Campus de São Carlos

*ESTUDO DOS SOLOS DA REGIÃO METROPOLITANA
DE FORTALEZA PARA APLICAÇÃO NA
ENGENHARIA RODOVIÁRIA*

SUELLY HELENA DE ARAÚJO BARROSO

ORIENTADOR: PROF. DR. GLAUCO TULIO PESSA FABBRI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES - STT

**ESTUDO DOS SOLOS DA REGIÃO
METROPOLITANA DE FORTALEZA PARA
APLICAÇÃO NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA**

Serviço de Pós-Graduação EESC-USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 31.10.2002

Ass:.....

DEDALUS - Acervo - EESC

31100037119

Suely Helena de Araujo Barroso

Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia. Área: Transportes.

São Carlos, agosto de 2002

Class. TESE
Cutt. 0821
Tombo T0268/02
Sysno 1276949

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B277e

Barroso, Suelly Helena de Araujo
Estudos dos solos da região metropolitana de
Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária /
Suelly Helena de Araujo Barroso. -- São Carlos, 2002.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri.

1. Região metropolitana de Fortaleza.
2. Propriedades tecnológicas. 3. Solos. 4. Método MCT.
- I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **SUELLY HELENA DE ARAÚJO BARROSO**

Tese defendida e julgada em 20-08-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **GLAUCO TÚLIO PESSA FABBRI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Assoc. **MANOEL HENRIQUE ALBA SÓRIA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Profa. Assoc. **LIEDI LEGI BARIANI BERNUCCI**
(Escola Politécnica/USP)

APROVADA

Prof. Dr. **ERNESTO FERREIRA NOBRE JUNIOR**
(Universidade Federal do Ceará/UFC)

APROVADA

Prof. Dr. **CARLOS ALEXANDRE BRAZ DE CARVALHO**
(Universidade Federal de Vicosa/UFV)

APROVADA

Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes

Profa. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Ando devagar
Porque já tive pressa
Levo esse sorriso
Porque já chorei demais*

*Hoje me sinto mais forte
Mais feliz quem sabe
Só levo a certeza
De que muito pouco eu sei
Eu nada sei*

*Todo mundo ama um dia
Todo mundo chora
Um dia a gente chega
E o outro vai embora
Cada um de nós
Compõe a sua História
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz
De ser feliz*

*(Trecho extraído da música Tocando em
Frente composta por Almir Sater e Renato
Teixeira)*

DEDICATÓRIA

A Deus, por me conduzir sempre ao caminho da felicidade.

Aos meus amados pais, Francisca e Berilo, pela minha educação e formação.

Ao meu querido marido Bruno, pelo grande amor dedicado e pela compreensão de se manter afastado de mim nos últimos 11 meses.

À minha filha, ainda no ventre, Gabriella, que já é a razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri, pessoa a quem estimo e admiro muito.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará que apoiaram o meu afastamento para conclusão da tese e em especial, ao Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior, pela sua capacidade de motivação e por ter me ajudado na parte experimental do trabalho.

Ao prof. Castelo do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará pela ajuda na interpretação das classes pedológicas.

Às minhas duas novas e queridas amigas que foram cativadas no período que permaneci em São Carlos: Adriane Monteiro Fontana e Adriane Zago Vieira.

Ao Alexandre Kleber Miser, pela amizade, dedicação e apoio na execução da parte prática do trabalho no Laboratório de Estradas do Departamento de Transportes da EESC/USP.

Ao Dr. Carlos Augusto Alencar Júnior que através dos seus conhecimentos médicos me restitui a paz, a esperança e a alegria de continuar a viver.

A todos os professores do Departamento de Transportes da EESC/USP pelos conhecimentos técnicos e de vida transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Transportes da EESC/USP Magali, Lillian, Beth, Sueli e Nélon, em especial à Heloísa Helena Morgado Belo, pela atenção e carinho dispensados e por ter me acolhido quando do meu retorno à São Carlos.

Às minhas amigas da pós-graduação, Cláudia Scoton e Jisela Santanna.

Aos técnicos do Laboratório do NUTEC e DET/CT/UFC, Grigório, Germano e Roberto e ao motorista da UFC Jonas, pela colaboração nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos técnicos do Laboratório de Estradas do Departamento de Transportes da EESC/USP João e Paulo, e em especial, ao Sr. Antônio Carlos Gigante pela execução dos ensaios de adsorção de azul de metileno.

Ao programa PICDT/CAPES pelo auxílio concedido.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Objetivos	4
1.3. O Método	5
1.4. Relevância do Tema	6
1.5. Estrutura da Tese	6
CAPÍTULO 2: A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA	7
2.1. Considerações Iniciais	7
2.2. Informações Gerais Sobre a Área de Estudo	7
2.3. Aspectos Econômicos	10
2.4. Infra-estrutura disponível	11
2.5. Clima	12

2.6. Relevo	13
2.7. Hidrografia	15
2.8. Vegetação	16
2.9. Geologia	19
2.10. Pedologia	22
2.10.1. Podzólico Vermelho Amarelo	25
2.10.2. Planosolos	26
2.10.3. Bruno não Cálcico	26
2.10.4. Solos Arenoquartzosos	27
2.10.5. Solos Halomórficos	28
2.10.6. Solos Litólicos	29
2.10.7. Vertisolos	30
2.11. Considerações Finais	30
CAPÍTULO 3: CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS SOLOS LATERÍTICOS E OS MÉTODOS MCT E DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO	31
3.1. Considerações Iniciais	31
3.2. Conceituação de Solos Tropicais	32
3.3. A Identificação de Solos Lateríticos para Uso em Pavimentação	34
3.4. Alguns Estudos Realizados para Aplicação e/ou Adaptação da Metodologia MCT aos Solos Granulares	38

3.5. Estudos Realizados no Estado do Ceará sobre a Ocorrência de Solos Lateríticos	41
3.6. Um Breve Relato sobre a História do Método MCT	43
3.7. O Ensaio MCV (Moisture Condiction Value)	48
3.8. O Método MCT	52
3.8.1. Generalidades	52
3.8.2. O Ensaio de Mini-MCV	53
3.8.3. O Ensaio de Perda de Massa por Imersão	55
3.8.4. Os Ensaios de Mini-CBR, Expansão e Contração	57
3.8.5. A Classificação MCT	60
3.8.5.1. Análise Crítica dos Coeficientes c' e e' da Classificação MCT	63
3.9. Algumas Aplicações do Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno na Caracterização de Solos do Exterior	68
3.10. Aplicação do Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno aos Solos do Brasil	70
3.11. Considerações Finais	76
CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS	77
4.1. Considerações Iniciais	77
4.2. Escolha dos Materiais	78
4.3. O Programa Experimental	85
4.3.1. Introdução	85

4.3.2. Massa Específica dos Sólidos	86
4.3.3. Granulometria	86
4.3.3.1. Granulometria por Peneiramento	86
4.3.3.2. Granulometria por Sedimentação	86
4.3.4. Limite de Liquidez	87
4.3.5. Limite de Plasticidade	87
4.3.6. Ensaio de Compactação Proctor	87
4.3.7. Ensaio de CBR e Expansão	87
4.3.8. Mini-CBR, Expansão e Contração	87
4.3.9. Mini-MCV e Perda de Massa por Inersão	88
4.3.10. Adsorção de Azul de Metileno pelo Método da Mancha Proposto por Fabbri (1994)	88
4.3.10.1. Preparação da Amostra	88
4.3.10.2. Equipamentos Necessários	88
4.3.10.3. Procedimento de Execução do Ensaio	90
4.4. Considerações Finais	92
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	93
5.1. Considerações Iniciais	93
5.2. Ensaio de Caracterização	94
5.2.1. Massa Específica dos Sólidos	94

5.2.2. Granulometria	95
5.2.3. Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade	101
5.2.4. Equivalente de Areia	103
5.3. Resultados das Propriedades Tecnológicas dos Solos Obtidas em Cilindro Convencional e em Cilindro Miniatura	103
5.3.1. Resultados do Ensaio de Proctor	104
5.3.1.1. Umidade Ótima	104
5.3.1.2. Massa Específica Seca Máxima	107
5.3.2. Resultados do Ensaio de CBR	109
5.3.2.1. Resistência CBR	109
5.3.2.2. Expansão	110
5.3.3. Resultados do Ensaio de Mini-CBR, Expansão e Contração	111
5.3.3.1. Resultados da Umidade Ótima dos Ensaio Mini-CBR	111
5.3.3.2. Massa Específica Seca Máxima Obtida em Cilindro Miniatura	114
5.3.3.3. Valores de Mini-CBR Imediato e após 24 h de Imersão	116
5.3.3.4. Ensaio de Expansão e Contração	118
5.3.4. Comparações entre as Propriedades Obtidas em Cilindro Convencional e em Cilindro Miniatura	119
5.3.4.1. Umidade Ótima	121

5.3.4.2. Massa Específica Seca Máxima	122
5.3.4.3. Valores de Mini-CBR <i>Versus</i> CBR	124
5.3.4.3.1. Tentativa de Determinação do Valor de CBR a Partir da Execução do Ensaio de Mini-CBR	125
5.3.4.4. Expansão	136
5.4. Análise dos Resultados dos Métodos de Classificação de Solos	137
5.4.1. Classificações HRB, USCS e MCT	138
5.4.2. Métodos MCT e Azul de Metileno	144
5.4.3. Comparação entre a Previsão de Propriedades dos Solos Obtida do Ábaco da MCT e os Resultados Obtidos em Laboratório	151
5.5. Considerações Finais	156
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E SUGESTÕES	158
6.1. Considerações Iniciais	158
6.2. Principais Conclusões	158
6.2.1. Quanto aos Ensaio de Caracterização	158
6.2.2. Quanto às Propriedades Tecnológicas dos Solos Obtidas em Cilindro Convencional	159
6.2.3 Quanto às Propriedades Tecnológicas dos Solos Obtidas em Cilindro Miniatura	160
6.2.4. Quanto às Comparações entre as Propriedades Obtidas em Cilindro Convencional e em Cilindro Miniatura	161

6.2.5. Quanto à Tentativa de Determinação do Valor de CBR a Partir da Execução do Ensaio de Mini-CBR	162
6.2.6. Quanto à Análise dos Resultados dos Métodos de Classificação de Solos	162
6.2.6.1. Classificação HRB	162
6.2.6.2. Métodos MCT, MCT-M e Azul de Metileno	163
6.2.6.3. Comparação entre a Previsão de Propriedades dos Solos Obtida do Ábaco da MCT e os Resultados Obtidos em Laboratório	164
6.3. Proposta da Inclusão no Ábaco de Atividade das Três Zonas para Caracterizar o Potencial de Uso em Pavimentação dos Solos da RMF	165
6.4. Sugestões	166
6.5. Desenvolvimentos Futuros	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
ANEXO I: LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS	
ANEXO II: RESULTADOS DOS ENSAIOS DE GRANULOMETRIA CONJUNTA PARA OS SOLOS ESTUDADOS	
ANEXO III: RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MINI-CBR, EXPANSÃO E CONTRAÇÃO NA ENERGIA NORMAL PARA OS SOLOS ESTUDADOS	
ANEXO IV: RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MINI-CBR, EXPANSÃO E CONTRAÇÃO NA ENERGIA INTERMEDIÁRIA PARA OS SOLOS ESTUDADOS	

ANEXO V: RESULTADOS DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS OBTIDOS NA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO NORMAL PARA CILINDRO CONVENCIONAL E MINIATURA

ANEXO VI: RESULTADOS DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS OBTIDOS NA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO INTERMEDIÁRIA PARA CILINDRO CONVENCIONAL E MINIATURA

ANEXO VI: VALORES DE LIMITE DE LIQUIDEZ, LIMITE DE PLASTICIDADE, ÍNDICE DE PLASTICIDADE, MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS E EQUIVALENTE DE AREIA PARA OS SOLOS ESTUDADOS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Localização geográfica da RMF (Brandão, 1998).	8
FIGURA 2.2 – Divisão Municipal da RMF (Brandão, 1998).	9
FIGURA 2.3 – Distribuição das Precipitações na RMF (Brandão, 1998).	13
FIGURA 2.4 – Mapa geomorfológico da RMF (Brandão, 1998).	14
FIGURA 2.5 – Distribuição das unidades hidrogeológicas (Brandão, 1998).	16
FIGURA 2.6 – Principais unidades de vegetação que ocorrem na RMF (Brandão, 1998).	17
FIGURA 2.7 – Mapa Geológico da RMF (Brandão, 1998).	20
FIGURA 2.8 – Mapa pedológico dos solos ocorrentes na RMF (Brandão, 1998).	24
FIGURA 3.1 - Proposta de modificação do ábaco de classificação MCT: ábaco MCT-M. (Vertamatti, 1988).	39
FIGURA 3.2 – Áreas de possíveis ocorrências de solos de comportamento laterítico e não laterítico no Estado do Ceará. Nobre Jr et al (1999a).	42
FIGURA 3.3 - Curva de diferença de penetração <i>versus</i> número de golpes. Parsons e Bolden (1979).	50
FIGURA 3.4 - Curva de calibração: MCV <i>versus</i> teor de umidade. Parsons e Bolden (1979).	51
FIGURA 3.5 – Compactador padrão para execução dos ensaios do método MCT.	53
FIGURA 3.6 – Detalhes do ensaio de perda de massa por imersão.	56

- FIGURA 3.7 - Dimensões do cilindro CBR utilizado no método tradicional e o cilindro mini-CBR do método MCT. 58
- FIGURA 3.8 - Ábaco da classificação MCT (Nogami *et al*, 1993). 61
- FIGURA 3.9 - Localização dos solos artificiais na classificação MCT (Barroso, 1996). 64
- FIGURA 3.10 - Variação do coeficiente c' em função da porcentagem que passa na peneira de abertura nominal igual a 0.074 mm para as amostras estudadas por Fabbri (1994). 66
- FIGURA 3.11 – Variação do coeficiente e' em função dos coeficientes d' e P_i para as amostras estudadas por Fabbri (1994). 67
- FIGURA 3.12 – Gráfico d' versus P_i para valores iguais de coeficientes e' . 68
- FIGURA 3.13 - Classificação de solos finos segundo Magnan e Youssefian (1989). 70
- FIGURA 3.14 - Ábaco para caracterização do grau de atividade da fração argila dos solos (Fabbri, 1994). 73
- FIGURA 4.1 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como podzólico. 80
- FIGURA 4.2 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como areia quartzosa. 80
- FIGURA 4.3 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como litólico. 81
- FIGURA 4.4 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como halomórfico. 81

FIGURA 4.5 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como planosolo.	82
FIGURA 4.6 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como vertisolo.	82
FIGURA 4.7 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como bruno não cálcico.	83
FIGURA 4.8 - Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza mostrando as localizações das amostras coletadas.	85
FIGURA 4.9 - Equipamentos usados para execução do ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha.	90
FIGURA 4.10 - Exemplos do teste de mancha de azul de metileno.	91
FIGURA 5.1. – Variação da massa específica dos sólidos em função da porcentagem que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm.	95
FIGURA 5.2 – Curvas granulométricas dos sessenta solos estudados.	96
FIGURA 5.3 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica das areias quartzosas.	96
FIGURA 5.4 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica bruno não cálcico.	97
FIGURA 5.5 – Curva granulométrica do solo pertencente à classe pedológica dos solos halomórficos.	98
FIGURA 5.6 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica dos solos litólicos.	98
FIGURA 5.7 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica dos planosolos.	99

- FIGURA 5.8 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica dos podzólicos. 100
- FIGURA 5.9 – Curva granulométrica do solo pertencente à classe pedológica dos vertisolos. 100
- FIGURA 5.10 – Variação dos valores de limite de liquidez em função da porcentagem de fração fina. 102
- FIGURA 5.11 – Variação dos valores do índice de plasticidade em função da porcentagem de fração fina. 102
- FIGURA 5.12 – Variação dos valores de equivalente de areia em função da porcentagem de fração fina para os solos. 103
- FIGURA 5.13 – Relação entre as umidades ótimas para as energias de compactação normal e intermediária. 105
- FIGURA 5.14 – Valores das umidades ótimas, na energia de compactação normal, em função das porcentagens de fração fina presentes nos solos. 106
- FIGURA 5.15 – Valores das umidades ótimas, na energia de compactação intermediária, em função das porcentagens de fração fina presentes nos solos. 106
- FIGURA 5.16 – Umidade ótima *versus* massa específica seca máxima obtida na energia de compactação normal. 107
- FIGURA 5.17 – Umidade Ótima *versus* massa específica seca máxima obtida na energia de compactação intermediária. 108
- FIGURA 5.18 – Valores das massas específicas secas máximas para as energias de compactação normal e intermediária. 109

- FIGURA 5.19 – Valores de CBR para energia de compactação normal *versus* valores de CBR para energia de compactação intermediária. 110
- FIGURA 5.20 – Valores da expansão para energia de compactação normal *versus* valores da expansão para energia de compactação intermediária. 111
- FIGURA 5.21 – Umidades ótimas para as energias de compactação normal e intermediária obtidas em cilindro miniatura. 112
- FIGURA 5.22 – Umidades ótimas (cilindro miniatura) na energia de compactação normal em função da porcentagem de fração fina presente nos solos. 113
- FIGURA 5.23 – Umidades ótimas (cilindro miniatura) na energia de compactação intermediária em função da porcentagem de fração fina presente nos solos. 113
- FIGURA 5.24 – Umidades ótimas *versus* massas específicas secas máximas para a energia de compactação normal obtidas para cilindro miniatura. 115
- FIGURA 5.25 – Umidades ótimas *versus* massas específicas secas máximas para a energia de compactação intermediária obtidas para cilindro miniatura. 115
- FIGURA 5.26 – Relação entre os valores das massas específicas secas máximas para as energias de compactação normal e intermediária, obtidas em cilindro miniatura. 116
- FIGURA 5.27 – Valores de Mini-CBR imediato para as energias de compactação normal e intermediária. 117
- FIGURA 5.28 – Valores de mini-CBR após 24 h de imersão para as energias de compactação normal e intermediária. 117

- FIGURA 5.29 – Resultados da expansão, obtidos em cilindro miniatura, para as energias de compactação normal e intermediária. 118
- FIGURA 5.30 – Resultados da contração, obtidos em cilindro de 50 mm de diâmetro, para as energias de compactação normal e intermediária. 119
- FIGURA 5.31 – Valores das umidades ótimas obtidos no cilindro miniatura *versus* valores das umidades ótimas obtidos do ensaio de Proctor, para energia de compactação normal. 121
- FIGURA 5.32 – Valores das umidades ótimas obtidos no cilindro miniatura *versus* valores das umidades ótimas obtidos do ensaio de Proctor, para energia de compactação intermediária. 122
- FIGURA 5.33 – Massas específicas secas máximas obtidas no cilindro miniatura *versus* massas específicas secas máximas obtidas do ensaio de Proctor, para energia de compactação normal. 123
- FIGURA 5.34 – Massas específicas secas máximas obtidas no cilindro miniatura *versus* massas específicas secas máximas obtidas do ensaio de Proctor, para energia de compactação intermediária. 123
- FIGURA 5.35 – Mini-CBR após 24 h de imersão *versus* CBR para energia de compactação normal. 124
- FIGURA 5.36 – Mini-CBR após 24 h de imersão *versus* CBR para energia de compactação intermediária. 125
- FIGURA 5.37 – Exemplo das curvas umidades *versus* cargas (para as penetrações de 2,0 e 2,5 mm) obtidas do ensaio de mini-CBR após 24 h de imersão para o solo *Aquir 01*. 127

- FIGURA 5.38 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm. 127
- FIGURA 5.39 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5 mm. 128
- FIGURA 5.40 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm em função da classe pedológica. 129
- FIGURA 5.41 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm em função da classe pedológica. 129
- FIGURA 5.42 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm em função da classe MCT. 130
- FIGURA 5.43 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm em função da classe MCT. 130
- FIGURA 5.44 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm em função da classe HRB. 131
- FIGURA 5.45 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm em função da classe HRB. 131
- FIGURA 5.46 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm, considerando-se a umidade ótima determinada no ensaio de mini-CBR. 135
- FIGURA 5.47 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm, considerando-se a umidade ótima determinada no ensaio de mini-CBR. 135

- FIGURA 5.48 – Valores da expansão obtidos em cilindro miniatura *versus* os obtidos no cilindro convencional, para a energia de compactação normal. 136
- FIGURA 5.49 – Valores da expansão obtidos em cilindro miniatura *versus* os obtidos no cilindro convencional, para a energia de compactação intermediária. 137
- FIGURA 5.50 – Distribuição das amostras segundo a classificação USCS. 138
- FIGURA 5.51 – Distribuição das amostras segundo a classificação HRB. 139
- FIGURA 5.52 - Localização das amostras na carta de classificação MCT. 145
- FIGURA 5.53 - Localização das amostras no ábaco de classificação de solos MCT-M proposto por Vertamatti (1988). 146
- FIGURA 5.54 – Localização dos solos no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994). 147
- FIGURA 5.55 – Localização das amostras no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994), codificadas em função classe HRB, com inclusão das três zonas de aptidão de uso em pavimentação. 150
- FIGURA 5.56 – Localização das amostras no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994), codificadas em função da classe pedológica, com inclusão das três zonas de aptidão de uso em pavimentação. 151
- FIGURA 6.1 – Proposta da inclusão no ábaco de atividade, apresentado por Fabbri (1994), de três zonas para caracterizar o potencial de uso dos solos da RMF em pavimentação. 166

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – População dos municípios integrantes da RMF (IPLANCE, 1997).	10
TABELA 2.2 – Capacidade de armazenamento dos principais reservatórios de água da RMF.	15
TABELA 2.3 – Coluna geológica e estratigráfica da RMF (Brandão, 1998).	21
TABELA 2.4 – Porcentagem aproximada de ocorrência em área das classes pedológicas da RMF.	23
TABELA 3.1 - Características do equipamento MCV desenvolvido por Parsons (Parsons, 1976)	48
TABELA 3.2 - Resultados do ensaio de MCV para um teor de umidade de um solo argiloso. Parsons e Bolden (1979).	50
TABELA 3.3 - Características dos ensaios CBR, mini-CBR e S-CBR (Nogami e Villibor, 1995).	59
TABELA 3.4 – Previsão das propriedades dos solos em função da classe MCT (Nogami <i>et al</i> , 1993).	62
TABELA 3.5 - Área específica de solos vermelhos tropicais (m ² /g) determinadas em diferentes pHs. Ferreira et al (1996).	75
TABELA 4.1 – Informações sobre a ocorrência das classes pedológicas da RMF, número de amostras inicialmente planejado e o número de amostras efetivamente coletado para cada classe pedológica.	79
TABELA 4.2 – Informações sobre a quantidade de amostras coletadas em cada município e suas designações.	84

- TABELA 5.1 – Equações de regressão, obtidas para os valores de CBR em função das cargas para penetração de 2,0 mm do mini-CBR, para energia normal, em função das classes MCT, pedológica e HRB. 133
- TABELA 5.2 – Equações de regressão, obtidas para os valores de CBR em função das cargas para penetração de 2,5 mm do mini-CBR, para energia normal, em função das classes MCT, pedológica e HRB. 134
- TABELA 5.3 – Resultados das Classificações HRB, USCS e MCT; dos valores da expansão e CBR (energia intermediária); dos valores de LL e IP e da aplicação da norma DERT/CE (1994) para todas as amostras estudadas. 140
- TABELA 5.4 – Parâmetros c' , e' , d' e P_i da classificação MCT, classes MCT e pedológica, e graus de atividade das amostras. 149
- TABELA 5.5- Previsão das propriedades dos solos para cada classe MCT. 152
- TABELA 5.6 - Verificação da concordância entre os valores das propriedades previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório. 152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento)

CA (Coeficiente de Atividade)

CBR (Índice de Suporte Califórnia)

CTC (Capacidade de Troca Catiônica)

CT (Centro de Tecnologia)

DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem)

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral)

DER (Departamento de Estradas de Rodagem)

DET (Departamento de Engenharia de Transportes)

HRB (Highway Research Board)

IP (Índice de Plasticidade)

IPLANCE (Instituto de Planejamento do Ceará)

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas)

L (Índice de Laterização)

LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

LL (Limite de Liquidez)

MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)

MCT-M (Ábaco do método MCT modificado por Vertamatti (1998))

MCV (Moisture Conduction Value)

RMF (Região Metropolitana de Fortaleza)

RIS (Relação entre Índices de Suporte)

RTR (Recommandation pour les Terrassements Routiers)

S (Sub-miniatura)

SAFL (Solo Arenoso Fino Laterítico)

T (grupo dos solos transicionais)

UFC (Universidade Federal do Ceará)

USCS (Unified Soil Classification System)

VB (Valor de Azul Definido pelos Franceses)

Va (Valor de Azul Definido por Fabbri (1994))

RESUMO

O trabalho aqui apresentado é resultado de uma pesquisa experimental onde se procurou caracterizar os solos da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Inicialmente, o objetivo original da tese era transpor o método MCT à realidade dos solos ocorrentes da RMF. Esse objetivo deixou de ser principal devido às limitações desse método quando aplicado aos solos da RMF. O objetivo principal do trabalho passou a ser estudar mais detalhadamente os solos que ocorrem na Região Metropolitana de Fortaleza à luz de métodos convencionais e não convencionais, para conhecer melhor suas limitações e reais potencialidades para aplicação na engenharia rodoviária. Para tanto, foram estudados sessenta solos pertencentes às classes pedológicas que ocorrem na RMF. Esses solos foram submetidos a um programa experimental que envolveu a execução de ensaios “convencionais” e “não convencionais”. A partir dos resultados experimentais foram estabelecidas correlações entre os valores de algumas propriedades de interesse à pavimentação realizadas em cilindro convencional e miniatura. Tentou-se determinar o valor de CBR de um solo, dispondo das cargas calculadas no ensaio mini-CBR, mas essa tarefa não logrou êxito. As amostras foram classificadas pelas classificações HRB e MCT para verificação da qualidade da previsão das propriedades dos solos obtidas por esses métodos e aqueles resultantes da execução dos ensaios de laboratório. Foi proposto, a partir da execução do ensaio de adsorção de azul de metileno, a inclusão no ábaco de atividade de três zonas para se caracterizar o comportamento dos solos da RMF. Os resultados experimentais permitiram, também, concluir que pode-se identificar os materiais com potencial de uso na pavimentação a partir de sua classe pedológica.

Palavras chaves: Região Metropolitana de Fortaleza, propriedades tecnológicas, solos, método MCT.

ABSTRACT

The work here presented is resulted of an experimental research where tried to characterize the soils of the Fortaleza Metropolitan Area (FMA). Initially, the thesis original objective was to transpose the MCT method to the reality of the occurrence soils in FMA. This objective quit being main due to the limitations of that method when applied to the FMA soils. The main objective of the work became to study the soils that occur in Fortaleza Metropolitan Area to the light of conventional methods in full detail and not usual, to know their limitations and real potentialities better for application in the road engineering. For so, sixty soils belonging to the pedological classes that occur in FMA were studied. These soils were submitted to an experimental program that involved the execution of "conventional" and "not usual" tests. Starting from the experimental results correlations among some properties values of paving interest accomplished in conventional cylinder and miniature were established. Tried to determine the CBR soil value, having the estimated loads in the mini-CBR test, but this task didn't achieve success. The samples were classified by the HRB and MCT classifications to verificate the quality of the forecast of the soils properties obtained by those methods and those execution resultants of the tests laboratory. It was proposed, starting from the execution of methylene blue adsorption test, the inclusion in the activity abacus of three areas to characterize the behavior of the FMA soils. The experimental results allowed also concluding that are possible to identify materials that have potential pavements use through their pedological class.

Key words: Fortaleza Metropolitan Area, technological properties, soils, MCT test.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na área rodoviária, a avaliação preliminar das propriedades geotécnicas dos materiais é geralmente realizada, fazendo-se uso de um método de classificação de solos. Já é de conhecimento da comunidade científica, que as classificações de solos desenvolvidas em países de climas temperado e frio podem conferir a alguns solos ocorrentes, em países de climas tropical e subtropical, um desempenho inferior aquele verificado na prática, principalmente, considerando-se os solos denominados de comportamento laterítico.

No Brasil, várias pesquisas foram efetuadas com objetivo de solucionar o problema da inadequação das classificações ditas tradicionais (HRB e USCS). Vale citar os estudos de Nogami e Villibor (1980, 1981, 1985) para o desenvolvimento da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

Nos anos 80 e 90, as pesquisas voltadas para classificação de solos foram marcadas pela consolidação da metodologia MCT e sua difusão a vários centros de pesquisas do Brasil. Surgiram propostas de adaptação e simplificação do método MCT que serão retratadas no capítulo 3 do presente trabalho. Outras tentativas também foram efetuadas para simplificar o processo de classificação, como, por exemplo, a contribuição de Fabbri (1994) para a caracterização da parte fina dos solos tropicais a partir do ensaio de adsorção de azul de metileno.

A apresentação do método MCT, nos anos 80, permitiu o estabelecimento de normas técnicas; visando a aplicação dos solos finos na pavimentação. Alguns estudos foram desenvolvidos, nos anos 50, 60 e 70, períodos em que se deu a intensificação da pavimentação no Estado de São Paulo. Alguns pavimentos experimentais foram construídos, utilizando-se bases de SAFL (Solo Arenoso Fino Laterítico) que não

atendiam às especificações vigentes, mas possuíam valores elevados de CBR (Índice de Suporte Califórnia). Várias pesquisas foram conduzidas na Região Sudeste, visando a construção de pavimentos de baixo custo. Esses acontecimentos favoreceram a formação de técnicos que foram motivados a encontrarem soluções mais econômicas para área rodoviária.

O conhecimento da existência e do aproveitamento dos solos lateríticos na pavimentação é bastante difundido na Região Sudeste do país, onde existem vários trechos experimentais com solos arenosos finos lateríticos que apresentaram desempenho surpreendente ao longo dos anos.

Já na Região Nordeste, a utilização de materiais alternativos para pavimentação ainda não é uma prática comum no meio rodoviário. Pouca ou quase nenhuma pesquisa é conduzida visando este objetivo. No Estado do Ceará, a identificação de jazidas de materiais para serem utilizados em obras viárias vem sendo realizada através dos critérios ditos convencionais (granulometria, limites de liquidez e plasticidade).

Em 1997, no Estado do Ceará, iniciaram-se os primeiros estudos, voltados para utilização de materiais alternativos na pavimentação e a difusão nos meios técnicos dos métodos brasileiros, desenvolvidos no sudeste do país para caracterizar solos. Até então, praticamente só se conheciam os métodos desenvolvidos nos países estrangeiros para se classificar esses materiais.

Nessa época, acreditava-se que fosse possível transpor a experiência paulista do uso do método MCT para se caracterizar os solos ocorrentes no Estado do Ceará. Essa tarefa foi se mostrando, ao longo do tempo, pretensiosa, tendo em vista as particularidades desses solos.

Ao se iniciar os primeiros trabalhos de campo, observou-se que a realidade era muito diferente da encontrada no Estado de São Paulo. Os solos apresentavam perfis muito delgados, havia pouca presença de cortes nas estradas e presença de material granular em grande quantidade. Esse fato chegou a desmotivar a equipe envolvida nos trabalhos, mas decidiu-se insistir no estudo do tema para se conhecer a verdadeira

realidade dos solos da região. Resolveu-se, então, submeter alguns solos do Estado do Ceará a um programa experimental que uma vez finalizado, procurasse explicar o comportamento desses solos no campo. Assim, os solos foram submetidos a um programa de ensaios bastante extenso que contemplou a execução de ensaios aqui chamados de “convencionais” (ensaio de caracterização, granulometria conjunta, Proctor e CBR) e “não convencionais” (métodos MCT e adsorção de azul de metileno).

Para testar e executar os ensaios “não convencionais”, primeiramente foi necessário construir uma infra-estrutura de apoio no Laboratório de Tecnologia dos Pavimentos do Departamento de Engenharia de Transportes (DET) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Foram então confeccionados os equipamentos do método MCT e do ensaio de adsorção de azul de metileno.

A segunda tarefa a ser executada era a escolha de uma região piloto para estudo, pois a caracterização dos solos do Estado inteiro era uma atividade impraticável, tendo em vista a grande extensão territorial do Estado. Optou-se por estudar-se os solos da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), em razão da proximidade, da praticidade, da ocorrência de clima mais úmido nas serras e litoral, e também por se verificar nesses locais a ocorrência de solos mais finos.

A escolha da Região Metropolitana de Fortaleza como região de estudo foi feita também em função da sua importância no cenário estadual. Vários fatores têm favorecido o crescimento econômico da RMF, entre eles vale citar: a forte atividade do turismo, comércio, indústria, a necessidade de transporte dos produtos pertencentes aos pólos industriais dos municípios, a produção de hortifrutigranjeiros com a crescente necessidade de escoamento da produção de frutas e verduras, etc.

Nos últimos cinco anos, vêm sendo realizadas na RMF várias obras de construção, manutenção e serviços de duplicação de rodovias. Essas atividades envolvem altíssimos investimentos, tornando-se necessário maximizar o bem estar gerado por estes investimentos, uma vez que os recursos disponíveis são limitados e as necessidades quase ilimitadas.

Grande parte dos produtos agrícolas do Ceará são transportados, usando-se rodovias vicinais não pavimentadas que estão em péssimas condições de tráfego. Os defeitos dessas rodovias acabam comprometendo os padrões de qualidade dos produtos exigidos pelo mercado estrangeiro. A utilização dos materiais locais para uso em pavimentação pode melhorar a qualidade de rolamento das rodovias, resultando em soluções mais econômicas do que as convencionais, que certamente favorecerão o crescimento e desenvolvimento das regiões.

A busca de materiais que se adaptem às especificações vigentes representa um complexo problema que desafia os órgãos rodoviários. O conhecimento das potencialidades e das limitações dos materiais ocorrentes na natureza pode ajudar a solucionar o problema, favorecendo a possibilidade de escolha de soluções mais econômicas para a construção das camadas do pavimento.

De acordo com as considerações expostas, é possível enunciar o problema que estimulou a execução dessa tese: não existe para a Região Metropolitana de Fortaleza nenhum estudo sistemático, visando entender as particularidades e as limitações dos solos existentes e não existe nenhuma aplicação de métodos não convencionais para caracterização dos solos, visando o seu uso como material de construção civil em obras rodoviárias. Resolveu-se, então, testar o comportamento dos solos à luz de métodos convencionais e não convencionais e estudar algumas propriedades tecnológicas dos solos aplicadas à construção de rodovias.

1.2. OBJETIVOS

Inicialmente, o objetivo original da tese era transpor o método MCT à realidade dos solos ocorrentes da RMF. Esse objetivo deixou de ser principal devido à descoberta das limitações desse método, quando aplicado aos solos da RMF.

O objetivo principal do trabalho passou a ser estudar mais detalhadamente os solos que ocorrem na Região Metropolitana de Fortaleza à luz de métodos convencionais e não convencionais, para conhecer melhor suas limitações e reais potencialidades para aplicação na engenharia rodoviária. Verificou-se, então, a possibilidade de utilização dos métodos não convencionais para a caracterização dos solos da RMF.

O estudo aqui desenvolvido procurou apresentar como produto a geração de modelos preliminares de previsão de algumas propriedades geotécnicas dos solos de interesse à pavimentação.

O trabalho busca, também, fornecer subsídios para, no futuro, auxiliar no mapeamento geotécnico para finalidades rodoviárias dos solos ocorrentes no Estado do Ceará.

