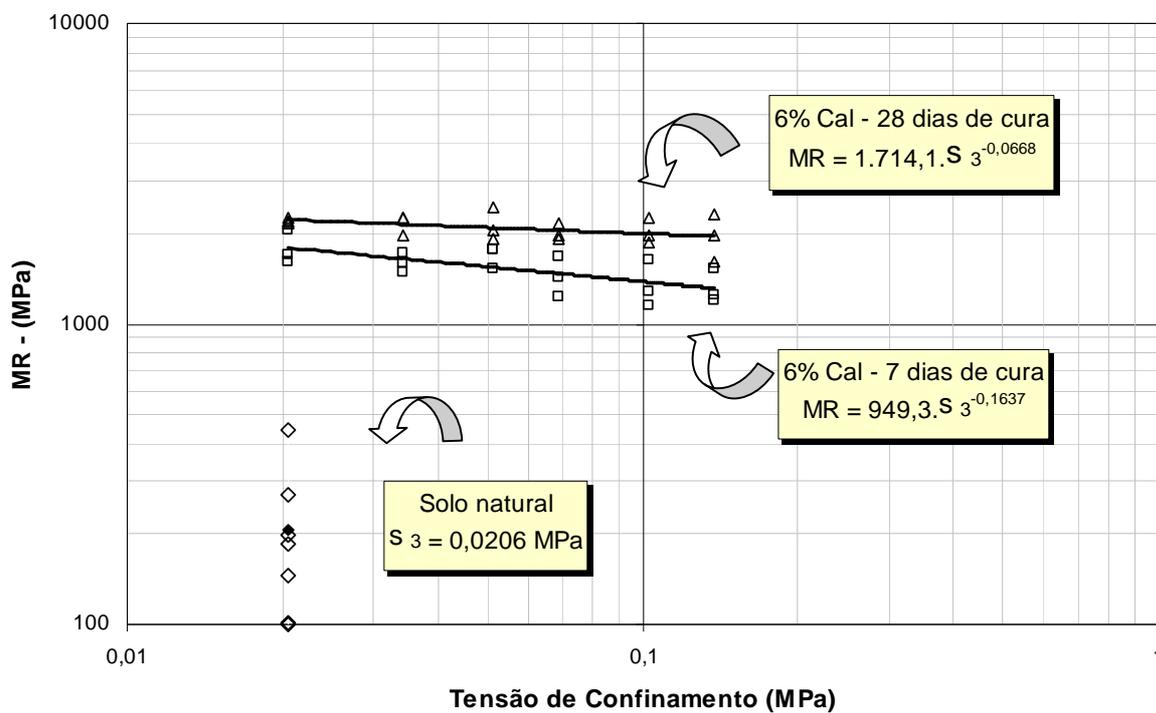


Figura 4.38 – Resultados dos ensaios de módulo resiliente.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS

Os resultados dos ensaios pelo método das pastilhas permitiram escolher dentre os materiais analisados 4 amostras que poderão ser utilizadas para a produção de areia asfalto a frio.

A Figura 4.39 mostra os resultados dos ensaios de granulometria destes solos comparados com a faixa C do DNIT. Os ensaios de granulometria por peneiramento foram realizados com as amostras antes e depois de serem lavadas. Mais uma vez este recurso é utilizado para verificar o grau de agregação existente entre as partículas finas e graúdas do solo.

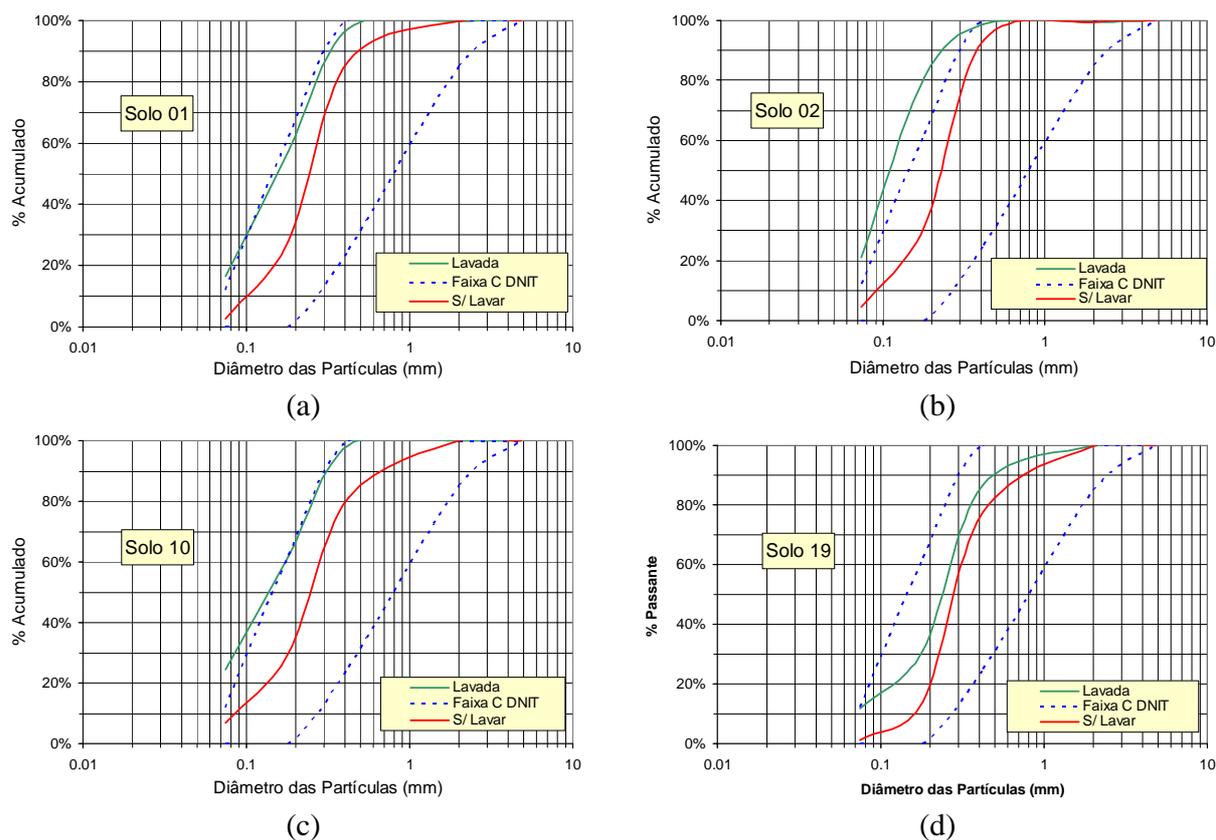


Figura 4.39 - Curvas granulométricas das areias

4.2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.

Para uma melhor avaliação dos solos, mas principalmente, avaliar os resultados da metodologia MCT, os solos foram submetidos a análise granulométrica

As amostras foram separadas em duas granulometrias diferentes, os materiais retidos na peneira de 0,42mm foram analisados por peneiramento e os passantes nesta malha foram analisados em um equipamento a laser (Malvern Instruments Ltd.) do Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). Este processo foi escolhido devido à exigüidade de tempo para a execução dos ensaios pelo processo de peneiramento e sedimentação tradicionais. A Figura 4.40 mostra um esquema do funcionamento deste equipamento.

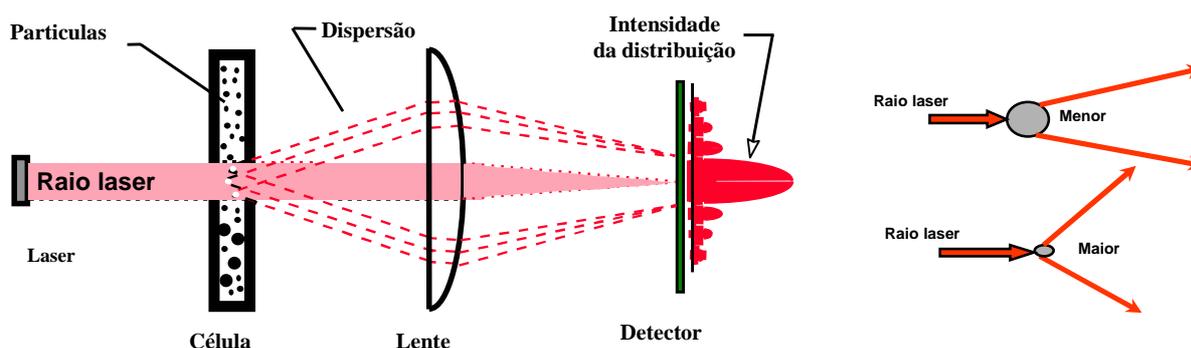


Figura 4.40 - Funcionamento do analisador de tamanho de partículas a laser.

Após a análise das amostras os arquivos digitais foram interpretados em um software fornecido pelo fabricante do equipamento (Mastersizer 2000 r 5.22, Malvern Instruments Ltd.). Este software permite variar diversos parâmetros e definir qualquer malha que o usuário necessite.

Os ensaios foram executados com e sem a aplicação de ultra som, que tem a finalidade de deflocular o solo. Este recurso foi utilizado para avaliar coesão entre as diversas frações do solo.

As curvas granulométricas dos solos, tanto a curva acumulada quanto a pontual, permitiram observar a relação que existe entre a coesão das partículas e o comportamento laterítico destes.

Nos solos que foram classificados, pelo método expedito das pastilhas, como de comportamento laterítico, existe uma maior distância entre a curva granulométrica obtida sem ultra som com a que foi obtida com a aplicação do ultra som.

Este comportamento pode ser explicado pela característica dos solos lateríticos de terem sua fração fina mais fortemente aderidas às partículas de maior diâmetro. Os gráficos da Figura 4.41 até a Figura 4.54 permitem observar este comportamento.

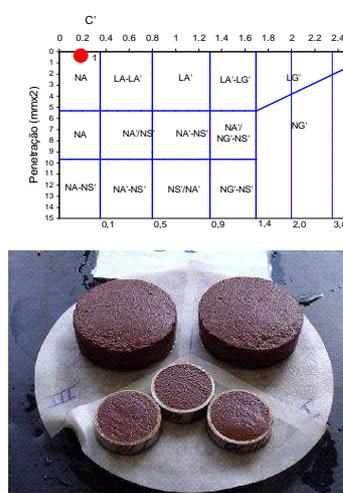
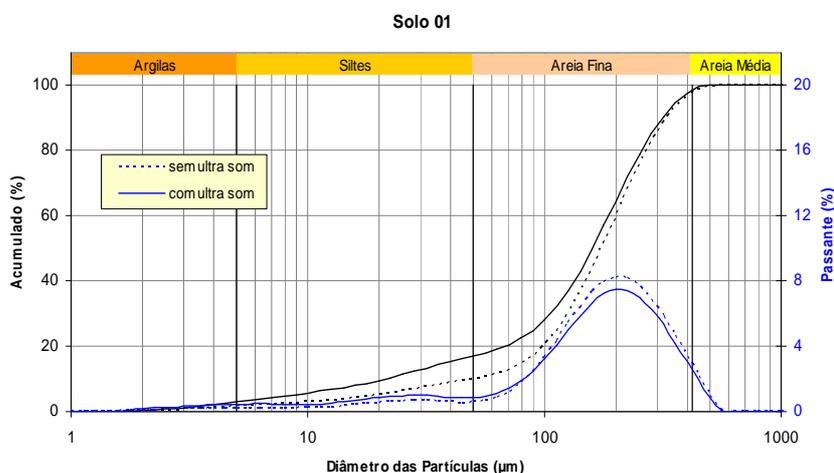


Figura 4.41 – Granulometria e classificação MCT do solo 01

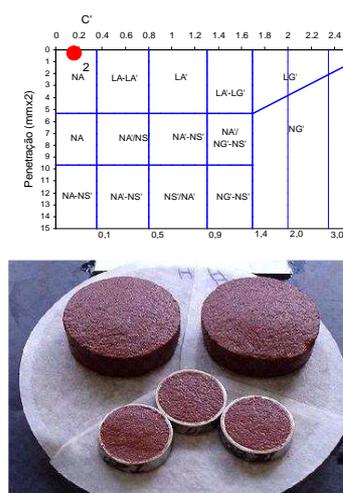
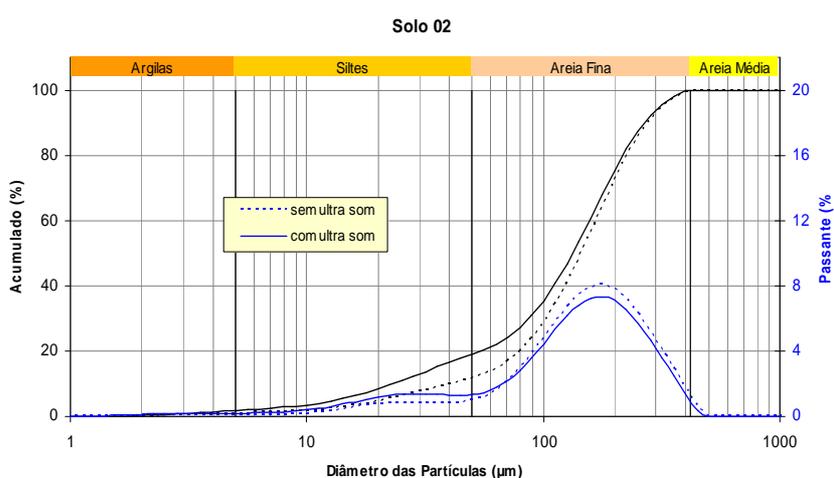