1.3. O MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido conforme o método descrito abaixo:

- a) revisão bibliográfica (sobre os temas correlacionados ao trabalho);
- b) pesquisa bibliográfica sobre a geografia, geologia e pedologia da Região Metropolitana de Fortaleza;
- c) identificação das regiões geológicas da zona Metropolitana de Fortaleza;
- d) identificação das classes pedológicas da Região Metropolitana de Fortaleza;
- e) identificação das possíveis áreas de ocorrência de solos de comportamento laterítico e não laterítico da Região Metropolitana de Fortaleza através dos mapas pedológicos e geológicos;
- f) coleta de amostras na Região Metropolitana de Fortaleza;
- g) execução dos ensaios convencionais (granulometria, caracterização, equivalente de areia, peso específico, CBR e Proctor), dos ensaios da metodologia MCT (Mini-MCV, perda de massa por imersão, Mini-CBR, expansão e contração) e do ensaio de adsorção de azul de metileno;
- h) execução de um cadastro de todas as informações obtidas;
- i) análise dos resultados;
- j) elaboração de modelos preliminares para previsão de algumas propriedades geotécnicas de interesse à pavimentação;

1.4. RELEVÂNCIA DO TEMA

A possibilidade de se conhecer melhor as potencialidades e as limitações dos materiais ocorrentes na RMF permitirá uma melhor compreensão do processo classificatório, além de possibilitar que propriedades “peculiares” dos solos ocorrentes na RMF sejam levadas em consideração.

1.5. ESTRUTURA DA TESE

A tese está dividida em seis capítulos e seis anexos.

O capítulo 1 é a introdução do trabalho. O capítulo 2 destina-se a descrever as principais características geoambientais da Região Metropolitana de Fortaleza. No capítulo 3, foram realizadas revisões bibliográficas sobre o método MCT e o método de adsorção de azul de metileno aplicados ao estudo e caracterização de solos. No capítulo 4, são descritos os materiais e os métodos empregados para execução da tese proposta. O capítulo 5 destina-se a apresentar e discutir os resultados experimentais obtidos, mostrando as principais aplicações práticas para os materiais ocorrentes da RMF. No capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões resultantes da realização das atividades teóricas e experimentais, bem como sugestões e recomendações para estudos futuros.

No anexo I, são mostradas as localizações geográficas dos solos coletados para estudo. No anexo II, são mostrados os resultados do ensaio de granulometria conjunta, bem como os valores de limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, massa específica dos sólidos e equivalente de areia. Nos anexos III e IV, apresentam-se os resultados dos ensaios de mini-CBR, expansão e contração, executados na energia de compactação normal e intermediária, respectivamente. Nos anexos V e VI, são mostrados os resultados das propriedades tecnológicas dos solos obtidos em cilindro convencional e miniatura para as energias de compactação normal e intermediária, respectivamente.

CAPÍTULO 2

A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos cinco anos, vêm sendo realizadas na RMF (Região Metropolitana de Fortaleza), várias obras de construção, manutenção e serviços de duplicação de rodovias. Ressalta-se a importância de se conhecer as potencialidades e as limitações dos materiais ocorrentes na região.

Fortaleza é a quinta cidade mais populosa do Brasil, mas apresenta vários problemas entre os quais vale citar: má distribuição de renda, concentração populacional, degradação ambiental, excessiva produção de resíduos sólidos urbanos, problemas relativos ao uso e ocupação do solo, etc. Torna-se, então, fundamental o conhecimento de todas as limitações impostas pela natureza para um planejamento racional do crescimento e desenvolvimento da RMF.

As informações contidas nesse capítulo estão baseadas nas publicações de Brandão (1995, 1998); Colares (1996); no Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, publicado pela EMBRAPA (1973); DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) (1998) e em dados fornecidos pelo IPLANCE (Instituto de Planejamento do Ceará) (1997).

2.2. INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil. Possui uma área de 146.817 km², representando 9,6% do território do nordeste, com população de 6.900.000 habitantes. O Estado tem como capital a cidade de Fortaleza.

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) está situada no nordeste do Estado do Ceará, situando-se entre os meridianos de 38°13'18,3" e 39°00'00" de longitude a oeste de Greenwich e os paralelos de 03°33'6,3" e 04°10'44,5" de latitude sul.

Limita-se a norte com o oceano Atlântico; a sul, com os municípios de Caridade, Pálmacia, Redenção, Acarape, Pacajus e Horizonte; a leste, com o município de Pindoretama e com o oceano Atlântico, e a oeste, com os municípios de São Gonçalo do Amarante e Pentecoste. A figura 2.1 mostra a localização geográfica da RMF no Brasil e no Estado do Ceará.

FIGURA 2.1 - Localização geográfica da RMF (Brandão, 1998).

A RMF possui uma área de 3.483 km², correspondendo a 2,32 % da área total do Estado, sendo constituída pelos municípios de Fortaleza (336 km²), Caucaia (1293 km²), Maranguape (672 km²), Maracanaú (82 km²), Pacatuba (141 km²), Guaiúba (259 km²), Itaitinga (154 km²), Aquiraz (471 km²) e Eusébio (75 km²). Atualmente estão sendo incorporados à Região Metropolitana de Fortaleza os municípios de São Gonçalo do Amarante, Horizonte e Pacajus. A figura 2.2 apresenta a divisão municipal da RMF.

FIGURA 2.2 – Divisão municipal da RMF (Brandão, 1998).

A população total da RMF é estimada em 2.684.765 habitantes, segundo informações fornecidas pelo IPLANCE (1997), correspondendo a 39,8 % da população do Estado

e resultando numa densidade demográfica de 792 hab/km². A tabela 2.1 mostra a população dos municípios da RMF para o ano base de 1996.

TABELA 2.1 - População dos municípios integrantes da RMF (IPLANCE, 1997).

Municípios	População (habitantes)
Aquiraz	53.210
Caucaia	201.988
Eusébio	24.731
Fortaleza	2.008.203
Guaiúba	19.648
Itaitinga	28.320
Maracanaú	219.121
Maranguape	81.304
Pacatuba	48.240
Total Geral	2.684.765

2.3. ASPECTOS ECONÔMICOS

O turismo representa uma forte atividade desenvolvida na RMF. Os municípios de Fortaleza, Caucaia e Aquiraz possuem praias que favorecem o turismo nacional e internacional. Nos municípios de Maranguape e Pacatuba estão situadas serras onde também é realizada a atividade do turismo.

Os principais produtos agrícolas da RMF são as hortaliças (alface, coentro, cebolinha, cenoura, repolho e couve-flor), as culturas de mandioca, milho, arroz, feijão, cana de açúcar, banana, caju, manga, mamão, laranja e côco. As atividades da pecuária são marcadas principalmente pela avicultura, seguidas da suinocultura e bovinocultura. A pesca é uma outra atividade praticada nos municípios litorâneos, constituindo uma fonte de renda para os seus moradores. Os principais produtos

ligados à atividade mineral são os não metálicos como a argila, areia, calcário, diatomita e granito.

2.4. INFRA-ESTRUTURA DISPONÍVEL

O transporte rodoviário é realizado através das rodovias federais e estaduais. O sistema rodoviário federal, dentro da RMF, é realizado através da BR-116 (ligação de Fortaleza ao interior do Ceará e ao Sudeste e ao Sul do País), BR-222 (ligação da capital ao noroeste do Brasil) e a BR-020 (ligação de Fortaleza a Brasília, via Piauí). As rodovias estaduais que cortam a RMF são a CE-060 (ligação de Fortaleza ao extremo sul do Estado), a CE-040 (ligação de Fortaleza ao litoral sul de Aracati) e a CE-065 (ligação de Fortaleza a Maranguape).

O transporte ferroviário da RMF possui duas importantes linhas: a linha norte (ligação de Fortaleza aos Estados do Piauí e Maranhão) e a linha sul (ligação de Fortaleza aos Estados de Pernambuco, Paraíba e Bahia). Há também o ramal ferroviário que dá acesso ao Porto do Mucuri, onde é realizado todo o transporte marítimo da região. Atualmente, está em construção o metrô de Fortaleza (METROFOR) que dará suporte ao transporte público de passageiros da RMF.

O transporte marítimo é realizado tendo como origem o Porto do Mucuri. Esse porto, conforme o DNPM (1998), dispõe de: um cais de 560 metros; descarga de grãos sólidos, com capacidade estática para 14.000 toneladas; armazenagem para grãos sólidos, com capacidade estática de 53.000 toneladas; dois armazéns de carga geral, com capacidade de 6000 m³ cada um; 56.300 m² de pátios pavimentados para movimentação de contêineres; pátio para minério; 100 tomadas para contêineres frigoríficos; e píer petroleiro, com capacidade para descarga simultânea de dois navios. Recentemente, em março de 2002, foi inaugurado o porto do Pécem, localizado no município de São Gonçalo do Amarante, na divisa oeste do município de Caucaia.

Toda a distribuição da energia elétrica na RMF é executada pela empresa estatal COELCE (Companhia Energética do Ceará). A distribuição da água é feita pela empresa estatal CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará). Os serviços de

telefonia fixa podem ser atendidos pela TELEMAR, EMBRATEL, INTELIG e/ou VESPER. A telefonia móvel é realizada pela TIM e/ou BCP.

2.5. CLIMA

Segundo Brandão (1998), a temperatura média anual nas áreas litorâneas é da ordem de 26° C a 27° C com máximas situando-se entre 31° C e 32° C. A média anual das zonas de climas serranos torna-se mais amena e decai para 25° C, atingindo valores em torno de 22° C. Nas áreas interiores, a média atinge o patamar de 28° C, enquanto a média das máximas fica em torno de 33° C a 34° C.

O clima dessa região é razoavelmente homogêneo e as pequenas variações estão associadas ao regime pluviométrico. Conforme Brandão (1998), com base nos índices de precipitação média anual, pode-se esboçar o seguinte zoneamento pluviométrico:

- a) uma zona predominante, em que o índice pluviométrico médio situa-se no patamar de 1.200 a 1.400 mm e as temperaturas são mais amenas nas zonas litorâneas;
- b) climas localizados, definidos em áreas de altitudes elevadas (serras de Maranguape e Aratanha/Pacatuba), onde a incidência de chuvas orográficas determina um aumento significativo da pluviometria média anual, situando-se numa faixa da ordem de 1400 a 1600 mm. Esses fatores caracterizam-se também, pela ocorrência de temperaturas mais baixas;
- c) climas de condições mais secas, na porção ocidental, estando numa faixa em que a precipitação média oscila em torno de 900 a 1200 mm, com temperaturas mais elevadas nas áreas interioranas (sertões) e mais amenas no litoral.

A figura 2.3 mostra a distribuição das precipitações na RMF.

FIGURA 2.3 - Distribuição das precipitações na RMF (Brandão, 1998).

2.6. RELEVO

De acordo com o DNPM (1998), predominam na maior parte da RMF os seguintes tipos de relevo: planície litorânea, glaciais pré-litorâneos, depressões sertanejas e maciços residuais. Essas unidades são mostradas na figura 2.4.

A planície litorânea é característica de toda a orla litorânea cearense e as altitudes são inferiores a 200 m. Predominam nesse tipo de relevo os campos de dunas (A1), as praias e as planícies flúvio-marinhas (A2).

Os glaciais pré-litorâneos são formados pelos sedimentos pertencentes à Formação Barreiras. Formam relevos tabulares, dissecados por vales alongados e de fundo chato, com cotas altimétricas baixas (inferiores a 100 m), espessura média da ordem

de 25 m e suave inclinação em direção ao mar. Nesta unidade de relevo estão inseridos os tabuleiros pré-litorâneos (B1) e as planícies fluviais (B2).

FIGURA 2.4 - Mapa geomorfológico da RMF (Brandão, 1998).

Nas depressões sertanejas, conforme Brandão (1998), verifica-se a predominância de uma topografia plana ou levemente ondulada (altitudes inferiores a 100 m e espessuras máximas de 3 m, com a média girando em torno de 1,4 m), cartografada como superfície pediplanada (C1). Em áreas onde a dissecação é mais evidente, interflúvios de feições convexas são isolados, formando-se relevos colinosos, mapeados como superfície pediplanada colinosa (C2).

Os maciços residuais compreendem as serras cristalinas que apresentam extensões variadas e altitudes que oscilam de 400 a 700 m (Colares, 1998). Apresentam-se dissecados em feições de topos aguçados (D1), relevos tabulares (D2) e em forma de *inselbergs* (D3).

2.7. HIDROGRAFIA

Os principais rios que drenam a RMF são o Ceará, Pacoti e Cocó. Os principais sistemas de captação existentes na RMF são o Pacoti-Riachão-Gavião, o Acarape do Meio e o Pacajus, responsáveis pelo abastecimento de aproximadamente 60 % da região. A tabela 2.2 mostra a capacidade de armazenamento desses cinco reservatórios, conforme informações retiradas de Brandão (1998).

TABELA 2.2 - Capacidade de armazenamento dos principais reservatórios de água da RMF.

Reservatórios	Capacidade de armazenamento (milhões de m ³)
Pacoti	370
Riachão	87
Gavião	54
Acarape do meio	34
Pacajus	148

A maioria dos rios são temporários e sua capacidade está ligada ao período das chuvas. Durante o período das secas, esses sistemas tornam-se insuficientes para alimentar toda população e a complementação é realizada através da captação de águas subterrâneas, captadas por poços tubulares de até 60 m de profundidade e com vazões variáveis, alcançando até 15 m³/poço/hora.

São encontradas na RMF as seguintes bacias hidrográficas: São Gonçalo, Cauípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Pacoti, Catu e Caponga Funda. As quatro unidades aquíferas da região são representadas pelas dunas/paleodunas, formação Barreiras, aluviões e meios cristalinos. A figura 2.5 mostra essas informações.

FIGURA 2.5 – Distribuição das unidades hidrogeológicas (Brandão, 1998).

2.8. VEGETAÇÃO

Segundo Brandão (1998), a vegetação da RMF é composta pelas seguintes unidades: complexo de vegetação litorânea (tabuleiros litorâneos, dunas e mangues), floresta subperenifolia tropical pluvio-nebular (matas úmidas), floresta subcaducifolia tropical pluvial (mata seca), transição caatinga/cerrado, caatinga, mata ciliar e lacustre. A figura 2.6 mostra essas unidades.

FIGURA 2.6 - Principais unidades de vegetação que ocorrem na RMF (Brandão, 1998).

O complexo de vegetação litorânea é subdividido, de acordo com o exposto em Brandão (1998), nos seguintes tipos de vegetação:

- a) tabuleiros litorâneos que ocorrem na zona pré-litorânea, em terrenos planos com declividade muito suave. As principais espécies encontradas são: pau d'arco roxo (tabebuia avellanadae), caraíba (tabebuia caraíba), arapiroca (pithecellobium foliolosum), freijó (cordia trichotoma), angelim (andira retusa) e cajueiro (anacardium);
- b) dunas que se localizam nas áreas próximas ao mar, predominando gramíneas e várias espécies rasteiras. As espécies mais representativas são: salsa-da-praia (ipomoea pés-caprae), bredo-da-praia (iresine portulacoides),

capim-da-praia (*Paspalum vaginatum*), cipó-da-praia (*Remirea marítima*), oró (*Phaseolus pondurarus*) e murici (*Byrsonima cerícea*);

- c) os mangues ocorrem nas áreas estuarinas ou de planícies flúvio-marinhas. Ocorrem as seguintes espécies arbóreas: mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*), mangue siriúba (*Avicennia nitida*) e mangue brotão (*Conocarpus erecta*).

A floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular (mata úmida) é encontrada nas partes mais elevadas das serras cristalinas (Maranguape, Aratanha/Pacatuba, Juá, Conceição e Camará) e vertentes superiores. É caracterizada por árvores que atingem até 30 m de altura. As principais espécies encontradas nessa unidade são: babaçu (*Orbignya martiana*), potumuju (*Centrolobium robustum*), jatobá (*Hymenoclea barteri*), tuturubá (*Lucuma grandiflora*) e pijoá (*Basiloxylum brasiliensis*). Conforme Brandão (1998), as condições de acentuada umidade nas vertentes de barlavento (voltadas para o oceano) determinam a formação de solos profundos, da classe podzólico amarelo eutrófico.

A floresta subcaducifólia tropical pluvial (mata seca) ocupa os níveis inferiores dos relevos cristalinos, recobrando também, os relevos cristalinos mais baixos tais como os serrotes e as vertentes de níveis tabulares, menos favorecidos pelas chuvas (Colares, 1996). A cobertura vegetal apresenta um porte arbóreo, intermediária entre a floresta úmida e a caatinga. Podem ser encontradas as seguintes espécies: angico (*Anadenanthera macrocarpa*), aroeira (*Astronium urundeuva*), gonçalo alves (*Astronium fraxinifolium*), mulungu (*Erythrina velutina*) e sipaúba (*Thilsea glaucocarpa*). Nessa unidade é comum a ocorrência de solos litólicos.

A vegetação de transição caatinga/cerrado é uma associação de plantas de cerrado e plantas de caatinga, ocorrendo principalmente nos terrenos de constituição mais arenosa (areias quartzosas) da Formação Barreiras. As principais espécies representativas dessa unidade são: lixeira ou sambaíba (*Curatella americana*), barbatimão (*Stryphnodendron coriaceum*), paraíba (*Simarouba versicolor*), cajui (*Anacardium brasiliensis*), pau-terra (*Quaeria parviflora*) e marfim (*Agonandra*

brasiliensis). A classe pedológica das areias quartzosas pode ser encontrada com maior frequência nessa unidade.

A vegetação da caatinga é típica dos sertões nordestinos e ocupa a maior parte da RMF, associando-se aos domínios dos terrenos cristalinos da depressão sertaneja. Nessa vegetação predominam as seguintes espécies: jurema (*mimosa hostile*), catingueira (*caesalpinha bracteosa*), sabiá (*mimosa caesalpinifolia*), marmeleiro (*cróton sonderianus*) e mandacuru (*cereus jamacaru*). Essa unidade é caracterizada por uma alta deficiência hídrica e pela ocorrência de solos que apresentam pouca profundidade.

A mata ciliar e lacustre ocorrem principalmente nas planícies fluviais dos rios Pacoti, Ceará, Cocó, São Gonçalo e Cauípe, além de outros rios de menor porte. A carnaúba (*copernicia cerífera*) é a principal espécie característica e normalmente ocorre associada ao mulungu (*erythrina velutina*), juazeiro (*zizyphus joazeiro*), oiticica (*licania rígida*) e ingá-bravo (*lonchocarpus sericeus*). Nessa unidade, ocorre principalmente os solos pertencentes à classe pedológica dos planossolos.

2.9. GEOLOGIA

O estudo da geologia associado a outras ciências torna-se preponderante para a explicação da formação dos solos. Sabe-se que um mesmo tipo de rocha, submetido a diferentes condições climáticas, pode originar solos diferentes e rochas diferentes, quando sujeitas às mesmas condições climáticas, podem originar solos idênticos.

Conforme dados do IPLANCE (1997), a geologia do Estado do Ceará está dividida em rochas cristalinas e sedimentares. As rochas cristalinas ocupam uma área que corresponde a 111.604 km², representando 75,4 % do Estado. Já as rochas sedimentares ocupam uma menor área, equivalente a 36.412 km², totalizando 24,6 % do Estado.

Geologicamente, a RMF é caracterizada pelas presenças de terrenos cristalinos (rochas metamórficas e ígneas), datados na era proterozóica, e coberturas sedimentares da era cenozóica. A figura 2.7 ilustra o mapa geológico da RMF e a

tabela 2.3 mostra as unidades geológicas ocorrentes na RMF juntamente com suas respectivas litologias.

FIGURA 2.7 - Mapa geológico da RMF (Brandão, 1998).

TABELA 2.3 – Coluna geológica e estratigráfica da RMF (Brandão, 1995).

Era	Período	UNIDADE GEOLÓGICA		LITOLOGIA
CENOZÓICO	QUARTENÁRIO	Qa	Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues	Areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuários recentes.
		Qd	Dunas Móveis ou Recentes	Areias esbranquiçadas, de granulação fina a média, bem selecionadas, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados, muitas vezes encerrando níveis de minerais pesados (principalmente ilmenita).
		Qpd	Paleodunas	Areias de coloração amarelada e acinzentada, de granulação fina a média, por vezes siltosas, bem selecionadas, de composição quartzosa ou quartzo-feldspática.
		TQc	Coberturas Colúvio-Eluviais	Sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes laterizados na base.
	TERCIÁRIO	Tb	Formação Barreiras	Sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, freqüentemente de aspecto mosqueado, mal selecionados, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulinitica com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso.
		Tλ	Vulcânicas Alcalinas	Fonolitos, traquitos, turfos e essexitos.
PROTEROZÓICO	SUPERIOR	P ε γ ₂	Granitos	Leucogranitos rosados, isotrópicos, ricos em muscovita, de granulação grossa a freqüentemente pegmatóide, constituindo um corpo circular de posicionamento pós-tectônico.
		P ε γ ₂		Granitóides mesocráticos, exibindo foliação mais ou menos nítida e freqüentemente encerrando enclaves gnaissificados de composições variadas, constituindo corpos de posicionamento tardi a pós-tectônico.
	INFERIOR	P ε ub	Ultrabásitos	Piroxenitos de coloração preto-esverdeada, maciços e de granulação média.
		cc	Complexo Gnáissico-Migmatítico	Domínio de biotita-gnaisses para e ortoderivados, com ou sem muscovita, anfibólio, granada e sillimanita, parcial ou totalmente migmatizados. Áreas com predominância de migmatitos: mg. Inclui também lentes de calcário cristalino (cc) e de muscovita-quartzitos (qt)
		P ε gn-mg		
		mg		
		P ε gr - mg	Complexo Granitóide-Migmatítico	Domínio de ortognaisses graníticos e migmatitos diversos, com freqüência encerrando lentes anfibolíticas.

2.10. PEDOLOGIA

Os solos são considerados o produto final do intemperismo. A sua formação está condicionada a fatores como o tipo de rocha, clima, vegetação, topografia e tempo de intemperismo. O conhecimento desses fatores pode ajudar no entendimento das características e propriedades dos solos ocorrentes em uma dada região.

Nogami e Villibor (1995) verificaram que as seguintes classes pedológicas são as que podem apresentar o chamado “comportamento laterítico” quando utilizadas como camadas de pavimentos: latossolo roxo, latossolo vermelho-escuro, latossolo vermelho-amarelo, latossolo amarelo, terra roxa estruturada, solos concrecionários lateríticos, podzólico vermelho-escuro, podzólico vermelho amarelo, podzólico amarelo e areias quartzosas.

De posse dessas possíveis relações entre as classes pedológicas e o eventual comportamento laterítico dos solos como material para construção rodoviária, resolveu-se consultar mapas pedológicos de solos disponíveis para o Estado do Ceará.

Segundo o mapa pedológico de 1972 do Estado do Ceará, as principais classes pedológicas existentes na RMF são: podzólico vermelho amarelo, planossolos, brunos não cálcicos, solos arenoquartzosos, solos halomórficos, solos litólicos e vertissolos. A partir desse mapa levantou-se o percentual aproximado de ocorrência de cada classe conforme mostra a tabela 2.4. A figura 2.8 mostra a distribuição desses solos na RMF.

Note-se que a terminologia usada para descrever as classes pedológicas da presente tese foi a mesma adotada no mapa de solos do Estado do Ceará, edição de 1973, escala de 1: 600.000, publicado pela EMPRAPA.

TABELA 2.4 - Porcentagem aproximada de ocorrência em área das classes pedológicas da RMF.

Classe pedológica	Porcentagem de ocorrência (%)
1. Podzólico vermelho amarelo	40,28
2. Planosolo	18,05
3. Bruno não cálcico	16,67
4. Solos arenoquartzosos	12,50
5. Solos halomórficos	5,56
6. Solos litólicos	5,56
7. Vertisolo	1,38

FIGURA 2.8 - Mapa pedológico dos solos ocorrentes na RMF (Brandão, 1998).

Nos sub-itens de 2.10.1 a 2.10.7 são descritas as principais características de todas as classes pedológicas que ocorrem na RMF. Essas informações foram extraídas do levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará (1972) e de Brandão (1998).

2.10.1. Podzólico Vermelho Amarelo

Os solos pertencentes a essa classe apresentam normalmente argila de atividade baixa (capacidade de troca de cátions após correção para carbono menor que 24mE para 100 g de argila). Possuem seqüência de horizontes A, B_t (horizonte B textural) e C. Podem apresentar caráter abrupto, ou seja, mudança textural abrupta do A para o B_t, bem como, além deste caráter, podem apresentar também horizonte B_t com plintita.

Estes solos podem apresentar caráter eutrófico ou distrófico. Podem ser fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural (podzólicos vermelho amarelos distróficos) ou possuir de médio a alto potencial agrícola (podzólicos vermelho amarelos eutróficos).

São solos de textura arenosa, média ou raramente argilosa, no horizonte A e média ou argilosa no horizonte B_t. Os podzólicos vermelho amarelo abrupto plintico possuem coloração variegada ou com mosqueados abundantes, têm drenagem moderada e/ou imperfeita, enquanto outros solos da mesma classe são bem acentuadamente drenados, ou mesmo fortemente drenados em alguns solos da textura média.

Geralmente o horizonte A destes solos apresenta espessura que varia de 28 a 115 cm. A profundidade do horizonte B_t, excetuando-se os solos rasos que são pouco encontrados, pode variar de 80 a 215 cm. A coloração pode assumir diversas cores, indo desde as tonalidades vermelho-amareladas até bruno-acinzentadas. Nos solos com plinthite (B_{tpl}), a coloração é variegada ou com mosqueados abundantes.

Estes solos ocorrem com predominância na zona pré-litorânea (relevo plano e suave ondulado) e em menor escala em regiões serranas (de relevo forte ondulado e montanhoso), tais como as serras de Maranguape e Pacatuba.

Os solos das áreas do litoral são usados na sua maioria para o plantio de cajueiros, destacando-se também o plantio de culturas de subsistência tais como mandioca, milho, feijão e pequenos plantios de algodão herbáceo. Nas regiões serranas são utilizados para o cultivo de café, algum milho e fruticultura.

2.10.2. Planosolos

Esta classe agrupa solos que apresentam normalmente argila de atividade alta (capacidade de troca de cátions no horizonte B_t após correção para carbono maior que 24mE para 100 g de argila). Pode-se distinguir seqüência de horizontes A, B_t e C. Apresentam nos horizontes B_t e C, principalmente no C, elevados teores de minerais primários facilmente decomponíveis, os quais constituem fontes de nutrientes para as plantas. São solos muito susceptíveis à erosão, apresentando ligeiro excesso de água no curto período chuvoso e um grande ressecamento no período seco. São moderadamente ácidos a praticamente neutros (raramente ocorrem solos moderadamente alcalinos).

Os planosolos são em geral de textura arenosa no A e média ou argilosa no B_t , com transição normalmente plana e abrupta ou clara do A para o B_t . O horizonte A possui normalmente espessura variando de 30 a 100 cm, exceto nas áreas onde a erosão é mais intensa e as espessuras variam de 10 a 18 cm. As cores dominantes variam de bruno-claro-acinzentado a bruno escuro.

Os planosolos ocupam a porção oeste e centro-oeste da RMF. São originados predominantemente de saprolito de gnaisses e migmatitos. Ocorrem também em áreas de várzeas. O relevo é plano e suave ondulado.

Os solos ocupam áreas onde se destaca a extração de carnaúba, culturas de algodão e pastagens utilizadas para pecuária. Podem ser aproveitados também em menor escala, para as culturas de milho e feijão.

2.10.3. Bruno não Cálcico

Os solos apresentam argila de atividade alta, apresentando capacidade de troca de cátions após correção para carbono maior que 24mE para 100 g de argila. Esta classe inclui os brunos não cálcicos que não são litólicos, vérticos ou planossólicos e os brunos não cálcicos vérticos (que são intermediários para vertisolos) com ou sem carbonatos.

Podem ser moderadamente ácidos a praticamente neutros, ou mesmo moderadamente alcalinos. São solos que apresentam alta fertilidade natural e são muito susceptíveis à erosão.

Possuem seqüência de horizontes A, B_t e C, ocorrendo mudança textural abrupta do A para o B_t. O horizonte A apresenta textura arenosa ou média, coloração bruna e espessura que varia de 9 a 28 cm. O horizonte B_t possui espessura que varia de 23 a 81 cm, textura argilosa a média e coloração avermelhada.

Estes solos ocorrem na porção sul, oeste e centro-oeste da RMF. O material originário é principalmente derivado do complexo gnáissico-migmatítico e do complexo granítico-migmatítico. O relevo varia desde plano até fortemente ondulado, constatando-se, porém, a predominância dos relevos suave ondulado e ondulado.

Na sua grande maioria, estes solos são aproveitados para pecuária. As culturas mais comuns encontradas em suas áreas são as do algodão, ocorrendo também pequenas culturas de subsistência, como as de milho e feijão.

2.10.4. Solos Arenoquartzosos

São solos essencialmente quartzosos, excessivamente drenados, fortes a moderadamente ácidos e de baixa a muito baixa a fertilidade natural. Possuem seqüência de horizontes A e C, podendo se apresentar desprovidos do horizonte A, como em algumas áreas de dunas (Amd), principalmente as móveis. Estes solos só apresentam caráter distrófico, pois não foram encontradas ocorrências de solos eutróficos.

O horizonte A apresenta espessura que varia de 10 a 20 cm e coloração bruno. O horizonte C possui normalmente grande espessura, geralmente superior a 2 metros. Os solos arenoquartzosos são solos de coloração bastante variada, indo desde a coloração vermelha até a coloração branca, sendo comum as tonalidades amareladas.

Quanto à distribuição geográfica, estes solos ocorrem principalmente nas zonas do litoral, com maior área de incidência no município de Aquiraz. O material originário

é constituído por sedimentos arenosos do grupo barreiras (terciário). O relevo apresenta-se plano ou suave ondulado (nas áreas das dunas).

Quanto ao uso agrícola, estes solos são pouco aproveitados, tendo em vista a baixa fertilidade natural e a textura muito arenosa. Destaca-se na sua grande totalidade, a cultura do cajueiro na zona do litoral do Estado. Sobre as areias quartzosas distróficas (dunas) são encontrados alguns coqueirais nas áreas mais baixas e menos secas do litoral. Observa-se também a presença de pequenas plantações de mandioca, abacaxi (Ibiapaba), algum milho e feijão em más condições.

2.10.5. Solos Halomórficos

Esta classe engloba os solos das classes solonetz solodizado e solonchak solonétzico.

Os solonetz solodizados possuem seqüência de horizontes A, B_t e C. Os solos são normalmente de textura arenosa no horizonte A e média ou argilosa no horizonte B_t. São solos muito susceptíveis à erosão. O horizonte A tem espessura que varia de 10 até cerca de 50 cm e apresenta coloração bruna. O horizonte B_t possui espessura de 16 a 78 cm, coloração variando de bruno, cinza a amarelo claro acinzentado. O horizonte C tem algumas características semelhantes ao B_t, porém apresenta coloração com predomínio de cores oliváceas claras e influência de material de rocha semi-intemperizada.

Os solonchak solonétzico possuem somente seqüência de horizontes A-C. São de difícil caracterização morfológica, sem dispor do que seria um perfil típico que representasse a classe. O horizonte A é pouco espesso (7 a 20 cm). Os solonchak solonétzico são solos semelhantes aos solos aluviais, diferenciando-se principalmente pelas suas características químicas, devido à alta salinidade.

Os solos halomórficos têm predomínio nas zonas pré-litorânea e litorânea, próximo às desembocaduras dos principais rios e ao longo dos seus cursos. Aparecem associados com solos indiscriminados de mangues ou com solos aluviais. O material originário é constituído em grande parte por saprolito de gnaiss e por sedimentos fluviais de natureza e granulometria variada. Ocorrem onde o relevo é plano e suavemente ondulado.

Na quase totalidade de suas áreas, estes solos não são cultivados, excetuando-se o aproveitamento da vegetação natural com pecuária extensiva realizada de modo muito precário. A exploração dos carnaubais nativos constitui o seu aproveitamento mais econômico. Em algumas áreas, onde estes solos apresentam o horizonte A mais espesso (40 a 50 cm), verifica-se que, além de pequenas lavouras de mandioca, milho e feijão, é também cultivado o algodão arbóreo.

2.10.6. Solos Litólicos

São solos pouco desenvolvidos que possuem apenas um horizonte A assentado diretamente sobre a rocha (R) ou sobre um horizonte C de pequena espessura. Os solos apresentam então, seqüência de horizontes A-C-R ou A-R. O horizonte A apresenta textura arenosa, média, argilosa ou siltosa, com cascalho ou cascalhenta, ou mesmo muito cascalhenta. Este horizonte A tem espessura variando de 15 a 40 cm e cores as mais variadas. A rocha (R) é muito pouco intemperizada e o horizonte C possui muitos materiais primários sobre a rocha subjacente.

Os solos litólicos são comumente bastante susceptíveis à erosão em decorrência de sua reduzida espessura. Estes solos podem apresentar caráter eutrófico ou distrófico.

Ocorrem dispersamente distribuídos na porção centro-oeste da RMF, ocupando posição de encostas em relevos que variam desde suavemente ondulados até montanhosos, ou mesmo escarpados. Podem ocupar também áreas de relevo praticamente plano. Geralmente, o material é originário de saprolito de gnaisses, migmatitos e de granitos.

As áreas destes solos estão quase totalmente cobertas pela vegetação natural. Parte desta vegetação é aproveitada de modo muito precário com pecuária extensiva. Em áreas de relevo pouco movimentado, em solos cujo horizonte A é mais espesso e em áreas de clima menos seco, foram constatadas pequenas culturas de subsistência, como milho e feijão, raramente consorciado com algodão arbóreo.

2.10.7. Vertisolos

São solos argilosos a muito argilosos que possuem seqüência de horizonte AC. Apresentam argila de atividade alta que provoca altas expansões e contrações. Durante a época chuvosa, tornam-se encharcados, muito plásticos e muito pegajosos. Quando secos, apresentam consistência duro a muito duro. São bastante susceptíveis à erosão.

O horizonte A tem espessura que varia de 10 a 28 cm, coloração mais escura que atinge muitas vezes a cor preta. O horizonte C tem espessuras diversas conforme a maior ou menor profundidade da rocha subjacente (R) ou grandes espessuras, nos casos de solos de várzea. A coloração do horizonte C é muito variável, predominado cores mais escuras como bruno.

Estes solos distribuem-se em áreas relativamente pequenas e de maneira dispersa. Sua origem está relacionada a constituição gnáissico-migmatítica. O relevo é predominantemente plano a suavemente ondulado, com pequena ocorrência do relevo ondulado.

Os solos são mais utilizados para a cultura do algodão (arbóreo e herbáceo), constatando-se também, com grande freqüência, as culturas de milho, feijão e arroz, exploração de carnaubais nativos, bem como a oiticica.

2.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram mostrados alguns aspectos da Região Metropolitana de Fortaleza com o objetivo de familiarizar o leitor com a região de estudo selecionada. No capítulo que se segue, serão retratados outros temas que subsidiaram o interesse pelo tema da tese escolhido.

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS SOLOS LATERÍTICOS E OS MÉTODOS MCT E DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O tema sobre classificação de solos vem sendo discutido há algum tempo no Brasil, devido às limitações impostas pelas classificações estrangeiras de solos quando aplicadas a alguns solos brasileiros. Existem vários trabalhos que buscam discutir o problema e encontrar alternativas para melhorar o processo de caracterização de materiais.

As classificações geotécnicas de solos HRB (Highway Research Board) e USCS (Unified Soil Classification System) não se adequam bem aos solos tropicais, visto que podem classificar solos pedogeneticamente diferentes como sendo pertencentes à mesma classe, embora possuam propriedades geotécnicas bem diferentes, principalmente quando compactados. Dessa forma, pode ser conferido aos solos de comportamento laterítico um desempenho inferior aquele verificado na prática.

Sória (1985) relatou que as classificações tradicionais são tautológicas ou padecem da figura da falácia da afirmação do conseqüente. Elas são capazes de fornecer um novo nome a um solo ao classificá-lo e só permitem afirmar que *"dois solos idênticos possuem mesmo índice classificatório"* porém, não permitem afirmar que *"solos com mesmo índice classificatório são idênticos"*.

Uma classificação de solos é usada com a finalidade principal de prever o comportamento dos materiais, permitindo selecionar os solos a serem utilizados como material de construção e/ou descartar outros sem potencial de uso. É sempre desejável que ela seja simples de ser compreendida, fácil e barata de ser aplicada e

que os parâmetros determinados experimentalmente sejam obtidos em um menor tempo possível.

Nos últimos anos, o uso de solos lateríticos como material de construção de bases e subbases de pavimentos deu origem aos chamados pavimentos econômicos. O estudo para utilização desses materiais ainda encontra-se restrito a algumas regiões do Brasil, principalmente, à região sudeste. Nessa região, os solos arenosos finos lateríticos (SAFL) vêm sendo utilizados com sucesso, possibilitando uma opção a mais como material natural de construção. Essa realidade tem motivado vários pesquisadores a aplicarem o método MCT para caracterizar os solos de outras regiões do Brasil. Para tanto, é necessário conhecer primeiramente as particularidades desse método, testar a sua aplicação aos solos locais, e se identificado o potencial de uso, adaptar à realidade de cada região.

Os métodos usados para dimensionamento de pavimentos rodoviários normalmente foram desenvolvidos em países onde as condições ambientais são diferentes das existentes em países de clima tropical como o Brasil. Os solos das regiões tropicais sofrem processos pedogenéticos diferentes dos solos das regiões de climas temperado e frio. Existem diferenças importantes entre os solos tropicais, em função do seu grau de evolução pedológico. Essas diferenças ocorrem desde a microestrutura típica, que reflete o seu grau de evolução, até a natureza e quantidades das frações fina e grossa que os compõem.

Esse capítulo procura mostrar as particularidades dos solos tropicais e do método MCT desenvolvido para substituir os métodos convencionais de caracterização de solos, aplicados à construção de rodovias. É dada também ênfase, de modo simplificado, para aplicação do ensaio de adsorção de azul de metileno como método alternativo para caracterização de materiais.

3.2. CONCEITUAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS

As características geotécnicas de um solo são determinadas em função do tipo de clima, da topografia, da fauna e do tempo. Nas regiões de clima tropical ocorrem

fenômenos como a predominância de altas temperaturas, ausência de congelamento do sub-solo, altos índices pluviométricos, lixiviação, etc.

Não existe uma terminologia consagrada para a definição do que são solos tropicais. Há um grande número de bibliografias nacionais e internacionais que procuram definir o que são solos tropicais. Essas definições geram confusões no âmbito técnico-científico, visto que termos iguais podem ser usados para definir materiais diferentes e materiais iguais podem ser denominados por vários nomes diferentes. Assim, resolveu-se adotar a terminologia descrita por Nogami (1996) publicada como encarte no boletim informativo nº153 da Associação Brasileira de Pavimentação.

- a) Conceituação Astronômica: *“A conceituação mais simples e exata seria a astronômica, isto é, compreenderia os solos que se encontram na faixa astronômica entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, afastados cerca de 23 graus norte e sul do equador e que delimitam zona tropical ou inter-tropical”*. Nogami (1996) não considera essa definição satisfatória, pois podem ser encontrados entre os trópicos vários tipos de solos, que se diferenciam entre si, em função das diferentes condições geológicas e climáticas a que estão submetidos.
- b) Conceituação Climática: *“mais racional e genérico, seria conceituar solos tropicais os que ocorrem em área de climas quentes e úmidos”*. Os sistemas de classificação climática usualmente adotados (Koppen, Thorntwaite, IBGE, etc) poderiam considerar como pertencentes a uma mesma classe, vários tipos de solos diferentes, além de existir o problema de alguns tipos de solos (solos aluviais, solos de dunas e solos de tálus) se formarem independentemente do clima ser tropical ou não.
- c) Conceituação Geotécnica: *“os solos tropicais são aqueles que apresentam peculiaridades decorrentes de clima quente e úmido em que se formaram e nas quais ainda se situam. É a conceituação adotada pelo Committee on Tropical Soils do ISSMFE, em 1982”*.

Nogami (1996) cita ainda que os solos devem atender a duas condições para que sejam considerados tropicais: ocorrer em clima úmido e quente e possuir propriedades e comportamentos diferentes dos solos tradicionais (os solos tropicais não são caracterizados com sucesso através do uso de critérios granulométricos e dos valores de LL e IP).

No Brasil, segundo Nogami e Villibor (1995), os solos tropicais são divididos em duas classes: solos de comportamento laterítico e solos de comportamento não laterítico. É comum observar-se em campo, o aparecimento de uma linha de seixos separando os horizontes lateríticos, posicionados acima da linha de seixos, dos não lateríticos.

Os solos de comportamento laterítico, mesmo não se enquadrando nos critérios tradicionais, apresentam potencial para serem usados em camadas mais nobres do pavimento.

3.3. A IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO

A identificação prévia das potencialidades de uso de determinado tipo de solo é feita através do uso de uma classificação de solos. Nas classificações HRB e USCS, os solos são hierarquizados pela granulometria e plasticidade, que não se mostram adequados para caracterizar solos tropicais.

O desejo de se identificar os solos tropicais em campo tem motivado alguns pesquisadores na busca do desenvolvimento de métodos que sejam rápidos, de aplicação simples, econômicos e de fácil assimilação por parte dos técnicos. Essas são as características esperadas de um método de identificação de materiais em campo, pois somente assim, garante-se o sucesso da sua utilização.

A identificação dos solos tropicais pode ser realizada através da difração de raios x, capacidade de troca catiônica, microscopia eletrônica de varredura, etc. O grande problema do emprego destes métodos é o custo elevado, que não se justifica para efeito de identificação de materiais.

Os mapas pedológicos e geológicos podem auxiliar no estudo preliminar da disponibilidade dos materiais de uma dada região. Os mapas geológicos trazem informações sobre os tipos de rocha matriz e os mapas pedológicos os tipos de solos ocorrentes para aplicação em agricultura que, por sua vez, podem fornecer subsídios importantes aos estudos geotécnicos. A maior limitação do uso dessas ferramentas é a ausência de mapas atualizados que estejam em escalas ampliadas, bem como o desconhecimento do assunto por parte dos técnicos que atuam na área rodoviária.

Nogami e Villibor (1995) utilizaram considerações geológicas e pedológicas para a determinação das áreas de ocorrência de solos de comportamento laterítico no Estado de São Paulo. Estas áreas de ocorrência associam-se às unidades geológicas e pedológicas, descritas abaixo:

- a) unidades geológicas: grupo Bauru e todas as suas formações integrantes; grupo São Bento, formações Botucatu e Pirambóia; grupo Tubarão, formações Tatuí e Itararé; formação Rio Claro; sedimentos continentais indiferenciados; coberturas indiferenciadas correlacionáveis à formação Rio Claro; formação Furnas do grupo Paraná; formação Caçapava do grupo Taubaté.
- b) unidades pedológicas: latosol vermelho escuro-fase arenosa-latossol vermelho-escuro distrófico ou álico, *A* (horizonte A) moderado, textura média, fase relevo suave ondulado; latosol vermelho amarelo-fase arenosa-latossol vermelho-amarelo álico ou distrófico, *A* moderado (alguns com *A* proeminente), textura média, fase relevo suave ondulado; solos podzolizados de Lins e Marília-Podzólico vermelho-amarelo eutrófico (alguns distróficos), textura arenosa a média, fase relevo suave ondulado, ondulado ou forte ondulado; regosol intergrade para podzólico vermelho amarelo e intergrade para latosol vermelho amarelo-areias quartzozas latossólicas, distróficas ou álicas, *A* moderado, fase relevo suave ondulado.

Nogami e Villibor (1995), página 125, afirmam que “*Estudos efetuados sobre os SAFL, no Estado de São Paulo, permitiram estabelecer correlações entre esses solos e as unidades geológicas e pedológicas às quais se associam. Isso autoriza se extrapolar a potencialidade de ocorrência do SAFL em áreas fora do Estado de São*

Paulo, pelo exame de mapas geológicos e pedológicos disponíveis. Para essa finalidade, é necessário considerar as diversas unidades referidas na seção anterior. De uma maneira geral, pode-se afirmar que a maioria dos Estados de nosso país possuem tais unidades”.

A classificação MCT (descrita no sub-item 3.8.5) tem se mostrada apta para identificar solos de comportamentos laterítico ou não. Desde da sua publicação, a classificação MCT vem sendo aperfeiçoada, tendo em vista a sua complexidade no que diz respeito ao processo de ensaio e à interpretação dos seus resultados. Os autores dessa classificação e os estudiosos da área vêm promovendo estudos que objetivam simplificar o método de classificação para solos tropicais.

Nogami e Villibor (1994) ressaltam que para se classificar um dado material pela sistemática MCT são necessários *“mínimo de 1200 g de fração do solo que passa na peneira de 2 mm; moldagem de pelo menos 4 corpos de prova em compactador especial; obtenção de cerca de 150 dados numéricos; processamento desses dados e construção de cerca de 15 curvas. Isso, indubitavelmente tem sido um grande obstáculo para o uso da classificação para finalidades distintas das viárias e de pavimentação, nas quais a classificação é apenas um dado acessório”.*

Nogami et al (1998) reconhecem algumas das limitações da metodologia MCT, porém ressaltam que não se dispõe de nenhuma metodologia abrangente que considere as peculiaridades dos solos tropicais.

Ao longo dos anos, foram propostos vários métodos visando simplificar a classificação MCT e identificar mais rapidamente os solos de comportamento laterítico. As principais proposições são apresentadas em ordem cronológica nos parágrafos que se seguem.

Ignatius (1991) estudou 36 amostras de solos e propôs o índice de laterização L (equação 3.1), obtido da curva de compactação, para diferenciar solos de comportamento laterítico de solos de comportamento não laterítico. Esse autor sugere que os materiais que apresentam valores de L superiores a 0,30 podem ser considerados como solos de comportamento laterítico.

$$L = d' \times \frac{H_{\text{ót}}}{\rho} \quad (3.1)$$

onde:

$H_{\text{ót}}$ = umidade ótima determinada na energia normal (%);

d' = inclinação do ramo mais seco da curva de compactação na energia normal;

ρ = massa específica seca máxima na energia normal (g/cm^3).

Nogami e Cozzolino (1985) apresentaram, pela primeira vez, um procedimento visual-táctil para identificação expedita das classes MCT através do comportamento de pastilhas moldadas em anéis de PVC rígido de 20 mm de diâmetro e 5 mm de altura. A fração do solo ensaiada é a que passa na peneira de nº 40. Mais tarde, Fortes e Nogami (1991) apresentaram uma nova versão do método com algumas modificações. Os corpos de provas eram moldados em pastilhas, identificando-se as classes MCT dos solos ensaiados a partir de considerações relativas à contração, trincamento, plasticidade, consistência e inchamento.

Fabbri (1994) usou o ensaio de adsorção de azul de metileno (esse método será descrito com maiores detalhes no item 3.10) para caracterizar os solos tropicais. Nesse método, os solos que apresentarem coeficiente de atividade pouco ativo têm tendência de apresentarem, também, comportamento laterítico.

Godoy et al (1997) estudaram 82 amostras de solos pertencentes ao grupo dos latossolos do Estado de São Paulo e apresentaram uma nova metodologia de estudos geotécnicos de solos para a fase de ante-projeto de uma obra, com enfoque às obras viárias. Essa metodologia alternativa para estudos geotécnicos compreende: (1) utilização de mapas pedológicos, (2) identificação descritiva dos solos em campo e (3) a realização de ensaios expeditos das pastilhas em anéis de aço inox com a conseqüente classificação geotécnica preliminar segundo a metodologia MCT.

Mais tarde, Godoy e Bernucci (2000) apresentam uma sistemática para localização de jazidas de solos com auxílio de mapas pedológicos e execução de ensaios expeditos com auxílio de pastilhas. Esses autores propuseram novas modificações no método das pastilhas para que os ensaios pudessem ser realizados no próprio campo:

aumento do tamanho dos anéis para a moldagem das pastilhas (os anéis passaram a ter 35 mm de diâmetro por 10 mm de altura, antes essas dimensões eram de 20 mm de diâmetro por 5 mm de altura), uso de penetrômetro para avaliação da resistência das pastilhas e observações do comportamento das pastilhas após reabsorção de água. Esses ensaios possibilitam avaliar algumas propriedades dos solos tais como: contração após perda de umidade, coesão, expansão após reabsorção de água por capilaridade pela base da pastilha e umidade após reabsorção de água por capilaridade.

3.4. ALGUNS ESTUDOS REALIZADOS PARA APLICAÇÃO E/OU ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA MCT AOS SOLOS GRANULARES

A difusão do método MCT na tentativa de sua aplicação aos solos de outros estados brasileiros aumentou consideravelmente a partir da metade dos anos 90. Acredita-se que esse fato deve-se à incorporação dos conceitos do método por parte de técnicos e alunos de pós-graduação durante a permanência no Estado de São Paulo e/ou ao grande número de publicações acerca do método em eventos de cunho técnico-científico.

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

Vertamatti (1988) sugere a utilização de um equipamento semelhante ao MCV, desenvolvido por Parsons (1976), para o estudo das características dos solos granulares. Esse autor estudou os chamados solos plintíticos da Amazônia, que podem passar totalmente ou ter uma parcela retida na peneira de abertura nominal igual a 2 mm. Foi apresentada uma proposta de modificação da classificação MCT, incluindo no ábaco de classificação, o grupo dos solos transicionais (T), conforme mostrado na figura 3.1. O novo ábaco proposto passou a ser denominado de MCT-M

(M de modificado). Observe-se que, no gráfico MCT-M, os solos transicionais ocupam uma faixa intermediária entre a classe dos solos lateríticos e não lateríticos.

Para obtenção do parâmetro P_i , Vertamatti (1988) sugere que a massa desprendida seja multiplicada por uma constante adicional em função da forma de desagregação: $0,25 \times P_i$ (queda do bloco maciça); $0,5 \times P_i$ (queda parcial do bloco ou queda quando o bloco apresenta fissuramento) e $0,75 \times P_i$ (queda fragmentada).

FIGURA 3.1 - Proposta de modificação do ábaco de classificação MCT: ábaco MCT-M. (Vertamatti, 1988).

Santos (1998) estudou o comportamento de vinte quatro amostras de materiais granulares, ditos lateríticos, pertencentes às camadas de base, sub-base e subleito de cinco rodovias pavimentadas do Estado do Mato Grosso. Essas amostras foram submetidas aos ensaios da metodologia MCT (na parte que passava na peneira de abertura nominal igual a 2 mm) e MCV, além de ensaios dinâmicos. Esse autor verificou, aplicando o método MCT, que a maioria dos solos ensaiados resultaram em comportamento não laterítico. Quando classificou os mesmos solos no ábaco MCT, utilizando o método MCV proposto por Parsons (1976), todos os solos foram classificados como de comportamento laterítico. Concluiu que o método MCT, utilizando apenas a fração que passa na peneira nº10, não se mostrou apropriado para

os solos estudados e propõe o uso do método MCV para se investigar o comportamento dos solos granulares. Esse trabalho representou uma iniciativa bastante interessante e inovadora, mas acredita-se que a “*proposta de enquadramento dos solos lateríticos granulares na classificação MCT*” deve ser reavaliada, tendo em vista a adoção de algumas considerações tais como: o uso do ábaco MCT, sem alterações, para se classificar solos granulares, usando-se o procedimento de compactação MCV.

Rezende (1998) apresentou o equipamento MCV-ITA adaptado do equipamento desenvolvido por Parsons (1976). Esse equipamento foi desenvolvido, visando à aplicação dos ensaios da classificação MCT aos solos granulares. Foram ensaiadas 18 amostras de solos finos lateríticos nos equipamentos de mini-MCV e MCV-ITA, obtendo-se as correlações para obtenção dos coeficientes c' , d' , P_i e d' dos solos. Quatro amostras de concreções lateríticas foram também analisadas, utilizando-se o equipamento MCV-ITA. O autor conclui que a metodologia MCT de classificação de solos tropicais, adaptada ao equipamento MCV-ITA, mostrou-se potencialmente viável de ser empregada. Ressaltou ainda que há necessidade de verificar-se qual fração do solo é a que comanda o seu comportamento nos ensaios de classificação.

Amaral et al (2001) utilizaram o método das pastilhas para o estudo da fração fina de quatro jazidas de laterita da região de Belém e concluíram que todos os finos das amostras são de caráter laterítico. As lateritas estudadas apresentaram granulometria descontínua, com 40 a 60 % de finos e 60 a 40 % de pedregulhos lateríticos. Esses autores ressaltam que a caracterização dos finos é fundamental para se viabilizar o uso desses materiais, pois os finos respondem por parcela expressiva do comportamento global do solo. Para aplicação do solo integral, deve-se proceder à caracterização da fração grossa e estudar o comportamento do conjunto solo-agregado. Os autores sugerem o uso do método das pastilhas como estudo preliminar das lateritas para uso como material de base, sub-base ou reforço do subleito de pavimentos.

3.5. ESTUDOS REALIZADOS NO ESTADO DO CEARÁ SOBRE A OCORRÊNCIA DE SOLOS LATERÍTICOS

Para que o solo seja usado em pavimentação no Estado do Ceará, o DERT/CE (1994) limita o CBR a no mínimo, 20% para sub-base e 60% para base; expansão, no máximo, de 1% para sub-base e 0,5% para base; índice de grupo igual a zero; limite de liquidez, no máximo, 25% e índice de plasticidade, no máximo, 6%.

Essas especificações podem ser demasiadamente rígidas, tendo em vista que são baseadas em experiências com solos estrangeiros onde se procura minimizar a possibilidade de ocorrer falhas na base do pavimento. Um dos aspectos negativos, em se usar especificações sem uma adequada adaptação às condições locais de cada região, é o abandono de solos que poderiam, potencialmente, ser aproveitados. Sabe-se, porém, que este caminho deve ser fundamentado em vários testes de campo e laboratório, tais como a execução de ensaios não convencionais e a execução de pistas experimentais sujeitas a condições adversas.

No Estado do Ceará, a identificação dos solos provenientes das jazidas para serem utilizadas em obras viárias vem sendo realizada através dos critérios convencionais (granulometria, limites de liquidez e plasticidade). Preocupados com essa realidade e tendo em vista que alguns solos cearenses poderiam estar sendo sub-utilizados, pesquisadores do Departamento de Engenharia de Transportes do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (DET/CT/UFC), iniciaram, no ano de 1997, estudos sobre os possíveis locais onde os solos de comportamento laterítico poderiam ser encontrados no Estado do Ceará.

Nobre Jr et al (1999a) utilizaram o mapa pedológico do Estado do Ceará para identificar a ocorrência de solos de comportamento laterítico em função das classes pedológicas existentes. Esse estudo foi realizado conforme preconizam os estudos publicados por Nogami e Villibor (1995). Nesse trabalho foram identificadas as possíveis áreas de ocorrência de solos de comportamento dito laterítico. Concluiu-se, baseadas nas afirmações de Nogami e Villibor (1995), que essas áreas poderiam estar presentes em cerca de 40 % do território estadual, conforme mostra a figura 3.2.

FIGURA 3.2 – Áreas de possíveis ocorrências de solos de comportamento laterítico e não laterítico no Estado do Ceará. Nobre Jr et al (1999a).

Nobre Jr et al (1999b) publicaram os resultados da primeira pesquisa de campo voltada para identificação e caracterização dos solos do Estado do Ceará, utilizando a metodologia MCT aplicada à pavimentação. Para verificar possíveis áreas de ocorrências de solos de comportamento ditos lateríticos e não lateríticos no Estado do Ceará, conforme o mapa gerado por Nobre Jr et al (1999a) (figura 3.2), ensaiaram-se quatro solos pertencentes à área dita de comportamento laterítico (RMF) e dez na área dita de comportamento não laterítico (regiões central e sudoeste do Estado). Os resultados obtidos indicaram ocorrência de solos ditos de comportamento laterítico nas regiões central, metropolitana e sudoeste do Estado. Os autores ressaltam que esses resultados podem indicar a ocorrência de mais de 40% de áreas ditas de comportamento laterítico no território estadual. Entretanto, advertem

para a necessidade de outros estudos para que conclusões mais consistentes possam ser tiradas.

Chaves (2000) estudou nove amostras de solos pertencentes à formação Barreiras (classificadas pedologicamente como areias quartzosas e solos podzólicos) e realizou a caracterização geotécnica desses solos, visando sua aplicação às obras de pavimentação. As amostras foram submetidas a diversos ensaios ditos não tradicionais: mini-MCV, perda de massa por imersão, contração e expansão em cilindro miniatura de 50 mm de diâmetro, ensaio de adsorção de azul de metileno e ensaio de resiliência. Esse autor mostrou que: (a) através dos métodos mecanísticos de dimensionamento de pavimentos os solos ensaiados poderiam ser utilizados em camadas de base e sub-base; (b) a classificação MCT para o grupo das areias quartzosas é difícil de ser aplicada devido a problemas na execução do ensaio de mini-MCV e (c) os solos classificados como ativos, pelo método do azul de metileno, apresentaram problemas de trincamento no campo por contração, enquanto os solos pouco ativos não apresentaram esse problema.

3.6. UM BREVE RELATO SOBRE A HISTÓRIA DO MÉTODO MCT

A introdução dos princípios da Mecânica dos Solos no Brasil ocorreu no final da década dos trinta, de acordo com Nogami e Villibor (1995). Nessa época, deu-se o início do desenvolvimento técnico da construção de estradas que envolveram adoção de critérios estrangeiros válidos para as condições climáticas e para os materiais representativos dos países onde foram desenvolvidos.

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

Segundo Fortes (1994), no início dos anos 50, a pavimentação no Estado de São Paulo foi intensificada. O uso do virado paulista (mistura de brita com solos lateríticos, inclusive os mais argilosos) foi o recurso utilizado para contornar o baixo suporte dos solos saprolíticos silteosos, encontrados em todas as rodovias troncos que saíam da capital para o interior. Essa mistura, virado paulista, contrariava as recomendações de estabilização granulométrica tradicional.

Medina (1956) estudou o problema do uso das especificações estrangeiras de bases estabilizadas de solos lateríticos e já alertava para a possibilidade dessas especificações serem suscetíveis de adaptações às condições de clima tropical de grande parte do território brasileiro onde ocorrem os solos lateríticos.

A partir da década dos sessenta, Serra (1987) relata que ocorreu o início do uso de misturas de solo-agregado para bases e sub-bases no Estado de São Paulo. Os critérios de escolha dessas misturas foram desenvolvidos empiricamente para as condições dos países de clima não tropical e foram absorvidos sem maiores cuidados para as condições tropicais. Esses critérios estavam baseados na granulometria, limites de liquidez e plasticidade, equivalente de areia e nas características dos grãos dos agregados graúdos. Nessa década, usou-se também os solos arenosos finos na composição de misturas de solo-cimento para bases de pavimentos. Posteriormente, no final dos anos 60, houve a necessidade de se estudar outras bases alternativas em virtude do aumento do preço de cimento.

O fato dos materiais não se enquadrarem nos critérios convencionais provocou a procura de materiais que muitas vezes estavam distantes das obras, elevando-se então o custo final do pavimento devido ao aumento da distância média de transporte.

Ainda nos anos sessenta, o DER (Departamento de Estradas de Rodagem) de Araraquara executou diversos ensaios em solos arenosos finos que resultaram em elevados valores de CBR, inclusive superiores a 100 %, conforme citado por Villibor (1974). A maioria desses solos não se enquadrava nos critérios estrangeiros para bases estabilizadas granulometricamente. Alguns pavimentos experimentais foram construídos, utilizando-se bases de solos arenosos finos que não atendiam às

especificações vigentes, mas possuíam valores elevados de CBR. Vários desses trechos apresentaram desempenho surpreendente ao longo dos anos.

Corrêa (1976) relata que em 1967 foram construídos dois trechos experimentais com base de solo arenoso fino e capa de tratamento superficial simples: duas pequenas variantes de trânsito de aproximadamente 300 m cada, na Rodovia SP 310, denominadas de variante do Periquito e variante do Cambuy. Esses trechos deveriam funcionar por três meses e meio até que o trecho definitivo fosse construído. Passados os três meses, verificou-se que eles estavam em boas condições de uso. A partir de então, a divisão Regional de Araraquara realizou outras experiências com bases de solos arenosos finos.

No ano de 1968, foram construídos pavimentos nas ruas da cidade de Taquaritinga, usando-se a mesma sistemática adotada para as variantes do Periquito e Cambuy, conforme Villibor (1974). Ainda no ano de 1968, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) projetou, usando base de solo arenoso fino, um trecho experimental de 1 km entre as cidades de Ilha Solteira e Pereira Barreto, e a CESP (Centrais Elétricas de São Paulo) executou a construção. Esse trecho estava sujeito a tráfego pesado e existe até hoje sem nenhum comprometimento estrutural.

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

Villibor (1974) relata que várias outras experiências foram realizadas com o uso de solo arenoso fino: rua 22 de agosto em Araraquara (1971); acostamentos dos acessos a Dobrada e Santa Ernestina, Rodovia Matão-Colombia-SP 326, (1971); acesso a Dois Córregos-Guarapuã (1972) e o entrocamento da BR 153 com SP 270 (1972).

Ainda nos anos setenta, Villibor (1974) apresentou, em sua dissertação de mestrado, várias considerações acerca do uso de solo arenoso fino em bases de pavimentos e propôs novos critérios de escolha desses materiais, ampliando os valores máximos

adotados pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem). Os valores adotados originalmente pelo DNER eram: quantidade de material passada na peneira de número 200 (de 8 a 25 %), quantidade de material passada na peneira de número 40 (30 a 70 %), limite de liquidez (≤ 25 %), índice de plasticidade (≤ 6 %), CBR na energia modificada (≥ 80 %). Os valores propostos foram: quantidade de material passada na peneira de número 200 (de 25 a 45 %), quantidade de material passada na peneira de número 40 (85 a 100 %), limite de liquidez (20 a 30 %), índice de plasticidade (6 a 9%), CBR na energia modificada (≥ 80 %) e expansão do CBR (máxima de 0,10 %).

Até 1974, Fabbri (1994) ressalta que *“o termo laterítico ainda não tinha sido incorporado ao nome solo arenoso fino, mas apenas utilizado juntamente com a ocorrência geológica, para justificar as diferenças de propriedades (peculiaridades) neles encontradas, com relação àquelas previstas pela classificação de solos usualmente utilizada no meio rodoviário até então”*.

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

Sória (1977), objetivando mostrar as diferenças das propriedades tecnológicas entre os solos arenosos lateríticos e os solos residuais saprolíticos, apresentou um relatório técnico para o convênio DER - IPAI 44/77, onde mostrou uma primeira análise de resultados obtidos a partir de solos compostos artificialmente em laboratório. Dois solos foram estudados, um laterítico e o outro residual saprolítico. Esse autor propôs a utilização da RIS (relação entre índices de suporte), definida como o quociente entre o valor de mini-CBR após 24 h de imersão e o valor de mini-CBR na umidade de moldagem, para separar os solos de comportamento laterítico dos não lateríticos.

A década dos anos oitenta foi marcada por uma grande aumento da rede pavimentada devido os programas financiados pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento). Os custos das rodovias foram substancialmente reduzidos, tendo em vista o aproveitamento de materiais locais, até então descartados por não atenderem às normas internacionais. Vários estudos foram realizados no Brasil com o objetivo de desenvolver um método de classificação que se aplicasse aos solos tropicais. Dentre os principais estudos que resultaram em êxito, vale destacar os de Nogami e Villibor (1980, 1981, 1985) que resultaram na apresentação do método MCT.

Sória e Fabbri (1980) teceram algumas considerações sobre o ensaio de MCV desenvolvido por Parsons (1976). Apresentaram os princípios do ensaio de mini-MCV proposto pelo professor Nogami, ressaltando as vantagens do seu emprego e mostrando os resultados experimentais obtidos para três solos.

Villibor (1981), em sua tese de doutorado, propôs as especificações, hoje vigentes, dos solos arenosos finos lateríticos para uso em pavimentação. Esse autor sugeriu também, que os solos que apresentassem valores de RIS superiores a 50 %, poderiam ser utilizados para compor camadas de base de pavimentos.

Em 1985, foi apresentado o ensaio SMCV (S de subminiatura), que está baseado no ensaio mini-MCV, mas com a utilização de cilindros subminiatura de 26 mm de diâmetro.

Serra (1987) teceu considerações sobre as dificuldades e deficiências dos critérios tradicionalmente usados nos organismos rodoviários para a escolha de misturas de solo-agregado para uso em bases de pavimentos. Executou misturas de materiais em laboratório para verificar as características da fração grossa (diâmetro máximo, forma da curva granulométrica e forma dos grãos) e as características da fração fina (porcentagem de silte de quartzo na fração silte + argila). Concluiu que *“a qualidade da mistura é determinada pelo fino laterítico que a compõe, o diâmetro máximo do agregado e a forma dos seus grãos são características de pouca influência nas propriedades (capacidade de suporte mini-CBR, densidade, expansão e contração) determinadas, quando o fino é laterítico; a forma da curva granulométrica é um*

parâmetro auxiliar na definição do comportamento das misturas, mas não é determinativo, sendo que podemos trabalhar com agregado de curva granulométrica descontínua obtendo boa qualidade, desde que o fino seja laterítico”. Recomendou a utilização de novos critérios baseados nos ensaios da metodologia MCT para se selecionar misturas de solo-agregado com solos finos lateríticos.

3.7. O ENSAIO MCV (MOISTURE CONDICTION VALUE)

O ensaio de mini-MCV, descrito no item 3.8.2, está baseado nos procedimentos do ensaio de MCV (Moisture Conduction Value), desenvolvido por Parsons em 1976.

No Reino Unido, na década dos 70, era comum se especificar um limite superior para o teor de umidade dos materiais constituintes das camadas de terraplenagem. Essa atividade era realizada com o objetivo de se evitar problemas de instabilidade de aterros, acomodações ou problemas operacionais, quando da sua execução.

Parsons (1976) idealizou e desenvolveu um procedimento de ensaio de compactação contínua, denominado de ensaio MCV, com o objetivo de realizar uma rápida medida das condições de umidade de um solo em trabalhos de terraplenagem. Foi desenvolvido um equipamento para efetuar esse teste, conforme as características mostradas na tabela 3.1.

TABELA 3.1 - Características do equipamento MCV desenvolvido por Parsons (Parsons, 1976)

Peso do soquete	7 kg
Diâmetro do soquete	97 mm
Altura de queda	250 mm
Diâmetro interno do molde	100 mm
Altura do molde	200 mm
Peso total do protótipo	50 kg
Peso da base	31 kg

O método de ensaio proposto por Parsons (1976) foi baseado na compactação de uma massa de 1,5 kg solo colocada em vários teores crescentes de umidade. Para cada ponto de umidade, foi aplicado um número crescente de golpes até que não ocorresse mais acréscimo significativo de densidade. A diferença de penetração (diferença de altura entre n e $4n$ golpes) de 5 mm foi considerada como indicativo do ponto além do qual nenhuma mudança importante ocorre na densidade e, portanto, onde o processo de compactação pode ser finalizado.

Para se determinar o MCV de uma amostra, determina-se a penetração do soquete para cada número padrão de golpes. Deve-se, então, subtrair a altura correspondente ao número de golpes aplicados pela altura resultante da aplicação de $4n$ golpes ($a_n - a_{4n}$) e verificar se a diferença de penetração é menor ou igual a 5 mm. O valor da condição da umidade (MCV) foi definido pela expressão 3.2, onde N é o número de golpes correspondente a uma diferença de penetração de 5 mm.

$$MCV = 10 \log (N) \quad (3.2)$$

A tabela 3.2 mostra os resultados de um ensaio para um teor de umidade (26,3 %) de um solo argiloso ensaiado por Parsons e Bolden (1979) e a figura 3.3 mostra o exemplo da curva da diferença de penetração *versus* número de golpes para esse teor de umidade.

TABELA 3.2 - Resultados do ensaio de MCV para um teor de umidade de um solo argiloso. Parsons e Bolden (1979).

Número de Golpes do Soquete (n)	Penetração do Soquete no Molde (mm)	Diferença de Penetração ($A_n - A_{4n}$) (mm)
1	41,0	33,5
2	57,5	33,0
3	67,0	33,5
4	74,5	26,5
6	84,0	17,0
8	90,5	10,5
12	100,5	0,5
16	101,0	-
24	101,0	-
32	101,0	-
48	101,0	-

FIGURA 3.3 - Curva de diferença de penetração *versus* número de golpes. Parsons e Bolden (1979).

Ainda com relação aos trabalhos de Parsons (1976) e Parsons e Bolden (1979), verifica-se que o processo de compactação é realizado para vários teores de umidade, obtendo-se, assim, uma curva de calibração teor de umidade *versus* MCV. A curva de calibração da condição de umidade de um solo é ajustada por uma linha reta. A figura 3.4 ilustra uma curva de calibração obtida para um determinado tipo de solo. A expressão 3.3 mostra a equação da curva de calibração, em que o w é o teor de umidade (%), a é o teor da umidade para $MCV = 0$ e b é o coeficiente linear da reta. Assim a e b são os parâmetros que, segundo os autores, poderiam ser indicativos do tipo do solo.

$$W = a - b(MCV) \quad (3.3)$$

A partir dos coeficientes a e b , Parsons e Bolden (1979) propuseram uma classificação de solos, onde a graduação e a plasticidade são inferidas em função do par de parâmetros a e b do solo, obtidos do ensaio de MCV.

FIGURA 3.4 - Curva de calibração: MCV *versus* teor de umidade. Parsons e Bolden (1979).

3.8. O MÉTODO MCT

3.8.1. GENERALIDADES

O desenvolvimento do método MCT contribuiu para a solução de uma série de problemas relacionados ao emprego de solos em obras de engenharia, sobretudo em rodovias, uma vez que este método leva em consideração o clima e os materiais que predominam em regiões tropicais.

O método MCT é constituído por um conjunto de ensaios executados em corpos de prova de dimensões reduzidas e por uma classificação geotécnica denominada MCT. Os principais ensaios do método MCT são: ensaio de mini-MCV, perda de massa por imersão, mini-CBR, expansão e contração.

Os ensaios do método MCT são realizados em um compactador miniatura (mostrado na figura 3.5), composto de soquete cilíndrico de aço, tipo leve, com altura de queda de 30,5 cm e peso de 2.270 g, e sapata de 49,9 mm de diâmetro; soquete cilíndrico de aço, tipo pesado, com altura de queda de 30,5 cm, peso de 4.540 g e sapata de 49,9 mm de diâmetro; extensômetro de curso mínimo de 50 mm, graduado em 0,01 mm e dotado de contagiros, à prova de choques ou dispositivo que forneça resultado semelhante; dispositivo de alavancas para extração de corpos de prova; dispositivo de registro de número de golpes; moldes cilíndricos de compactação, cilindro de diâmetro padrão (cerca de 50 mm) e dispositivo para prender extensômetro no bloco ou na parede.

O processo de compactação, para os ensaios do método MCT, é efetuado a partir da fixação de uma energia constante ou através da aplicação de energia variável. A escolha do tipo de energia se dará conforme o tipo de ensaio a ser executado.