Figura 4.42 - Granulometria e classificação MCT do solo 02

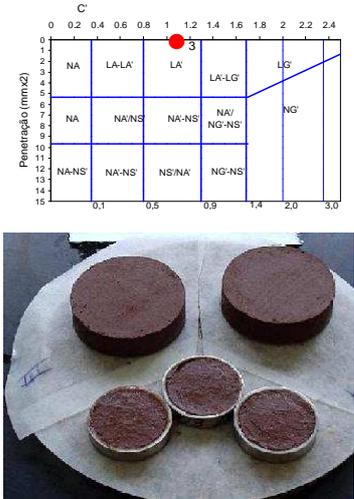
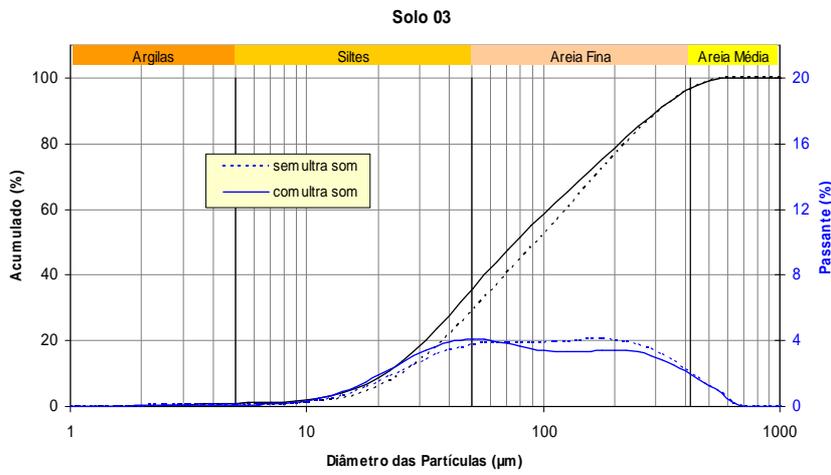


Figura 4.43 – Granulometria e classificação MCT do solo 03

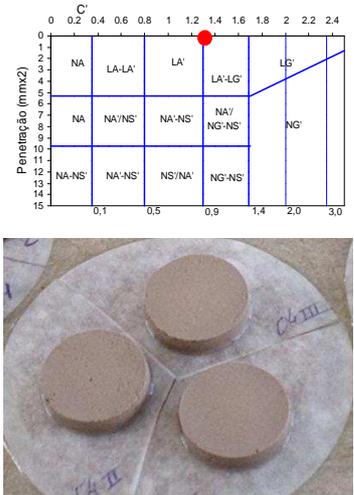
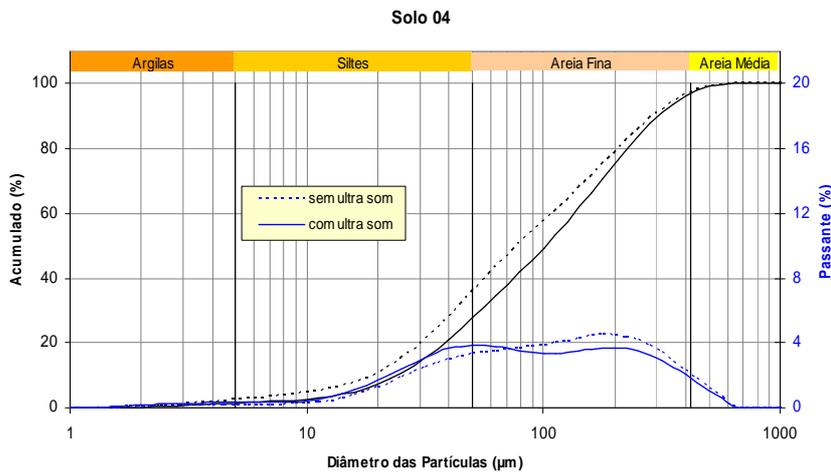


Figura 4.44 – Granulometria e classificação MCT do solo 04

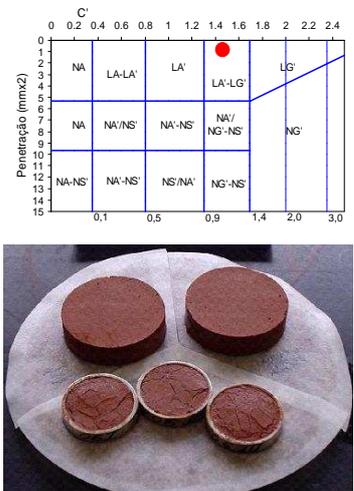
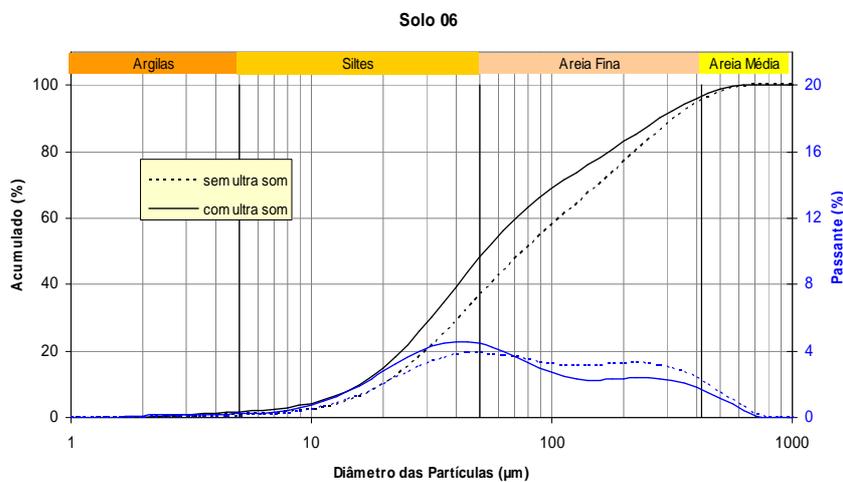


Figura 4.45 – Granulometria e classificação MCT do solo 06

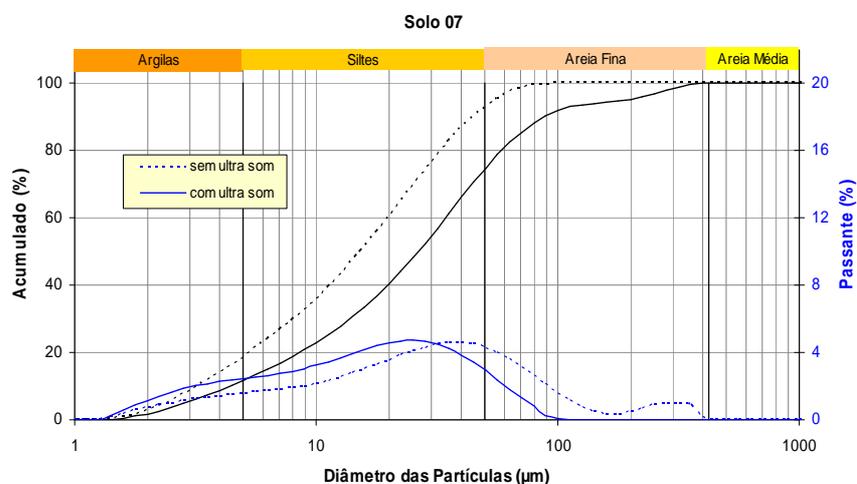


Figura 4.46 – Granulometria e classificação MCT do solo 07

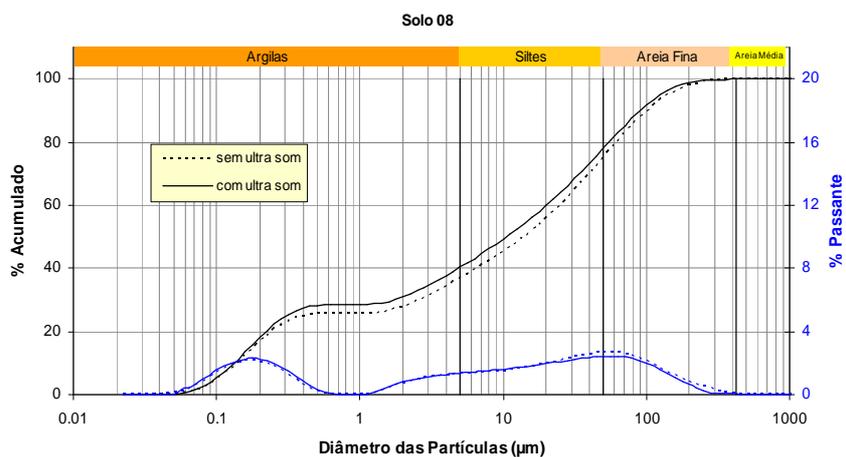
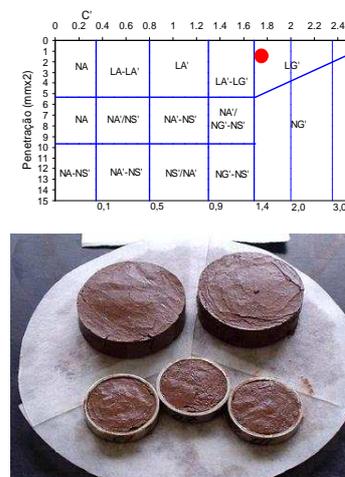


Figura 4.47 – Granulometria e classificação MCT do solo 08

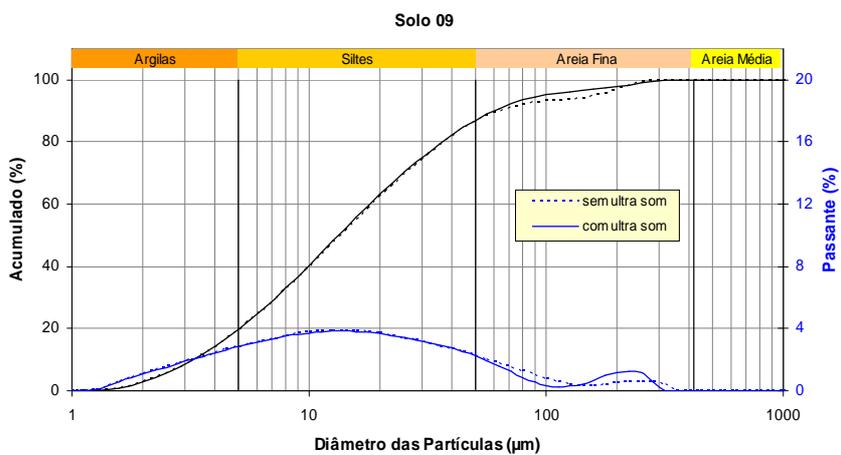
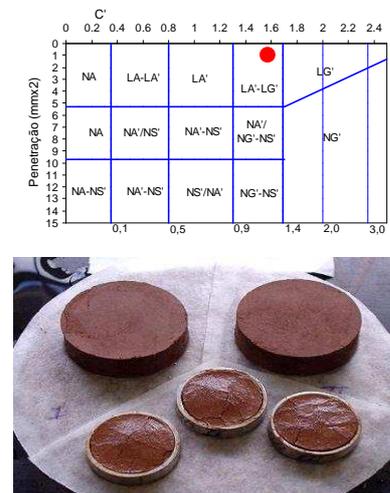
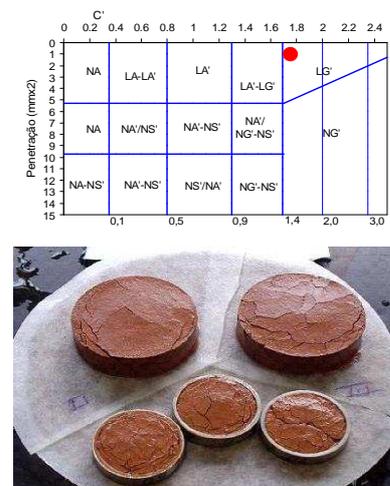


Figura 4.48 – Granulometria e classificação MCT do solo 09



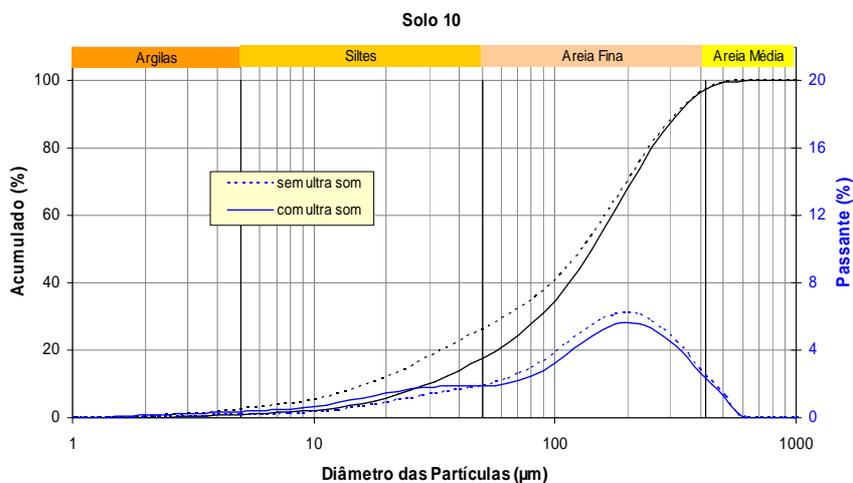


Figura 4.49 – Granulometria e classificação MCT do solo 10

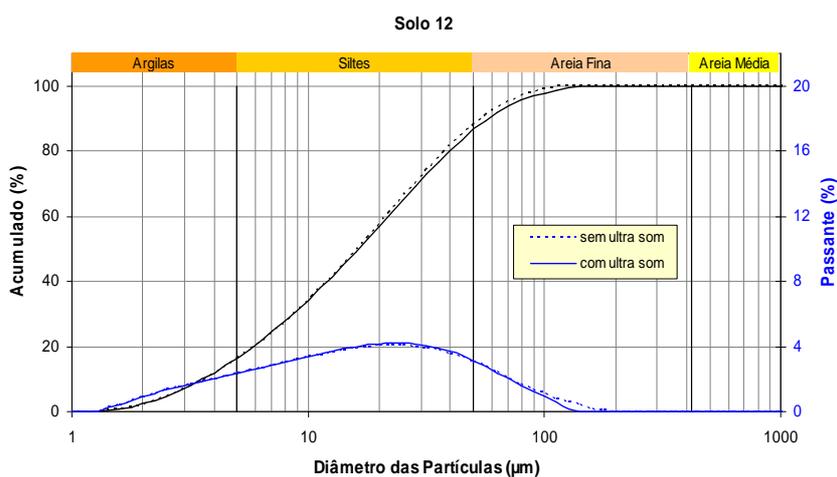
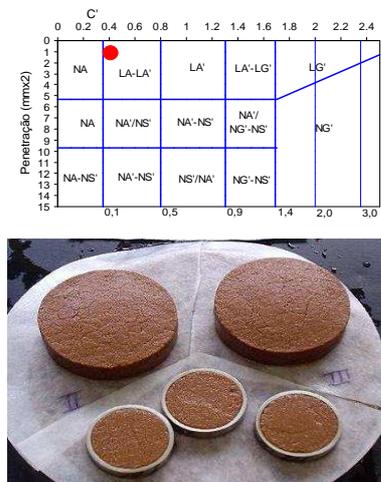