FIGURA 3.5 – Compactador padrão para execução dos ensaios do método MCT.

3.8.2. O ENSAIO DE MINI-MCV

O ensaio mini-MCV está baseado no mesmo processo de compactação proposto por Parsons (1976). As diferenças introduzidas pelos autores da classificação MCT dizem respeito às dimensões reduzidas do equipamento, ao peso da amostra ensaiada (200 g), a destinar-se somente a solos finos e à obtenção do mini-MCV que deve ser calculado para o número de golpes correspondente a uma diferença de penetração igual a 2 mm.

Vale destacar que a aparelhagem necessária à execução do ensaio de mini-MCV é preconizada pela norma DER M 191-88.

O ensaio mini-MCV é executado com energia de compactação variável e massa úmida de solo constante (200 g de material), conforme os procedimentos seguintes, descritos em Cozzolino e Nogami (1993):

- a) pesar no mínimo 5 porções de solo, cada uma com 1 kg, adicionando-lhes água, de modo que a umidade seja crescente; depois, colocar o solo umedecido em saco

plástico hermeticamente fechado, deixando que a umidade se uniformize por, no mínimo, 10 horas;

- b) pesar 200 g de cada uma das porções do solo, iniciando-se o processo de compactação pelo ponto mais úmido; colocar essa porção de solo no cilindro, posicionado no pistão inferior do aparelho de compactação e com um disco de polietileno sobre o topo desse pistão (para que não haja aderência do solo na base do aparelho de compactação); em seguida, apertar o topo da porção de solo com um cilindro adequado, colocando sobre a parte superior do corpo de prova a ser moldado, um outro disco espaçador plástico;
- c) aplicar o primeiro golpe e medir a altura A_1 do corpo de prova, utilizando-se um extensômetro posicionado na vertical; aplicar em seguida números de golpes sucessivos crescentes, de forma a totalizarem, somados com os golpes anteriormente dados, números de golpes n iguais a 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256, e fazer as leituras das alturas correspondentes a cada número de golpes ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_8, A_{12}, A_{16}, A_{24}, A_{32}, A_{48}, A_{64}, A_{96}, A_{128}, A_{192}$ e A_{256});
- d) o processo de compactação é finalizado quando a diferença de altura $A_n - A_{4n}$ for menor que 0,1 mm, ou quando ocorrer exsudação ou quando o número de golpes totalizar 256;
- e) repetir a seqüência de a a d para os outros teores de umidade.

Com os resultados do ensaio mini-MCV, traçam-se, para cada teor de umidade, as curvas de afundamento ou de mini-MCV, que são lançadas em um diagrama onde o eixo das abscissas está em escala logarítmica e representa o número de golpes, e o eixo das ordenadas representa o valor correspondente à diferença de leitura $A_n - A_{4n}$ (n é o número de golpes aplicados ao corpo de prova). Para cada curva de afundamento, determina-se o valor do mini-MCV, bastando para isso verificar o ponto onde tal curva intercepta a reta de equação $a = 2$ mm, lendo, no eixo das abscissas, o valor do número de golpes (B_i) correspondente. O valor do mini-MCV será dado pela expressão 3.4.

$$\text{mini-MCV} = 10 \times \log_{10}(\text{Bi}) \quad (3.4)$$

O ensaio de mini-MCV é utilizado para determinar os coeficientes c' e d' , necessários para que um solo seja classificado pela classificação MCT.

O coeficiente c' (dado em mm/golpe) é determinado pela inclinação da reta tangente às curvas de afundamento e passa no ponto de afundamento igual 2 mm e $\text{mini-MCV} = 10$.

O coeficiente d' é calculado a partir do coeficiente angular da parte mais inclinada do ramo seco da curva de compactação (teor de umidade $\times$ massa específica aparente seca) correspondente a 12 golpes, devendo ser expresso em $\text{kg/m}^3\%$.

3.8.3. O ENSAIO DE PERDA DE MASSA POR IMERSÃO

O ensaio de perda de massa por imersão foi originalmente criado com o objetivo de avaliar a erodibilidade dos solos tropicais (Nogami e Villibor, 1979). A aparelhagem necessária à execução desse ensaio é preconizada pela norma DER M 196-88.

O ensaio é realizado nos corpos de prova que resultam do ensaio mini-MCV, devendo-se realizar as seguintes operações, de acordo com Cozzolino e Nogami (1993):

- a) extrudar 1 cm do corpo de prova para fora do molde de compactação;
- b) colocar o conjunto (molde + cilindro) na posição horizontal (conforme mostrado na figura 3.6), dentro do tanque de imersão, de forma que uma cuba possa coletar o material que eventualmente se desprender;
- c) depois de, no mínimo, doze horas, retirar o material desprendido e secá-lo em estufa.

FIGURA 3.6 – Detalhes do ensaio de perda de massa por imersão.

O valor da perda de massa por imersão (expressa em porcentagem), para cada teor de umidade, é determinado pela seguinte expressão:

$$Pi = \frac{M_d}{M_s} \cdot f \cdot 100 \quad (3.5)$$

onde:

M_d = massa seca eventualmente desprendida (g);

M_s = massa seca da parte extrudada do corpo de prova (g);

f = fator de correção que assume o valor de 0,5 quando há desprendimento de blocos cilíndricos coesos (em forma de uma bolacha) e 1 para o restante dos casos.

Obtidos os valores da perda de massa por imersão para cada teor de umidade, traça-se a curva mini-MCV $\times$ Pi . O valor do coeficiente Pi do solo ensaiado será retirado dessa curva para mini-MCV = 10 ou mini-MCV = 15, conforme o solo apresente densidade baixa (se a altura final do corpo de prova compactado na condição de mini-MCV = 10 for maior que 48 mm) ou alta (se a altura final do corpo de prova compactado na condição de mini-MCV = 10 for menor que 48 mm), respectivamente.

3.8.4. OS ENSAIOS DE MINI-CBR, EXPANSÃO E CONTRAÇÃO

A importância da determinação do valor de suporte de um solo advém da necessidade do dimensionamento das camadas constituintes de um pavimento. O método de dimensionamento de pavimentos mais difundido no meio técnico brasileiro ainda é o do CBR. Vários pesquisadores discutem esse método e apontam às suas diversas limitações. Existem questionamentos acerca do tempo de imersão ser de 4 dias, da necessidade de quantidade grande de solo para a execução do ensaio, do efeito do confinamento do molde no resultado do ensaio (Bernucci, 1995), da grande dispersão de resultados, quando se ensaia uma mesma amostra em vários laboratórios (Nogami, 1972), etc.

Nogami (1972) introduziu o ensaio mini-CBR, correlacionando seus resultados com o valor do CBR, obtido segundo a norma do DNER (DNER, 1964). O ensaio de mini-CBR é realizado em corpos de prova com dimensões reduzidas, tendo sido adaptado a partir do ensaio originalmente proposto na *Iowa State University*. Esse pesquisador ensaiou treze solos considerados típicos do Estado de São Paulo e estabeleceu uma correlação dos valores do mini-CBR com o CBR para energia de compactação normal. Posteriormente, a mesma correlação foi estendida para a execução do ensaio na energia intermediária. As correlações obtidas, usadas para se determinar o valor de mini-CBR de um solo, são expressas pelas equações 3.6 e 3.7. Para efeito de determinação do valor final do mini-CBR, adota-se, sempre, o maior valor obtido a partir do uso das duas expressões.

$$\log_{10}(\text{mini-CBR}_1) = - 0,254 + 0,896 \times \log_{10}C_1 \quad (3.6)$$

$$\log_{10}(\text{mini-CBR}_2) = - 0,356 + 0,937 \times \log_{10}C_2 \quad (3.7)$$

onde:

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

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

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

C_2 = carga correspondente à penetração de 2,5 mm, expressa em kgf.

Mais tarde, Nogami e Villibor (1985) apresentaram uma simplificação do ensaio de mini-CBR chamado de ensaio S-CBR. O ensaio S-CBR é realizado em corpos de prova com 26 mm de diâmetro. A tabela 3.3 apresenta as características dos ensaios CBR, mini-CBR e S-CBR, para fins de comparação.

A partir da execução do ensaio mini-CBR outras propriedades podem ser determinadas, tais como contração e expansão. O procedimento para a determinação do mini-CBR difere do CBR tradicional, sobretudo pelas dimensões reduzidas dos corpos de prova, que têm altura e diâmetro iguais a 50 mm, nos moldes e soquetes de compactação, no pistão de penetração e no tempo de imersão que foram adaptados para as dimensões dos corpos de prova. O ensaio de mini-CBR pode considerar a capacidade de suporte em várias condições, inclusive sem imersão em água. Podem ser utilizados corpos de prova compactados nas energias normal ou intermediária. A figura 3.7 ilustra a diferença entre as dimensões do cilindro CBR, utilizado no método tradicional e o cilindro mini-CBR do método MCT.

FIGURA 3.7 - Dimensões do cilindro CBR utilizado no método tradicional e o cilindro mini-CBR do método MCT.

O método de compactação mini-CBR apresenta o inconveniente da quantidade de massa de solo para cada teor de umidade não poder ser padronizada, uma vez que nesse ensaio controla-se a altura do corpo de prova que deve estar entre 49 mm e 51 mm. Essa rotina pode levar vários corpos de prova a serem rejeitados, aumentando consideravelmente o tempo para execução do mesmo.

TABELA 3.3 - Características dos ensaios CBR, mini-CBR e S-CBR (Nogami e Villibor, 1995).

ENSAIOS	CBR ASTM D1883-73	Mini-CBR DER-SP M 54-71t	S-CBR
Moldes			
• diâmetro	152 mm	50 mm	26 mm
• volume do corpo de prova	2116 ml	100 ml	14 ml
Amostras			
• massa	5000 g (1)	250 g (1)	30 g (1)
• diâmetro máximo dos grãos	19 mm	2 mm	2 mm
Compactação			
• Energia Normal			
⇒ soquete	2,5 kg	2,27 kg	1 kg
⇒ altura queda	348 mm	305 mm	200 mm
⇒ golpes, total	168	10 (1)	6 (1)
• Energia Intermediária			
⇒ soquete	4,5 kg	4,5 kg	-
⇒ altura queda	457 mm	305 mm	-
⇒ golpes, total	130 (1)	12 (1)	-
Pistão de penetração - diâmetro	49,5 mm	16 mm	8 mm
Prensa			
• capacidade recomendada	44,5 kN	3 kN	1 kN
• velocidade (mm/min)	1,27	1,27	1,27
Tempo de imersão (horas)	96	20-24	20-24

(1) valores aproximados.

Os ensaios de mini-CBR, expansão e contração são realizados de acordo com as normas DER-SP M 192-88 (ensaio de mini-CBR), DER M 192-88 (ensaio de expansão) e DER-SP M 193-88 (ensaio de contração).

Para determinação da expansão e da contração, utiliza-se o ensaio mini-CBR. O ensaio da expansão é realizado, usando-se procedimento similar ao do CBR, exceto o tempo de imersão que é de aproximadamente 24 h. O ensaio de contração é realizado após o corpo de prova ser sacado para fora do cilindro e é uma medida da variação axial da altura do corpo de prova, sujeito a secagem ao ar em temperatura constante, visando quantificar a contração do material.

Observa-se, normalmente, que os valores da expansão dos solos lateríticos são relativamente pequenos. Os solos não lateríticos incluem uma grande variedade de tipos, não permitindo uma generalização quanto aos valores de expansão. No caso dos solos não lateríticos ocorrentes no Estado de São Paulo de comportamento siltoso (NS'), o valor da expansão geralmente é relativamente elevado devido ao tipo de argilo-mineral presente.

Podem-se avaliar os valores de mini-CBR, expansão e contração, de acordo com uma tabela de previsão de propriedades do método MCT, mostrada na tabela 3.4. Essa tabela está apresentada mais adiante no item 3.8.5.

3.8.5. A CLASSIFICAÇÃO MCT

A classificação MCT, desenvolvida por Nogami e Villibor (1980, 1981, 1985), é composta por um ábaco de classificação (figura 3.8) e por uma tabela interpretativa de propriedades (tabela 3.4).

A classificação geotécnica MCT, mostrada na figura 3.8, agrupa os solos tropicais de acordo com o seu comportamento no estado compactado, em duas classes principais: solos de comportamento laterítico (L) e solos de comportamento não laterítico (N). Os solos de comportamento laterítico são subdivididos em três subgrupos: areias lateríticas (LA), solos arenosos lateríticos (LA') e solos argilosos lateríticos (LG'). Os de comportamento não laterítico são subdivididos em quatro subclasses: areias não lateríticas (NA), solos arenosos não lateríticos (NA'), solos siltosos não lateríticos (NS') e solos argilosos não lateríticos (NG').

FIGURA 3.8 - Ábaco da classificação MCT (Nogami *et al*, 1993).

Os solos são classificados através dos índices c' (obtido do ensaio mini-MCV e traduz a argilosidade do solo em análise) e e' (expressa o “caráter” laterítico do solo).

O índice e' é calculado pela expressão 3.8. Nessa expressão, Pi é a perda de massa por imersão expressa em porcentagem e d' é a inclinação do ramo seco da curva de compactação expressa em $\text{kg/m}^3(\%)$, ambas obtidas em condições padronizadas, pelo uso do ensaio de compactação mini-MCV. Note-se, então, que o comportamento laterítico de um dado material é mais evidenciado, quanto menor for o valor de Pi e maior for o valor do coeficiente d' .

$$e' = \sqrt[3]{\frac{20}{d'} + \frac{Pi}{100}} \quad (3.8)$$

De posse dos índices c' e e' consulta-se o ábaco, apresentado na figura 3.8 e define-se a classe do solo analisado. Em Barroso (1996), no capítulo 2, há um exemplo numérico que facilita o entendimento para obtenção dos parâmetros c' , e' , d' e Pi da classificação MCT.

A tabela 3.4 apresenta a previsão das propriedades geotécnicas dos solos em função das classes da classificação MCT e a sua adequação para obras rodoviárias.

TABELA 3.4 – Previsão das propriedades dos solos em função da classe MCT (Nogami *et al*, 1993).

COMPORTAMENTO		N= NÃO LATERÍTICO				L= LATERÍTICO		
Grupo	MCT	N A	N A'	N S'	N G'	L A	L A'	L G'
Propriedade	MINI CBR Sem imersão	M, E	E	M, E	E	E	E,EE	E
	Com imersão	M, E	M, E	B, M	E	E	E	E
	EXPANSÃO	B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO	B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	COEF.PERMEABILIDADE (k)	M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	COEF. SORÇÃO (S)	E	B, M	E	M, E	B	B	B
Utilização (ordem de preferência) NR: Não Recomen- dado	Base de Pavimento	NR	4.º	NR	NR	2.º	1.º	3.º
	Reforço do Subleito	4.º	5.º	NR	NR	2.º	1.º	3.º
	Subleito Compactado	4.º	5.º	7.º	6.º	2.º	1.º	3.º
	Aterro Compactado (corpo)	4.º	5.º	6.º	7.º	2.º	1.º	3.º
	Proteção à Erosão	NR	3.º	NR	NR	NR	2.º	1.º
	Revestimento Primário	5.º	3.º	NR	NR	4.º	1.º	2.º
Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima próxima da energia normal		Mini-CBR (%) sobrecarga padrão		Expansão (%) Contração (%)		Coef.sorção (S) log(cm/Vmin)		Coef.permeab. (K) log (cm/s)
B = baixo(a)		< 4		< 0,5		< (-2)		< (-6)
M = médio(a)		4 a 12		0,5 a 3		(-2) a (-1)		(-6) a (-3)
E = elevado(a)		12 a 30		> 3		> (-1)		> (-3)
EE = muito elevado(a)		> 30		-		-		-

Nogami e Villibor (2000) propuseram a aplicação de uma nova série de golpes (3, 6, 10, 20, 30, 40, etc) para determinação do coeficiente *c'* da classificação MCT. Essa série de golpes difere da proposta originalmente, que baseava-se no procedimento proposto por Parsons (1976). No artigo não está muito claro, mas entende-se que as deformações dos corpos de prova serão calculadas pela diferença entre a leitura da posição da haste do soquete para o número de golpes aplicados, menos o valor da

leitura, quando o corpo de prova atingir o patamar de máxima massa específica (que corresponde a uma altura mínima praticamente constante do corpo de prova). Entende-se, também, que o coeficiente d' será calculado a partir do coeficiente angular da parte mais inclinada do ramo seco da curva de compactação correspondente a 10 golpes.

3.8.5.1. ANÁLISE CRÍTICA DOS COEFICIENTES c' E e' DA CLASSIFICAÇÃO MCT

Segundo Nogami e Villibor (1995), os índices c' e e' da classificação MCT expressam o grau de argilosidade do solo e o “caráter” laterítico, respectivamente.

Para esses autores, um valor de c' elevado (acima de 1,50) caracteriza as argilas e solos argilosos, enquanto que valores baixos (abaixo de 1,00) caracterizam as areias e os siltes não plásticos ou pouco coesivos. Valores de c' entre 1,00 e 1,50 podem englobar solos de vários tipos granulométricos, tais como areias siltosas, areias argilosas, argilas arenosas, argilas siltosas, etc.

O índice e' da classificação MCT, expresso pela equação 3.8, foi arbitrado pelos seus idealizadores. O uso da raiz cúbica para o cálculo desse parâmetro foi estabelecido para separar melhor os solos de comportamentos distintos. Nogami e Villibor (1995) mencionam que o comportamento laterítico de um solo começa a se manifestar quando $d' > 20$ e $Pi < 100$, o que permitiu o estabelecimento da equação $e' = 1,15$, que separa os solos lateríticos dos não lateríticos. Para solos pobres, em finos, arbitrou-se uma linha de equação igual a $e' = 1,4$. Essas equações adotadas foram resultados de várias tentativas de ajustes empíricos, uma vez que os idealizadores do método MCT dispunham de uma quantidade de dados grande, acerca dos tipos de solos ocorrentes no Estado de São Paulo, além de conhecer detalhadamente as suas particularidades.

Barroso (1996) estudou solos compostos em laboratório e verificou que os índices c' e e' nem sempre são funções do grau de argilosidade e do “caráter” laterítico. Essa autora realizou a composição de solos artificiais onde se variou o tipo e o teor de fração fina presente em cada solo. Utilizaram-se três matrizes de fração fina, oriundas de três tipos de solos diferentes (solo argiloso laterítico - LG', solo siltoso

não laterítico - NS' e solo argiloso não laterítico - NG'), que foram misturadas com uma mesma fração grossa (areia quartzosa) em diferentes teores (0 %, 20 %, 40 %, 60 % e 80 %). Assim, cada matriz fina originou cinco solos compostos, resultando num total de quinze solos artificiais. As quinze amostras de solos artificiais foram identificadas com as iniciais *D*, *CB* e *RB* (indicando um solo de procedência de Descalvado - LG', Castelo Branco - NS' e Ribeirão Bonito - NG', respectivamente) seguidas dos teores de fração fina (exemplo: *D* 20 %, indica um solo de Descalvado com 20 % de fração fina). A figura 3.9 mostra a localização dos solos artificiais compostos em laboratório na classificação MCT.

FIGURA 3.9 - Localização dos solos artificiais na classificação MCT (Barroso, 1996).

Os principais resultados da pesquisa de Barroso (1996) mostraram que:

- a) o índice c' nem sempre traduziu a argilosidade dos solos (ver figura 3.9), pois para a maioria dos casos seu valor não foi diretamente proporcional à quantidade de argila presente nas misturas. Isso pode ser explicado porque pode haver um melhor ou pior entrosamento das partículas em função dos teores das frações fina e grossa e, que, para teores altos de fração fina, os

solos podem passar a ser mais difíceis de se compactar, resultando em valores de c' menores que os esperados.

- b) amostras provenientes de uma mesma fração argilosa não apresentaram valores constantes para o índice e' (observar figura 3.9), conforme o esperado. Esse comportamento irregular pode ser devido a esse coeficiente incorporar, em seu cálculo, os parâmetros d' e Pi . O parâmetro d' traduz o ganho de densidade com a variação do teor de umidade. Acredita-se que o índice Pi possa representar a coesão permanente mais a expansão diferencial do material quando imerso. Isso pode fazer que, ao se variar os teores das frações fina e grossa na mistura, obtenham-se variações desses dois parâmetros de um modo tal que a resultante (e') não seja constante.
- c) Não se conseguiu determinar o valor do coeficiente Pi para o solo CB 20 % (Castelo Branco com 20 % de fração fina) que era de densidade alta, pois não se obteve nenhuma curva de afundamento que passasse além ou no ponto de mini-MCV=15. As curvas de afundamento para esse solo cruzaram praticamente no mesmo local (antes do ponto de mini-MCV=15), apesar de estarem com um espaçamento de quase 2 % no teor de umidade. Chegou-se a trabalhar com o solo quase seco (2,58 % de umidade), mas a curva de afundamento continuou a cruzar em um mesmo ponto.

Ainda, conforme os fatos relatados no item *c* do presente item, observa-se que para solos siltosos com pouca quantidade de finos é necessário um número muito elevado de golpes (acima de 256) para se atingir a condição de parada do ensaio. Esse mesmo fenômeno acontece para solos do tipo arenosos. Estas ocorrências dificultam a execução do ensaio mini-MCV. Nogami e Villibor (2001) relatam algumas dessas dificuldades e sugerem a adoção do procedimento simplificado para redução drástica do número de golpes, aplicado para o caso de areias e solos arenosos.

Obtidos os resultados com solos artificiais, resolveu-se submeter algumas das considerações aqui expostas a possíveis testes que corroborassem ou não as conclusões realizadas por Barroso (1996). Para tanto, utilizaram-se os resultados dos ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão de 297 amostras de solos

naturais, usadas no trabalho de Fabbri (1994). De posse desses resultados, gerou-se os gráficos das figuras 3.10 e 3.11.

A figura 3.10 apresenta em abscissas o coeficiente c' e em ordenadas a porcentagem do solo que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm. Note-se que, conforme os resultados apresentados nessa figura, os solos com o mesmo valor do coeficiente c' podem apresentar teores de finos consideravelmente diferentes. Observe-se por exemplo que para um valor de $c' = 1,4$, a quantidade de material passado na peneira de nº 200 pode variar desde 30 % até 88 %.

FIGURA 3.10 - Variação do coeficiente c' em função da porcentagem que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm para as amostras estudadas por Fabbri (1994).

Para ilustrar melhor as questões relativas ao coeficiente e' , foi elaborada a figura 3.11, que representa em abscissas o valor do coeficiente e' e em ordenadas os coeficientes P_i e d' para 297 amostras de solos naturais. Observe-se que os diversos valores dos parâmetros d' e P_i podem resultar em valores iguais do coeficiente e' ; note-se, por exemplo, as amostras que apresentaram valor do coeficiente e' igual a

1,5 (os valores de Pi variam de aproximadamente 100 a 300 % e os de d' variam de 5 a 50 kg/m³%).

FIGURA 3.11 – Variação do coeficiente e' em função dos coeficientes d' e Pi para as amostras estudadas por Fabbri (1994).

O coeficiente e' , que expressa o caráter laterítico dos solos, é calculado mediante o uso da expressão 3.8, sendo função dos coeficientes Pi e d' . Note-se que diferentes combinações dos valores dos coeficientes d' e Pi podem resultar em valores iguais do coeficiente e' , conforme mostra a figura 3.12 que apresenta curvas de e' para valores iguais a 0,8 (valor representativo de um solo de comportamento laterítico), 1,15 (valor representativo de materiais que pertencem à zona de transição entre solos de comportamento laterítico e não laterítico) e 1,5 (valor representativo de um solo de comportamento não laterítico).

FIGURA 3.12 – Exemplos de curvas d' versus P_i para valores iguais de coeficientes e' .

3.9. ALGUMAS APLICAÇÕES DO ENSAIO DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DO EXTERIOR

O primeiro estudo sobre a técnica de adsorção de azul de metileno é citado por Chen et al (1974). Conforme esse autor, Paneth, em 1924, sugeriu pela primeira vez, que o ensaio de adsorção de azul de metileno fosse usado como um método rápido para medição da área específica aproximada de materiais. Paneth concluiu que 1 miligrama de azul de metileno cobriria aproximadamente 1 m^2 da área de sais cristalinos insolúveis de chumbo, os quais possuíam área específica conhecida medida por troca com isótopos radioativos.

O ensaio de adsorção de azul de metileno, na caracterização de solos, foi usado primeiramente por Lan (1977). Foram estabelecidas correlações entre os valores do índice de plasticidade e equivalente de areia e os resultados do ensaio de azul pelo método do papel de filtro. Esse estudo impulsionou o LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) a realizar inúmeras pesquisas utilizando esse ensaio na área de solos.

Em 1979, o LCPC adotou o ensaio de azul de metileno como procedimento de ensaio de caracterização oficial dos laboratórios de pontes e estradas da França. O ensaio foi oficializado como norma AFNOR NF P 18-592. O valor de azul, “*valeur de bleu*” (V_B), definido pelos franceses, é a quantidade de corante azul de metileno necessário para recobrir as superfícies externas e internas de todas as partículas presentes em 100 g do solo.

Lan (1980) desenvolveu um estudo sobre a variação do consumo de azul de metileno para misturas artificiais de argila, mostrando que a presença de quantidade excessiva de elementos inertes presentes num solo não influencia a adsorção de azul de metileno e que o valor de azul varia linearmente com a porcentagem de cada tipo de argilo-mineral presente na mistura.

A primeira adaptação à classificação francesa de solos RTR (“Recommandation pour les Terrassements Routiers”) foi proposta por Lan (1981) que inclui o uso do valor de azul para definir classes de solos. Esse autor ressaltou que o valor de azul é um excelente critério para identificar e classificar os solos, pois o ensaio para a sua determinação é simples e rápido de ser executado.

Bourguet et al (1985) propuseram um novo sistema de classificação de solos, com base nos resultados dos ensaios de azul de metileno e de granulometria. Primeiramente, o solo é classificado, usando-se um ábaco granulométrico que permite enquadrá-lo numa determinada classe. Em seguida, é analisada a sua sensibilidade à água, através de um diagrama de sensibilidade à água, dispondo da classe do solo e do valor da sua superfície específica, medida através do ensaio de adsorção de azul de metileno.

Uma proposta de classificação de solos finos fundamentada nas características granulométricas e no valor de azul foi apresentada por Magnan e Youssefian (1989) a partir do estudo de 197 solos. O diagrama de classificação gerado (figura 3.13) apresenta em abscissas o valor de azul (V_b) e, em ordenadas, a porcentagem de partículas de dimensões inferiores a 0,002 mm. Os solos são agrupados em seis classes, que recebem as seguintes nomenclaturas: A_{pa} - argila pouco ativa,

A_{ma} - argila medianamente ativa, A_{ta} - argila muito ativa, L_{pa} - silte pouco ativo, L_{ma} - silte medianamente ativo e L_{ta} - silte muito ativo.

FIGURA 3.13 - Classificação de solos finos segundo Magnan e Youssefian (1989).

A segunda adaptação à RTR foi proposta por Schaeffner (1989). Os solos foram agrupados em 6 classes que por sua vez foram subdivididas em 15 sub-classes em função da granulometria, dos valores do IP e V_b . Foi excluída a classe das rochas evolutivas e o índice de plasticidade permaneceu como parâmetro de classificação apenas para solos finos.

3.10. APLICAÇÃO DO ENSAIO DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO AOS SOLOS DO BRASIL

O primeiro estudo, de que se tem notícia, sobre a técnica de adsorção de azul de metileno aplicado, aos solos do Brasil é o de Ferreira et al (1972). Esses autores apresentaram os resultados da medição das áreas específicas de onze amostras pertencentes ao nordeste do Brasil, visando determinar o intervalo de valores para as

áreas específicas medidas por diversos métodos, dentre eles o de adsorção de azul de metileno pela técnica do papel de filtro.

A técnica do ensaio de adsorção de azul de metileno, para a medição da capacidade de troca catiônica (CTC) e a área específica de algumas argilas brasileiras, foi descrita por Chen et al (1974). Os pesquisadores mostraram, mas não analisaram, os resultados das tentativas de estabelecer correlações lineares entre a adsorção de azul de metileno e algumas características do solos, tais como: análise granulométrica, limites de liquidez e plasticidade, índice de plasticidade e áreas específicas determinadas por outros métodos.

Brito e Ferreira (1984) determinaram os intervalos de valores das áreas específicas da fração fina de onze solos lateríticos da região Nordeste do Brasil (Maranhão, Piauí e Paraíba) pelos métodos do permeâmetro de Blaine (de 0,0929 a 0,3140 m²/g), adsorção de azul de metileno (de 15,61 a 84,29 m²/g), método granulométrico do densímetro (de 0,056 a 10,180 m²/g) e BET (de 14,92 a 42,64 m²/g). Foram também feitas regressões simples entre os resultados obtidos para os diversos métodos estudados, concluindo-se que as melhores regressões, para os solos lateríticos estudados, foram obtidas entre os métodos de azul de metileno e granulométrico, que, por sua vez apresentaram um coeficiente de correlação de aproximadamente 0,91.

Casanova (1986) determinou a superfície específica e a capacidade de troca catiônica de 35 amostras de solos tropicais. Esses parâmetros foram analisados por diversos métodos tradicionais e pelo método de adsorção de azul de metileno. O autor verificou que a CTC, determinada pelo método de azul de metileno foi sempre inferior à determinada pelos métodos tradicionais. Essa discrepância foi atribuída ao fato de não haver uma completa adsorção de azul de metileno pela matéria orgânica humificada e por materiais amorfos/paracristalinos, além de não haver adsorção de azul de metileno pelos óxidos e hidróxidos livres de ferro e alumínio. O pesquisador recomendou que o ensaio de adsorção de azul de metileno poderia ser usado para a medição da superfície específica de solos e argilas. Ressaltou ainda que o ensaio é rápido, simples de ser executado e apresenta boa reprodutibilidade, além de permitir a determinação da CTC.

Ferreira et al (1986) apresentaram correlações para onze solos do nordeste do Brasil, através de regressão linear simples e múltipla, entre a área medida por vários métodos (entre os quais o azul de metileno) e os parâmetros de compactação (massa específica seca máxima e umidade ótima) e valores de CBR (com e sem imersão). As principais conclusões dos autores foram: (a) a área específica determinada pelo método azul de metileno apresentou correlação significativa com o parâmetro massa específica seca máxima; (b) o parâmetro CBR com imersão não apresentou correlação significativa com a área específica determinada por qualquer dos métodos estudados e c) com o aumento da área específica ocorre a diminuição da massa específica aparente seca máxima e o aumento do teor de umidade.

O ensaio de adsorção de azul de metileno para fins de mapeamento geotécnico foi usado primeiramente por Pejon (1992) que estudou amostras de solos que apresentaram diferentes estágios de evolução. Essas amostras foram submetidas aos ensaios da classificação MCT e ao ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha, com o objetivo de testar a capacidade desse último ensaio de prever o comportamento laterítico do solo. O ensaio de azul foi realizado na fração dos solos passada na peneira de abertura nominal igual a 2 mm. A concentração da solução de azul de metileno utilizada foi de 1,5 g de azul de metileno para um litro de solução. O valor de azul (VB) foi determinado como sendo a quantidade de azul de metileno consumida, em g, por 100 g de solo. Pejon (1992) comparou os valores de azul (VB) com os resultados das classes MCT e concluiu que para 85 % das amostras estudadas há concordância entre a previsão do comportamento inferida pela atividade do azul de metileno e pela classificação MCT.

Fabbri (1994) aplicou o ensaio de adsorção de azul de metileno a 297 amostras de solos. Esse autor propôs um ábaco, apresentado na figura 3.14, para avaliação do grau atividade da fração fina presente no solo analisado. Nesse ábaco, o CA é dado pela tangente do ângulo, formado entre o eixo das abscissas e a reta que passa pela origem dos eixos cartesianos e pelo ponto cuja abscissa assume o valor da porcentagem de partículas com dimensões inferiores a 0,005 mm e cuja ordenada expressa o valor de azul. Foram definidos três graus de atividade para os grupos de argilo-minerais: muito ativos ($CA > 80$), ativos ($11 < CA < 80$) e pouco ativos

(CA < 11). Segundo Fabbri (1994) há uma boa probabilidade dos materiais que apresentam coeficientes de atividade pouco ativos pertencerem à classe dos solos de comportamento laterítico da classificação MCT.

FIGURA 3.14 - Ábaco para caracterização do grau de atividade da fração argila dos solos (Fabbri, 1994).

O valor de azul de metileno de um solo (V_a), definido por Fabbri (1994) e mostrado na equação 3.9, é a quantidade de azul de metileno consumida, em g, por 1 g de solo, diferindo do valor de azul (V_b), usado pelos franceses.

$$V_a = V \cdot \frac{P_{200}}{100} \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \quad (3.9)$$

onde:

V_a = valor de azul, correspondente à quantidade de azul de metileno, consumida por 1 g de amostra de solo integral expresso em ml de solução padrão por grama de solo, ou por 10^{-3} g de azul de metileno por g de solo (10^{-3} g/g de solo);

V = volume de solução padrão de azul de metileno adicionado à suspensão (ml);

P_{200} = porcentagem do solo que passa na peneira de número 200 (%);

w = teor de umidade do solo ensaiado (%).

Pérez e Casanova (1994) avaliaram pelos métodos de EMEG (Éter Monoetílico do Etileno Glicol), AM (Azul de metileno) e BET- N_2 a variação da medida da superfície específica de quatorze amostras pertencentes a várias regiões do Brasil, classificadas como podzólicos vermelho-amarelo. Os resultados pelos métodos do BET- N_2 e azul de metileno forneceram valores próximos. Já o método do EMEG apresentou valores da superfície específica, em média, 2,3 vezes maiores que os resultados obtidos pelo método AM e 2,5 vezes maiores que os obtidos pelo método BET- N_2 .

Barroso (1996) estudou a variação das propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos em função do valor de azul, através da montagem de solos artificiais, obtidos a partir da mistura de uma mesma fração grossa com três tipos de frações finas. Essa autora observou que há conveniência em representar a variação dessas propriedades em função do valor de azul. Isto porque, ao se considerar valor de azul como variável independente, resultam curvas tais que as retas que lhes são tangentes têm coeficientes angulares notadamente diferentes, cada qual associado a um tipo diferente de solo.

Ferreira et al (1996) determinaram a área específica pelo método de adsorção de azul de metileno com variação do pH de 3 a 12, de sete solos provenientes dos Estados do Maranhão, Paraíba e Piauí. A tabela 3.5 mostra essas informações. Foram estudadas correlações existentes entre as características de plasticidade determinadas pelos métodos de Casagrande e cone de penetração e as áreas específicas para diferentes pHs. Os autores observaram que as melhores correlações ocorrem para pHs elevados, sendo o 11 o mais indicado. Sugerem, também, o uso do pH=11, como o mais indicado, para medição da superfície específica de “solos vermelhos tropicais” através do método de adsorção de azul de metileno.

TABELA 3.5 - Área específica de solos vermelhos tropicais (m^2/g) determinadas em diferentes pHs. Ferreira et al (1996).

Amostras	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12
JPPB	21,95	21,85	24,97	24,97	28,09	31,21	37,46	40,58	46,82	59,31
CTPB	9,36	12,48	12,48	15,60	18,73	21,85	24,97	37,46	40,58	46,82
TEPB	18,73	28,09	31,22	21,85	24,97	24,97	28,09	37,46	49,94	56,19
ARPB	9,36	12,48	15,60	15,60	18,73	21,85	31,21	40,58	49,94	53,06
CAPI	9,36	12,48	18,73	28,09	31,21	31,21	34,33	37,46	43,70	49,94
VGMA	12,48	15,60	18,73	18,73	21,85	21,85	28,09	31,21	40,58	46,82
PDMA	18,73	21,85	24,97	24,97	28,09	28,09	31,21	34,33	40,58	43,70

O ensaio de adsorção de azul de metileno foi usado por Burgus (1997) para caracterizar solos provenientes da cidade de Salvador. Foram executados os ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão para que todos os materiais fossem classificados pela classificação MCT. Foi realizado também o ensaio de adsorção de azul de metileno, pelos métodos propostos por Pejon (1992) e Fabbri (1994). Esse autor concluiu que pelo método proposto por Fabbri (1994) há 93 % de concordância entre o comportamento, laterítico ou não, previsto pelo azul de metileno e o método MCT. Para o método proposto por Pejon (1992), essa concordância reduziu-se para 63 %.

Santanna (1998) estudou a variação de algumas propriedades tecnológicas dos solos em função do valor de azul para vinte solos artificiais com o objetivo de se estudar a influência da variação das características da fração grossa. Os resultados da variação das propriedades tecnológicas dos solos, obtidos em cilindro de dimensões reduzidas, em função do valor de azul para os vinte solos artificiais, foram apresentados em gráficos cartesianos. Essa autora verificou que a representação das propriedades em função do valor de azul possui a vantagem de agrupar as curvas de solos “montados” com a mesma fração fina, pois essas curvas têm coeficientes angulares semelhantes.

Costa e Gandolfi (1998) estudaram 65 amostras de solos coletadas no nordeste do município de Campinas. Essas amostras foram classificadas pelo método MCT e

foram também submetidas ao ensaio de adsorção de azul de metileno pelos métodos propostos por Pejon (1992) e Fabbri (1994). A concordância entre os resultados da classificação MCT e os do ensaio de adsorção de azul de metileno, pelo método proposto por Pejon (1992), foi de 89% e para o método proposto por Fabbri (1994) foi de 87,7 %. Esse autor ressalta ainda que o ensaio do corante azul de metileno é relativamente rápido, de fácil execução e caracteriza com eficiência a atividade do solo, sendo assim completamente compatível com a cartografia geotécnica.

3.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação MCT representa, indubitavelmente, o melhor sistema atual de classificação de solos tropicais. Contudo, sabe-se que o sistema MCT apresenta algumas limitações, entre elas vale citar: dificuldades para realização dos ensaios e obtenção dos parâmetros de classificação, problemas referentes à repetibilidade dos índices c' e e' , obtidos a partir da execução dos ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão, além de se destinar somente aos solos que passam quase que integralmente na peneira de abertura nominal igual a 2 mm.

Estudos que busquem simplificar, melhorar e testar os métodos existentes de classificação de solos, tornam-se necessários para otimizar a obtenção de parâmetros classificatórios. Nesse contexto, o ensaio de adsorção de azul de metileno surge como uma alternativa inovadora que deve ser pesquisada para corroborar ou não à sua aplicação na caracterização dos solos tropicais.

O ensaio de adsorção de azul de metileno é considerado atualmente uma técnica experimental de execução simples e rápida. Acredita-se que a atividade da fração argilosa do solo, inferida por este ensaio, exerça uma influência importante nas propriedades mecânicas do solo e associada às características granulométricas da fração grossa pode resultar em um método de classificação de solos.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Todas as amostras estudadas nesse trabalho são oriundas da Região Metropolitana de Fortaleza. A RMF é constituída por nove municípios conforme mostrado no capítulo 2. Cumpre ressaltar que atualmente foram incorporados mais dois municípios à Região Metropolitana de Fortaleza, mas os mesmos não foram considerados objetos de estudo da presente tese.

Para o estabelecimento do programa experimental a autora utilizou a seguinte seqüência de trabalho:

- a) pesquisa bibliográfica sobre a geografia, geologia e pedologia da Região Metropolitana de Fortaleza;
- b) identificação das diferentes classes pedológicas ocorrentes na zona Metropolitana de Fortaleza, para separação das áreas de estudo por ocorrência pedológica;
- c) visitas de campo para conhecimento dos diferentes tipos de solos da RMF;
- d) coleta de amostras na Região Metropolitana de Fortaleza;
- e) execução dos ensaios convencionais (granulometria, caracterização, CBR e Proctor), dos ensaios da metodologia MCT (Mini-MCV, Mini-Proctor, Mini-CBR, expansão e contração) e dos ensaios de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha;
- f) elaboração de um cadastro com todas as informações estudadas;
- g) análise dos resultados de laboratório;

- h) redação de relatórios contendo as conclusões do programa experimental desenvolvido.

4.2. ESCOLHA DOS MATERIAIS

O planejamento do trabalho de campo foi efetuado tomando-se como base as ocorrências das classes pedológicas existentes na RMF. Para tanto, tornou-se necessário recorrer-se à utilização de mapas pedológicos para identificar as principais classes de solos que existem na região.

Uma das dificuldades encontradas para escolha dos materiais a serem pesquisados foi a ausência de mapas pedológicos que apresentassem escalas maiores. Foram visitados vários órgãos do Estado (SEINFRA - Secretária de Infra-estrutura do Estado do Ceará, CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais e IPLANCE - Instituto de Planejamento do Estado do Ceará) em uma tentativa de encontrar mapas atualizados da Região Metropolitana de Fortaleza. O mapa mais recente é o apresentado pelo IPLANCE (1997). Observou-se que esse mapa é uma reedição do mapa pedológico oriundo do levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará de 1973 com algumas alterações.

Para escolha das amostras utilizou-se então, o mapa pedológico do Estado do Ceará de 1973 que está na escala de 1:600.000, por ser considerado o mais original e estar acompanhado de um documento descritivo do levantamento pedológico, realizado naquela época. Esse mapa apresenta uma visão generalizada dos diversos solos existentes no Estado do Ceará. O mapeamento dos solos foi feito em nível intermediário entre levantamento exploratório e o de reconhecimento.

Segundo o mapa pedológico de 1973 do Estado do Ceará, as principais classes pedológicas existentes na RMF são: podzólico vermelho amarelo, planosolo, brunos não cálcico, solos arenoquartzosos, solos halomórficos, solos litólicos e vertisolos.

A partir do mapa pedológico da RMF, foi determinado o percentual de ocorrência de cada uma das classes pedológicas em relação a área da RMF. A programação inicial para o trabalho de campo era coletar 102 amostras, distribuídas em função desse percentual (por exemplo, os solos podzólicos ocupam uma área de aproximadamente

40,28 % da RMF, então coletar-se-iam quarenta amostras pertencentes a essa classe). O número de solos coletados foi reduzido para sessenta, devido às dificuldades de se encontrar cortes mais espessos e jazidas próximas aos trechos rodoviários da RMF. A tabela 4.1 traz as informações descritas nesse parágrafo, mostrando, também, o número efetivo de amostras que foi coletado para cada classe pedológica.

Foram então utilizadas para execução desse trabalho sessenta amostras de solos distribuídas por ocorrência percentual de classe pedológica. Sete dessas amostras foram cedidas e já estudadas por Chaves (2000) na conclusão de seu programa de mestrado na COPPE/UFRJ.

TABELA 4.1 – Informações sobre a ocorrência das classes pedológicas da RMF, número de amostras inicialmente planejado e o número de amostras efetivamente coletado para cada classe pedológica.

Classe pedológica	Porcentagem de ocorrência (%)	Planejamento inicial do número de solos que seria coletado	Número de solos efetivamente coletado para o programa de tese
1. Podzólico vermelho amarelo	40,28	40	31
2. Planossols	18,05	18	9
3. Bruno não cálcico	16,67	17	5
4. Solos arenoquartzosos	12,50	12	11
5. Solos halomórficos	5,56	6	1
6. Solos litólicos	5,56	6	2
7. Vertissols	1,38	3	1

A coleta das amostras foi executada em vários trechos, tendo sido realizadas diversas visitas a campo para observação dos tipos de solos existentes. Os perfis de solos foram fotografados, usando-se uma máquina fotográfica digital da marca Sony MVC-FD7. Em seguida, foi realizada a classificação pedológica dos materiais, tomando-se por base a cor do solo, a vegetação presente, a hidrografia e o tipo de

relevo local. As figuras de 4.1 a 4.7 mostram exemplos de perfis de solos pertencentes às classes pedológicas que ocorrem na RMF.

FIGURA 4.1 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como podzólico.

FIGURA 4.2 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como areia quartzosa.

FIGURA 4.3 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como litólico.

FIGURA 4.4 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como halomórfico.

FIGURA 4.5 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como planosolo.

FIGURA 4.6 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como vertisolo.

FIGURA 4.7 – Ilustração de um solo classificado pedologicamente como bruno não cálcico.

As coordenadas geográficas dos pontos de coleta das amostras (apresentadas no anexo I da presente tese) foram determinadas usando-se um par de GPS Magellan ProMark X-CM com precisão máxima de 1,5 cm mais 1 ppm. Realizou-se cálculo diferencial, usando-se como ponto de controle o marco localizado na estação meteorológica do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará.

Foram coletadas amostras nos municípios de Aquiraz (identificadas com o nome *Aquir*), Caucaia (identificadas com o nome *Cauc*), Eusébio (identificadas com o nome *Eus*), Fortaleza (identificadas com o nome *Fort*), Guaiúba (identificadas com o nome *Guaiú*), Itaitinga (identificadas com o nome *Itait*), Maranguape (identificadas com o nome *Maran*) e Pacatuba (identificadas com o nome *Pacat*). Todas as amostras são seguidas de um número identificador n que mostra a ordem de coleta do solo.

As sete amostras provenientes da dissertação de mestrado de Chaves (2000) são identificadas com os mesmos nomes designados em seu trabalho: AM01-COFECO (coletada no município de Fortaleza), AM02-Mangabeira (coletada no município do Eusébio), AM03-Prainha (coletada no município de Aquiraz), AM05-Pirapora (coletada no município de Caucaia), AM06-Pastor (coletada no município de Caucaia), AM 07-Danilo (coletada no município do Eusébio) e AM09-Zé Novo (coletada no município do Eusébio). A tabela 4.2 apresenta a quantidade de amostras coletadas em cada município e suas designações. Note-se que nessa tabela o número *n* representa a ordem de coleta de cada solo extraído do corte ou da jazida.

TABELA 4.2 – Informações sobre a quantidade de amostras coletadas em cada município e suas designações.

Município	Denominação	Número de amostras coletada
Aquiraz	<i>Aquir n</i>	01
	AM03-Prainha	01
Caucaia	<i>Cauc n</i>	15
	AM05-Pirapora	01
	AM06-Pastor	01
Eusébio	<i>Eus n</i>	07
	AM02-Mangabeira,	01
	AM07-Zé Novo	01
	AM08-Danilo	01
Fortaleza	<i>Fort n</i>	06
	Mess	02
	AM01-Cofeco	01
Guaiúba	<i>Guaiú n</i>	06
Itaitinga	<i>Itaitin n</i>	02
Maracanaú	-	0
Maranguape	<i>Maran n</i>	11
Pacatuba	<i>Pacat n</i>	03

A figura 4.8 mostra o mapa da RMF com as localizações de todas as amostras estudadas e as suas denominações.

FIGURA 4.8 - Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza mostrando as localizações das amostras coletadas.

4.3. O PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.3.1. INTRODUÇÃO

Os ensaios de massa específica dos sólidos, granulometria (por peneiramento e por sedimentação), limite de liquidez, limite de plasticidade, equivalente de areia, Proctor na energia normal e intermediária, CBR na energia normal e intermediária foram executados no Laboratório de Tecnologia dos Pavimentos do DET/CT/UFC.

Para execução dos ensaios que compõem o método MCT foram fabricados os equipamentos necessários à sua execução, conforme os projetos cedidos pela Escola

de Engenharia de São Carlos. Com a introdução do novo método, tornou-se também imprescindível a organização da infra-estrutura física do Laboratório de Tecnologia dos Pavimentos do DET/CT/UFC. Os ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão foram então executados usando-se a infra-estrutura desse laboratório.

Já os ensaios de mini-CBR na energia normal e intermediária e o ensaio de adsorção de azul de metileno foram executados no Laboratório de Estradas do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Os solos coletados foram submetidos ao programa de ensaio descrito nos itens de 4.3.2 a 4.3.10.

4.3.2. MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

A determinação da massa específica dos sólidos, necessária aos cálculos do ensaio de sedimentação, foi realizada de acordo com o método de ensaio “Solos-Determinação da Densidade Real” - ME 93-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER.

4.3.3. GRANULOMETRIA

4.3.3.1. GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO

A análise granulométrica por peneiramento das amostras foi executada de acordo com o método de ensaio “Solos - Análise Granulométrica” - ME 80-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER.

4.3.3.2. GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO

A análise granulométrica por sedimentação dos solos foi executada utilizando-se o método de ensaio “Solos - Análise Granulométrica” - ME 81-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. O defloculante usado para a dispersão das amostras foi o hexametáfosfato de sódio.

4.3.4. LIMITE DE LIQUIDEZ

O valor do limite de liquidez foi determinado conforme o método de ensaio ME 44-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. A determinação do limite de liquidez foi necessária para que os solos pudessem ser classificados de acordo com as classificações HRB e USCS.

4.3.5. LIMITE DE PLASTICIDADE

O valor do limite de plasticidade foi determinado de acordo com o método de ensaio ME 82-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. A determinação do limite de plasticidade também se fez necessária para que as amostras pudessem ser classificadas de acordo com as classificações HRB e USCS.

4.3.6. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO PROCTOR

Para determinação do valor da massa específica seca máxima e da umidade ótima dos solos nas energias normal e intermediária, foi executado o ensaio de Proctor de acordo com o método de ensaio ME 162/94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER.

4.3.7. ENSAIOS DE CBR E EXPANSÃO

Para a determinação dos valores de CBR e da expansão nas energias normal e intermediária dos solos, realizou-se o ensaio de CBR na umidade ótima, conforme os procedimentos descritos na norma ME 50/94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER.

4.3.8. MINI-CBR, EXPANSÃO E CONTRAÇÃO

Os ensaios de mini-CBR, expansão e contração foram realizados nas energias de compactação normal e intermediária, visando a determinação da capacidade de suporte dos solos, bem como as características de expansão e contração. Os ensaios foram executados de acordo com os procedimentos descritos nos métodos de ensaio DER M 192-88 (mini-CBR), DER M 192-88 (expansão) e DER M 193-88

(contração), todos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 1991).

4.3.9. MINI-MCV E PERDA DE MASSA POR IMERSÃO

Os ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão foram executados para fins de classificação dos solos através do método MCT. Realizaram-se esses ensaios conforme os procedimentos dos métodos de ensaio DER M 191-88 (mini-MCV) e DER M 196-88 (perda de massa por imersão), ambos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 1991).

4.3.10. ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO PELO MÉTODO DA MANCHA PROPOSTO POR FABBRI (1994)

O ensaio de adsorção de azul de metileno foi executado segundo as etapas descritas nos sub-itens 4.3.10.1 a 4.3.10.3. Esse ensaio visou determinar os coeficientes de atividade das frações finas dos solos ensaiados. Trabalhou-se com o pH normal da suspensão solo + água, através da adição do solo à água destilada.

4.3.10.1. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

O ensaio de adsorção de azul de metileno é executado na fração do solo que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm. O solo deve ser seco ao ar, destorroado e passado nessa peneira. Deve-se determinar a umidade natural em que a amostra se encontra para o cálculo do V_a .

4.3.10.2. EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

De acordo com Fabbri (1994), para executar o ensaio em uma amostra são necessários os seguintes equipamentos, mostrados na figura 4.9:

- peneira de malha quadrada de abertura nominal igual a 0,074 mm;
- equipamento para destorroamento de solos;
- balança com precisão de centígrama;

- bureta de 25 ml de capacidade e graduada de 0,1 em 0,1 ml;
- suporte para bureta;
- cronômetro, com resolução de segundos;
- baguete cilíndrica de vidro, com aproximadamente 8 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento;
- agitador magnético para soluções aquosas, com possibilidade de regulagem do número de rotações;
- frasco opaco com 1000 ml de capacidade;
- béquer de vidro pirex com capacidade de 250 ml;
- provetas de vidro com capacidade de 100 e 1000 ml;
- papel de filtro circular, com diâmetro entre 120 e 150 mm, para micro-cristais, com teor de cinzas inferior a 0,01 %, do tipo Reagen R-42, Whatman 42 ou similar;
- solução aquosa padrão de azul de metileno, com concentração de 1 g de sal anidro por litro de solução;
- água destilada.

FIGURA 4.9 - Equipamentos usados para execução do ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha.

4.3.10.3. PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DO ENSAIO

O ensaio é executado de acordo com o seguinte procedimento, descrito em Fabbri (1994):

- passar uma porção do solo (seca ao ar) na peneira 200; pesar 1 g; colocar essa porção em um béquer com 100 ml de água destilada, que deve ser posicionado sobre o agitador magnético; em seguida, ligar o agitador;
- acrescentar ao béquer 1 ml de solução padrão de azul de metileno, por meio de uma bureta graduada e agitar por 1 min, para que haja a dispersão da solução água + corante + solo;
- capturar e pingar uma gota da suspensão sobre um papel de filtro, utilizando a baguete de vidro;
- observar a difusão da gota no papel, verificando se há ou não o aparecimento de uma aura azulada ou esverdeada em torno da borda que circunda o núcleo escuro

da mancha formada; em caso afirmativo, diz-se que o teste é positivo e agita-se a solução por mais três minutos, tornando a pingar uma gota no papel de filtro para que haja confirmação do teste; em caso negativo, deve-se continuar a efetuar os procedimentos *b*, *c* e *d*, até que ocorra o aparecimento da áura azulada ou esverdeada, devendo-se repetir também o procedimento de confirmação;

- e) anotar o consumo de azul de metileno correspondente ao ponto de viragem (ponto em que aparece a áura azulada ou esverdeada).

Com o valor do volume do azul de metileno consumido pela fração fina do solo durante a realização do ensaio, obtém-se o valor de azul (V_a).

A figura 4.10 ilustra um teste negativo e outro positivo para o ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha.

FIGURA 4.10 - Exemplos do teste de mancha de azul de metileno.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, descreveu-se como os materiais pertencentes à Região Metropolitana de Fortaleza foram escolhidos. Foi também descrito o programa experimental empregado para se determinar as propriedades de interesse à pavimentação desses solos.

No capítulo seguinte, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios executados, visando o conhecimento do comportamento dos materiais da RMF.

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados dos ensaios de laboratório obtidos para as sessenta amostras da Região Metropolitana de Fortaleza. O programa experimental desenvolvido constou da execução de uma quantidade muito grande de ensaios, causando a redação de um capítulo extenso, cujo objetivo foi explorar ao máximo todos os resultados obtidos.

Parte dos resultados experimentais, que dão origem a análises que mencionam faixas de valores, estão dispostos em tabelas ordenadas por classe pedológica. Os demais dados estão mostrados nos anexos I, II, III, IV, V e VI.

Primeiramente, são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização: massa específica dos sólidos, granulometria conjunta, limite de liquidez, índice de plasticidade e equivalente de areia.

Em seguida, é feita uma análise, separada, dos resultados das propriedades tecnológicas dos solos obtidas em cilindro convencional e em cilindro miniatura. São apresentados vários gráficos que mostram as variações dessas propriedades em função de uma variável selecionada. As equações e correlações para previsão dessas propriedades foram obtidas através da técnica de regressão.

São realizadas também, comparações entre os resultados das propriedades obtidas nos dois tipos de cilindros, procurando-se estabelecer, quando possível, uma relação para previsão de uma dada propriedade do cilindro convencional, quando se dispõe do resultado obtido em cilindro miniatura.

As amostras foram classificadas pelas classificações de solos, ditas tradicionais, HRB e USCS e pela classificação MCT. Foi realizada uma comparação entre as previsões de comportamentos fornecidas pelas classificações HRB e MCT.

Utilizou-se também a técnica de adsorção de azul de metileno para inferir a atividade da fração fina dos solos estudados.

5.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os ensaios de caracterização analisados foram: massa específica dos sólidos, limites de liquidez e de plasticidade, granulometria conjunta e equivalente de areia.

As informações de todos os resultados dos ensaios de caracterização estão apresentados no anexo II que mostra os resultados dos valores de LL, LP, IP, massa específica dos sólidos, equivalente de areia e dos ensaios de granulometria conjunta para os solos estudados.

Nos sub-itens de 5.2.1 a 5.2.4, são apresentados gráficos que mostram os resultados dos ensaios de caracterização em função de uma variável selecionada para análise, que é, em geral, a porcentagem de fração fina presente no solo. Define-se aqui como fração fina a quantidade de solo que passa integralmente na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm.

5.2.1. MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

Os resultados das massas específicas dos sólidos são mostrados na figura 5.1. Essa figura mostra a variação da massa específica dos sólidos em função da porcentagem de fração fina dos solos. Para os solos estudados, os valores das massas específicas dos sólidos variam de 2,580 g/cm³ a 2,660 g/cm³, indicando que há pequena variação dessa propriedade no universo de solos amostrados. Pode-se observar que os valores das massas específicas dos sólidos são relativamente baixos, com muitos casos em que os valores são inferiores ao do quartzo (2,650 g/cm³), o que pode indicar uma pequena incidência de ferro e/ou alumínio na composição química dos solos. Vale lembrar que há alguns solos lateríticos no Estado de São Paulo que apresentam valores de massa específica dos sólidos superiores a 3,000 g/cm³, devido ao fato de serem ricos em óxidos de ferro.

FIGURA 5.1. – Variação da massa específica dos sólidos em função da porcentagem que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,074 mm.

5.2.2. GRANULOMETRIA

Todas as curvas granulométricas dos solos estudados são apresentadas na figura 5.2. Foram elaboradas as figuras de 5.3 a 5.9 que mostram as distribuições granulométricas dos solos separadas em função da classe pedológica, uma vez que na figura 5.2 há grande superposição de curvas granulométricas, tornando complicada a visualização individual das distribuições granulométricas de cada solo ensaiado.

Para maiores detalhes quanto aos valores numéricos das granulometrias dos solos, consultar o anexo II.

Conforme a figura 5.3, os solos classificados como areias quartzosas têm composição granulométrica semelhante, apresentando granulometria descontínua entre os diâmetros 1 mm e 0,1 mm, aproximadamente. Observe-se que essas distribuições granulométricas assemelham-se às típicas de solos de comportamento laterítico. Note-se ainda, que todos os solos possuem 95% de material, no mínimo, passando na peneira de nº 10. As porcentagens passadas na peneira nº 200 variam de 5 % até 33 %.

FIGURA 5.2 – Curvas granulométricas dos sessenta solos estudados.

FIGURA 5.3 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica das areias quartzosas.

Observe-se que conforme a figura 5.4, os cinco solos classificados como brunos não cálcicos têm curvas granulométricas com formas semelhantes, sendo bem graduados e apresentando uma granulometria aproximadamente contínua. As porcentagens

passadas nas peneiras nº 200 e nº 10, variam de 30 % a 62 % e de 81 % a 98 %, respectivamente.

FIGURA 5.4 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica bruno não cálcico.

De acordo com a figura 5.5, o solo classificado como halomórfico apresenta uma granulometria descontínua, passando integralmente na peneira nº 10 e com 54 % passando na peneira nº 200.

A figura 5.6 mostra as distribuições granulométricas dos dois solos litólicos estudados, identificados por *cauc 13* e *maran 01*. Note-se que os solos são bem graduados e possuem granulometria aproximadamente contínua. Observe-se, também, que as duas curvas granulométricas são praticamente paralelas, apresentando um formato muito semelhante e diferindo entre si no que diz respeito à quantidade de partículas passadas em cada peneira. As porcentagens passadas na peneira nº 10 para o solo litólico identificado como *cauc 13* é de 100 % e para o solo identificado como *maran 01* é de 88 %. Já as porcentagens passadas na peneiras nº 200 para o solo litólico identificado como *cauc 13* é de 80 % e para o solo identificado como *maran 01* é de 44 %.

FIGURA 5.5 – Curva granulométrica do solo pertencente à classe pedológica dos solos halomórficos.

FIGURA 5.6 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica dos solos litólicos.

As porcentagens passadas nas peneiras nº 200 e nº 10, para os solos classificados pedologicamente como planossolos, variam de 29 % a 59 % e de 83 % a 97 %, respectivamente. São solos bem graduados e que possuem distribuições granulométricas semelhantes e aproximadamente contínuas conforme mostra a figura 5.7.

FIGURA 5.7 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica dos planosolos.

As curvas granulométricas dos solos classificados pedologicamente como podzólicos são apresentadas na figura 5.8. Observa-se que os solos têm composição granulométrica semelhante, apresentam granulometria aproximadamente contínua e são bem graduados. Dos 31 solos ensaiados, somente 3 têm porcentagens passadas na peneira de nº 10 inferiores a 90 %. As porcentagens passadas na peneira de nº 200 variam de 21 % a 73 %.

Já o solo classificado como vertisolo, conhecido popularmente pelo nome de massapê, é um solo fino e que apresenta uma granulometria aproximadamente contínua (ver figura 5.9).

FIGURA 5.8 – Curvas granulométricas dos solos pertencentes à classe pedológica dos podzólicos.

FIGURA 5.9 – Curva granulométrica do solo pertencente à classe pedológica dos vertisolos.

Grande parte dos solos ensaiados para execução desta tese passa quase que integralmente na peneira nº 10 (os solos apresentam, em média, 94,9 % passada nessa peneira). Após a execução do ensaio de granulometria, percebeu-se que os solos localizados mais ao interior da RMF apresentam granulometria um pouco mais grossa. Pôde-se também verificar que os solos localizados mais próximos da região

litorânea são mais finos. Esse comportamento era esperado, uma vez que os solos mais finos são originários de sedimentos marinhos da Formação Barreiras.

5.2.3. LIMITE DE LIQUIDEZ E ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Na tentativa de se achar alguma correlação dos valores de LL e IP com a porcentagem de fração fina, foram elaboradas as figuras 5.10 e 5.11, onde são mostrados os valores de LL e IP, respectivamente, em função da porcentagem de fração fina presente em cada solo ensaiado. Note-se que, nessas figuras, foram atribuídos valores de LL ou IP iguais a zero aos solos que não possuem plasticidade. Ressalta-se que para sete solos foram adotados valores de LL iguais a zero, devido ao fato dos ensaios de limites de liquidez não terem sido realizados.

Pela análise das figuras 5.10 e 5.11, observa-se que, em geral, com o acréscimo de fração fina, há um aumento dos valores de LL e IP. Nas figuras 5.10 e 5.11 são mostradas as equações de regressão linear para as propriedades analisadas. Para o estabelecimento dessas regressões, foram eliminados os pontos com valores de abscissas iguais a zero (LP=não plástico e LL=não líquido). Através da técnica de regressão linear, foi possível correlacionar as variáveis LL e IP, obtendo-se coeficientes de determinação de $R^2 = 0,59$ e $R^2 = 0,58$, respectivamente, significando que as retas de regressões determinadas podem explicar mais de 50 % da variação dos valores de LL e IP em função da porcentagem de fração fina.

Dos sessenta solos estudados, 51 apresentam valores de LL superiores a 25 % e 49 valores de IP superiores a 6 %, o que já limita o uso da maioria dos solos para aplicação em camadas de base e sub-base de um pavimento, à luz das especificações tradicionais de materiais para essas camadas. Assim, sugere-se que esses limites sejam reavaliados, pois alguns solos podem estar sendo sub-utilizados nas estruturas dos pavimentos, se forem adotados todos os critérios recomendados pelas normas técnicas vigentes.

FIGURA 5.10 – Variação dos valores de limite de liquidez em função da porcentagem de fração fina.

FIGURA 5.11 – Variação dos valores do índice de plasticidade em função da porcentagem de fração fina.

5.2.4. EQUIVALENTE DE AREIA

A figura 5.12 mostra informações sobre a variação dos valores de equivalente de areia em função da porcentagem de fração fina presente no solo. Observa-se que há uma tendência do equivalente de areia decrescer com o aumento de fração fina do solo. Foi obtida uma equação de regressão não linear com coeficiente de determinação $R^2=0,68$, indicando que essa equação pode explicar 68 % da variação do equivalente de areia em função da porcentagem de fração fina.

FIGURA 5.12 – Variação dos valores de equivalente de areia em função da porcentagem de fração fina para os solos.

5.3. RESULTADOS DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS OBTIDAS EM CILINDRO CONVENCIONAL E EM CILINDRO MINIATURA

Todos os resultados das propriedades tecnológicas dos solos, obtidos em cilindro convencional e em cilindro miniatura, para as energias de compactação normal e intermediária, estão resumidos nos anexos V e VI.

Nesse item foram elaborados vários gráficos que mostram relações entre as propriedades tecnológicas estudadas. Mediante uso da técnica de regressão linear, obtiveram-se equações que permitem estimar uma dada propriedade, quando se dispõe do valor de outra. As equações apresentadas são provenientes de regressões lineares. Muitas vezes foram obtidos coeficientes de correlação superiores quando se aplicaram regressões não lineares, mas optou-se pelo uso da regressão linear, tendo em vista a facilidade de sua aplicação e entendimento por parte dos técnicos. Note-se que nos gráficos apresentados, as iniciais *PN* e *PI* representam os resultados obtidos para o ensaio de Proctor nas energias normal e intermediária, respectivamente. As iniciais *MN* e *MI* representam os resultados obtidos para o cilindro de dimensões reduzidas do método MCT, para as energias normal e intermediária, respectivamente.

Em alguns gráficos, aparece uma linha tracejada, passando pela origem, que representa a reta de igualdade de valores. Essa reta foi lançada com a finalidade de auxiliar na verificação de igualdade, superioridade ou inferioridade entre os resultados obtidos para duas propriedades analisadas.

5.3.1. RESULTADOS DO ENSAIO PROCTOR

5.3.1.1. UMIDADE ÓTIMA

Os resultados das umidades ótimas dos solos, para as energias de compactação normal e intermediária, foram lançados em um gráfico cartesiano que é mostrado na figura 5.13. Essa figura apresenta também uma equação que expressa a regressão linear entre valores das umidades nessas duas energias de compactação. Essa equação permite estimar, no universo em estudo, o valor da umidade ótima para uma energia de compactação, quando se conhece o valor da umidade ótima para outra energia.

Note-se que, como esperado, a grande maioria dos valores das umidades ótimas, para a energia de compactação normal, são maiores que os valores da energia intermediária. Observe-se também que esses valores mesmo maiores são bastante semelhantes para ambas as energias estudadas, ou seja, os da energia normal são “pouco” maiores que os da energia intermediária.

FIGURA 5.13 – Relação entre as umidades ótimas para as energias de compactação normal e intermediária.

Foram elaboradas também as figuras 5.14 e 5.15 com o objetivo de correlacionar os valores das umidades ótimas nas duas energias de compactação em função das porcentagens de fração fina presentes nos solos. Foram estabelecidas equações de regressões lineares, mostrando coeficientes de correlação $R^2=0,66$ para as duas energias de compactação (aproximadamente 66 % do valor da umidade ótima pode ser explicada pela variação do teor de finos). Há, então, para os solos estudados, uma tendência da umidade ótima crescer linearmente com a porcentagem de fração fina presente no solo, como era de se esperar.

FIGURA 5.14 – Valores das umidades ótimas, na energia de compactação normal, em função das porcentagens de fração fina presentes nos solos.

FIGURA 5.15 – Valores das umidades ótimas, na energia de compactação intermediária, em função das porcentagens de fração fina presentes nos solos.

5.3.1.2. MASSA ESPECÍFICA SECA MÁXIMA

Os resultados das massas específicas secas máximas são apresentados em função dos teores ótimos de umidades, para as energias de compactação normal e intermediária nas figuras 5.16 e 5.17, respectivamente. Essas figuras mostram também equações de regressão, com coeficientes de correlação (R^2) de 0,60 e de 0,69, para as energias de compactação normal e intermediária, respectivamente. Através das equações estabelecidas, é possível estimar o valor da massa específica, quando se dispõe do valor da umidade ótima do solo numa dada energia de compactação (normal ou intermediária).

FIGURA 5.17 – Umidade Ótima *versus* massa específica seca máxima obtida na energia de compactação intermediária.

A figura 5.18 apresenta um gráfico que mostra os valores das massas específicas secas máximas, para as energias de compactação normal e intermediária. Através de regressão linear, determinou-se uma equação linear, que apresenta coeficiente de correlação de $R^2=0,85$, permitindo prever a magnitude dessa propriedade para uma energia, quando se conhece o valor para a outra energia de compactação (normal ou intermediária).

Foi traçada na figura 5.18 uma reta de igualdade de valores, passando pela origem, que mostra que a massa específica seca máxima, para energia de compactação intermediária, é maior que a da energia normal. Este comportamento era previsível, pois aumentando-se a energia de compactação de um solo, há redução dos índices de vazios, ocasionando acréscimo da massa específica seca máxima.

FIGURA 5.18 – Valores das massas específicas secas máximas para as energias de compactação normal e intermediária.

5.3.2. RESULTADOS DO ENSAIO CBR

5.3.2.1. RESISTÊNCIA CBR

Os resultados dos CBR (s) das amostras, para as energias de compactação normal e intermediária, são mostrados em um gráfico cartesiano na figura 5.19. Note-se que foi obtida uma equação linear, através da técnica de regressão, com coeficiente de correlação de 0,76 (aproximadamente 76 % do valor do CBR na energia normal pode ser explicado pela variação do valor de CBR na energia intermediária). Na figura 5.19 aparece, ainda, uma reta tracejada, passando pela origem que permite afirmar que os valores de CBR para energia de compactação intermediária são maiores ou iguais aos valores de CBR para energia normal.

FIGURA 5.19 – Valores de CBR para energia de compactação normal *versus* valores de CBR para energia de compactação intermediária.

5.3.2.2. EXPANSÃO

Para se estudar a variação da expansão obtida em cilindro convencional, foi elaborada a figura 5.20, que mostra, em abscissas, os valores dessa propriedade para energia normal e, em ordenadas, os valores para a energia intermediária. Note-se que há uma relação linear altamente significativa, com coeficiente de correlação de 0,99, para os valores dessa propriedade obtidas nas duas energias de compactação estudadas. É possível prever para os solos ensaiados, com bastante precisão, o valor da expansão numa energia, conhecendo-se o valor em outra energia.

Analisando-se a figura 5.20, pode-se verificar que há tendência da expansão apresentar valores maiores para a energia de compactação normal.

FIGURA 5.20 – Valores da expansão para energia de compactação normal *versus* valores da expansão para energia de compactação intermediária.

5.3.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MINI-CBR, EXPANSÃO E CONTRAÇÃO

5.3.3.1. RESULTADOS DA UMIDADE ÓTIMA DOS ENSAIOS MINI-CBR

Os resultados das umidades ótimas das amostras de solos para as energias de compactação normal e intermediária obtidos para o cilindro miniatura são mostrados na figura 5.21. Essa figura apresenta também a equação de uma reta, obtida através de regressão linear com coeficiente de correlação R^2 de 0,97, que mostra que a correlação entre essas variáveis é bastante significativa.

A partir da equação estabelecida na figura 5.21, para os solos estudados da RMF, é possível se estimar a umidade ótima em uma energia, para ensaios em cilindro miniatura, dispondo do seu valor para outra energia.

Observe-se ainda que os valores da umidade ótima na energia normal são superiores aos obtidos para energia intermediária para todas as amostras estudadas, comportamento este similar ao verificado para o ensaio Proctor (item 5.3.1.1).

FIGURA 5.21 – Umidades ótimas para as energias de compactação normal e intermediária obtidas em cilindro miniatura.