Figura 4.50 – Granulometria e classificação MCT do solo 12

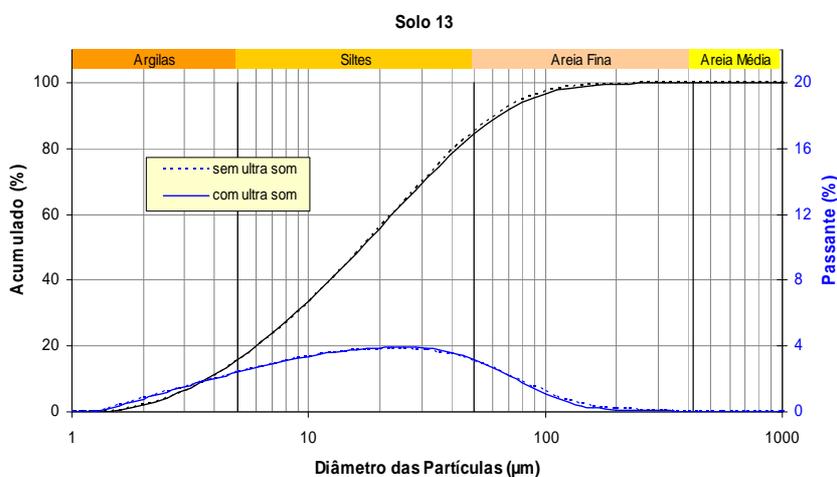
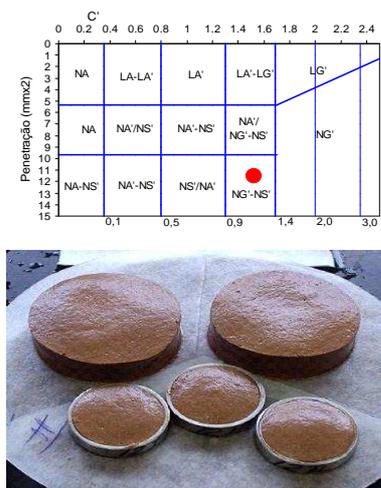
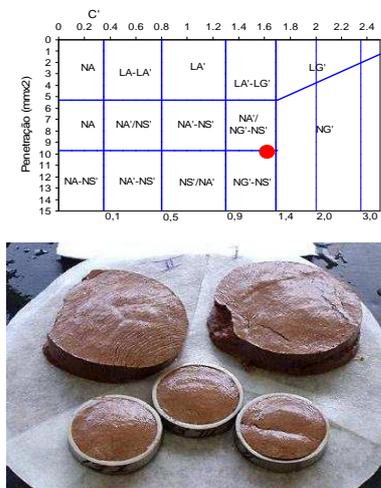


Figura 4.51 – Granulometria e classificação MCT do solo 13



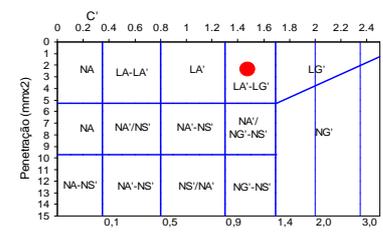
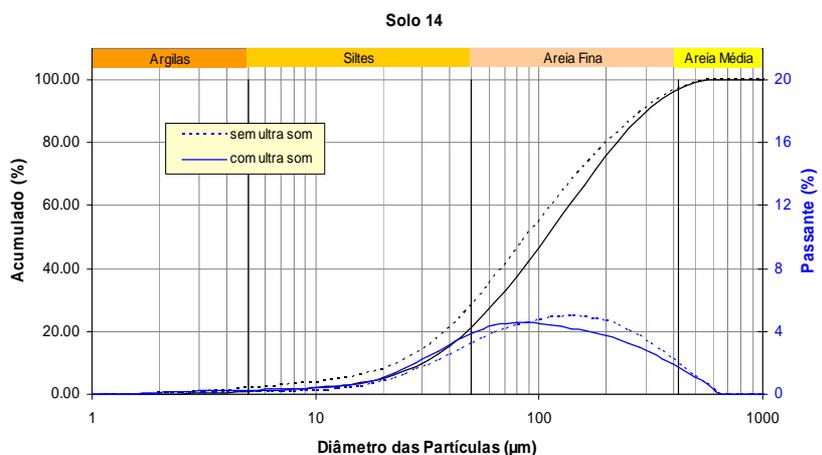


Figura 4.52 – Granulometria e classificação MCT do solo 14

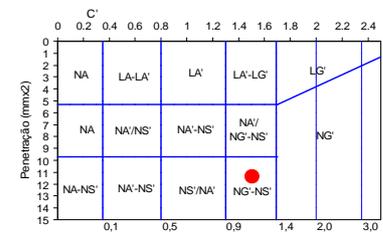
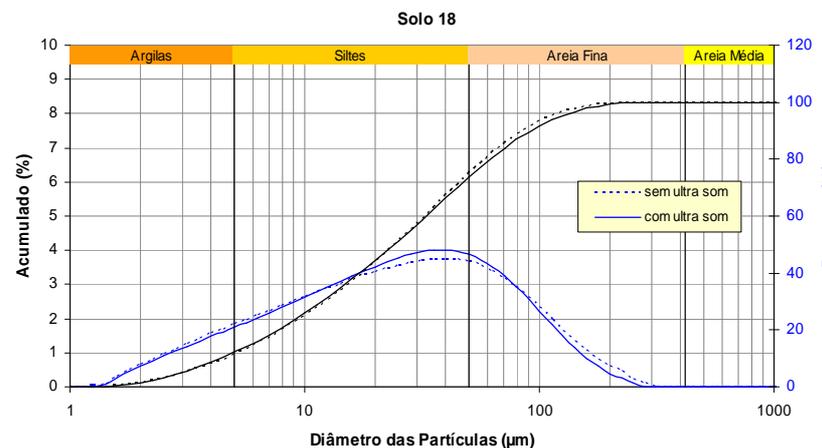


Figura 4.53 – Granulometria e classificação MCT do solo 18

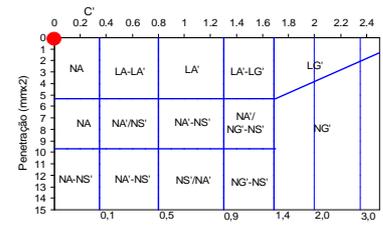
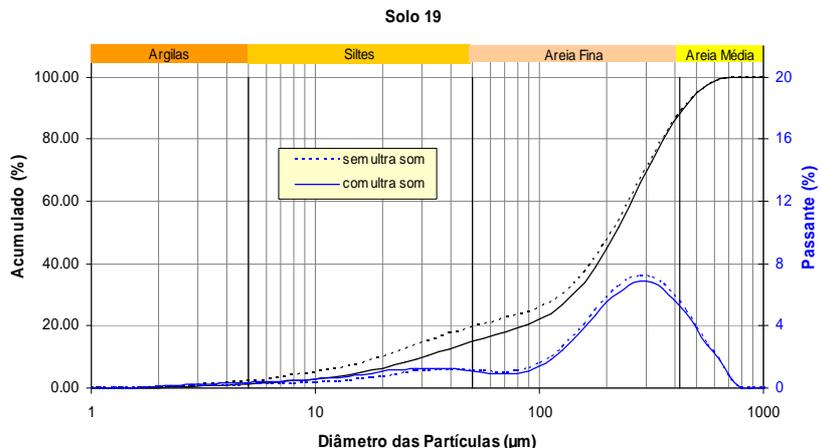


Figura 4.54 – Granulometria e classificação MCT do solo 19

4.2.2 ANÁLISE MICROSCÓPICA

Foi realizada uma análise microscópica dos solos que, através dos ensaios das pastilhas e granulometria, se mostraram adequados para uso em um revestimento a base de areia asfalto a frio.

Esta análise foi realizada, inicialmente, através de um microscópio de baixo custo acoplado a uma câmera de vídeo e um micro computador (Figura 4.55)

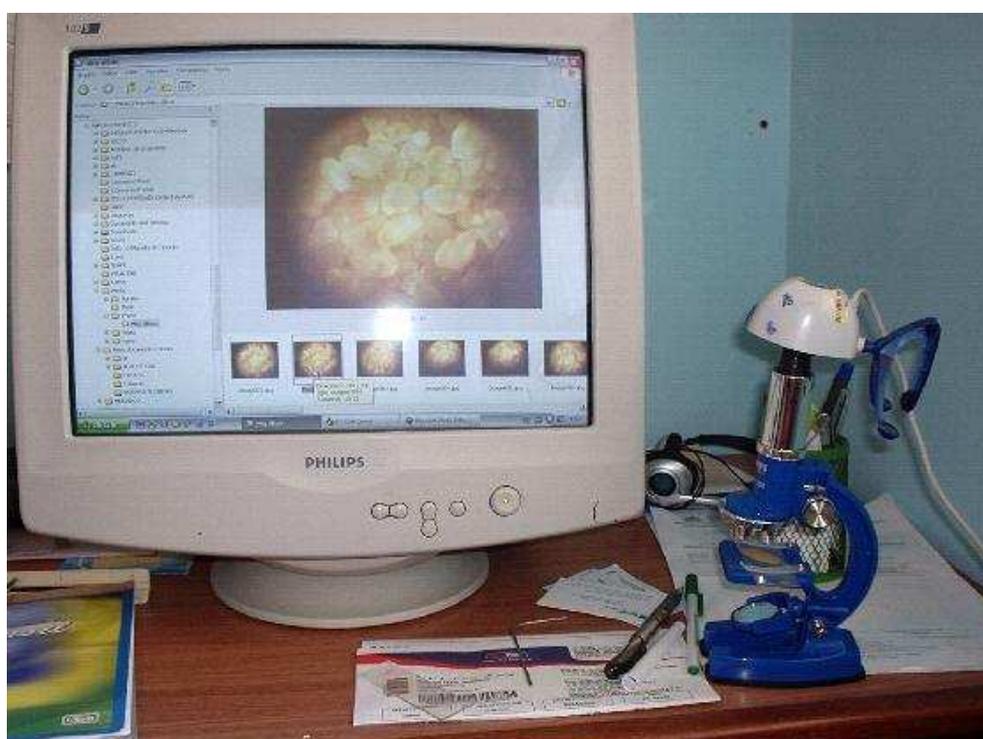


Figura 4.55 - Microscópio montado junto com uma WebCam e Microcomputador.

No decorrer da análise o método foi considerado inadequado, pois disponibiliza poucas partículas em cada foto, necessitando um grande número de fotos de cada amostra para que se pudesse fazer uma boa avaliação. Além disso, como as fotos apresentavam variação da

intensidade das cores, no centro mais clara e nas bordas mais escuras, dificultava a utilização de software's de digitalização de imagens.

Numa segunda tentativa de avaliar a morfologia dos grãos, foram feitas observações em um microscópio ótico do Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Materiais, da UFSC.

Estas fotos permitiram a avaliação da superfície dos grãos (Figura 4.56 até a Figura 4.59), porém para a digitalização seria importante que as fotos tivessem um maior contraste.

Uma observação importante foi a influência da lavagem da areia na superfície dos grãos, Foram feitas observações nas 4 amostras sem e com lavagem e em duas granulometrias distintas, totalizando 16 amostras.