As figuras 5.22 e 5.23 apresentam os valores das umidades ótimas nas energias de compactação normal e intermediária em função da porcentagem de fração fina das amostras. As equações de regressão linear forneceram coeficientes de correlação $R^2=0,61$ e $R^2=0,59$, para as energias de compactação normal e intermediária, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos para a determinação da umidade ótima a partir da execução do ensaio de Proctor em cilindro convencional.

Através das equações apresentadas nas figuras 5.22 e 5.23, pode-se estimar o valor da umidade ótima de um solo quando se conhece o seu teor de finos, favorecendo os trabalhos de laboratório no que diz respeito à preparação do material para execução do ensaio de compactação. Alguns técnicos de laboratório erram muito quando há necessidade de se estabelecer “a priori”, o teor ótimo de um solo e planejar o espaçamento entre teores de umidade para fins de execução do ensaio de compactação. Essa prática acaba tornando a execução do ensaio mais demorada, havendo, freqüentemente, necessidade de se utilizar pontos extras de umidades.

FIGURA 5.22 – Umidades ótimas (cilindro miniatura) na energia de compactação normal em função da porcentagem de fração fina presente nos solos.

FIGURA 5.23 – Umidades ótimas (cilindro miniatura) na energia de compactação intermediária em função da porcentagem de fração fina presente nos solos.

5.3.3.2. MASSA ESPECÍFICA SECA MÁXIMA OBTIDA EM CILINDRO MINIATURA

Os valores das massas específicas secas máximas em função dos teores de umidade, obtidos em cilindro de 50 mm de diâmetro, para as duas energias de compactação (normal e intermediária), estão apresentados nas figuras 5.24 e 5.25. Os resultados dessa propriedade, para maioria dos solos estudados, têm tendência de se alinharem próximos a uma reta de coeficiente angular negativo, mostrando que o valor da massa específica seca máxima de um solo decresce com o teor de umidade. Para o estabelecimento de correlação, foram desprezados os resultados de cinco solos (identificados como *Cofeco*, *Danilo*, *Pastor*, *Prainha* e *Pirapora*), tendo em vista que há uma discordância notável de resultados com relação ao resto do conjunto. Isso pode estar relacionado ao fato dessas amostras apresentarem baixos teores de finos, tornando difícil o processo de compactação. Observou-se que as curvas de compactação desses solos são praticamente horizontais. Os ensaios dessas amostras foram repetidos, mas os novos resultados foram bastante semelhantes aos originais.

Utilizando-se a técnica de regressão, observa-se que as equações lineares mostradas nas figuras 5.24 e 5.25 conseguem explicar mais de 90 % da massa específica seca máxima em função da umidade ótima, para ambas as energia de compactação.

A figura 5.26 mostra os valores das massas específicas secas máximas, para as energias de compactação normal e intermediária. Foi estabelecida uma equação de regressão linear com coeficiente de correlação de 0,89, que permite estimar, com uma boa precisão, o valor dessa propriedade (obtida em cilindro miniatura) para uma energia, quando se conhece o valor para outra energia de compactação. Note-se ainda que, para todos os solos ensaiados, o valor da massa específica seca máxima é maior para a energia de compactação intermediária (esse comportamento é o mesmo obtido para o cilindro convencional), o que está de acordo com o que se esperaria a partir da teoria da mecânica dos solos.

FIGURA 5.24 – Umidades ótimas *versus* massas específicas secas máximas para a energia de compactação normal obtidas para cilindro miniatura.

FIGURA 5.25 – Umidades ótimas *versus* massas específicas secas máximas para a energia de compactação intermediária obtidas para cilindro miniatura.

FIGURA 5.26 – Relação entre os valores das massas específicas secas máximas para as energias de compactação normal e intermediária, obtidas em cilindro miniatura.

5.3.3.3. VALORES DE MINI-CBR IMEDIATO E APÓS 24 H DE IMERSÃO

Os valores de mini-CBR imediato para as energias de compactação normal e intermediária foram lançados em um gráfico cartesiano na figura 5.27. Note-se que os valores do mini-CBR imediato para energia intermediária foram sempre superiores aos valores para energia normal. Para os solos ensaiados, não foi possível estabelecer uma correlação significativa para previsão dos valores de mini-CBR na energia normal ou intermediária, pois o coeficiente de correlação obtido da regressão linear resultou muito baixo ($R^2=0,31$).

Os valores de mini-CBR após 24 h de imersão são apresentados na figura 5.28, onde, em abscissas, têm-se os resultados para a energia de compactação normal e em ordenadas, os resultados para a energia intermediária. Na figura 5.28 é mostrada também, a equação linear que descreve a relação existente entre essas duas propriedades, obtida através da análise de regressão. A equação estabelecida permite estimar, no universo em estudo, o valor do mini-CBR após 24 h de imersão, quando se conhece o valor na energia normal ou intermediária. Observe-se ainda, que há uma

tendência do mini-CBR após 24 h de imersão ser sempre maior para energia intermediária.

FIGURA 5.27 – Valores de Mini-CBR imediato para as energias de compactação normal e intermediária.

FIGURA 5.28 – Valores de mini-CBR após 24 h de imersão para as energias de compactação normal e intermediária.

5.3.3.4. ENSAIOS DE EXPANSÃO E CONTRAÇÃO

As relações entre os valores da expansão, obtidos para o cilindro de 50 mm de diâmetro, para as energias de compactação normal e intermediária são mostradas na figura 5.29. Foi estabelecida uma equação linear, obtida da análise de regressão, que permite explicar que aproximadamente 77 % ($R^2=0,77$) da expansão na energia normal pode estar relacionada à variação da expansão na energia intermediária. A expansão mostra tendência de ser maior para a energia de compactação intermediária.

FIGURA 5.29 – Resultados da expansão, obtidos em cilindro miniatura, para as energias de compactação normal e intermediária.

A figura 5.30 mostra as relações entre os valores da contração, obtidas em cilindro miniatura, para as energias de compactação normal e intermediária. Utilizando-se a técnica de regressão, obteve-se uma equação linear com coeficiente de correlação $R^2=0,80$ que permite estimar o valor da contração para uma energia, quando se dispõe do valor para a outra energia de compactação. Quanto à variação da contração em função da energia de compactação, pode-se observar que o valor dessa propriedade tende a ser maior para a energia normal.

FIGURA 5.30 – Resultados da contração, obtidos em cilindro de 50 mm de diâmetro, para as energias de compactação normal e intermediária.

5.3.4. COMPARAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES OBTIDAS EM CILINDRO CONVENCIONAL E EM CILINDRO MINIATURA

Nesse item, mostram-se diversas correlações entre as propriedades (umidade ótima, massa específica seca máxima, CBR, expansão) obtidas a partir da execução dos ensaios de Proctor, CBR e mini-CBR. Os resultados das propriedades para os cilindros convencional e miniatura são apresentados em forma de gráficos e as amostras são codificadas em função da classe pedológica a que pertencem.

A idéia de comparar os resultados dos ensaios obtidos em cilindros de dimensões diferentes e estabelecer correlações foi manifestada na década dos setenta, quando Nogami (1972) estabeleceu correlação entre o mini-CBR e CBR, na energia normal, para 13 solos considerados típicos do Estado de São Paulo. Essas relações são usadas até hoje para o cálculo do valor de mini-CBR e foram estendidas também para o cálculo do valor de mini-CBR na energia intermediária.

Nogami (1972) ressalta que *“pesquisas realizadas no Iowa State University comprovaram a existência de boa correlação entre os resultados obtidos pelo ensaio de compactação realizado com a aparelhagem adotada no mini-CBR com aqueles obtidos pelo ensaio Proctor. Entretanto, essa correlação em seus detalhes é bastante complexa, em face da mesma variar em função do tipo de solo”*. Esse autor realizou a mesma experiência do Iowa State University com 13 solos do Estado de São Paulo e também verificou boa correlação entre os resultados das unidades ótimas e massas específicas secas máximas obtidos nos cilindros convencional e miniatura, observando que para solos arenosos, os resultados das densidades, em cilindro miniatura, são consideravelmente inferiores aos obtidos em cilindro convencional.

Com relação aos resultados da expansão, nos cilindros convencional e miniatura, Nogami (1972) ressalta ainda que *“apesar do empirismo que preside a determinação da expansão, tanto no ensaio CBR como no de mini-CBR, dificilmente pode-se esperar boa correlação entre os valores obtidos pelos mesmos”*. Entretanto, para treze solos ensaiados, esse pesquisador observou boa correlação para valores de expansão superiores a 1 % obtidos nos dois cilindros.

Na década dos noventa, Vilar e Röhm (1994) submeteram 40 amostras de solo ao ensaio de compactação Proctor normal (sem reuso) e ao ensaio de compactação, também na energia normal, em cilindro miniatura do método MCT. Esses autores obtiveram correlações entre as massas específicas secas máximas e entre as unidades ótimas obtidas nos dois tipos de ensaios. Para a massa específica seca máxima, obteve-se correlação que forneceu valores para o Proctor normal 1,7% menores que os obtidos para o cilindro de dimensões reduzidas (para amostras mais arenosas os valores obtidos no Proctor foram maiores que os valores do mini). Os autores observaram ainda, para o universo em estudo, que para prever as unidades ótimas do Proctor normal, a partir do ensaio em cilindro miniatura, é necessário acrescentar estes últimos valores em cerca de 1,7 %, porém verificaram discrepâncias ligeiramente maiores, quando analisaram os dados isoladamente.

5.3.4.1. UMIDADE ÓTIMA

A figura 5.31 mostra as relações entre os valores das umidades ótimas obtidas das realizações dos ensaios de Proctor e de mini-CBR na energia normal. Observando-se essa figura, constata-se, para o universo em estudo, que pode-se estimar as umidades ótimas do Proctor normal a partir do ensaio executado em cilindro miniatura utilizando-se a equação linear mostrada na figura 5.31, uma vez que foi obtida uma correlação significativa para os ensaios ($R^2=0,73$).

Os valores das umidades ótimas obtidas dos ensaios de Proctor e de mini-CBR na energia intermediária são mostrados na figura 5.32. Para prever o valor da umidade ótima para o ensaio de Proctor na energia intermediária a partir da execução do ensaio de mini-CBR na mesma energia, pode-se utilizar a equação de regressão mostrada na figura 5.32.

FIGURA 5.31 – Valores das umidades ótimas obtidos no cilindro miniatura *versus* valores das umidades ótimas obtidos do ensaio de Proctor, para energia de compactação normal.

FIGURA 5.32 – Valores das umidades ótimas obtidos no cilindro miniatura *versus* valores das umidades ótimas obtidos do ensaio de Proctor, para energia de compactação intermediária.

5.3.4.2. MASSA ESPECÍFICA SECA MÁXIMA

As figuras 5.33 e 5.34 apresentam os resultados obtidos das massas específicas secas máximas nos cilindros miniatura e convencional, para as energias de compactação normal e intermediária, respectivamente. Note-se que ambas as figuras apresentam equações de regressão pouco significativas ($R^2 < 0,50$), constatando-se que para o universo das amostras ensaiadas, não é seguro prever o valor dessa propriedade em um sistema de compactação, quando se dispõe do valor obtido em outro sistema.

Analisando-se as figuras 5.33 e 5.34, constata-se que, de um modo geral, as massas específicas secas máximas obtidas a partir do ensaio de Proctor são inferiores às obtidas em cilindro miniatura, para ambas as energias. Para as amostras mais arenosas, os resultados do Proctor são normalmente superiores. Comportamento similar foi identificado por Nogami (1972) e Vilar e Röhm (1994).

FIGURA 5.33 – Massas específicas secas máximas obtidas no cilindro miniatura *versus* massas específicas secas máximas obtidas do ensaio de Proctor, para energia de compactação normal.

FIGURA 5.34 – Massas específicas secas máximas obtidas no cilindro miniatura *versus* massas específicas secas máximas obtidas do ensaio de Proctor, para energia de compactação intermediária.

5.3.4.3. VALORES DE MINI-CBR *VERSUS* CBR

Para o estabelecimento de relações entre os valores de mini-CBR após 24 h de imersão e CBR, foram elaboradas as figuras 5.35 e 5.36, para as duas energias de compactação estudadas, que apresentam os valores de mini-CBR após 24 h de imersão em abscissas e os valores de CBR em ordenadas. Note-se que praticamente não há relação entre essas duas propriedades, nem para a energia de compactação normal, bem como para a intermediária, mesmo quando consideram-se os grupos pedológicos dos solos isoladamente.

FIGURA 5.35 – Mini-CBR após 24 h de imersão *versus* CBR para energia de compactação normal.

FIGURA 5.36 – Mini-CBR após 24 h de imersão *versus* CBR para energia de compactação intermediária.

5.3.4.3.1. TENTATIVA DE DETERMINAÇÃO DO VALOR DE CBR A PARTIR DA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MINI-CBR

Como já foi mencionado anteriormente, Nogami (1972) estabeleceu correlações que permitiram determinar o valor de CBR de um solo, quando se executa o ensaio em cilindro de dimensões reduzidas. Considerando-se os resultados apresentados, no item 5.3.4.3, que mostram que não há boa concordância entre os valores de mini-CBR e CBR, tentou-se adotar o mesmo método originalmente usado por Nogami (1972) para verificar se era possível estabelecer novas correlações para a previsão dos valores de CBR a partir dos ensaios de mini-CBR para os solos da RMF.

Apesar dos ensaios de CBR e mini-CBR terem sido executados nas energias de compactação normal e intermediária, considerou-se, para efeito de análise dos dados somente os resultados da energia normal.

Para a execução do ensaio CBR, em cada amostra, foi moldado um corpo de prova na umidade ótima determinada pelo ensaio de Proctor. O valor de CBR foi determinado para as penetrações de aproximadamente 2,5 mm e 5,0 mm.

Já o ensaio de mini-CBR após 24 h de imersão foi executado para pelo menos quatro teores de umidade, obtendo-se assim uma curva de compactação, onde foi possível determinar-se a umidade ótima do solo ensaiado. A velocidade de penetração foi a mesma aplicada ao ensaio CBR, isto é, 1,25 mm/min. Em cada amostra ensaiada foram efetuadas leituras correspondentes às penetrações de 2,00 mm e 2,5 mm para cada teor de umidade, calculando-se assim, as cargas correspondentes a essas penetrações. Determinou-se para umidade ótima, oriunda do ensaio de Proctor na qual o corpo de prova do ensaio CBR foi moldado, o valor da carga para as penetrações de 2,0 mm e 2,5 mm obtidas do ensaio de mini-CBR após 24 h de imersão. Dessa forma, foram construídas curvas de variação do teor de umidade contra as cargas correspondentes às penetrações de 2,00 mm e 2,5 mm, do ensaio mini-CBR após 24 h de imersão, para cada uma das sessenta amostras ensaiadas.

Com os resultados desse procedimento foram feitas duas correlações: (a) carga do mini-CBR correspondente à penetração de 2,0 mm com CBR calculado para penetração de 2,5 mm e (b) carga do mini-CBR correspondente à penetração de 2,5 mm com CBR calculado para a penetração de 5,0 mm.

A figura 5.37 mostra um exemplo de uma curva (obtida do ensaio mini-CBR após 24 h de imersão) umidade *versus* carga (para as penetrações de 2,0 mm e 2,5 mm) do solo identificado como *Aquir 01*. Nessa figura, tem-se que a umidade ótima desse solo é 17,2 % e que as cargas correspondentes a esse teor de umidade são iguais a 29 kgf e 33 kgf para as penetrações iguais a 2,00 mm e 2,5 mm, respectivamente. Para esse mesmo solo, os valores de CBR obtidos foram 4,6 % para a penetração de 2,5 mm e 4,7 % para a penetração de 5,0 mm.

- ⇒ De posse dos resultados dos sessenta solos ensaiados, foi possível estabelecer correlações entre valores das cargas para penetrações de 2,0 mm e 2,5 mm do ensaio de mini-CBR após 24 h de imersão e o valor de CBR para as penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm, cujos resultados são mostrados nas figuras 5.38 e 5.39, respectivamente.

FIGURA 5.37 – Exemplo das curvas umidades *versus* cargas (para as penetrações de 2,0 e 2,5 mm) obtidas do ensaio de mini-CBR após 24 h de imersão para o solo *Aquir 01*.

FIGURA 5.38 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm.

FIGURA 5.39 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5 mm.

Analisando-se as figuras 5.38 e 5.39, observou-se que os pontos se dispuseram de forma aleatória, não sendo possível o estabelecimento de nenhuma correlação de boa qualidade. Esses resultados representaram uma surpresa, pois esperava-se obter correlações que permitissem estimar o valor de CBR dos solos da RMF a partir da execução do ensaio em cilindro miniatura. A priori, a expectativa era encontrar equações diferentes das obtidas por Nogami (1972), porém significativas, visto que os solos envolvidos são pertencentes a outro universo amostral.

- Procurou-se investigar, então, se alguma correlação poderia ser encontrada a partir da separação das amostras por classes pedológica, MCT e HRB. Foram, então elaboradas as figuras de 5.40 a 5.45. As figuras 5.40, 5.42 e 5.44 mostram as cargas obtidas para a penetração de 2 mm do ensaio mini-CBR e os valores de CBR para a penetração de 2,5 mm em função das classes pedológica, MCT e HRB, respectivamente. As figuras 5.41, 5.43 e 5.45 mostram as cargas obtidas para a penetração de 2,5 mm do ensaio mini-CBR e os valores de CBR para a penetração de 5 mm, em função das classes pedológica, MCT e HRB, respectivamente. Analisando-se essas figuras, observou-se também que nenhuma correlação mais

significativa pode ser determinada, mesmo considerando-se separadamente as classes dos solos.

FIGURA 5.40 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm em função da classe pedológica.

FIGURA 5.41 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm em função da classe pedológica.

FIGURA 5.42 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm em função da classe MCT.

FIGURA 5.43 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm em função da classe MCT.

FIGURA 5.44 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,0 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm em função da classe HRB.

FIGURA 5.45 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm em função da classe HRB.

Para ilustrar melhor as conclusões referentes às figuras de 5.40 a 5.45, foram elaboradas as tabelas 5.1 e 5.2. A tabela 5.1 mostra equações de regressão obtidas para as curvas da carga para a penetração de 2,0 mm do mini-CBR *versus* penetração de 2,5 mm do CBR, para energia normal, em função das classes MCT, pedológica e HRB. A tabela 5.2 apresenta as equações de regressão obtidas para as curvas da carga para a penetração de 2,5 mm do mini-CBR *versus* penetração de 5,0 mm do CBR, para energia normal, em função das classes MCT, pedológica e HRB. Observando-se esses resultados, comprova-se que, de um modo geral, não há correlações significativas. As classes que ainda mostram alguma correlação são: (a) os solos classificados como A-7-6 na HRB, que apresentaram coeficientes de correlação $R^2=0,69$ e $R^2=0,59$ para as penetrações de 2 mm e 2,5 mm do mini-CBR, respectivamente e (b) os solos classificados como NG' na MCT, cujos coeficientes de correlação foram $R^2=0,66$ e $R^2=0,58$, para as penetrações de 2 mm e 2,5 mm do mini-CBR, respectivamente.

Como praticamente nenhuma correlação foi estabelecida entre os valores das penetrações do mini-CBR e o valor de CBR, para umidade ótima determinada no ensaio de Proctor, tentou-se ainda verificar a possibilidade de correlação existente, adotando-se a umidade ótima proveniente do ensaio de mini-CBR, ou seja, valores de cargas do ensaio de mini-CBR, extraídos para o teor ótimo do próprio ensaio de mini-CBR, *versus* os valores de CBR, para as penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm. As figuras 5.46 e 5.47 apresentam os resultados das relações estabelecidas para as penetrações de 2,0 mm e 2,5 mm do ensaio de mini-CBR, respectivamente. Analisando-se essas figuras verifica-se que nenhuma conclusão adicional pôde ser considerada. Conclui-se então que, para os solos estudados da RMF, parece não haver possibilidade de se estimar o valor de CBR a partir da execução do ensaio de mini-CBR.

TABELA 5.1 – Equações de regressão, obtidas para os valores de CBR em função das cargas para penetração de 2,0 mm do mini-CBR, para energia normal, em função das classes MCT, pedológica e HRB.

Classe MCT	Equação de Regressão	Classe Pedológica	Equação de Regressão	Classe HRB	Equação de Regressão
LA	$Y = -0,40.X + 22,97$ ($R^2 = 0,48$)	Areia	$Y = 0,06.X + 11,53$ ($R^2 = 0,03$)	A-2-4	$Y = 0,16.X + 6,05$ ($R^2 = 0,17$)
LA'/NA'	-	Bruno	$Y = 0,20.X + 2,26$ ($R^2 = 0,44$)	A-2-6	$Y = 0,19.X + 0,65$ ($R^2 = 0,23$)
LG'	$Y = 0,07.X + 4,32$ ($R^2 = 0,08$)	Halomórfico	-	A-3	-
LG'/NG'	$Y = 0,14.X + 1,20$ ($R^2 = 0,29$)	Litólico	-	A-4	$Y = 0,28.X + 1,17$ ($R^2 = 0,49$)
NA	-	Planosolo	$Y = 0,21.X + 0,02$ ($R^2 = 0,45$)	A-6	$Y = 0,10.X + 2,50$ ($R^2 = 0,25$)
NA/LA	-	Podzólico	$Y = 0,17.X + 2$ ($R^2 = 0,28$)	A-7-6	$Y = 0,31.X - 0,20$ ($R^2 = 0,69$)
NA'/LA'	-				
NG'	$Y = 0,32.X - 0,09$ ($R^2 = 0,66$)				
NG'/LG'	$Y = 0,29.X - 0,31$ ($R^2 = 0,50$)				
NS'	-				

TABELA 5.2 – Equações de regressão, obtidas para os valores de CBR em função das cargas para penetração de 2,5 mm do mini-CBR, para energia normal, em função das classes MCT, pedológica e HRB.

Classe MCT	Equação de Regressão	Classe Pedológica	Equação de Regressão	Classe HRB	Equação de Regressão
LA	$Y = -0,37.X + 24,03$ ($R^2 = 0,50$)	Areia	$Y = 0,18.X + 8,97$ ($R^2 = 0,21$)	A-2-4	$Y = 0,23.X + 4,72$ ($R^2 = 0,32$)
LA'/NA'	-	Bruno	$Y = 0,19.X + 2,55$ ($R^2 = 0,41$)	A-2-6	$Y = 0,19.X + 1,03$ ($R^2 = 0,24$)
LG'	$Y = 0,11.X + 3,92$ ($R^2 = 0,11$)	Halomórfico	-	A-3	-
LG'/NG'	$Y = 0,16.X + 0,36$ ($R^2 = 0,46$)	Litólico	-	A-4	$Y = 0,17.X + 3,48$ ($R^2 = 0,28$)
NA	-	Planosolo	$Y = 0,17.X + 1,13$ ($R^2 = 0,49$)	A-6	$Y = 0,13.X + 1,83$ ($R^2 = 0,32$)
NA/LA	-	Podzólico	$Y = 0,17.X + 1,60$ ($R^2 = 0,31$)	A-7-6	$Y = 0,22.X + 1,13$ ($R^2 = 0,59$)
NA'/LA'	-				
NG'	$Y = 0,24.X + 0,90$ ($R^2 = 0,58$)				
NG'/LG'	$Y = 0,26.X - 0,25$ ($R^2 = 0,46$)				
NS'	-

FIGURA 5.46 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 2,5 mm, considerando-se a umidade ótima determinada no ensaio de mini-CBR.

FIGURA 5.47 – Carga do mini-CBR para a penetração de 2,5 mm *versus* valor de CBR para a penetração de 5,0 mm, considerando-se a umidade ótima determinada no ensaio de mini-CBR.

5.3.4.4. EXPANSÃO

As figuras 5.48 e 5.49 apresentam os valores das expansões obtidas nos ensaios de mini-CBR *versus* os obtidos nos ensaios de CBR, nos teores ótimos de umidade, para as energias normal e intermediária, respectivamente. Note-se que praticamente não há relação entre as expansões, quando se considera a realização do ensaio em cilindros de dimensões diferentes.

FIGURA 5.48 – Valores da expansão obtidos em cilindro miniatura *versus* os obtidos no cilindro convencional, para a energia de compactação normal.

FIGURA 5.49 – Valores da expansão obtidos em cilindro miniatura *versus* os obtidos no cilindro convencional, para a energia de compactação intermediária.

5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

Como já foi visto nos capítulos anteriores, as classificações HRB e USCS são usadas no meio técnico para se fazer previsão do comportamento dos materiais no campo. Elas são chamadas de classificações tradicionais por se basearem em critérios granulométricos e de plasticidade, que não têm se mostrados adequados para caracterizar o comportamento dos solos ditos lateríticos. Já a classificação MCT consegue identificar o real comportamento laterítico dos materiais, quando compactados, porém possui limitações quanto a praticidade e extensão a outros tipos de solos que não sejam os finos. O método de adsorção de azul de metileno procura inferir o comportamento laterítico ou não do solo, a partir da determinação do coeficiente de atividade e tem se mostrado promissor para essa finalidade.

5.4.1. CLASSIFICAÇÕES HRB, USCS E MCT

A figura 5.50 mostra para cada uma das classes pedológicas ocorrentes da RMF, a distribuição dos solos ensaiados de acordo com a classificação unificada. Conforme essa figura, constata-se que a distribuição dos solos na classificação USCS não é homogênea. No total, têm-se 1 amostra pertencente ao grupo SP-SW (pedregulho de graduação pobre com silte), 15 pertencentes ao grupo SM (areia siltosa), 23 enquadradas no grupo SC (areia argilosa), 2 localizadas no grupo SM-SC (areia siltosa-argilosa), 4 classificadas como SC-SM (areia argilosa-siltosa), 15 pertencentes ao grupo CL (argila pouco plástica) e 1 ao grupo ML (silte).

FIGURA 5.50 – Distribuição das amostras segundo a classificação USCS.

No Estado do Ceará, a classificação HRB tem sido usada mais comumente para inferir o comportamento dos solos para aplicação na construção de rodovias. Por essa razão, resolveu-se realizar uma análise mais detalhada dos resultados fornecidos por essa classificação e assim, fazer comparações com o método MCT. Para tanto, foi elaborada a figura 5.51 que mostra a distribuição das amostras segundo a classificação HRB. Analisando-se essa figura, constata-se que a amostragem, quanto

à classificação HRB, também não é homogênea, existindo classes com número superior ao das demais. No total, têm-se 17 amostras pertencentes ao sub-grupo A-2-4, 5 ao sub-grupo A-2-6, 1 ao grupo A-3, 7 ao grupo A-4, 23 ao grupo A-6 e 7 ao sub-grupo A-7-6.

FIGURA 5.51 – Distribuição das amostras segundo a classificação HRB.

De posse dos resultados dos ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, mini-MCV e perda de massa por imersão, as amostras foram classificadas pelas classificações HRB, USCS e MCT. Os resultados dessas classificações são mostrados na tabela 5.3. Nessa tabela, estão apresentados também, os valores de expansão e resistência CBR para energia intermediária e os valores de LL e IP, além de resultados da aplicação da norma DERT/CE (1994), visando a aplicação dos solos à pavimentação.

Conforme já mencionado anteriormente, para que o solo seja usado em pavimentação no Estado do Ceará, o DERT/CE (1994) limita o CBR (para energia de compactação intermediária) no mínimo igual a 20% para sub-base e 60% para base; expansão no máximo de 1% para sub-base e 0,5% para base; índice de grupo igual a zero; limite de liquidez no máximo 25% e índice de plasticidade no máximo 6%.

TABELA 5.3 – Resultados das Classificações HRB, USCS e MCT; dos valores da expansão e CBR (energia intermediária); dos valores de LL e IP e da aplicação da norma DERT/CE (1994) para todas as amostras estudadas.

NOME	HRB	USCS	MCT	CBR-I(%)	EXP-I(%)	LL(%)	IP (%)	Pedologia	Utilização DERT/CE (1994)
COFECO	A-2-4	SM	LA	32	0,00	NL	NP	Areia	Sub-base
Mangabeira	A-2-4	SM-SC	NA'/LA'	21	0,00	27,8	5,1	Areia	Terraplenagem
Prainha	A-3	SP-SW	LA	23	0,00	NL	NP	Areia	Sub-base
Pirapora	A-2-4	SM	NA/LA	35	0,00	NL	NP	Areia	Sub-base
Pastor	A-2-4	SM	LA	26	0,00	NL	NP	Areia	Sub-base
Danilo	A-2-4	SM	NA/LA	42	0,00	NL	NP	Areia	Sub-base
Cauc 05	A-2-4	SC-SM	NA'/LA'	12	0,00	26	7	Areia	Terraplenagem
Cauc 06	A-2-4	SC-SM	LA	25	0,00	26	6	Areia	Terraplenagem
Cauc 10	A-2-4	SM	LA'/NA'	33	0,16	28	4	Areia	Terraplenagem
Cauc0 2	A-2-4	SM	LA	27	0,07	NL	NP	Areia	Sub-base
Eus 01	A-2-4	SC-SM	LA	25	0,00	24	5	Areia	Sub-base
Cauc 09	A-4	SM	NG'	12	0,70	34	10	Bruno	Terraplenagem
Itait 01	A-2-6	SC	NG'	6	0,46	36	14	Bruno	Terraplenagem
Maran 09	A-6	CL	NG'	4	0,18	42	16	Bruno	Terraplenagem
Maran 10	A-7-6	SM	NG'	8	0,35	42	16	Bruno	Terraplenagem
Maran 11	A-6	SC	NG'	6	0,07	40	16	Bruno	Terraplenagem
Eus 06	A-4	ML	NA	19	0,19	NL	NP	Halomórfico	Terraplenagem
Cauc 13	A-7-6	CL	NG'	9	0,96	46	20	Litólico	Terraplenagem
Maran 01	A-6	SC	NG'	6	0,23	36	12	Litólico	Terraplenagem
Cauc 11	A-6	CL	NG'	2	1,71	38	14	Planosolo	Terraplenagem
Cauc 15	A-2-4	SM	NG'	12	0,09	34	10	Planosolo	Terraplenagem
Guaiú04	A-2-6	SC	NG'	2	0,28	32	12	Planosolo	Terraplenagem

TABELA 5.3 – Resultados das Classificações HRB, USCS e MCT; dos valores da expansão e CBR (energia intermediária); dos valores de LL e IP e da aplicação da norma DERT/CE (1994) para todas as amostras estudadas (*continuação*).

NOME	HRB	USCS	MCT	CBR-I(%)	EXP-I(%)	LL(%)	IP (%)	Pedologia	Utilização DERT/CE (1994)
Guaiú05	A-6	SM	NG'	2	1,36	40	14	Planosolo	Terraplenagem
Maran 03	A-2-4	SC	LG'	9	0,37	32	10	Planosolo	Terraplenagem
Maran 05	A-4	SC-SM	NG'	9	0,07	24	4	Planosolo	Terraplenagem
Maran 07	A-4	SC	NG'	7	0,30	32	10	Planosolo	Terraplenagem
Maran 08	A-6	SC	NS'	2	0,65	36	14	Planosolo	Terraplenagem
Pacat03	A-6	SC	NG'	4	0,57	36	14	Planosolo	Terraplenagem
Zé Novo	A-6	SC	NG'/LG'	18	0,04	28,8	11	Podzólico	Terraplenagem
Aquir 01	A-4	SM	LG'	7	0,17	34	10	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 01	A-2-4	SM-SC	LG'	10	0,11	28	6	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 03	A-6	CL	NG'/LG'	6	0,30	38	14	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 04	A-6	SM	NG'	5	0,10	37	12	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 07	A-2-6	SC	NG'	3	0,33	38	15	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 08	A-7-6	CL	LG'/NG'	15	0,12	42	16	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 12	A-4	SM	NG'	21	0,10	32	8	Podzólico	Terraplenagem
Cauc 14	A-2-4	SC	NG'	10	0,13	32	10	Podzólico	Terraplenagem
Eus 02	A-6	SC	LG'	8	0,08	38	15	Podzólico	Terraplenagem
Eus 04	A-2-6	SC	LG'	4	0,04	36	12	Podzólico	Terraplenagem
Eus 03	A-2-4	SC	LG'	18	0,06	28	7	Podzólico	Terraplenagem
Eus 05	A-6	SC	NG'	14	0,08	40	14	Podzólico	Terraplenagem
Eus 07	A-6	SC	LG'/NG'	8	0,05	36	12	Podzólico	Terraplenagem
Fort 01	A-6	CL	LG'	11	0,11	38	14	Podzólico	Terraplenagem
Fort 02	A-6	CL	NG'/LG'	6	0,10	36	12	Podzólico	Terraplenagem
Fort 04	A-4	SM	NG'/LG'	3	0,24	36	10	Podzólico	Terraplenagem

TABELA 5.3 – Resultados das Classificações HRB, USCS e MCT; dos valores da expansão e CBR (energia intermediária); dos valores de LL e IP e da aplicação da norma DERT/CE (1994) para todas as amostras estudadas (*continuação*).

NOME	HRB	USCS	MCT	CBR-I(%)	EXP-I(%)	LL(%)	IP (%)	Pedologia	Utilização DERT/CE (1994)
Fort 05	A-7-6	CL	NG'	4	2,70	42	16	Podzólico	Terraplenagem
Fort 06	A-6	CL	LG'/NG'	9	0,09	40	15	Podzólico	Terraplenagem
Fort 03	A-6	SC	LG'/NG'	6	0,09	36	14	Podzólico	Terraplenagem
Guaiú01	A-6	SC	LG'/NG'	3	0,09	36	14	Podzólico	Terraplenagem
Guaiú03	A-7-6	CL	NG'	3	0,32	42	20	Podzólico	Terraplenagem
Guaiú06	A-7-6	CL	NG'	11	0,09	42	16	Podzólico	Terraplenagem
Itait 02	A-2-6	SC	LG'	20	0,09	34	12	Podzólico	Terraplenagem
Maran 02	A-6	SC	NG'	5	0,12	38	14	Podzólico	Terraplenagem
Maran 04	A-6	CL	NG'	9	0,07	38	14	Podzólico	Terraplenagem
Maran 06	A-6	SC	NG'/LG'	4	0,25	40	16	Podzólico	Terraplenagem
Mess 01	A-6	SC	LG'/NG'	4	0,19	36	14	Podzólico	Terraplenagem
Mess 03	A-2-4	SC	LG'	6	0,00	32	10	Podzólico	Terraplenagem
Pacat 01	A-2-4	SM	LG'	9	0,13	34	10	Podzólico	Terraplenagem
Pacat 02	A-6	CL	NG'	6	0,50	38	14	Podzólico	Terraplenagem
Guaiú 02	A-7-6	CL	NG'	1	1,20	42	18	Vertisolo	Terraplenagem

O método de classificação HRB apresenta informações qualitativas sobre o comportamento do material como subleito. Ele apresenta apenas duas categorias de qualificação de solos como subleito, atribuindo às classes A-1-a, A-1-b, A-3 A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7 comportamento de excelente a bom, e às classes A-4, A-5, A-6, A-7-5 e A-7-6 comportamento de fraco a pobre. O critério adotado para atribuição de adjetivos às classes de solos fundamenta-se em informações sobre a granulometria e nos valores de limites de liquidez e de plasticidade dos solos, de modo que um solo será tanto melhor quanto mais à esquerda estiverem classificados na tabela de classificação HRB.

Segundo a previsão como subleito da classificação HRB (ver tabela 5.3), as areias quartzosas teriam comportamento de excelente a bom. Essa previsão está condizente com os resultados de CBR, expansão, LL e IP das sete amostras ensaiadas, pois elas podem ser utilizadas para compor a camada de sub-base de um pavimento, conforme preconiza as especificações do DERT/CE (1994).