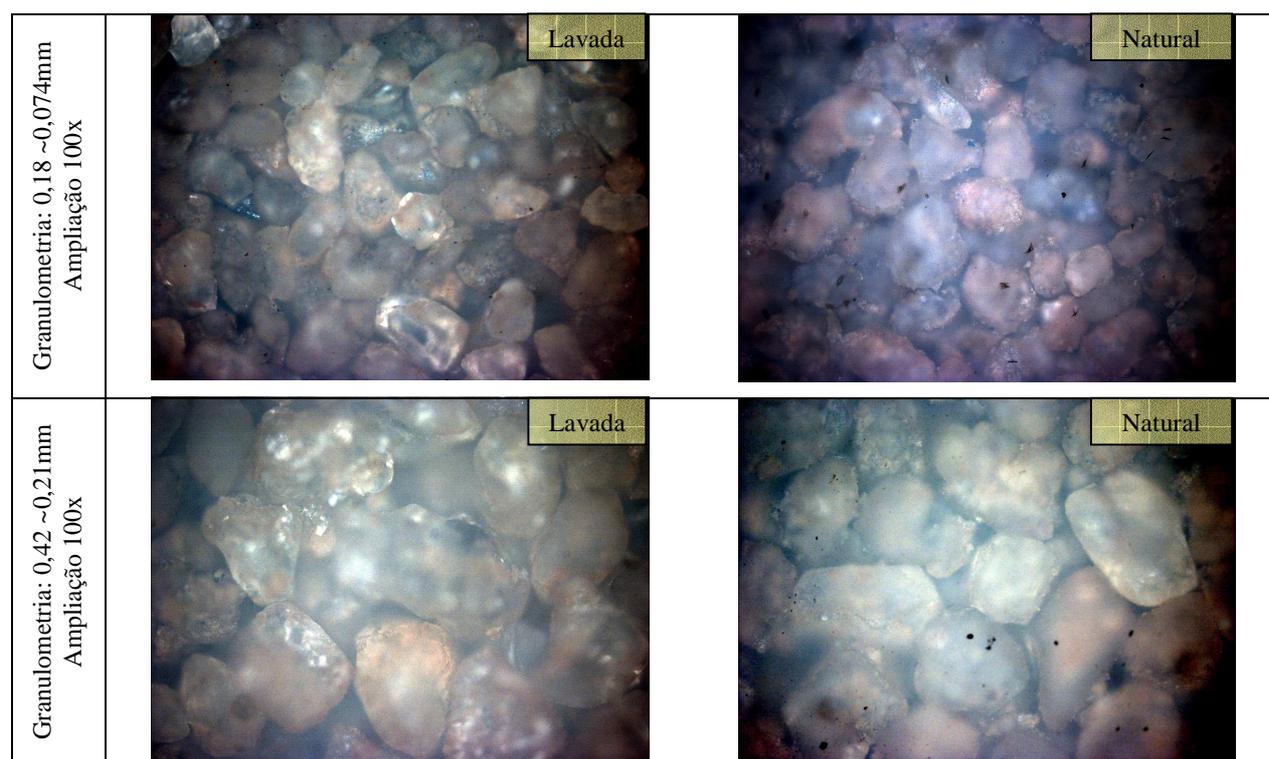


Figura 4.56 – Ampliação em microscópio - Amostra 01

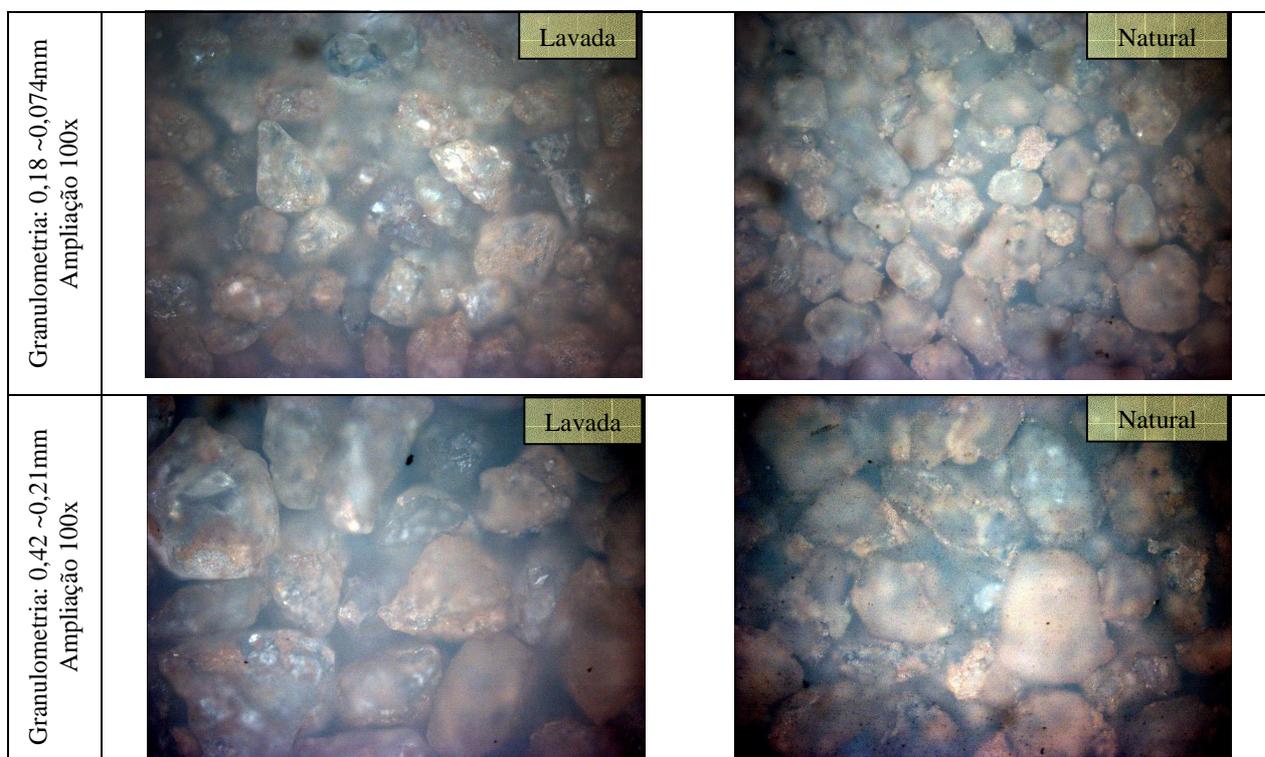


Figura 4.57– Ampliação em microscópio - Amostra 02

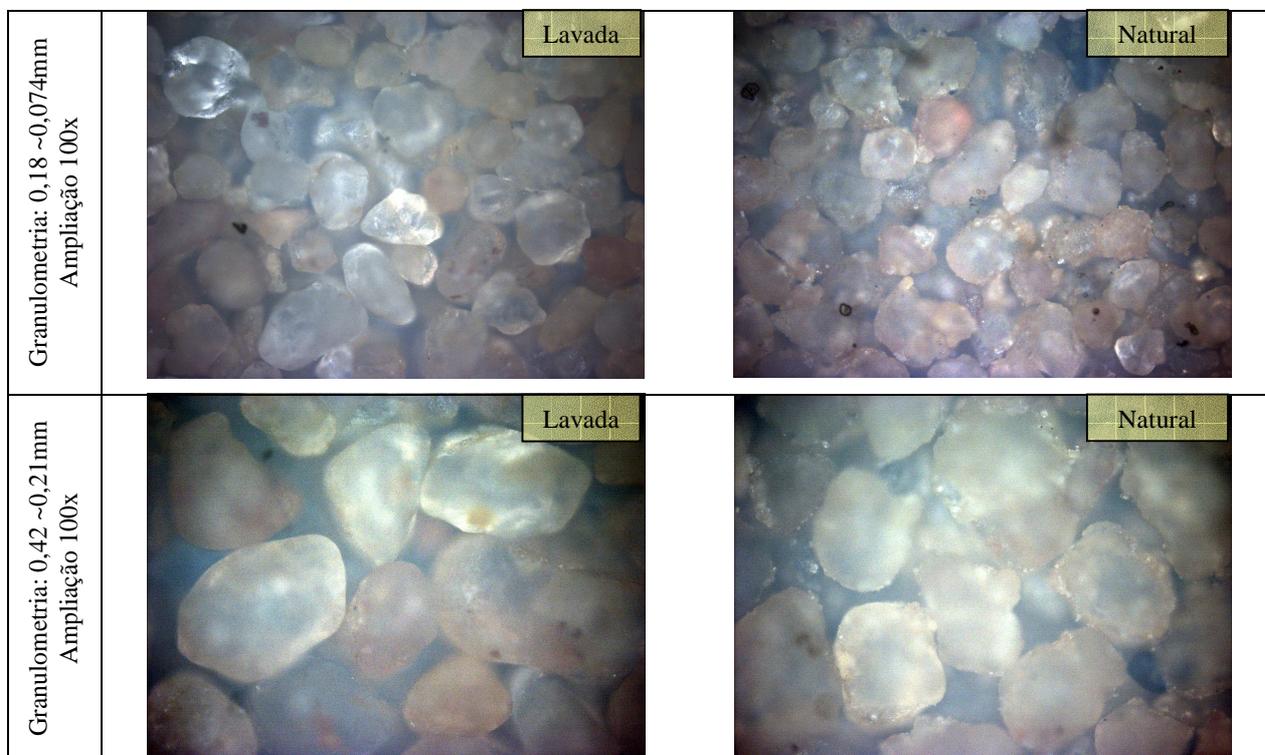


Figura 4.58 – Ampliação em microscópio - Amostra 10

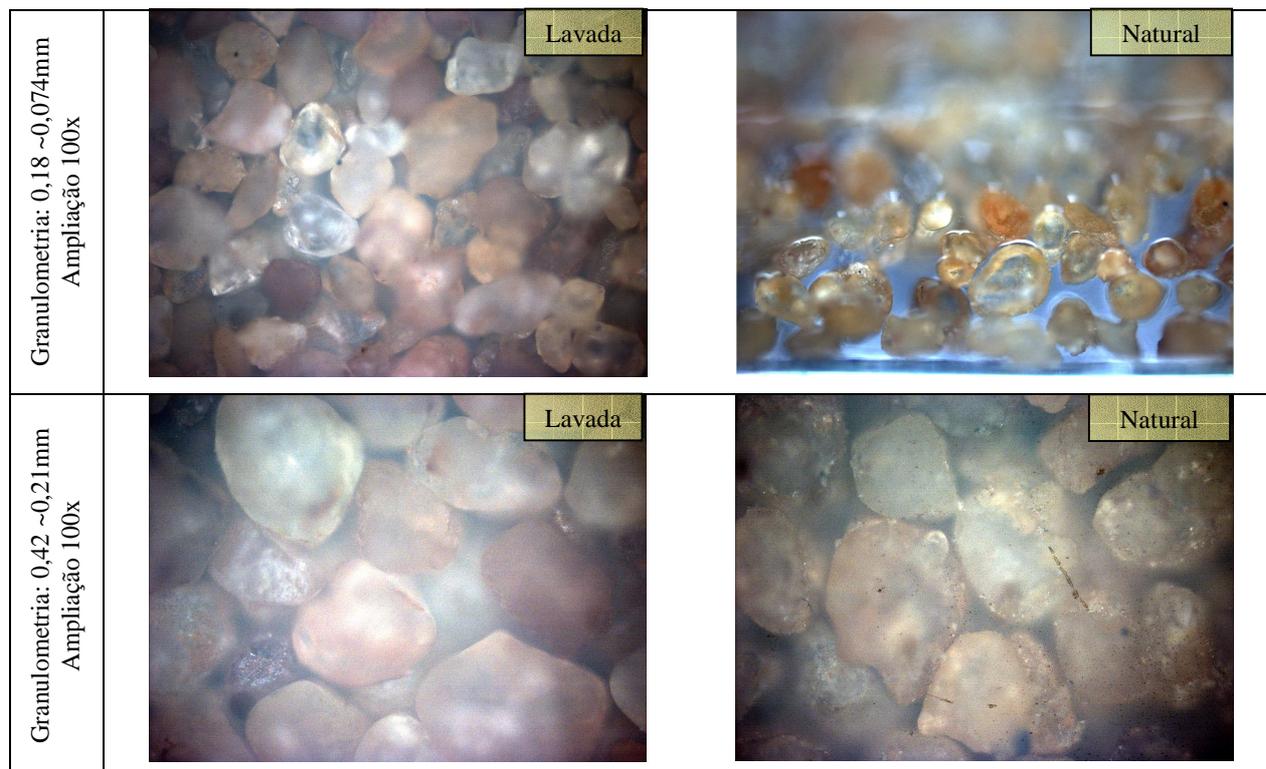


Figura 4.59 – Ampliação em microscópio - Amostra 19

Foi feita então uma terceira tentativa com o microscópio eletrônico de varredura (MEV), que forneceu fotos precisas, com ótimo contraste, permitindo a digitalização através de software (Figura 4.60 até a Figura 4.63). Estas imagens permitiram uma melhor avaliação das partículas, podendo ser observado o nível de rugosidade e aspereza da superfície dos grãos.

As amostras foram observadas com e sem lavagem para avaliar a influência da lavagem na superfície dos grãos, e em duas granulometrias distintas, totalizando 16 amostras.

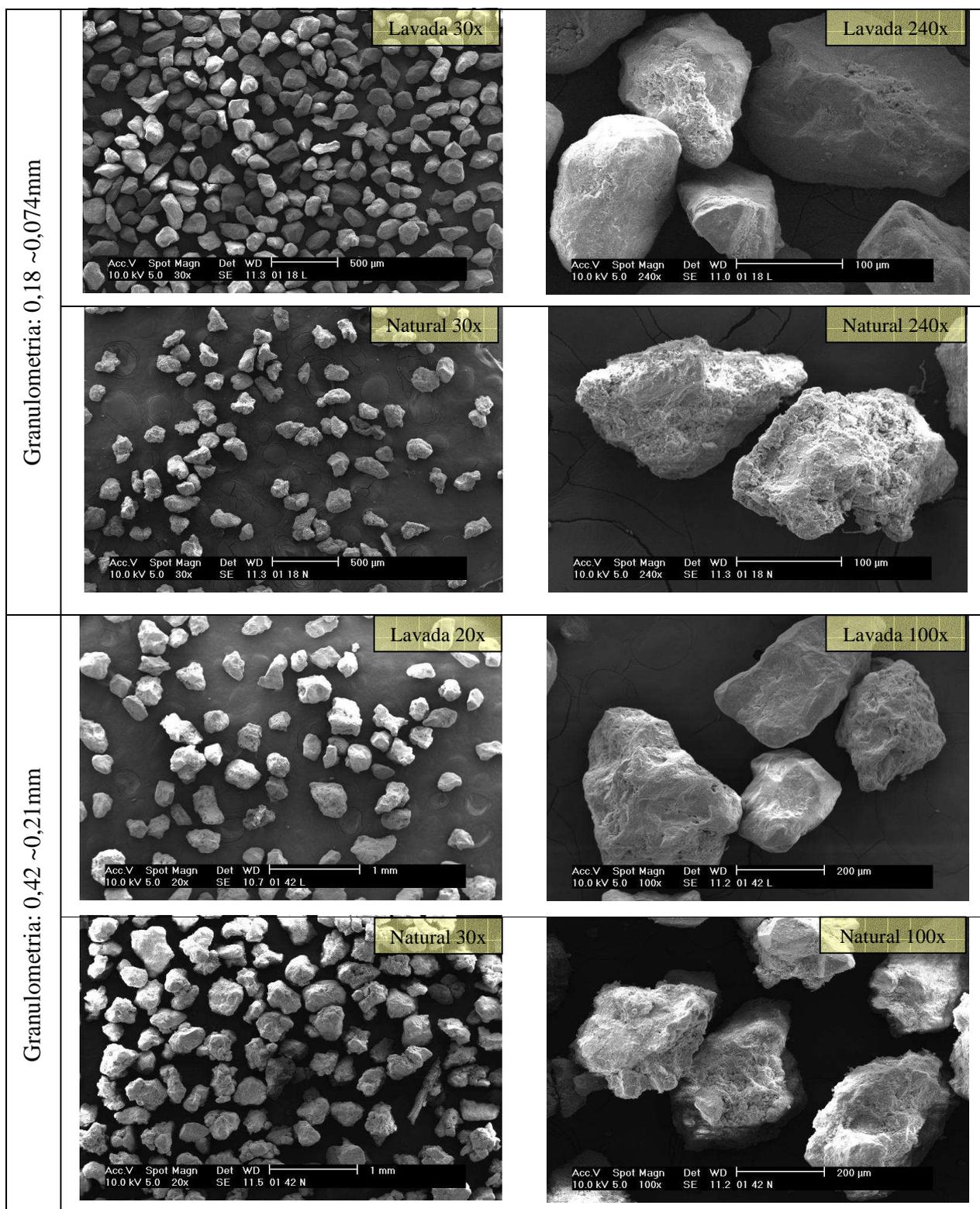


Figura 4.60 - Amostra 01 - MEV

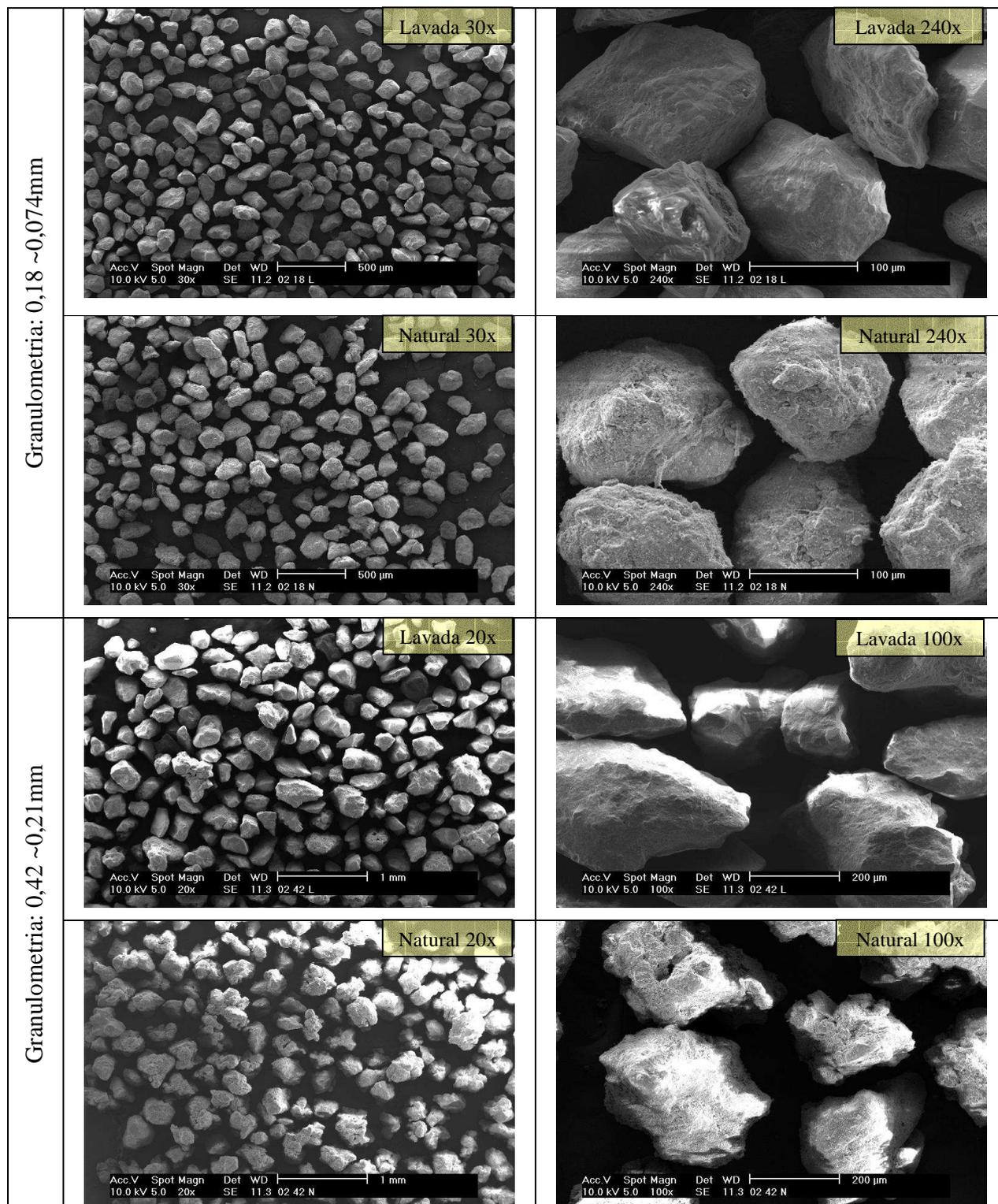


Figura 4.61 - Amostra 02 - MEV

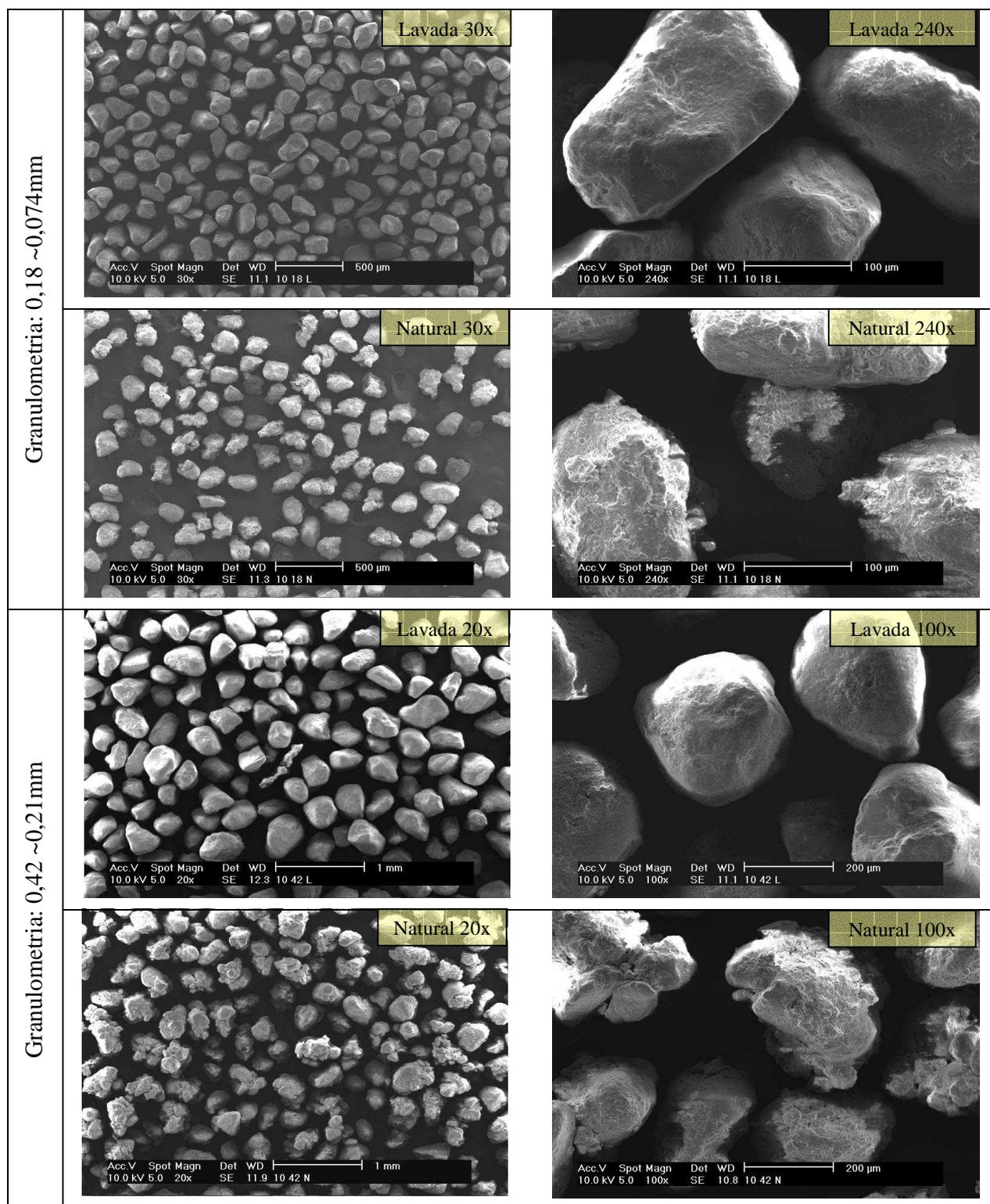


Figura 4.62 - Amostra 10 - MEV

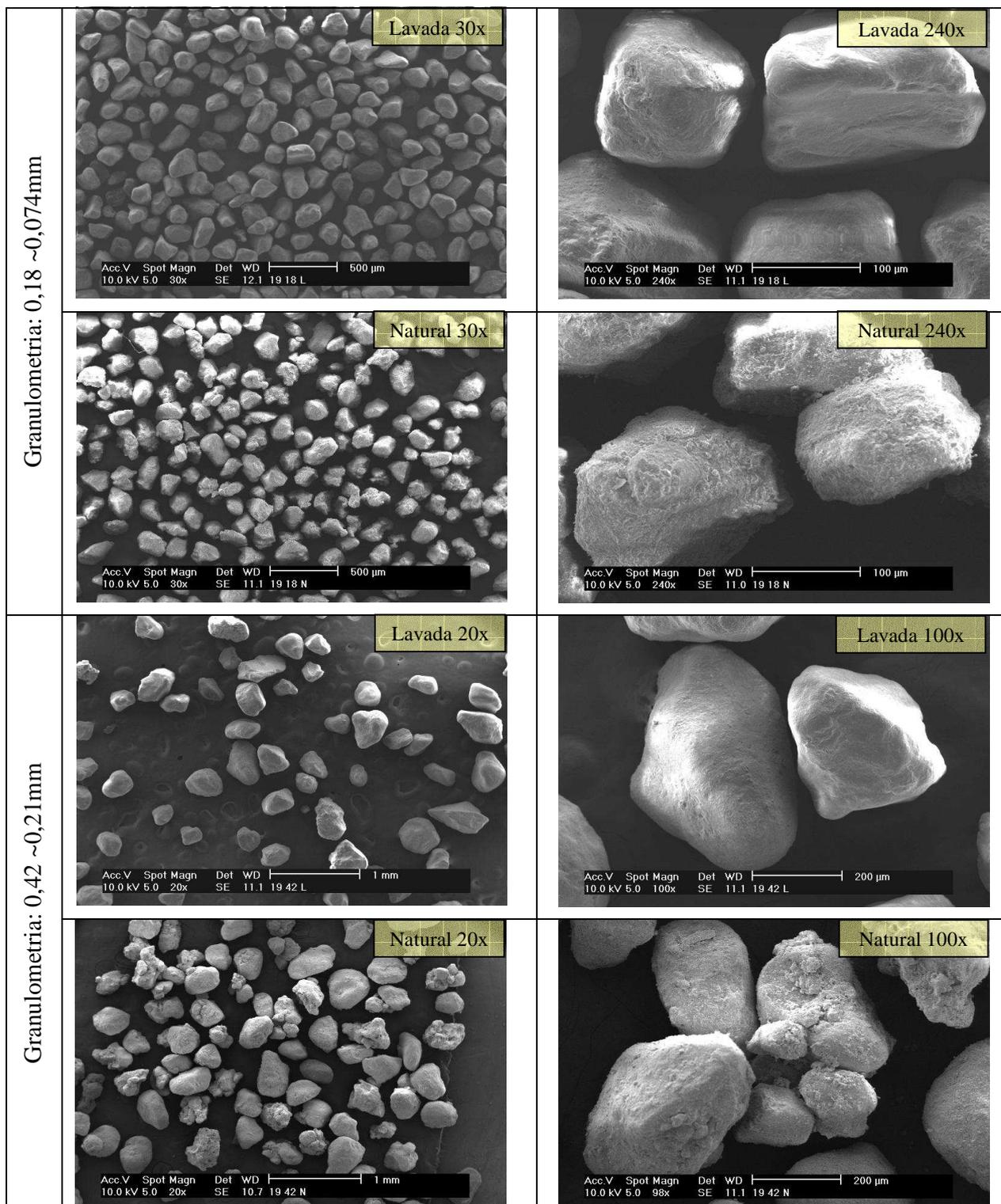


Figura 4.63 – Amostra 19 - MEV

A análise morfológica dos grãos foi executada através da digitalização das imagens geradas pelo microscópio eletrônico utilizando o software Vextractor v.2.90 da VextraSoft, os arquivos gerados no padrão DXF, foram então importados para o AutoCad.

No AutoCad, o arquivo foi colocado na escala apropriada para que as leituras realizadas nas partículas fornecessem valores em milímetros. Após o ajuste da escala foram lançados os círculos nos desenhos dos contornos dos grãos.

As áreas e perímetros das partículas assim como os diâmetros dos círculos auxiliares foram transferidos para a planilha eletrônica Excel para realização dos cálculos apropriados, determinando os índices de esfericidade e arredondamento.

Foram avaliadas um total de 100 partículas de cada uma das quatro amostras, a Figura 4.64 mostra um arquivo digitalizado com a avaliação da esfericidade, a Figura 4.65 mostra um arquivo com a avaliação do grau de arredondamento e a Tabela 4.6 os resultados das avaliações para as 4 amostras.