Para as classes pedológicas dos brunos não cálcicos, halomórficos, litólicos e vertisolos, a classificação HRB prevê que as amostras ensaiadas apresentem comportamento regular a mau como subleito, exceção às amostras identificadas como *Itait 01*, *Cauc 15*, *Guaiú 04* e *Maran 03*, que possuem uma previsão de comportamento de excelente a bom. As especificações do DERT/CE (1994) recomendam que todas as amostras sejam, no máximo, utilizadas para terraplenagem, o que é bastante razoável tendo em vista que os solos pertencentes a essas classes pedológicas apresentam argila de atividade alta (medida pela CTC), possuem argilo-minerais deletéricos e apresentam valores de CBR baixos. A única amostra que potencialmente poderia ser aplicada em camada de sub-base seria a denominada de *Eus 06*, uma vez que atende aos requisitos de LL, IP, expansão e o seu valor de CBR (19 %) é muito próximo do recomendado pelo DERT/CE (1994).

Todos os solos classificados como podzólicos deveriam ser usados somente para terraplenagem, conforme preconiza as normas do DERT/CE (1994). A classificação HRB prevê comportamento que varia desde excelente a bom até regular a mau, porém a maioria dos solos apresentam valores de suporte baixos.

A partir das comparações entre os resultados obtidos, da previsão de comportamento dos solos pela classificação HRB e da norma do DERT/CE (1994), pode-se afirmar para as amostras de solos ensaiadas que:

- a) quatro dos solos pertencentes à classe das areias quartzosas são indicados somente para terraplenagem por possuírem limitações quanto aos critérios de LL e IP. Sugere-se um estudo para a ampliação da faixa dos valores máximos admissíveis para LL e IP, tendo em vista a possibilidade desses ensaios não serem reprodutíveis e/ou repetíveis para alguns dos solos do Estado do Ceará. Observe-se também que a amostra identificada como *cauc 05* possui CBR igual a 12 %, o que limita a sua utilização para camadas mais nobres do pavimento;
- b) os solos classificados pedologicamente como brunos não cálcicos, halomórficos, litólicos e vertisolos possuem, em geral, CBR(s) baixos. Sugere-se que os solos enquadrados nessas classes sejam usados, no máximo, para comporem a camada de terraplenagem de um pavimento. Acredita-se que as propriedades desses solos podem ser melhoradas a partir do estudo de misturas estabilizadas granulometricamente;
- c) somente quatro solos podzólicos poderiam ser usados para compor a camada de sub-base (são os solos identificados por *Zé Novo*, *Cauc 12*, *Eus 03* e *Itait 02* que têm CBR(s) ≥ 18 %), caso fossem reformuladas as exigências das normas no que diz respeito a ampliação dos valores de LL, IP e CBR. Sugere-se que os solos pertencentes a essas classes devam ser investigados com mais cautela, tendo em vista a possibilidade de alguns deles poderem ser usados em camadas mais nobres do pavimento.

5.4.2. MÉTODOS MCT E AZUL DE METILENO

De posse dos resultados dos ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão as amostras foram classificadas pelo método MCT. Elaborou-se a figura 5.52 que mostra a localização de todos os solos no ábaco da classificação MCT.

Para se investigar melhor os resultados das classificações de solos através de métodos alternativos, resolveu-se classificar também as amostras no ábaco MCT-M,

proposto por Vertamatti (1988). A figura 5.53 mostra a localização das amostras nesse ábaco.

Observa-se que, nos ábacos MCT e MCT-M, os solos classificados pedologicamente como halomórficos, litólicos, planosolos (exceção do solo identificado como *Maran 03*) e vertisolos são classificados como de comportamento não laterítico. Essa previsão está de acordo com a natureza mineralógica desses materiais, tendo em vista que apresentam como principal argilo-mineral a montmorilonita.

FIGURA 5.52 - Localização das amostras na carta de classificação MCT.

FIGURA 5.53- Localização das amostras no ábaco de classificação de solos MCT-M proposto por Vertamatti (1988).

Conforme as classificações MCT e MCT-M, a maioria das amostras pertencentes à classe pedológica das areias quartzosas apresentam comportamento laterítico. Já a maioria dos solos identificados como podzólicos, localizaram-se na zona intermediária entre comportamento laterítico e não laterítico no ábaco MCT. Para o ábaco MCT-M, a maioria dos solos podzólicos ocupa uma faixa intermediária entre a classe dos solos lateríticos e não lateríticos, chamada de zona transicional por Vertamatti (1988).

A classificação MCT tem se mostrado um método eficiente para identificar o comportamento laterítico dos solos. Ela foi elaborada baseada principalmente no comportamento dos solos que ocorrem no Estado de São Paulo, quando compactados, acredita-se que a extensão do uso desse método a outras regiões do Brasil, onde predominam solos que apresentam características peculiares, deve ser precedida de algumas adaptações.

Acredita-se que os solos classificados pedologicamente como areias quartzosas têm potencial de uso para integrar as camadas mais nobres dos pavimentos, tendo em vista os resultados das propriedades mecânicas e hidráulicas, mostradas na tabela 5.3. Essas evidências são reforçadas, considerando-se a natureza mais evoluída desses solos. São solos que apresentam normalmente argila de atividade baixa, além de possuírem caulinita como principal argilo-mineral. Para corroborar essa suspeita, realizou-se o ensaio de adsorção de azul de metileno para que as amostras fossem enquadradas no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994). Elaborou-se então a figura 5.54 que mostra a localização das amostras nesse ábaco. Analisando-se a figura 5.54, constata-se que a maioria das areias quartzosas e solos podzólicos são pouco ativos ($CA < 11$). Observe-se também que há uma certa coerência entre os resultados fornecidos pelo ensaio de azul e pela proposta de modificação da classificação MCT realizada por Vertamatti (1988), pois a maioria dos solos identificados como pouco ativos pertencem às classes dos lateríticos ou dos solos transicionais.

FIGURA 5.54 – Localização dos solos no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994).

Para permitir uma melhor visualização dos resultados do ensaio de adsorção de azul de metileno e dos coeficientes (c' , e' , d' e Pi) da classificação MCT, foi elaborada a tabela 5.4. Nessa tabela, os solos que se encontram próximos à linha intermediária, que separa os solos de comportamento laterítico dos não lateríticos, são identificados com símbolos dobrados. Para os solos que apresentam $c' \leq 0,7$ e $1,3 \leq e' \leq 1,4$ as amostras são designadas por LA/NA e para $1,4 < e' \leq 1,50$ as amostras são designadas por NA/LA. Para os solos que apresentam $c' \geq 1,5$ e $1,1 \leq e' \leq 1,15$ as amostras são designadas por LG'/NG' e para $1,15 < e' \leq 1,20$ as amostras são designadas por NG'/LG'. Para os solos que apresentam $0,7 < c' < 1,5$ e $1,1 \leq e' \leq 1,15$ as amostras são designadas por LA'/NA' e para $1,15 < e' \leq 1,20$ as amostras são designadas por NA'/LA'. A tabela 5.4 mostra também os resultados da classificação para o método MCT-M proposto por Vertamatti (1988).

Analisando-se a tabela 5.4, observa-se que para o universo das 60 amostras estudadas, há uma concordância de aproximadamente 62 % entre a previsão de comportamento fornecida pelo método de adsorção de azul de metileno e o método MCT-M. Essa previsão de comportamento foi considerada concordante em dois casos: (I) quando os solos que apresentaram-se pouco ativos foram enquadrados nas classes dos lateríticos ou transicionais no ábaco MCT-M e (II) quando os solos que apresentaram-se ativos e muito ativos foram enquadrados nas classes dos não lateríticos no ábaco MCT-M. Essa mesma análise não foi feita para a classificação MCT, tendo em vista que muitas das amostras estão localizadas nas zonas de indefinição quanto à previsão de comportamento. No entanto, para solos onde se espera um mau comportamento (classe dos halomórficos, litólicos, brunos não cálcicos, planossolos e vertissolos) a concordância entre o método de azul atinge um percentual de acerto de aproximadamente 89 % tanto para o método MCT como para o MCT-M.

TABELA 5.4 – Parâmetros c' , e' , d' e Pi da classificação MCT, classes MCT e pedológica, e graus de atividade das amostras.

NOME	MCT	c'	e'	d'	Pi	MCT-M	CA	Atividade	Pedologia
COFECO	LA	0,43	1,26	51,0	161	LA	5,1	Pouco Ativo	Areia
Mangabeira	NA/LA'	1,15	1,18	125,1	149	TA'	7,2	Pouco Ativo	Areia
Prainha	LA	0,46	1,25	110,3	178	LA	5,1	Pouco Ativo	Areia
Pirapora	NA/LA	0,20	1,44	37,3	248	NA	4,8	Pouco Ativo	Areia
Pastor	LA	0,54	1,19	90,1	147	LA	3,3	Pouco Ativo	Areia
Danilo	NA/LA	0,41	1,41	63,0	251	NA	9,7	Pouco Ativo	Areia
Cauc 05	NA/LA'	0,80	1,16	76,9	130	TA'	20,1	Ativo	Areia
Cauc 06	LA	0,60	1,15	73,8	125	LA	22,1	Ativo	Areia
Cauc 10	LA/NA'	1,30	1,11	77,0	110	TA'G'	18,1	Ativo	Areia
Cauc 0 2	LA	0,40	1,16	400,0	150	LA	22,9	Ativo	Areia
Eus 01	LA	0,50	1,20	33,3	113	LA	9,7	Pouco Ativo	Areia
Cauc 09	NG'	1,70	1,45	60,6	271	NS'G'	13,8	Ativo	Bruno
Itait 01	NG'	2,00	1,45	59,9	270	NG'	16,6	Ativo	Bruno
Maran 09	NG'	2,20	1,43	59,9	258	NG'	13,4	Ativo	Bruno
Maran 10	NG'	2,70	1,21	86,6	153	NG'	11,6	Ativo	Bruno
Maran 11	NG'	2,00	1,26	145,5	185	NG'	13,7	Ativo	Bruno
Eus 06	NA	0,50	1,51	30,9	280	NA	15,7	Ativo	Halomórfico
Cauc 13	NG'	2,20	1,45	52,6	270	NG'	20,9	Ativo	Litólico
Maran 01	NG'	2,40	1,43	58,1	260	NG'	15,4	Ativo	Litólico
Cauc 11	NG'	2,60	1,28	95,5	190	NG'	15,5	Ativo	Planosolo
Cauc 15	NG'	1,60	1,33	44,1	190	NS'G'	10,8	Pouco Ativo	Planosolo
Guaiú 04	NG'	2,08	1,38	68,5	235	NG'	19,0	Ativo	Planosolo
Guaiú 05	NG'	2,30	1,37	73,9	232	NG'	23,9	Ativo	Planosolo
Maran 03	LG'	1,70	0,84	44,1	13	LA'G'	104,9	Muito Ativo	Planosolo
Maran 05	NG'	1,70	1,37	64,2	225	NS'G'	39,2	Ativo	Planosolo
Maran 07	NG'	1,80	1,40	56,0	240	NS'G'	26,4	Ativo	Planosolo
Maran 08	NS'	1,40	1,47	35,9	260	NS'G'	15,4	Ativo	Planosolo
Pacat03	NG'	2,20	1,38	63,8	230	NG'	21,0	Ativo	Planosolo
Zé Novo	NG/LG'	1,75	1,17	184,8	149	NS'G'	9,0	Pouco Ativo	Podzólico
Aquir 01	LG'	2,00	0,96	116,7	70	TG'	9,3	Pouco Ativo	Podzólico
Cauc 01	LG'	1,70	1,08	314,6	120	TA'G'	19,9	Ativo	Podzólico
Cauc 03	NG/LG'	2,30	1,18	65,1	135	NG'	9,4	Pouco Ativo	Podzólico
Cauc 04	NG'	1,80	1,31	161,8	210	NS'G'	7,2	Pouco Ativo	Podzólico
Cauc 07	NG'	2,00	1,21	73,7	150	NG'	10,2	Pouco Ativo	Podzólico
Cauc 08	LG/NG'	1,80	1,13	86,0	120	TA'G'	7,2	Pouco Ativo	Podzólico
Cauc 12	NG'	1,88	1,27	97,8	185	NG'	9,0	Pouco Ativo	Podzólico
Cauc 14	NG'	2,00	1,41	89,4	255	NG'	10,1	Pouco Ativo	Podzólico
Eus 02	LG'	2,20	0,78	196,9	38	LG'	11,4	Ativo	Podzólico
Eus 04	LG'	1,80	1,02	136,5	90	TA'G'	7,6	Pouco Ativo	Podzólico
Eus 03	LG'	1,60	1,05	87,0	92	TA'G'	7,5	Pouco Ativo	Podzólico
Eus 05	NG'	2,00	1,26	74,7	175	TG'	10,9	Pouco Ativo	Podzólico
Eus 07	LG/NG'	2,00	1,15	517,0	150	TG'	5,0	Pouco Ativo	Podzólico
Fort 01	LG'	2,20	1,09	126,1	115	TG'	5,3	Pouco Ativo	Podzólico
Fort 02	NG/LG'	2,10	1,16	86,6	135	TG'	6,7	Pouco Ativo	Podzólico
Fort 04	NG/LG'	1,80	1,16	119,8	140	TA'G'	5,3	Pouco Ativo	Podzólico
Fort 05	NG'	2,20	1,44	43,5	255	NG'	6,8	Pouco Ativo	Podzólico
Fort 06	LG/NG'	2,00	1,11	118,6	120	TG'	6,9	Pouco Ativo	Podzólico
Fort 03	LG/NG'	2,00	1,11	94,3	117	TG'	13,0	Ativo	Podzólico
Guaiú 01	LG/NG'	2,00	1,14	138,5	135	TG'	4,4	Pouco Ativo	Podzólico
Guaiú 03	NG'	2,20	1,27	56,4	170	NG'	9,9	Pouco Ativo	Podzólico
Guaiú 06	NG'	2,20	1,18	69,7	135	TG'	11,2	Ativo	Podzólico
Itait 02	LG'	2,00	1,03	128,8	94	TG'	5,3	Pouco Ativo	Podzólico
Maran 02	NG'	2,20	1,21	118,0	160	TG'	8,2	Pouco Ativo	Podzólico
Maran 04	NG'	2,10	1,25	124,4	180	NG'	10,3	Pouco Ativo	Podzólico
Maran 06	NG/LG'	2,55	1,18	234,8	155	TG'	10,0	Pouco Ativo	Podzólico
Mess 01	LG/NG'	2,10	1,15	127,4	135	TG'	4,6	Pouco Ativo	Podzólico
Mess 03	LG'	1,70	1,08	451,1	120	TA'G'	20,9	Ativo	Podzólico
Pacat 01	LG'	1,70	1,02	118,1	88	TA'G'	19,9	Ativo	Podzólico
Pacat 02	NG'	2,20	1,25	79,0	170	NG'	14,6	Ativo	Podzólico
Guaiú 02	NG'	1,60	1,39	47,6	225	NS'G'	28,7	Ativo	Vertisolo

Para verificar o potencial de uso do solo em função do coeficiente de atividade de cada solo, foi elaborada também a figura 5.55, que mostra a localização das amostras no ábaco proposto por Fabbri (1994) em função das classes HRB. Note-se que as amostras codificadas com um ponto no centro dos símbolos são aquelas que possuem CBR (s) superiores a 18 %. Essa figura foi dividida em três zonas. Acredita-se que a zona I identifica os solos que podem apresentar potencial de uso para sub-base, a zona II representaria uma zona de indefinição de comportamento e a zona III conteria os solos de baixa qualidade que podem ser usados, no máximo, para terraplenagem. Para ilustrar melhor a distribuição das três zonas sugeridas, re-elaborou-se a figura 5.54 incluindo as três zonas sugeridas (ver figura 5.56).

FIGURA 5.55 – Localização das amostras no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994), codificadas em função classe HRB, com inclusão das três zonas de aptidão de uso em pavimentação.

FIGURA 5.56 – Localização das amostras no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994), codificadas em função da classe pedológica, com inclusão das três zonas de aptidão de uso em pavimentação.

5.4.3. COMPARAÇÃO ENTRE A PREVISÃO DE PROPRIEDADES DOS SOLOS OBTIDA DO ÁBACO DA MCT E OS RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO

Neste item, mostra-se a comparação entre a previsão dos valores das propriedades dos solos fornecida pela classificação MCT e os resultados obtidos em laboratório, para a energia de compactação normal para os solos da RMF. Para facilitar a compreensão, foi elaborada a tabela 5.5, que apresenta as classes MCT e os valores para ela previstos para cada uma das propriedades. A tabela 5.5 está baseada nas informações contidas no quadro das propriedades dos solos de cada classe MCT (ver capítulo 3, tabela 3.4). Para os solos pertencentes à zona de transição, que foram anteriormente identificados por símbolos dobrados, foi realizada uma união entre os limites previstos para as propriedades de cada classe MCT.

TABELA 5.5- Previsão das propriedades dos solos para cada classe MCT.

Classe MCT	Expansão (%)	Contração (%)	Mini-CBR-24 h (%)	Mini-CBR-IM (%)
LA	< 0,5	< 0,5	12 a 30	12 a 30
LA'	< 0,5	0 a 3	12 a 30	≥ 12
LG'	< 0,5	> 0,5	12 a 30	12 a 30
NA	< 0,5	< 0,5	4 a 30	4 a 30
NA'	< 0,5	0 a 3	4 a 30	12 a 30
NG'	> 0,5	> 0,5	12 a 30	12 a 30
NS'	> 3	0,5 a 3	0 a 12	4 a 30
LA/NA	< 0,5	< 0,5	4 a 30	4 a 30
LA'/NA'	< 0,5	0 a 3	4 a 30	≥ 12
LG'/NG'	> 0	> 0,5	12 a 30	12 a 30

A tabela 5.6 apresenta um resumo das informações necessárias à verificação da concordância entre os resultados previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório. Nessa tabela, em baixo de cada uma das propriedades obtidas para cada solo, estão escritas as palavras SIM ou NÃO, conforme ocorra concordância ou não entre o valor previsto e aquele resultante da execução dos ensaios.

TABELA 5.6 - Verificação da concordância entre os valores das propriedades previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório.

NOME	MCT	E (%)	C (%)	Mini-CBR-24h (%)	Mini-CBR-IM (%)	Pedologia
COFECO	LA	0,0 SIM	0,0 SIM	11,0 NÃO	14,0 SIM	Areia
Mangabeira	NA/LA'	0,1 SIM	0,4 SIM	25,0 SIM	26,0 SIM	Areia
Prainha	LA	0,0 SIM	0,0 SIM	7,0 NÃO	8,0 NÃO	Areia
Pirapora	NA/LA	0,0 SIM	0,2 SIM	7,0 SIM	13,0 SIM	Areia
Pastor	LA	0,0 SIM	0,2 SIM	12,2 SIM	20,0 SIM	Areia
Danilo	NA/LA	0,0 SIM	0,2 SIM	9,0 SIM	18,0 SIM	Areia
Cauc 05	NA/LA'	0,1 SIM	0,1 SIM	21,0 SIM	31,0 SIM	Areia
Cauc 06	LA	0,0 SIM	0,3 SIM	20,0 SIM	22,0 SIM	Areia
Cauc 10	LA'/NA'	0,0 SIM	0,3 SIM	23,5 SIM	26,4 SIM	Areia

TABELA 5.6 - Verificação da concordância entre os valores das propriedades previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório (continuação).

NOME	MCT	E (%)	C (%)	Mini-CBR -24h (%)	Mini-CBR- IM (%)	Pedologia
Cauc 02	LA	0,0 SIM	0,2 SIM	17,2 SIM	19,8 SIM	Areia
Eus 01	LA	0,0 SIM	0,3 SIM	17,0 SIM	18,0 SIM	Areia
Cauc 09	NG'	0,4 NÃO	0,8 SIM	13,0 SIM	19,0 SIM	Bruno
Itait 01	NG'	0,0 NÃO	1,3 SIM	7,6 NÃO	16,5 SIM	Bruno
Maran 09	NG'	1,5 SIM	1,5 SIM	4,0 NÃO	13,0 SIM	Bruno
Maran 10	NG'	0,6 SIM	1,8 SIM	7,3 NÃO	12,6 SIM	Bruno
Maran 11	NG'	0,0 NÃO	1,2 SIM	7,0 NÃO	17,0 SIM	Bruno
Eus 06	NA	0,0 SIM	0,2 SIM	12,0 SIM	15,0 SIM	Halomórfico
Cauc 13	NG'	0,8 SIM	1,7 SIM	5,9 NÃO	13,8 SIM	Litólico
Maran 01	NG'	1,0 SIM	1,4 SIM	5,1 NÃO	18,0 SIM	Litólico
Cauc 11	NG'	1,0 SIM	2,3 SIM	3,2 NÃO	7,6 NÃO	Planosolo
Cauc 15	NG'	0,1 NÃO	0,8 SIM	9,0 NÃO	11,0 NÃO	Planosolo
Guaiú 04	NG'	0,5 NÃO	0,6 SIM	9,5 NÃO	18,0 SIM	Planosolo
Guaiú 05	NG'	0,4 NÃO	1,5 SIM	2,4 NÃO	14,0 SIM	Planosolo
Maran 03	LG'	0,6 NÃO	0,7 SIM	7,0 NÃO	17,0 SIM	Planosolo
Maran 05	NG'	0,6 SIM	0,5 NÃO	8,8 NÃO	19,4 SIM	Planosolo
Maran 07	NG'	0,5 NÃO	0,8 SIM	13,0 SIM	18,0 SIM	Planosolo
Maran 08	NS'	0,3 NÃO	0,8 SIM	11,0 SIM	15,0 SIM	Planosolo
Pacat03	NG'	1,4 SIM	1,5 SIM	5,5 NÃO	15,0 SIM	Planosolo
Zé Novo	NG'/LG'	0,4 SIM	0,5 NÃO	10,0 NÃO	26,0 SIM	Podzólico
Aquir 01	LG'	0,3 SIM	0,4 NÃO	17,0 SIM	20,0 SIM	Podzólico
Cauc 01	LG'	0,0 SIM	0,4 NÃO	20,0 SIM	22,0 SIM	Podzólico
Cauc 03	NG'/LG'	0,7 SIM	1,7 SIM	11,0 NÃO	18,0 SIM	Podzólico
Cauc 04	NG'	0,1 NÃO	0,7 SIM	15,0 SIM	23,0 SIM	Podzólico

TABELA 5.6 - Verificação da concordância entre os valores das propriedades previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório (continuação).

NOME	MCT	E (%)	C (%)	Mini-CBR -24h (%)	Mini-CBR- IM (%)	Pedologia
Cauc 07	NG'	0,1 NÃO	1,2 SIM	13,2 SIM	14,5 SIM	Podzólico
Cauc 08	LG'/NG'	0,0 SIM	0,8 SIM	20,0 SIM	22,0 SIM	Podzólico
Cauc 12	NG'	0,0 NÃO	0,8 SIM	20,0 SIM	22,0 SIM	Podzólico
Cauc 14	NG'	0,0 NÃO	0,8 SIM	10,0 NÃO	26,0 SIM	Podzólico
Eus 02	LG'	0,2 SIM	0,8 SIM	13,0 SIM	18,0 SIM	Podzólico
Eus 04	LG'	0,2 SIM	0,6 SIM	15,8 SIM	28,5 SIM	Podzólico
Eus 03	LG'	0,1 SIM	0,6 SIM	18,0 SIM	27,0 SIM	Podzólico
Eus 05	NG'	0,4 NÃO	0,8 SIM	14,0 SIM	23,0 SIM	Podzólico
Eus 07	LG'/NG'	0,1 SIM	0,8 SIM	15,0 SIM	26,0 SIM	Podzólico
Fort 01	LG'	0,0 SIM	1,1 SIM	11,5 NÃO	13,6 SIM	Podzólico
Fort 02	NG'/LG'	0,2 SIM	1,2 SIM	13,0 SIM	18,0 SIM	Podzólico
Fort 04	NG'/LG'	0,0 SIM	0,6 SIM	13,0 SIM	20,0 SIM	Podzólico
Fort 05	NG'	0,7 SIM	1,4 SIM	9,0 NÃO	17,0 SIM	Podzólico
Fort 06	LG'/NG'	0,2 SIM	0,8 SIM	27,0 SIM	30,0 SIM	Podzólico
Fort 03	LG'/NG'	0,2 SIM	1,2 SIM	15,0 SIM	20,0 SIM	Podzólico
Guaiú 01	LG'/NG'	0,2 SIM	0,8 SIM	18,0 SIM	26,0 SIM	Podzólico
Guaiú 03	NG'	0,4 NÃO	1,3 SIM	13,0 SIM	24,0 SIM	Podzólico
Guaiú 06	NG'	0,7 SIM	1,7 SIM	11,0 NÃO	21,0 SIM	Podzólico
Itait 02	LG'	0,1 SIM	0,4 NÃO	22,0 SIM	25,0 SIM	Podzólico
Maran 02	NG'	0,3 NÃO	0,9 SIM	16,2 SIM	26,4 SIM	Podzólico
Maran 04	NG'	0,4 NÃO	1,4 SIM	10,7 NÃO	21,6 SIM	Podzólico
Maran 06	NG'/LG'	0,4 SIM	1,4 SIM	8,0 NÃO	18,0 SIM	Podzólico
Mess 01	LG'/NG'	0,1 SIM	0,7 SIM	10,0 NÃO	17,0 SIM	Podzólico

TABELA 5.6 - Verificação da concordância entre os valores das propriedades previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório (continuação).

NOME	MCT	E (%)	C (%)	Mini-CBR -24h (%)	Mini-CBR- IM (%)	Pedologia
Mess 03	LG'	0,0 SIM	0,5 NÃO	6,8 NÃO	23,5 SIM	Podzólico
Pacat 01	LG'	0,1 SIM	0,7 SIM	13,0 SIM	8,0 SIM	Podzólico
Pacat 02	NG'	0,2 NÃO	2,0 SIM	7,5 NÃO	14,0 SIM	Podzólico
Guaiú 02	NG'	0,2 NÃO	1,1 SIM	4,0 NÃO	13,0 SIM	Vertisolo

Analisando-se as tabelas 5.5 e 5.6. Nota-se que:

- para os solos classificados como areias quartzosas há, em geral, uma boa concordância para os valores obtidos em laboratório e os previstos pela classificação MCT. Cumpre observar que dos 11 solos ensaiados, cinco são pertencentes à zona limite entre comportamento laterítico e não laterítico, o que ampliou os limites previstos de algumas propriedades;
- para os solos classificados como brunos não cálcicos, planosolos e vertisolos não há, em geral, boa previsão para os valores da expansão e mini-CBR após 24 h de imersão;
- para o solo classificado como halomórfico, houve concordância entre os resultados de laboratório e os previstos pela classificação MCT;
- para os dois solos classificados pedologicamente como litólicos, não houve concordância para os valores de mini-CBR após 24 h de imersão;
- para os 11 solos podzólicos classificados com símbolos dobrados (NG'/LG' ou LG'/NG'), 7 apresentaram concordância entre os valores previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório e 4 apresentaram pequena discordância para os valores de mini-CBR após 24 h de imersão. Considerou-se essa discrepância insignificante, tendo em vista as imperfeições que podem ser cometidas durante o traçado da curva de

mini-CBR e que os valores de mini-CBR após 24 h de imersão obtidos estão próximos de 12 %.

- f) para os 20 solos podzólicos classificados como LG'e NG', 4 apresentaram concordância entre as previsões dadas pela classificação MCT e os valores obtidos em laboratório e os demais 16 solos apresentaram alguma discordância. Dos 16 solos que apresentaram discordâncias, 12 apresentaram discordância para somente uma propriedade e 4 apresentaram discordância para duas propriedades envolvidas. Observa-se então que 7 solos apresentaram discrepância para os valores previstos de mini-CBR após 24 h de imersão, 9 solos apresentaram discordância para os valores previstos da expansão e 4 solos apresentaram discrepância para os valores previstos da contração. A dispersão para os resultados previstos para a contração foi considerada insignificante, tendo em vista que os valores obtidos em laboratório se aproximaram daqueles previstos pela classificação MCT. Já a discrepância para os resultados previstos para a expansão foi mais significativa pois, em geral, os solos podzólicos ensaiados apresentaram uma expansão baixa.

5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de laboratório apresentados nesse capítulo são frutos de uma longa pesquisa de campo e laboratório voltada para identificação e caracterização dos solos da RMF. A obtenção de informações preliminares sobre esses solos foi de certa forma "garimpada", tendo em vista a pequena existência de pesquisas científicas nessa área no Estado do Ceará.

Reconhece-se que a pesquisa aqui efetuada está longe de ser esgotada, mas acredita-se que o trabalho tenha dado a sua parcela de contribuição no que diz respeito a uma primeira tentativa de se caracterizar os solos da RMF para serem aplicados na construção de rodovias.

As amostras pertencentes à RMF foram caracterizadas por diversos métodos: os convencionais e não convencionais. Acredita-se que a partir dos resultados aqui

apresentados, pôde-se identificar os materiais com potencial de uso na pavimentação. Hoje, é possível reconhecer esses materiais em campo através de uma simples análise visual, bastando para isso enquadrar o solo numa classe pedológica. Essa tarefa não parece ser complicada, pois o número de classes pedológicas que ocorrem na RMF não é muito grande e os tipos de solos possuem características bem peculiares, fáceis de serem reconhecidas, bastando para tanto um treinamento prévio dos técnicos envolvidos em trabalhos de campo.

Algumas tentativas de correlação para simplificação da obtenção de propriedades não lograram êxito, mas a base do saber é construída através do conhecimento científico e da experimentação, seja ela satisfatória ou não.

Uma das curiosidades quando se iniciou a pesquisa era conhecer como os solos da RMF seriam identificados pela utilização da classificação MCT. Atualmente, é possível verificar que essa classificação, caso venha a ser aplicada, dever ser adaptada às condições da RMF, pois a maioria dos solos ensaiados foram posicionados na zona intermediária entre comportamento laterítico e não laterítico.

O método de adsorção de azul de metileno, não convencional, usado para caracterizar as amostras da RMF, parece ser promissor no que diz respeito à identificação de solos com potencial de uso na pavimentação. Entretanto, reconhece-se que as três zonas sugeridas neste trabalho devem ainda ser testadas para outros dados.

No capítulo que se segue, são apresentadas as principais conclusões, recomendações e sugestões para trabalhos futuros oriundas da realização dessa pesquisa.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A execução do trabalho aqui proposto representou um grande desafio de pesquisa, tendo em vista a pouca informação disponível e, a quase inexistência de pesquisas sobre os solos do Estado do Ceará, para aplicação em construção de rodovias.

Estudos envolvendo a análise do potencial de uso dos solos da RMF para a pavimentação são relativamente novos no âmbito da comunidade técnica-científica cearense. Espera-se que o estudo aqui gerado contribua para a avaliação preliminar da disponibilidade de materiais na região e para utilização mais racional dos recursos naturais disponíveis. Espera-se também que essa pesquisa seja seguida de outras em que sejam fomentadas novas soluções que, por sua vez, resultem na execução de pavimentos mais econômicos para o Estado do Ceará.

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões, sugestões e recomendações para estudos futuros obtidas da aplicação do programa experimental aos solos da RMF. Ressalte-se que todas as conclusões obtidas estão vinculadas ao universo em estudo e a partir delas, pôde-se conhecer melhor as potencialidades e as limitações dos materiais que ocorrem na RMF.

6.2. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

6.2.1. QUANTO AOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

- a) os resultados obtidos das massas específicas dos sólidos foram relativamente baixos, com muitos solos apresentando valores inferiores ao do quartzo ($2,650 \text{ g/cm}^3$), o que pode indicar uma pequena incidência de ferro e/ou alumínio na composição química dos solos;

- b) as curvas granulométricas dos solos classificados como areias quartzosas têm granulometria descontínua, assemelhando-se às típicas de solos de comportamento laterítico que ocorrem no Estado de São Paulo;
- c) os solos pertencentes às classes pedológicas dos halomórficos, litólicos, planossolos, podzólicos e vertissolos são bem graduados, em geral, e possuem granulometria aproximadamente contínua;
- d) para os solos da RMF, quanto maiores as quantidades de fração fina, em geral, maiores os valores de LL e IP e menores os valores do equivalente de areia.
- e) a maioria dos solos ensaiados possui valores de LL superiores a 25 % e de IP superiores a 6 %. Essa constatação, à luz das especificações tradicionais, limita o uso desses solos para aplicação em camadas de base e sub-base de um pavimento.

6.2.2. QUANTO ÀS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS OBTIDAS EM CILINDRO CONVENCIONAL

- a) a umidade ótima mostra tendência em crescer linearmente com a porcentagem de fração fina presente no solo. Foram obtidas equações de correlação que permitem estimar o valor da umidade ótima para uma energia de compactação (normal ou intermediária) quando se conhece o valor da umidade ótima para outra energia. Para a grande maioria dos solos estudados, os valores das umidades ótimas para energia de compactação normal são maiores que os valores da energia intermediária. Esses valores, mesmo maiores, são bastante próximos para as energias estudadas, ou seja, os da energia normal são “pouco” maiores que os da energia intermediária;
- b) a massa específica seca máxima para energia de compactação intermediária é maior que a da energia normal. É possível estimar o valor da massa específica seca máxima quando se dispõe do valor da umidade ótima do solo numa dada energia de compactação (normal ou intermediária), utilizando-se as equações de regressão apresentadas. Pode-se utilizar também as equações de regressão apresentadas para prever o valor dessa propriedade quando se conhece o seu valor para a outra energia de compactação (normal ou intermediária);

- c) os valores de CBR, na umidade ótima, para energia de compactação intermediária são maiores ou iguais aos valores de CBR para energia normal. A partir das equações de correlação obtidas do CBR na energia normal *versus* CBR na energia intermediária, é possível se fazer previsão do outro valor de CBR, quando se dispõe do resultado em apenas uma energia de compactação;
- d) há tendência da expansão apresentar valores maiores para a energia de compactação normal. É possível prever, para os solos ensaiados, com bastante precisão, o valor da expansão numa energia, conhecendo-se o seu valor em outra energia.

6.2.3 QUANTO ÀS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS SOLOS OBTIDAS EM CILINDRO MINIATURA

- a) os valores da umidade ótima na energia normal são superiores aos obtidos para energia intermediária para todas as amostras estudadas. É possível estimar a umidade ótima em uma energia, para ensaios em cilindro miniatura, dispondo do seu valor para outra energia. Pode-se também estimar o valor da umidade ótima de um solo quando se conhece a sua porcentagem passada na peneira de nº 200;
- b) o valor da massa específica seca máxima de um solo mostra tendência de decrescer com o aumento do teor ótimo de umidade e ser maior para a energia de compactação intermediária. Para as energias de compactação normal ou intermediária, pode-se prever, exceto para solos que apresentam baixos teores de finos, o valor da massa específica seca máxima em função da respectiva umidade ótima. O valor dessa propriedade pode também ser estimado para uma energia, quando se conhece o valor para outra energia de compactação;
- c) os valores do mini-CBR imediato para energia intermediária foram sempre superiores aos valores para energia normal. Os resultados de laboratório não possibilitaram estabelecer uma correlação significativa para previsão dos valores de mini-CBR imediato nas energias normal ou intermediária;
- d) há uma tendência do mini-CBR após 24 h de imersão ser sempre maior para energia de compactação intermediária. O valor do mini-CBR após 24 h de

imersão, para uma determinada energia, pode ser estimado, quando se conhece o valor para uma outra energia de compactação;

- e) a expansão mostra tendência de ser sempre maior para a energia de compactação intermediária. O valor da expansão, obtido em cilindro miniatura, pode ser previsto para uma energia de compactação, quando se conhece o valor para outra energia de compactação;
- f) a contração mostra tendência de ser maior para a energia normal. Através da equação de regressão obtida para contração, pode-se estimar o seu valor para uma energia, quando se dispõe do resultado para a outra energia de compactação.