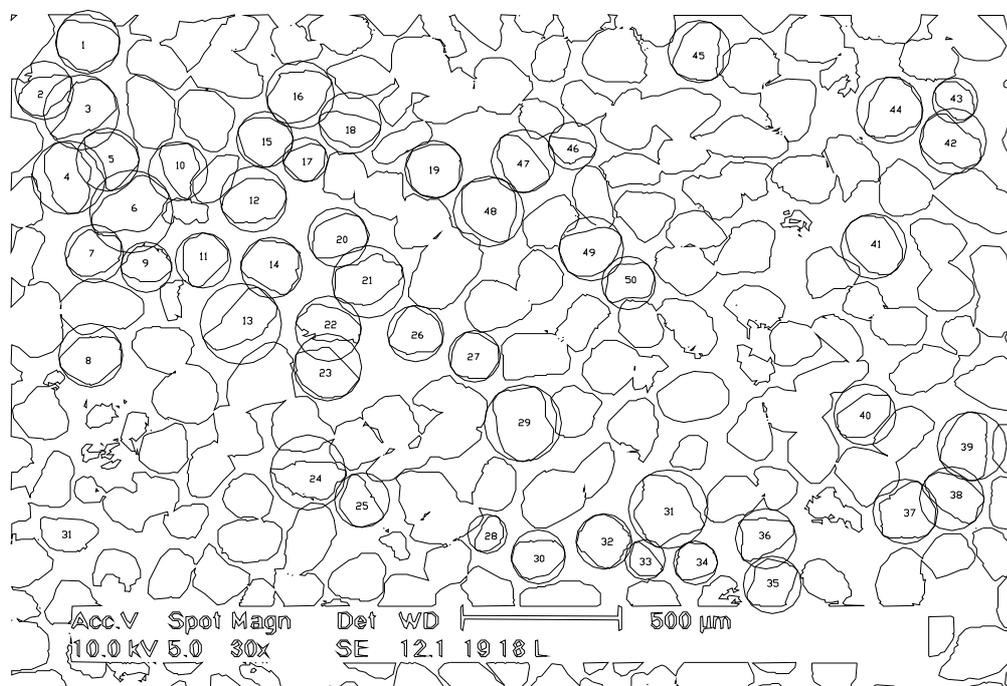


Figura 4.64 – Avaliação da esfericidade

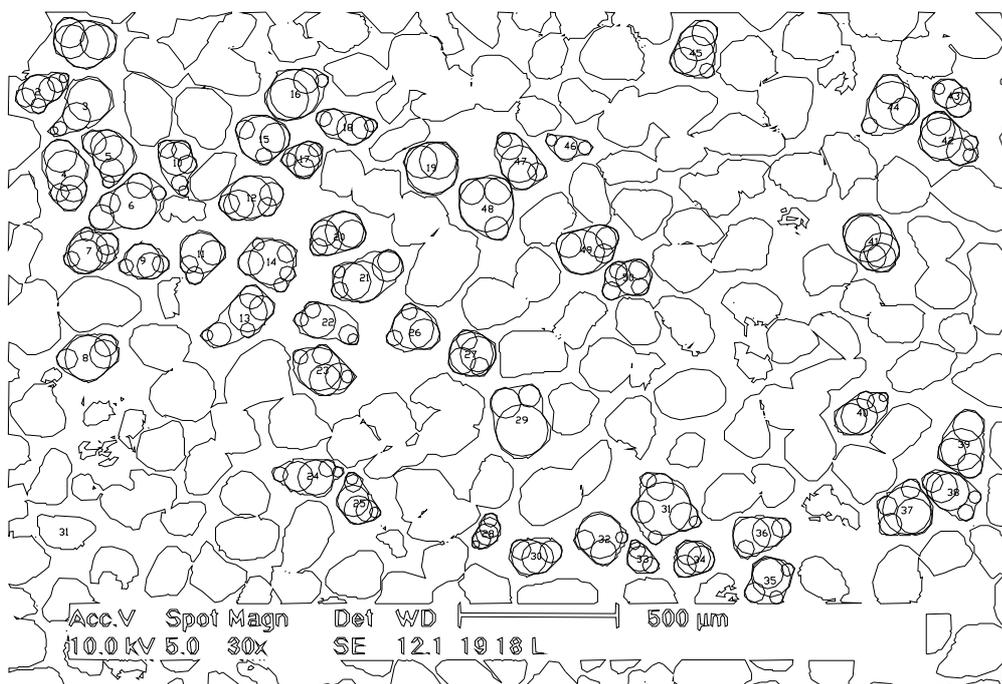


Figura 4.65 – Avaliação do grau de arredondamento.

Tabela 4.6 – Resultados da Morfologia dos grãos.

Solo	Granulometria (mm)	Esfericidade	Grau de Arredondamento
Solo 01	0.42 ~ 0.21	0.839	0.381
	0.18 ~ 0.074	0.777	0.542
	Média	0.808	0.462
Solo 02	0.42 ~ 0.21	0.753	0.485
	0.18 ~ 0.074	0.791	0.579
	Média	0.772	0.532
Solo 10	0.42 ~ 0.21	0.843	0.470
	0.18 ~ 0.074	0.774	0.460
	Média	0.809	0.465
Solo 19	0.42 ~ 0.21	0.808	0.543
	0.18 ~ 0.074	0.799	0.550
	Média	0.804	0.546

4.2.3 AREIA ASFALTO A FRIO – DOSAGEM MARSHALL

A carência de agregados pétreos e/ou ausência de cascalheiras é um dos principais fatores que elevam os custos de obras viárias. As longas distâncias entre as pedreiras e o local da obra muitas vezes inviabilizam a construção de vias e sua manutenção. Uma das soluções adotadas nestas regiões desprovidas de brita ou cascalho é o uso de misturas de areia asfalto (ALDIGUERI, et al, 2001).

Realizou-se um estudo de dosagem Marshall, para verificação dos aspectos volumétricos da mistura, além dos parâmetros de Estabilidade e Fluência.

Para a estimativa dos teores iniciais de ligante, foi utilizada a fórmula de Vogt (2.6) na página 49.

Com os dados da granulometria da areia usada na pesquisa (Tabela 4.7) e módulo de riqueza de 4,15 chegou-se ao teor de 8,5% de CAP (resíduo).

Tabela 4.7 – Faixas Granulométricas dos grãos.

P ₄	Fração entre 50 ~ 25 mm	0.0%
P ₃	Fração entre 25 ~ 12,5 mm	0.0%
P ₂	Fração entre 12,5 ~ 4,76 mm	0.0%
P ₁	Fração entre 4,76 ~ 2 mm	0.0%
S ₃	Fração entre 2 ~ 0,42 mm	11.8%
S ₂	Fração entre 0,42 ~ 0,177 mm	46.6%
S ₁	Fração entre 0,177 ~ 0,074 mm	18.9%
F	Fração passante em 0,074 mm	22.8%

Foram moldados 8 corpos-de-prova para cada teor com variação de 0,75% entre cada teor (6.25%, 7.00%, 7.75%, 8.50%, 9.25%, 10.00%, 10.75%). A energia de compactação aplicada foi de 75 golpes de cada lado, A Figura 4.66 mostra a seqüência dos ensaios.



a) Pesagem da areia



b) Adição de água



c) Adição da emulsão



d) Homogeneização



e) Colocação para aeração



f) Aeração



g) Compactação



h) Cura

Figura 4.66 – Seqüência de preparação dos CP's Marshall.

Após a compactação, os corpos de prova com o molde foram colocados em estufa a 60° por 24 h.

Nesta pesquisa os corpos de prova, após a moldagem e cura em estufa, foram deixados curar por 25 dias ao ar livre (em bancada dentro do laboratório). Esta cura teve a intenção de reduzir a possibilidade de permanecer material úmido no interior dos corpos de prova. Este fato poderia ser prejudicial considerando que a areia utilizada possuía finos (argila).

Antes de realizar o ensaio, os corpos de prova foram medidos, pesados ao ar e pesados hidrosticamente para a determinação da densidade aparente (d), vazios no agregado mineral (V.A.M.), volume de vazios (V_v) e relação betume–vazios (R.B.V.) de cada corpo-

de-prova. Para o ensaio, os corpos-de-prova foram colocados em estufa a 40° por duas horas, sendo então rompidos em uma prensa com velocidade de deslocamento vertical de 5cm/min. O valor máximo de carregamento obtido é o parâmetro Estabilidade Marshall e o valor do deslocamento vertical medido do início do ensaio até este ponto de carregamento máximo é designado fluência.

Para a realização dos ensaios foi adaptada ao equipamento uma célula de carga de 49,03 kN e um LVDT, que conectados a um micro computador dotado de um sistema de aquisição de dados permitiram a execução do ensaio minimizando os erros de leitura. Com este procedimento é possível determinar o exato instante que ocorre a ruptura e fazer a leitura de fluência correspondente (Figura 4.67).

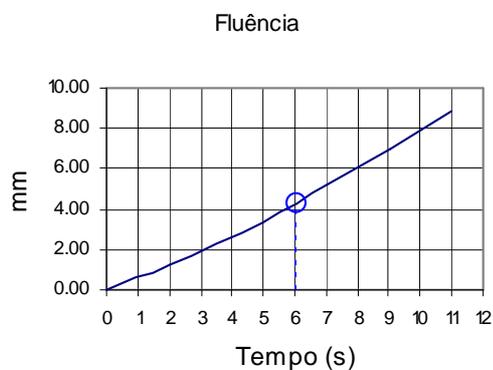
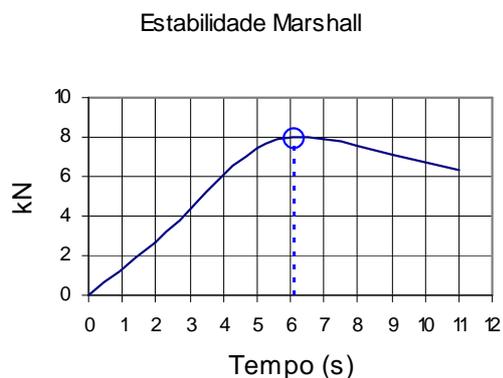
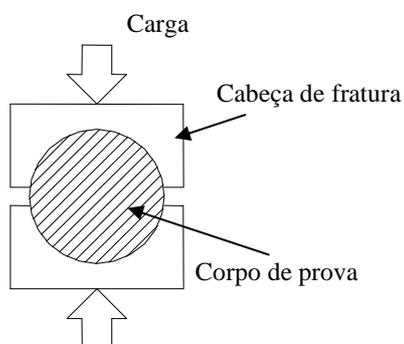


Figura 4.67 – Equipamento utilizado para o ensaio Marshall.

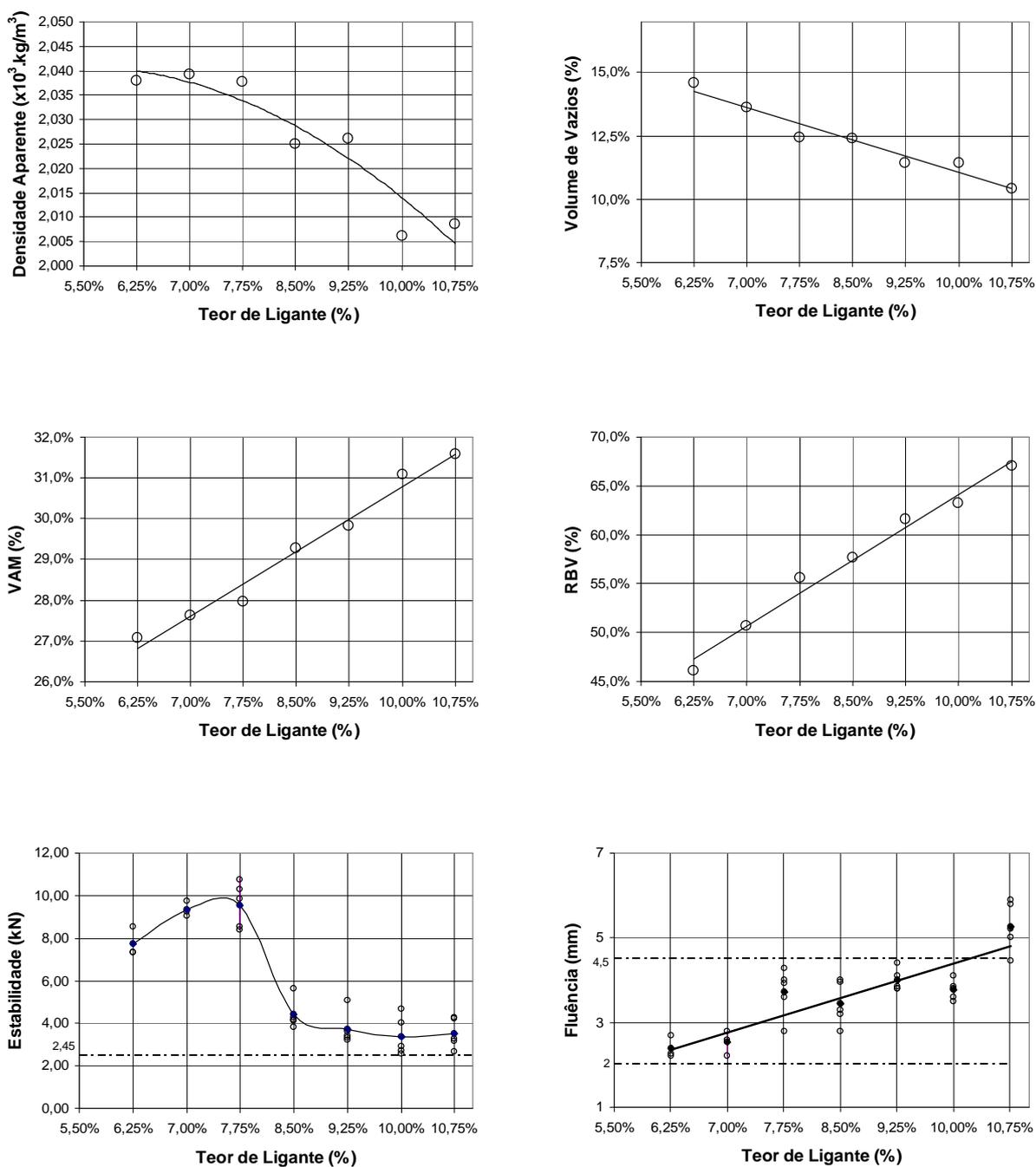


Figura 4.68 – Resultados do ensaio Marshall.

Após a análise dos dados foi escolhido o teor de 7,75% como o teor ótimo de ligante. Este teor foi utilizado para a confecção dos corpos de prova para a execução do ensaio de módulo resiliente.

4.2.4 AREIA ASFALTO A FRIO - ENSAIO CÂNTABRO

O ensaio de Cântabro a seco avalia indiretamente a coesão e resistência à desagregação da mistura, simulando os efeitos abrasivos originados pelo tráfego.

Este ensaio é realizado com corpos de prova moldados no equipamento de compactação Marshall. Os corpos de prova são colocados na máquina de abrasão Los Angeles sem as esferas de aço, depois de pesados, e submetidos a 300 revoluções a uma velocidade de 33 RPM, sendo ao final novamente pesados. O valor do desgaste é o percentual de perda de massa entre a massa inicial e a final. Para cada teor foram confeccionados 4 corpos de provas que foram ensaiados um de cada vez. O resultados da perda de massa por desgaste é dado pela seguinte expressão.

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (4.2)$$

onde:

P - valor da perda por desgaste do corpo-de-prova em %;

P_1 - massa do corpo-de-prova em g;

P_2 - massa final do corpo-de-prova em g.

Este ensaio foi executado com os corpos-de-prova à temperatura ambiente, que era de 19,10 °C, sem imersão. Os valores apresentados são a média de 4 corpos-de-prova avaliados para cada teor de ligante. Antes da execução do ensaio os corpos-de-prova foram deixados curar à temperatura ambiente por 30 dias.

Entre os cinco teores avaliados, verificou-se a tendência esperada de aumento da resistência ao desgaste com o aumento do teor de ligante.

Os valores de desgaste encontrados foram grandes se comparados aos valores existentes na literatura. Os corpos de prova, após os ensaios, podem ser vistos na Figura 4.69. Este

alto valor pode estar relacionado ao longo tempo de cura dos corpos-de-prova e à temperatura de execução do ensaio. Os valores encontrados são mostrados no gráfico da Figura 4.70.



Figura 4.69 – Corpos de prova após o ensaio de cântabro.

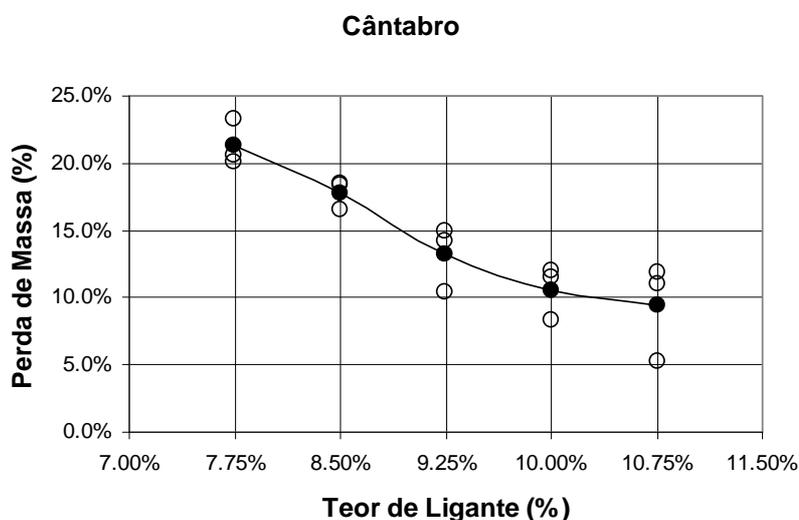


Figura 4.70 – Resultados do ensaio de cântabro.

4.2.5 AREIA ASFALTO A FRIO - MÓDULO RESILIENTE

O módulo resiliente é uma característica inerente a cada material. Ele permite avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas sujeitas a carregamentos cíclicos.

Após a definição do teor ótimo de ligante através da dosagem Marshall, foram moldados três corpos de prova neste teor ótimo para serem submetidos ao ensaio de módulo resiliente no laboratório de pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

$$MR = \frac{F}{100\Delta H} (0.997\mu + 0.2692) \quad (4.3)$$

onde:

MR = Módulo resiliente.

F = Carga utilizada no ensaio.

ΔH = Deformação específica.

μ = Coeficiente de Poisson

Os ensaios foram executados conforme procedimento de ensaio ASTM 4123-82 e AASHTO TP-31-94, à temperatura de 25° C. A carga utilizada foi de 150 kgf com tempo de aplicação de carga de 0,1s de carregamento e 0,9s de repouso. Os valores estão na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Valores de módulo encontrados.

CP 01	Ciclos	MR1	MR2	MR3	MR (MPa)
	10 a 20	3101	3139	3393	3211
30 a 40	3146	2939	3225	3103	
50 a 60	2885	2939	3363	3063	
Média MR 0°					3126
CP 02	Ciclos	MR1	MR2	MR3	MR (MPa)
	10 a 20	2829	2924	3054	2936
30 a 40	2932	2864	2997	2931	
50 a 60	2837	2864	3217	2972	
Média MR 0°					2946
CP 03	Ciclos	MR1	MR2	MR3	MR (MPa)
	10 a 20	3153	3057	3126	3112
30 a 40	2913	3032	3184	3043	
50 a 60	3033	3032	3191	3085	
Média MR 0°					3080
Média					3051

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PÉTREOS

Dentro da área pesquisada foram estudadas duas jazidas de agregados minerais: uma de granito e outra de arenito. Estas jazidas foram estudadas visando identificar a possibilidade de uso destes agregados em pavimentação (camada granular, mistura asfáltica, tratamento superficial, etc.).

O granito da suíte intrusiva São Vicente ocorre na serra de São Vicente (Figura 4.71), município de Santo Antônio de Leverger, norte da área estudada. Estudos petrográficos efetuados pelo IPT, (1981), em rochas desta suíte, caracterizaram granito/adamelito, com textura hipidiomórfica granular a porfírica de granulação média, constituído de ortoclásio-microclínio ($\pm 35\%$), quartzo ($\pm 35-40\%$), plagioclásio-oligoclásio ($\pm 20-25\%$), biotita ($\pm 5\%$) e traços de allanita, apatita, zircão e magnetita (SANTOS, 2000).



Figura 4.71 - Exploração de jazida de granito da Suíte Intrusiva São Vicente

Coordenadas X: L 659.774 Y: UTM 8.251.586 (Ponto 20 nos mapas)

A jazida de arenito, pertencente à formação Marília, é predominantemente constituída por arenitos conglomeráticos silicificados e ferruginizados (Figura 4.72). Os clastos são cimentados por uma massa afanítica silicosa. São grânulos e seixos pequenos, de quartzo, sílica amorfa e arenito silicificado, em matriz arenosa média e grossa. Constituem bancos métricos, maciços, que não guardam qualquer evidência da sedimentação. A cor típica é marrom arroxeado, com variações para vermelho rosado e marrom pálido, dependendo do grau de alteração (SANTOS, 2000).



Figura 4.72- Exploração de jazida de arenito da formação Marília
Coordenadas X: L 750.529 Y: UTM 8.147.941 (Ponto 05 nos mapas)

4.3.1 DESGASTE LOS ANGELES

A resistência ao desgaste está associada à ação do tráfego ou aos movimentos recíprocos das diversas partículas. O método utilizado nesta pesquisa para avaliar a resistência ao desgaste é o ensaio Los Angeles.

A validade deste ensaio para avaliar a ação do tráfego sobre o revestimento asfáltico tem sido questionada no meio rodoviário.

Agregados para emprego em tratamento superficial devem ter baixos valores de desgaste Los Angeles. A especificação de serviço DNIT-ES 310/97 fixa estes valores em igual ou inferiores a 40%. Para uso em pré misturado a quente com asfalto modificado com polímeros como camada porosa de atrito a especificação de serviço DNIT-ES 386/99 fixa estes valores em igual ou inferiores a 30%.

Os ensaios foram executados conforme o método de ensaio DNIT ME 035/98. Os resultados dos ensaios com as duas amostras são mostrados na Tabela 4.9. As duas amostras apresentaram resultados que atendem à especificação do DNIT.

Tabela 4.9 – Valores de desgaste Los Angeles.

Arenito	21,0 %
Granito	27,4 %

Os resultados do ensaio de desgaste Los Angeles ficaram dentro dos valores estabelecidos pelas normas do DNIT para os dois materiais, ficando o arenito com um desempenho um pouco melhor.

4.3.2 ADESIVIDADE AO LIGANTE ASFÁLTICO

A adesividade é uma das qualidades essenciais que um agregado mineral deve apresentar para ser empregado num revestimento asfáltico. Ela garante que não haja o deslocamento da película betuminosa pela ação da água.

A adesividade está relacionada, entre outros fatores, ao pH do agregado. Os agregados básicos (basaltos, calcários, diabásios e gabro) têm maior adesividade que os ácidos (granitos, gnaises, arenitos e quartzo).

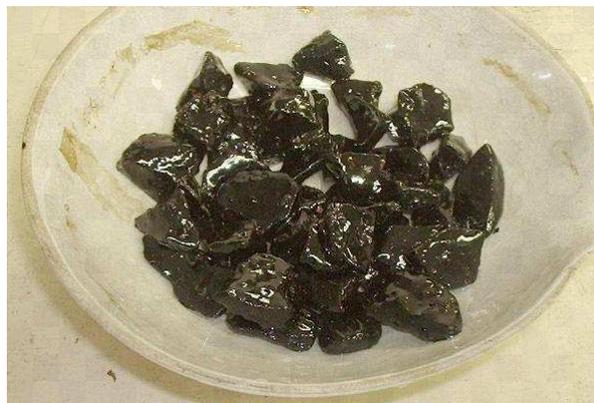
O ensaio de adesividade foi realizado com CAP 20, utilizando o método de ensaio DNER-ME 78/94 (1994). Foi inicialmente avaliada a adesividade com o ligante puro, como o resultado não foi satisfatório foram realizados ensaios com adições de aditivo químico (dope) nos percentuais de 0,5%, 1,0% e 1,5%, o aditivo utilizado foi o BETUDOPE TB 100, fornecido pela Ipiranga Asfaltos.

Com a adição de 0,5% os resultados já foram satisfatórios para os dois agregados, demonstrando a viabilidade de uso destes materiais em pavimentação. Os resultados podem ser observados na Figura 4.73 e Figura 4.74.

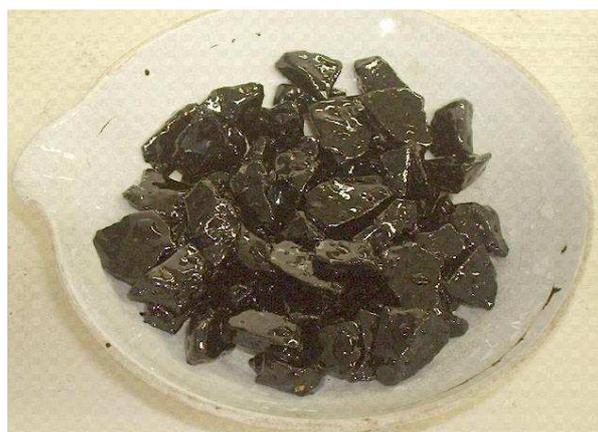
Teor de aditivo promotor de adesividade



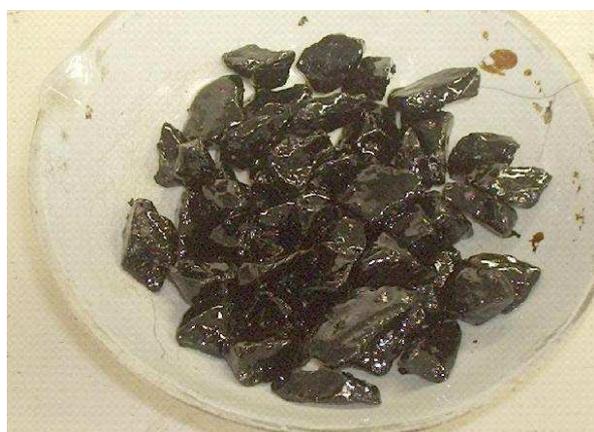
0% - Insatisfatório



0,5% - Satisfatório



1,0% - Satisfatório



1,5% - Satisfatório

Figura 4.73 – Resultados do ensaio de adesividade da amostra de arenito.

Teor de aditivo promotor de adesividade



0% - Insatisfatório



0,5% - Satisfatório



1,0% - Satisfatório



1,5% - Satisfatório

Figura 4.74 – Resultados do ensaio de adesividade da amostra de granito.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

O mapeamento geotécnico mostrou ser uma importante ferramenta para organizar e pesquisar dados. Permite consultas em uma ampla base de informações de modo rápido, podendo criar diversos cenários para auxiliar em tomadas de decisões no planejamento e projeto de obras viárias além de permitir a gradual implementação de novas informações à base de dados existente.

Os resultados da classificação geotécnica MCT dos solos, realizada nesta pesquisa por três métodos diferentes (pastilhas de 20mm, pastilhas de 35mm e pelo Mini MCV), obteve praticamente os mesmos resultados.

Nos solos arenosos foram observadas algumas variações. Nestes, houve uma diferença quanto à caracterização do seu comportamento laterítico ou não. As pastilhas de 20mm e o ensaio Mini MCV classificaram os solos 01, 02 e 19 como areia de comportamento não laterítico (NA), enquanto que o ensaio das pastilhas de 35mm os classificaram como areia de comportamento laterítico (LA).

As demais amostras de solo tiveram praticamente os mesmos resultados, havendo algumas discrepâncias quanto aos solos posicionados nas regiões de transição (Tabela 5.1). A classificação MCV não prevê a zona de transição próximo ao c' de 1,5 como ocorre na classificação pelas pastilhas.

Tabela 5.1 - Resultados da Classificação Geotécnica.

Amostra	Pastilha 20mm	Pastilha 35mm	Mini MCV
01	NA	LA	NA
02	NA	Trans. A	NA
03	LA´	LA´	LA´
04	LA´ - LG´	LA´	-
06	LA´ - LG´	LA´	LG´
07	LG´	LG´	LG´
08	LA´ - LG´	LG´	LG´
09	LG´	LG´	LG´
10	LA – LA´	LA	-
12	NG´ - NS´	Trans. G´	NS´
13	NG´ - NS´	Trans. G´	NG´
14	LA´ - LG´	LA´	-
18	NG´ - NS´	NA´	-
19	NA	LA	NA

O método expedito de ensaios das pastilhas mostrou que a possibilidade de estabilização de um solo pode ser detectada no próprio campo ou muito mais rapidamente em laboratório. O ensaio permitiu avaliar o comportamento do solo sob influência da adição de cal.

Os resultados da classificação pelas pastilhas de 20mm de diâmetro mostraram grande sensibilidade para avaliar a influência da adição da cal no comportamento deste solo. Com o teor de 2% praticamente não houve alteração na classificação, havendo apenas um pequeno deslocamento para a direita passando de uma região de transição NG´-NS´ para NG´. O tempo de cura praticamente não influenciou os resultados. Com o teor de 4% houve uma sensível melhora, houve um deslocamento para uma região de transição NA´/NG´-NS´. O tempo de cura teve influência, sendo que com 14 e 21 dias houve um deslocamento para a região LA´-LG´, já indicando um comportamento semelhante a solos

lateríticos. Este deslocamento pode ser explicado pela mudança na granulometria que ocorre com a adição de cal. Com o teor de 6% houve um deslocamento para a região LA´-LG´, com 21 dias de cura a penetração do penetrômetro foi de 0,0 mm.

O ensaio de compactação Mini Proctor mostrou-se adequado para a avaliação do desempenho de solos estabilizados com cal. Os resultados dos ensaios mostraram os ganhos tanto nos valores de CBR, que passaram de 1,1% no solo natural para 16,1% com a adição de 6% de cal, quanto na redução dos valores de expansão, que diminuíram de 5,4% no solo natural para 0,5% com a adição de 6% de cal.

Outra observação que pode ser feita com relação ao ensaio Mini Proctor é sobre a influência do tempo de cura sobre a variação dos resultados. Com 6% de cal adicionados ao solo, os resultados poderiam ser melhores com tempo de cura maior que os 21 dias usados nesta pesquisa.

O ensaio de compactação Mini MCV foi o menos sensível para avaliar a influência da adição de cal na estabilização de solos. Este desempenho pode ser explicado pelo próprio método de execução que não permite que haja um tempo de cura suficientemente longo para que se desenvolvam as reações entre a cal e o solo (Tabela 4.3). Contudo, nos resultados de perda de massa por imersão ficou evidente os benefícios sobre o desempenho do solo, passando de 280% no solo natural para 34% no solo com adição de 6% de cal (Figura 4.21).

O resultados dos ensaios de módulo resiliente confirmaram o excelente desempenho da estabilização com cal, já identificado no ensaio de compactação Mini Proctor. O módulo resiliente atingiu valores adequados para uso em camadas de pavimento.

Vale salientar que o resultado do módulo resiliente do solo natural tem que ser considerado dentro do contexto da realização do ensaio: solo compactado na umidade ótima sem imersão. Nas condições de campo, com umidade acima da ótima, estes valores não serão atingidos em função da grande sensibilidade deste solo à presença de água, evidenciada nos ensaios de perda de massa por imersão.

Os resultados dos parâmetros Marshall não foram conclusivos para a definição do teor ótimo de ligante, considerando as restrições preconizadas pela norma DNIT-ES 032/2005. Os valores de volume de vazios (VV) ficaram todos acima da faixa preconizada pela norma que é de 3 a 8%. Na relação betume vazios (RBV) somente uma amostra (10,75% de teor de ligante) ficou na faixa definida pela norma, sendo que todas as outras apresentaram resultados abaixo.

Os valores de estabilidade Marshall ficaram todos acima do mínimo preconizado pela norma que é de 300 kgf para 75 golpes. Nos valores de fluência, somente um apresentou valor fora da faixa (10,75% de teor de ligante) definida em norma que é de 2,0 a 4,5mm.

Apesar dos bons resultados dos ensaios de compactação Marshall (estabilidade e fluência) e módulo resiliente, o material se mostrou frágil no ensaio de cântabro se comparado aos valores usualmente encontrados na literatura. Porém ficaram abaixo do valor preconizado pela norma que é de 25%.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Sugerimos a realização de ensaios de deformação permanente em simulador de tráfego e a confecção de misturas de AAUQ para uma melhor avaliação do material.

Desenvolver um software, utilizando a ferramenta AutoLisp existente no AutoCad, para a automatização do processo de medição e cálculo das características dos grãos, gerando as informações sobre a esfericidade e grau de arredondamento dos grãos, sem a necessidade de desenhar os círculos manualmente e exportar os dados para a planilha eletrônica.

Apesar de existirem equipamentos específicos para a determinação das características morfológicas dos grãos, são equipamentos caros e que não estão disponíveis para a maioria dos profissionais e laboratórios. O método aqui proposto permitiria que com a utilização de um microscópio ótico de boa resolução ou o acesso a um microscópio eletrônico de varredura fosse possível fazer a caracterização morfológica dos grãos com precisão em um micro computador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSALI, M. P.; FORTES, R. M. (2003). **Comparação da Incerteza de Medição entre Ensaios CBR e Mini CBR em Solos para Pavimentação**, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo (SP).
- ABITANTE, M. E.; DIAS, R. D.; TRICHÊS, G. (1998). **Cartografia Geotécnica e a Engenharia Rodoviária**, 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, Florianópolis, (SC).
- ALDIGUERI, D. R.; BERNUCCI, L. B.; MOURA, E. e BRANCO, J. V. C. (2001). **Análise do Desempenho de Uma Mistura de Areia Asfalto Usinada a Quente**. Anais da 33º Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis (SC).
- BARRA, B. S. (2005), **Avaliação do Desempenho Mecânico de Misturas Asfálticas Densas Utilizando Materiais do Estado do Pará com o Emprego de Pó Calcáreo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).
- BERNUCCI, L. B. e GODOY, H.(2002). **O Método das Pastilhas na Compreensão das Propriedades das Propriedades Geotécnicas Básicas dos Solos – Um Recurso Didático**. Anais do 16º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Natal (RN).
- BERNUCCI, L. B. (2005). **Revista téchne**, Editora Pini, Edição 102, Set/2005, São Paulo (SP).
- BONAFÉ, L.; SPECHT, P. (2005), **Avaliação Técnica de Estabilização Mecânica, Química e do Microreforço na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual**. 36º Reunião Anual de Pavimentação (RAPv). CD-ROM; Paper 002, Curitiba (PR).
- BRANDÃO FILHO, J. E.; CORREIA, J. A. B. e NOBRE JÚNIOR, E. F. (2001). **Análise da Estabilização com Cal de Solos do Município de Limoeiro do Norte, Estado do Ceará**. Anais da 33º Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis (SC).

- CRISTELO, N. M. C. (2001), **Estabilização de Solos Residuais de Granito Através da Adição de Cal**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal.
- CRISTELO, N. e JALATI, S, (2003). **The Use of Lime to Stabilize Residual Granite Soil Sub-Bases**. Anais do Third International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control - MAIREPAV03, Universidade do Minho, Guimarães (Portugal).
- DIAS, R. D.; SANTOS, G. T.; MAFRA, C. S. e LEITE, F. C. (2001). **Importância dos Levantamentos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos nos Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias**. Anais da 33^o Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis (SC).
- DNIT-ME 258/94 (1994). **Solos Compactados em Equipamento Miniatura**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ME 256/94 (1994). **Solos Compactados com Equipamento Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ME 078/94 (1994). **Agregado Graúdo – Adesividade a Ligante Betuminoso**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ES 310/97 (1997). **Pavimentação - tratamento superficial triplo**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ES 386/99 (1999). **Pavimentação - pré- misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ES 032/2005 (2005). **Pavimentos Flexíveis – Areia-Asfalto a quente – Especificação de Serviço**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

- DNIT-ME 035/98 (1998). **Agregados - determinação da abrasão “Los Angeles”**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ME 228/94 (1994). **Solos – Compactação Equipamento Miniatura**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- DNIT-ME 107/94 (1994). **Mistura Betuminosa a Frio com Emulsão Asfáltica – Ensaio Marshall**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.
- EMERICK, S. (1995). **Rondonópolis, a Cidade Mais Próspera do País**. Istoé Dinheiro, Disponível em http://www.istoedinheiro.com.br/236/negocios/236_rondonopolis_cidade.htm, Último acesso em 18/06/2005.
- FERREIRA, I. (2006). **Poli desenvolve asfalto de xisto betuminosa**. <http://www.usp.br/agen/bols/2002/rede987.htm>, Acessado em 04/08/2006.
- FORTES, R.M. (2006). **Noções de Solos**, http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/1_NOCOES_DE_SOLOS.pdf. Acessado em 12/04/2006.
- FORTES, R.M. (2006). **Classificação de Solos**, http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/2_CLASSIFICACAO_DE_SOLOS.pdf. Acessado em 12/04/2006.
- GODOY, H. e BERNUCCI, L. L. B. (2000). **Desenvolvimento de Procedimento Visual-tátil para o Reconhecimento Geotécnico de Campo dos Solos das Bacias Hidrográficas do Aguapeí e Peixe no Estado de São Paulo**. Relatório final de Pós-Doutorado para a Fapesp e Relatório Final de Auxílio à Pesquisa (Relatório interno), São Paulo (SP), 97 p.
- INFRA-ESTRUTURA BRASIL, (2002). <http://www.infraestruturabrasil.gov.br/home.asp> Acessado em 15/08/2002.
- LÉGÈRE, G e TREMBLAY, H. (2003). **Laboratory and Field Evaluation of Cement Kiln Dust and Lime for Stabilizing Clayey Silt on Low-Volume Unpaved Roads**. Anais do 8th International Conference on Low Volume Roads, Washington (DC).
- LUNA, F.; SCHUCHARDT, U. (1999). **An Introduction To Pillared Clays**. Instituto de Química - UNICAMP - Campinas – SP.

- MARSON, M.; REZENDE, Á. A.; VERTAMATTI, E. (2005). **Novas Investigações Referentes ao Ensaio de Perda de Massa por Imersão em Água da Metodologia MCT**, 36º Reunião Anual de Pavimentação (RAPv). CD-ROM; Paper 017, Curitiba (PR).
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. (1995). **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**, Editora Villibor, São Paulo (SP).
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. e BERNUCCI, L. B. (1998). **Comparação Entre os Métodos Tradicionais e a MCT no Estudo Geotécnico de Solos Tropicais para Pavimentação**. Anais da 31º Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo (SP). p 722-738.
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. (2001). **Interpretação da Forma das Curvas de Deformação da Metodologia MCT**. Anais da 33º Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis (SC).
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. (2003). **Modificações Recentes na Classificação Geotécnica MCT**. Anais da 34º Reunião Anual de Pavimentação, Campinas (SP). p 044-067.
- PINHEIRO, R. J. B.; BEVILAQUA, F. Z. e NUÑEZ, W. P. (2004). **Estudo do Comportamento Mecânico dos Solos da Região Central do Rio Grande do Sul Aplicado a Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego**. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Relatório de Tese, Florianópolis (SC), p. 30-33.
- POMATT, K. E. (2000). **Estabilização do solo da região de São Pedro de Alcântara — SC com cal visando seu emprego na pavimentação**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).
- PRUDENTE, J. P.; REZENDE, L. R.; GUIMARÃES, R. C. (2005). **Estabilização Química de Solos com Cal Hidratada**. 36º Reunião Anual de Pavimentação (RAPv). CD-ROM; Pág. 037, Curitiba (PR).

- REZENDE, L. R. (1999). **Técnica Alternativa para a Construção de Bases de Pavimentos Rodoviários**. Dissertação de Mestrado para a Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília (DF).
- SILVEIRA, M. A. (1999). **Estudo Sobre Adição de Polímero em Areia-asfalto a Frio**. Relatório Final de Mestrado para a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP). 96 p.
- SANTOS, M. V. (2000). **Aspectos Geomorfológicos da Folha Itiquira – MIR-419 (SE.21-X-D)**, Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO, Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), Mato Grosso (MT).
- SANTOS, M. V. (2000). **Aspectos Geológicos da Folha Itiquira – MIR-419 (SE.21-X-D)**, Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO, Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), Mato Grosso (MT).
- SANTOS, M. V. (2000). **Descrição Sumária das Classes de Solos, Resultados Analíticos e Considerações Sobre Erodibilidade da Folha Itiquira, MIR-419 (SE.21-X-D)**, Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO, Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), Mato Grosso (MT).
- SANTOS, M. V. (2000). **Aspectos Geomorfológicos da Folha Rondonópolis – MIR-405 (SE.21-X-B)**, Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO, Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), Mato Grosso (MT).
- SANTOS, M. V. (2000). **Aspectos Geológicos da Folha Rondonópolis – MIR-405 (SE.21-X-B)**, Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO, Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), Mato Grosso (MT).

SANTOS, M. V. (2000). **Descrição Sumária das Classes de Solos, Resultados Analíticos e Considerações Sobre Erodibilidade da Folha Rondonópolis, MIR-405 (SE.21-X-B)**, Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO, Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), Mato Grosso (MT).

SANTANNA, J. A. (1998), **Estudo do Comportamento de Solos Artificiais em Função da Variação das Características de sua Fração Grossa**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (SP).