6.2.4. QUANTO ÀS COMPARAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES OBTIDAS EM CILINDRO CONVENCIONAL E EM CILINDRO MINIATURA

- a) as umidades ótimas determinadas, a partir da execução do ensaio de Proctor na energia normal e/ou intermediária, podem ser estimadas, quando se realiza o ensaio em cilindro miniatura através das equações de regressão obtidas;
- b) de um modo geral, as massas específicas secas máximas obtidas a partir do ensaio de Proctor são inferiores às obtidas em cilindro miniatura, para ambas as energias, exceto para as amostras mais arenosas. Não é conveniente prever o valor da massa específica seca máxima em um sistema de compactação, quando se dispõe do valor obtido em outro sistema;
- c) não há nenhuma relação entre os valores de CBR e mini-CBR, nem para a energia de compactação normal, bem como para a intermediária;
- d) praticamente não há relação entre as expansões, quando se consideram as realizações dos ensaios em cilindros de dimensões diferentes.

6.2.5. QUANTO À TENTATIVA DE DETERMINAÇÃO DO VALOR DE CBR A PARTIR DA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MINI-CBR

- a) para os solos estudados da RMF, parece não haver possibilidade de se estimar o valor de CBR, a partir da execução do ensaio de mini-CBR, pois não foi possível estabelecer nenhuma correlação entre o CBR e mini-CBR, na umidade ótima determinada no ensaio de Proctor, quando se considerou a carga do mini-CBR correspondente à penetração de 2,0 mm e o CBR calculado para penetração de 2,5 mm ou quando se considerou a carga do mini-CBR correspondente à penetração de 2,5 mm e o CBR calculado para a penetração de 5,0 mm.
- b) investigou-se, ainda, a possibilidade de prever o valor de CBR a partir da execução do ensaio em cilindro miniatura, adotando-se a umidade ótima proveniente do ensaio de mini-CBR, ou seja, valores de cargas do ensaio de mini-CBR extraídos para o teor ótimo do próprio ensaio de mini-CBR *versus* os valores de CBR, para as penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm. Nenhuma correlação pôde, também, ser determinada;
- c) considerando-se separadamente as classes pedológicas, MCT e HRB dos solos, observa-se que, de um modo geral, também, nenhuma correlação mais significativa pode ser determinada. As classes que ainda mostram alguma tendência de correlação são as dos solos classificados como A-7-6 na HRB e as dos solos classificados como NG' na MCT.

6.2.6. QUANTO À ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

6.2.6.1. CLASSIFICAÇÃO HRB

- a) a classificação HRB, prevê para os solos enquadrados na classe pedológica das areias quartzosas, um comportamento de excelente a bom como subleito. Essa previsão está condizente com os resultados de CBR, expansão, LL e IP para sete das amostras ensaiadas, pois elas podem ser utilizadas para compor a camada de sub-base de um pavimento, conforme preconizam as especificações do DERT/CE (1994);

- b) a classificação HRB prevê para as amostras classificadas pedologicamente como bruno não cálcicos, halomórficos, litólicos e vertisolos um comportamento de regular a mau como subleito, excetuando-se as amostras identificadas como *Itait 01*, *Cauc 15*, *Guaiú 04* e *Maran 03*, que possuem uma previsão de comportamento de excelente a bom. Essa previsão também está de acordo com as especificações do DERT/CE (1994) que recomendam que todas as amostras sejam, no máximo, utilizadas para terraplenagem;
- c) a classificação HRB, prevê para os solos classificados pedologicamente como podzólicos, comportamento que varia desde excelente a bom até regular a mau, entretanto a maioria dos solos apresentam valores de suporte baixos. As especificações do DERT/CE (1994) recomendam que esses solos sejam usados somente para terraplenagem;
- d) verifica-se, de um modo geral, que a classificação HRB se mostrou adequada para estimar, preliminarmente, o comportamento dos solos da RMF para uso na construção de estradas.

6.2.6.2. MÉTODOS MCT, MCT-M E AZUL DE METILENO

- a) nos ábacos MCT e MCT-M, os solos classificados pedologicamente como halomórficos, litólicos, planosolos (exceção do solo identificado como *Maran 03*) e vertisolos são classificados como de comportamento não laterítico;
- b) nos ábacos MCT e MCT-M, a maioria das amostras pertencentes à classe pedológica das areias quartzosas apresentam comportamento laterítico;
- c) no ábaco MCT, a maioria dos solos identificados como podzólicos localizam-se na zona intermediária entre comportamento laterítico e não laterítico. Para o ábaco MCT-M, a maioria dos solos podzólicos ocupa uma faixa intermediária chamada de zona transicional por Vertamatti (1988);
- d) conforme a atividade inferida pelo ensaio de adsorção de azul de metileno, a maioria das areias quartzosas e solos podzólicos são pouco ativos ($CA < 11$), havendo uma certa coerência entre os resultados fornecidos pelo ensaio de azul

de metileno e a proposta de modificação da classificação MCT realizada por Vertamatti (1988), pois a maioria dos solos identificados como pouco ativos pertence às classes dos lateríticos ou dos solos transicionais;

- e) para o universo das 60 amostras estudadas, há uma concordância de aproximadamente 62 % entre a previsão de comportamento fornecida pelo método de adsorção de azul de metileno e o método MCT-M. Essa previsão de comportamento foi considerada concordante em dois casos: (I) quando os solos que apresentaram-se pouco ativos foram enquadrados nas classes dos lateríticos ou transicionais no ábaco MCT-M e (II) quando os solos que apresentaram-se ativos e muito ativos foram enquadrados nas classes dos não lateríticos no ábaco MCT-M. Para solos onde se espera um mau comportamento (classe dos halomórficos, litólicos, planosolos e vertisolos) a concordância entre o método de azul de metileno atinge um percentual de acerto de aproximadamente 89 % tanto para o método MCT como para o MCT-M.

6.2.6.3. COMPARAÇÃO ENTRE A PREVISÃO DE PROPRIEDADES DOS SOLOS OBTIDA DO ÁBACO DA MCT E OS RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO

- a) para os solos classificados como areias quartzosas há, em geral, uma boa concordância para os valores obtidos em laboratório e os previstos pela classificação MCT;
- b) para os solos classificados como brunos não cálcicos, planosolos e vertisolos não há, em geral, boa previsão para os valores da expansão e mini-CBR após 24 h de imersão;
- c) para o solo classificado como halomórfico houve concordância entre os resultados de laboratório e os previstos pela classificação MCT;
- d) para os solos classificados pedologicamente como litólicos, não houve concordância para os valores de mini-CBR após 24 h de imersão;

- e) para os 11 solos podzólicos classificados com símbolos dobrados (NG'/LG' ou LG'/NG'), 7 apresentaram concordância entre os valores previstos pela classificação MCT e os obtidos em laboratório e 4 apresentaram pequena discordância para os valores de mini-CBR após 24 h de imersão;
- f) para os 20 solos podzólicos classificados como LG'e NG', 4 apresentaram concordância entre as previsões dadas pela classificação MCT e os valores obtidos em laboratório e os demais 16 solos apresentaram alguma discordância;
- g) a classificação MCT não se mostrou adequada para caracterizar, preliminarmente, os solos da RMF. Esse fato pode ser creditado à ausência de solos de comportamento laterítico nessa região que são notadamente diferentes dos estudados pelos autores do método MCT.

6.3. PROPOSTA DA INCLUSÃO NO ÁBACO DE ATIVIDADE DAS TRÊS ZONAS PARA CARACTERIZAR O POTENCIAL DE USO EM PAVIMENTAÇÃO DOS SOLOS DA RMF

O estudo desenvolvido neste trabalho gerou uma maneira de avaliar, de modo preliminar, as potencialidades dos solos da RMF para aplicação em camadas do pavimento, quando se conhecem o coeficiente de atividade da fração fina e seu valor de azul.

Propõe-se que sejam incluídas no ábaco de atividade proposto por Fabbri (1994), conforme mostra a figura 6.1, três zonas para se caracterizar o comportamento dos solos da RMF: a zona I que identifica os solos que podem apresentar potencial de uso para sub-base, a zona II que representaria uma zona de indefinição de comportamento e a zona III que incluiria os solos de baixa qualidade que podem ser usados, no máximo, para terraplenagem.

FIGURA 6.1 – Proposta da inclusão no ábaco de atividade, apresentado por Fabbri (1994), de três zonas para caracterizar o potencial de uso dos solos da RMF em pavimentação.

6.4. SUGESTÕES

A partir do conhecimento prévio das particularidades dos solos da RMF, sugere-se que:

- somente os solos classificados pedologicamente como areias quartzosas e podzólicos tenham potencial de serem usados em camadas mais nobres dos pavimentos;
- os solos classificados pedologicamente como bruno não cálcicos, halomórficos, lítólicos e vertisolos sejam usados, no máximo, para comporem a camada de terraplenagem de um pavimento. Acredita-se que as propriedades desses solos possam ser melhoradas a partir do uso de misturas estabilizadas granulometricamente ou quimicamente;

- c) os mapas pedológicos devem ser usados para facilitar o reconhecimento de solos com potencial de uso na engenharia rodoviária. Para o caso dos solos da RMF, houve boa correlação entre a classe pedológica do material e algumas propriedades mecânicas e hidráulicas. Acredita-se que a utilização dessa rotina possa reduzir os custos com levantamentos geotécnicos;
- d) um estudo para a ampliação da faixa dos valores máximos admissíveis para LL e IP, tendo em vista a possibilidade de alguns solos estarem sendo sub-utilizados nas estruturas dos pavimentos, se forem adotados todos os critérios recomendados pelas normas técnicas vigentes no Estado.

6.5. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

- a) execução do mapeamento geotécnico dos solos para outras regiões do Estado do Ceará aplicado à construção de rodovias com base em informações pedológicas e geológicas. A etapa de reconhecimento de campo poderia, por exemplo, envolver a coleta de amostras, com posterior execução do ensaio de adsorção de azul de metileno, para enquadramento nas três zonas propostas para identificar o potencial de uso dos solos em pavimentação. Dessa forma poderia ser estudado o traçado geométrico das vias, levando-se em consideração o melhor aproveitamento dos materiais ocorrentes nas suas proximidades;
- b) execução de trabalhos, envolvendo o estudo de misturas estabilizadas granulometricamente ou quimicamente para tentar melhorar as propriedades de alguns solos da RMF. Poderiam ser estudadas misturas de solo-cal, misturas de solo-cimento, misturas de solo-cal-cimento, misturas de solo-brita e misturas de solo-solo;
- c) execução de ensaios de módulo de resiliência para verificação do comportamento das sessenta amostras estudadas conforme esse método;
- d) utilização do ensaio MCV para investigar o comportamento dos solos granulares;

- e) construção de segmentos experimentais, a partir de considerações das reais condições ambientais do local, ocorrência local dos solos, CBR do subleito, tipo de revestimento, das limitações de carga/eixo, tráfego, etc. O comportamento desses trechos deveria ser rotineiramente avaliado, com vistas a resultar em método de dimensionamento empírico ajustado para a realidade de uma dada região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, S. C.; Godoy, H.; Bernucci, L. L. B. (2001) Caracterização dos finos de lateritas do Pará para uso em pavimentação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 33. CD ROM. p. 448-454. Florianópolis, Santa Catarina.
- Barroso, S. H. A. (1996) *Estudo do comportamento de solos artificiais através da adsorção de azul de metileno*. Dissertação Mestrado. 124 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Bernucci, L. L. B. (1995) *Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego*. Tese de Doutorado. 237 p. Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo.
- Bourguet, J. L., Broquet, P., Rousseau, J. (1985) Essai de classification de sols pour les terrassements. *Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*. nº31, p. 25-33.
- Brandão, R. L. (1995) *Sistema de informações para gestão e administração territorial da região metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: mapa geológico da região metropolitana de Fortaleza. Texto Explicativo*. CPRM. 34 p. Fortaleza, Ceará.
- Brandão, R. L. (1998) *Sistema de informações para gestão e administração territorial da região metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da região metropolitana de Fortaleza*. CPRM. 88 p. Fortaleza, Ceará..
- Brito, L. P; Ferreira, H. C. (1984) Determinações de áreas específicas da fração fina de solos lateríticos da região nordeste do Brasil. *Cerâmica*, v.30, nº.171, p. 69-75, março. São Paulo, São Paulo.

- Burgus, P. C. (1997) *Aplicação da classificação MCT e da técnica de adsorção de azul de metileno a solos da cidade de Salvador (BA)*. Dissertação Mestrado, 183 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Casanova, F. J. (1986) O ensaio de azul de metileno na caracterização de solos lateríticos. In: Reunião Anual de Pavimentação, 21. *Anais*. v. 2, p. 276-286. Salvador, Bahia.
- Chaves, J. F. (2000) *Caracterização geotécnica de solos da formação Barreiras da região metropolitana de Fortaleza para aplicação em obras rodoviárias*. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Chen, T. J.; Santos, P. S.; Ferreira, H. C.; Calil, S. F.; Zandonadi, A. R.; Campos, L. V. (1974) Determinação da capacidade de troca de cátions e da área específica de algumas argilas e caulins cerâmicos brasileiros pelo azul de metileno e sua correlação com algumas propriedades tecnológicas. *Cerâmica*, v.20, nº.79, p. 305-326, julho/setembro. São Paulo, São Paulo.
- Colares, J. Q. S. (1996) *Mapeamento preliminar da região metropolitana de Fortaleza-CE escala 1: 100.000*. Dissertação Mestrado, 181 p. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. Rio Claro, São Paulo.
- Corrêa, F. C. (1976) *Comportamento de trechos experimentais com bases de solo arenoso fino*. Dissertação Mestrado, 59 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Costa, T. C. D.; Gandolfi, N. (1998) O uso do ensaio de azul de metileno no mapeamento geotécnico e sua correlação com a classificação MCT para os procedimentos de Pejon e Fabbri. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11. *Anais*. v.1, p.157-164. Brasília, Distrito Federal.

- Cozzolino, V. M. N.; Nogami, J. S. (1993) Classificação geotécnica MCT para solos tropicais. *Solos e Rochas*. v.2, nº16, p. 77-91, ago. São Paulo, São Paulo.
- DER-SP. (1991) Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. *Manual de normas: pavimentação*. DER-SP. São Paulo, São Paulo.
- DER/CE. (1994) Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes. *Especificações Gerais para Serviços e Obras Rodoviárias*. Fortaleza.
- DNER. (1974) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Bases estabilizadas granulometricamente com utilização de solos lateríticos*. Especificação de Serviço, DNER-ES-P 47-74. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- DNPM. (1998) *Plano diretor para região metropolitana de Fortaleza*. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, Distrito Federal.
- EMPRABA. (1973) *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará*. Convênio de mapeamento de solos MA/DNPEA-SUDENE/DRN e MA/CONTAP/USAID/ETA. v. 1 e v. 2. Recife, Pernambuco.
- Fabbri, G. T. P. (1994) *Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.
- Fabbri, G. T. P.; Sória, M. H. A. (1991) Aplicação do ensaio de azul de metileno à classificação de solos - uma primeira aproximação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 25. *Anais*. v. 1, p. 381-399. São Paulo, São Paulo.
- Ferreira, C. H.; Chen, T.; Zandonadi, A. R.; Santos, P. S.. (1972) Correlações lineares entre áreas específicas de caulins determinadas por diversos métodos – aplicação a alguns solos do nordeste brasileiro (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte). *Cerâmica*. nº.71, p. 333-343, julho a setembro. São Paulo, São Paulo.

- Ferreira, A. M.; Lima, R. C.; Ferreira, H. C. (1986) Correlações entre área específica determinada por diversos métodos e parâmetros de compactação e CBR de solos lateríticos do nordeste do Brasil. *Cerâmica*. v.32, nº.193, p. 43-46, fevereiro. São Paulo, São Paulo.
- Ferreira, M. A. G. (1986) *Considerações sobre misturas solo-agregado compostas por materiais tropicais para uso em pavimentação*. Dissertação Mestrado, 63p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Ferreira, H. S; Neves, G. A; Ferreira, H. C. (1996) Interrelações entre as características de plasticidade de solos vermelhos tropicais e a área específica pelo método do azul de metileno em diferentes PHS. *Cerâmica*. v. 42, nº 275, p. 270, Maio/Junho.
- Fortes, F. Q. (1994) Pavimentos de baixo custo: considerações sobre seus defeitos e propostas de conservação e recuperação. Dissertação Mestrado, 170 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Fortes, R. M.; Nogami, J. S (1991) Método expedito de identificação do grupo MCT de solos tropicais utilizando-se anéis de PVC rígido. In: Reunião Anual de Pavimentação, 25. v. 1, p.591-604. São Paulo, São Paulo.
- Godoy, H.; Bernucci, L. L. B.; Carvalho, A. (1997) O uso de recursos pedológicos no estudo geotécnico preliminar para obras viárias utilizando o método das pastilhas MCT. In: Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego, 1. *Anais*. p.527-538. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Godoy, H.; Bernucci, L. L. B. (2000) Localização de jazidas de solos, para construção de rodovias, com auxílio de mapas pedológicos e de método expedito de ensaio. In Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico. *Anais*. São Paulo, São Paulo.

- Ignatius, S. G. (1991) Solos tropicais: proposta de índice classificatório. *Solos e Rochas*. v 14, nº 2, p. 89-93. São Paulo, São Paulo.
- IPLANCE. (1997) Atlas do Ceará. *CD ROM*. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, Governo do Estado.
- Laboratoire Central des Pontes et Chaussées. (1979) *L'essai au bleu de méthylène: avant-projet de mode opératoire*.
- Lan, T. N. (1977) Un nouvel essai d'identification des sols - l'essai au bleu de méthylène. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. nº.88, p. 136-137, mars/avr.
- Lan, T. N. (1980) L'essai au bleu de méthylène: un progrès dans la mesure et le contrôle de la propreté des granulats. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. nº 107, p. 130-135, mai/juin.
- Lan, T. N. (1981) Utilisation de l'essai au bleu de méthylène en terrassement routier. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. nº111, p. 5-16, jan./fév.
- Magnan, J.; Youssefian, G. (1989) Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. v. 159, p. 93-104, jan./fév.
- Medina, J. (1956). O problema das especificações de bases estabilizadas de solos lateríticos e a utilização de lateritas na região norte. *Revista Rodovia*. nº 192, p.23-32, fevereiro.
- Nobre Júnior, E. F.; Barroso, S. H. A.; Aldigueri, D. R. (1999a). O uso de mapas pedológicos para identificação de possíveis áreas de ocorrência de solos lateríticos no Estado do Ceará. In: Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 4. *CD-ROM*. Fortaleza, Ceará.

- Nobre Júnior, E. F.; Barroso, S. H. A.; Aldigueri, D. R.; Loiola, P. R. R. (1999b) Um primeiro estudo da aplicação do método MCT a alguns solos do Estado do Ceará. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 13. *Anais*. São Carlos, São Paulo.
- Nogami (1996) *Encarte do Boletim Informativo da ABPv*. nº 153, ano XXXVI, julho/agosto. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Nogami, J. S. (1972) Determinação do índice de suporte Califórnia com equipamento de dimensões reduzidas (ensaio mini-CBR). In: Reunião das Administrações Rodoviárias, 2. Brasília, Distrito Federal.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1979) Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. *Bulletin of The International Association of Engineering Geology*. nº 19, p. 196-199.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1980) Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação: limitações do método tradicional, apresentação de uma nova sistemática. In: Reunião de Pavimentação, 15. *Separata*. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Nogami, J. S., Villibor, D. F. (1981) Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. *Separata*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1983) Os solos tropicais lateríticos e a pavimentação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 18. *Anais*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Nogami, J. S.; Cozzolino, V. M. N. (1985) Identificação de solos tropicais: dificuldades e proposição de um método preliminar. In: Reunião Anual de Pavimentação, 20. *Anais*. v.1, p. 115-134. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1985) Additional considerations about a new geotechnical classification for tropical soils. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1. *Proceedings*. p.165-174. Brasília, Distrito Federal.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1988) Nova metodologia (MCT) de estudos geotécnicos e suas aplicações em rodovias vicinais. I SENAVI, *Anais*. São Paulo, São Paulo.
- Nogami, J. S. et al. (1993) Pavimentação com solos lateríticos. In: Solos do Interior de São Paulo, *Anais*. p.315-335. São Carlos, São Paulo.
- Nogami, J. S; Villibor, D. F. (1994) Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 10. *Anais*. p. 1293-1323, v. 4. Foz do Iguaçu, Paraná.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1995) *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. Editora Villibor. São Paulo, São Paulo.
- Nogami, J. S; Villibor, D. F. (2000) Consequências da nova conceituação do coeficiente c' da sistemática MCT no controle tecnológico de solos tropicais. In Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico. São Paulo, São Paulo.
- Nogami, J. S; Villibor, D. F. (2001) Interpretação da forma das curvas de deformabilidade da metodologia MCT. In: Reunião Anual de Pavimentação, 33. Florianópolis, Santa Catarina.
- Nogami, J. S; Villibor, D. F; Bernucci, L. L. B (1998) Comparações entre os métodos tradicionais e a MCT no estudo geotécnico de solos tropicais para pavimentação. In: Reunião Anual de Pavimentação, 31. *Anais*. p. 722-740. São Paulo, São Paulo.
- Parsons, A. W. (1976) The rapid measurement of the moisture condition of earthwork material. *Transport and Road Research Laboratory*. Report nº 750.

- Parsons, A.W.; Bolden, J. B. (1979) The moisture condiction teste and its potencial application in earthworks. *Transport and Road Research – Supplementary Report*. nº 522.
- Pejon, O. J. *Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba - SP (escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos*. (1992). Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.
- Pérez, D.V; Casanova, F. J. (1994) Avaliação de três métodos de determinação da superfície específica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n. 18. p. 151-153. Campinas, São Paulo.
- Rezende, A. A. (1998) O ensaio MCV-ITA como suporte à extensão da metodologia MCT aos solos lateríticos concrecionados. Dissertação Mestrado, 137 p. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo.
- Santanna, J. A. (1998) *Estudo do comportamento de solos artificiais em função da variação das características de sua fração grossa*. Dissertação Mestrado, 110 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Santos, J. D. G. (1998) *Contribuição ao estudo dos solos granulares como camada de pavimento*. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Tese de Doutorado, p. 276. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Schaeffner, M. (1989) Introduction de la valeur de bleu de méthylène d'un sol dans la classification des sols de la recommandation pour les terrassements routiers. *Bulletin de Liasion des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. v.163, p. 9-16, sept./oct.

- Sória, M. H. A. (1978) *Relatório técnico de apreciação de programa desenvolvido dentro do convênio DER-IPAI 44/77 - "Estudo comparativo das características geotécnicas de solo laterítico e solo residual saprolítico a partir de solos montados em laboratório em função da granulometria"*. São Carlos, São Paulo.
- Sória, M. H. A. (1985) *Reflexões lógicas sobre classificação de solos*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.
- Sória, M. H. A.; Fabbri, G. T. P (1980) O ensaio mini-MCV – um ensaio de MCV, moisture condiction value, com corpos de prova de dimensões reduzidas. In: Reunião Anual de Pavimentação, 15. *Anais*. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Serra, P. M. (1987) *Considerações sobre misturas de solo-agregado com solos finos lateríticos*. Dissertação Mestrado, 106 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Stevenson, W. J. (1981) *Estatística aplicada à administração*. São Paulo, Harper & Row.
- Vertamatti, E. (1988) Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e Resiliente. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo.
- Vilar, O. M.; Röhm, S. A. (1994) Comparação entre um ensaio de compactação de solos em molde de dimensões reduzidas e o ensaio Proctor normal. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 10. *Anais*, p. 373-380, v.2. Foz do Iguaçu, Paraná.
- Villibor; D. F. (1974) Utilização de solo arenoso fino laterítico na execução de bases de pavimento de baixo custo. Dissertação Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.

Villibor, D. F. (1981) *Pavimentos econômicos. Novas considerações*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.

ANEXO I

(Localização Geográfica das Amostras Estudadas)

AMOSTRA	COORDENADAS			PEDOLOGIA
	Latitude	Longitude	Altitude (m)	
COFECO	03° 48' 30,17" S	38° 25' 35,39" W	13,1	Areia
Mangabeira	03° 50' 09,98" S	38° 26' 04,90" W	11,5	Areia
Prainha	03° 54' 21,96" S	38° 21' 27,59" W	11,5	Areia
Pirapora	03° 37' 47,16" S	38° 46' 45,71" W	19,7	Areia
Pastor	03° 37' 47,67" S	38° 46' 55,31" W	13,6	Areia
Danilo	03° 52' 10,37" S	38° 28' 33,95" W	9,6	Areia
Cauc 05	03° 37' 07,80" S	38° 49' 02,97" W	30,0	Areia
Cauc 06	03° 36' 52,86" S	38° 49' 11,12" W	31,4	Areia
Cauc 10	03° 47' 40,59" S	38° 48' 28,61" W	87,2	Areia
Cauc 02	03° 39' 06,51" S	38° 45' 57,00" W	37,3	Areia
Eus 01	03° 52' 50,60" S	38° 26' 09,88" W	25,6	Areia
Cauc 09	03° 44' 36,50" S	38° 47' 37,26" W	119,2	Bruno
Itait 01	03° 59' 22,83" S	38° 30' 58,08" W	49,0	Bruno
Maran 09	04° 01' 01,20" S	38° 58' 46,20" W	167,0	Bruno
Maran 10	04° 02' 32,05" S	38° 44' 06,83" W	133,7	Bruno
Maran 11	04° 01' 03,59" S	38° 43' 47,85" W	136,9	Bruno
Eus 06	03° 57' 43,57" S	38° 27' 07,06" W	14,8	Halomórfico
Cauc 13	03° 46' 28,00" S	38° 50' 33,27" W	51,0	Litólico
Maran 01	03° 58' 51,60" S	38° 42' 55,20" W	146,0	Litólico
Cauc 11	03° 41' 25,86" S	38° 55' 34,81" W	37,4	Planosolo
Cauc 15	03° 52' 03,67" S	38° 44' 32,53" W	81,0	Planosolo
Guaiú 04	04° 03' 36,96" S	38° 38' 16,68" W	63,1	Planosolo
Guaiú 05	04° 03' 04,40" S	38° 38' 46,53" W	88,2	Planosolo
Maran 03	03° 58' 43,20" S	38° 42' 50,40" W	146,0	Planosolo
Maran 05	04° 00' 13,20" S	38° 43' 38,40" W	129,0	Planosolo
Maran 07	03° 59' 52,20" S	38° 48' 55,20" W	152,0	Planosolo
Maran 08	04° 00' 52,20" S	38° 51' 10,80" W	143,0	Planosolo
Pacat03	04° 01' 37,80" S	38° 35' 44,40" W	71,0	Planosolo
Zé Novo	-	-	-	Podzólico
Aquir 01	04° 01' 41,91" S	38° 26' 14,77" W	40,0	Podzólico
Cauc 01	03° 39' 00,72" S	38° 45' 55,85" W	34,8	Podzólico
Cauc 03	03° 39' 06,51" S	38° 45' 57,00" W	37,3	Podzólico
Cauc 04	03° 39' 02,57" S	38° 48' 32,78" W	16,7	Podzólico
Cauc 07	03° 56' 13,80" S	38° 51' 54,00" W	111,0	Podzólico
Cauc 08	03° 44' 24,48" S	38° 44' 12,35" W	44,2	Podzólico
Cauc 12	03° 46' 35,06" S	38° 56' 12,29" W	89,0	Podzólico
Cauc 14	03° 50' 11,95" S	38° 47' 03,22" W	45,0	Podzólico
Eus 02	03° 52' 52,08" S	38° 26' 53,62" W	24,2	Podzólico
Eus 04	03° 53' 22,64" S	38° 27' 51,88" W	25,1	Podzólico
Eus 03	03° 53' 36,96" S	38° 27' 48,99" W	22,3	Podzólico
Eus 05	03° 57' 25,92" S	38° 27' 32,61" W	29,6	Podzólico
Eus 07	03° 52' 46,67" S	38° 30' 01,25" W	30,5	Podzólico
Fort 01	03° 52' 18,16" S	38° 29' 44,67" W	19,9	Podzólico
Fort 02	03° 52' 06,38" S	38° 28' 46,65" W	19,2	Podzólico

AMOSTRA	COORDENADAS			PEDOLOGIA
	Latitude	Longitude	Altitude (m)	
Fort 04	03° 51' 41,00" S	38° 32' 04,49" W	41,0	Podzólico
Fort 05	03° 52' 33,43" S	38° 32' 04,05" W	46,3	Podzólico
Fort 06	03° 51' 06,43" S	38° 34' 24,90" W	42,1	Podzólico
Fort 03	03° 48' 24,00" S	38° 36' 12,60" W	42,0	Podzólico
Guaiú 01	04° 08' 15,62" S	38° 40' 17,70" W	113,0	Podzólico
Guaiú 03	04° 08' 18,96" S	38° 40' 17,21" W	122,1	Podzólico
Guaiú 06	04° 04' 29,06" S	38° 41' 20,63" W	109,3	Podzólico
Itait 02	03° 57' 19,95" S	38° 30' 25,62" W	61,8	Podzólico
Maran 02	03° 58' 57,60" S	38° 43' 06,00" W	165,0	Podzólico
Maran 04	03° 59' 48,60" S	38° 43' 26,40" W	137,0	Podzólico
Maran 06	04° 02' 46,80" S	38° 43' 27,00" W	140,0	Podzólico
Mess 01	03° 50' 32,10" S	38° 28' 21,62" W	17,2	Podzólico
Mess 03	03° 50' 57,75" S	38° 27' 39,80" W	14,1	Podzólico
Pacat 01	03° 58' 31,60" S	38° 35' 29,33" W	56,8	Podzólico
Pacat 02	04° 00' 39,00" S	38° 36' 19,20" W	83,0	Podzólico
Guaiú 02	04° 09' 23,56" S	38° 40' 43,68" W	69,9	Vertisolo

ANEXO II

(Resultados dos Ensaio de Granulometria Conjunta e dos Valores de LL, IP, LP,
Massa Específica dos Sólidos e Equivalente de Areia para os Solos Estudados)

AMOSTRA	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 40	Nº 50	Nº 100	Nº 200	0,05	0,005	0,002	LL	IP	LP	MES	EA	Pedologia
	50,8	25,4	9,5	4,76	2,00	1,19	0,59	0,42	0,297	0,149	0,074				(%)	(%)	(%)	(g/cm³)	(%)	
COFECO	100	100	100	100	99	98	94	86	68	24	22	18	11	8	NL	NP	NP	2,642	15	Areia
Mangabeira	100	100	100	100	99	98	93	82	68	38	33	29	19	13	28	5	23	2,636	16	Areia
Praia	100	100	100	100	100	99	98	88	48	7	5	4	3	2	NL	NP	NP	2,630	59	Areia
Pirapora	100	100	100	100	100	99	94	87	67	18	14	12	9	7	NL	NP	NP	2,653	31	Areia
Pastor	100	100	100	100	100	100	98	89	68	23	13	12	10	9	NL	NP	NP	2,654	31	Areia
Danilo	100	100	100	100	98	96	83	69	57	25	19	13	5	4	NL	NP	NP	2,617	30	Areia
Cauc 05	100	100	100	100	100	96	91	88	58	33	28	22	5	4	26	7	19	2,620	21	Areia
Cauc 06	100	100	100	100	100	96	93	89	58	32	27	20	5	4	26	6	20	2,620	15	Areia
Cauc 10	100	100	100	100	95	79	64	50	39	29	24	18	11	7	28	4	24	2,650	23	Areia
Cauc 02	100	100	100	100	99	93	87	82	57	38	28	23	5	3	NL	NP	NP	2,650	17	Areia
Eus 01	100	100	100	100	99	95	90	86	49	25	19	12	4	4	24	5	19	2,650	8	Areia
Cauc 09	100	100	100	100	97	92	88	83	65	51	42	36	29	25	34	10	24	2,640	11	Bruno
Itait 01	100	100	100	100	81	71	59	49	41	36	30	24	19	17	36	14	22	2,640	7	Bruno
Maran 09	100	100	100	100	98	89	82	77	70	66	62	52	44	39	42	16	26	2,600	11	Bruno
Maran 10	100	100	100	100	88	78	69	62	55	50	47	40	34	32	42	16	26	2,600	9	Bruno
Maran 11	100	100	100	100	95	85	76	69	60	53	48	40	33	31	40	16	24	2,600	14	Bruno
Eus 06	100	100	100	100	100	100	100	99	92	79	54	43	14	8	NL	NP	NP	2,650	12	Halomórfico
Cauc 13	100	100	100	100	100	100	98	97	92	87	80	70	60	55	46	20	26	2,580	2	Litólico
Maran 01	100	100	100	100	88	78	68	60	53	49	44	37	30	26	36	12	24	2,600	13	Litólico
Cauc 11	100	100	100	100	96	88	82	75	67	62	59	48	40	38	38	14	24	2,600	0	Planosolo
Cauc 15	100	100	100	100	84	72	60	49	41	35	30	25	20	17	34	10	24	2,620	15	Planosolo
Guaiú 04	100	100	100	100	83	73	63	53	44	37	32	25	16	12	32	12	20	2,620	23	Planosolo
Guaiú 05	100	100	100	100	89	79	69	60	55	51	49	39	28	25	40	14	26	2,640	8	Planosolo
Maran 03	100	100	100	100	94	80	65	55	39	33	29	23	11	7	32	10	22	2,620	18	Planosolo
Maran 05	100	100	100	100	94	82	71	62	53	47	42	32	22	18	24	4	20	2,630	16	Planosolo
Maran 07	100	100	100	100	97	87	78	70	54	41	36	28	16	13	32	10	22	2,640	19	Planosolo

AMOSTRA	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 40	Nº 50	Nº 100	Nº 200	0,05	0,005	0,002	LL	IP	LP	MES	EA	Pedologia
	50,8	25,4	9,5	4,76	2,00	1,19	0,59	0,42	0,297	0,149	0,074									
Maran 08	100	100	100	100	91	80	70	61	51	44	39	32	21	18	36	14	22	2,620	9	Planosolo
Pacat03	100	100	100	100	93	83	73	65	55	49	45	37	30	26	36	14	22	2,620	8	Planosolo
Zé Novo	100	100	100	100	97	94	87	81	68	56	48	36	22	20	28,8	11	17,8	2,645	9	Podzólico
Aquir 01	100	100	100	100	98	90	82	76	58	45	36	28	20	16	34	10	24	2,620	8	Podzólico
Cauc 01	100	100	100	100	98	92	86	81	57	38	32	26	15	11	28	6	22	2,620	8	Podzólico
Cauc 03	100	100	100	100	99	97	94	92	85	78	73	65	57	52	38	14	24	2,600	10	Podzólico
Cauc 04	100	100	100	100	98	91	84	77	63	53	44	36	23	19	37	12	25	2,600	10	Podzólico
Cauc 07	100	100	100	100	90	76	64	56	45	39	34	27	21	19	38	15	23	2,620	13	Podzólico
Cauc 08	100	100	100	100	97	91	86	81	72	66	61	54	46	44	42	16	26	2,600	11	Podzólico
Cauc 12	100	100	100	100	95	85	75	67	54	44	38	30	22	18	32	8	24	2,640	17	Podzólico
Cauc 14	100	100	100	100	75	61	48	35	29	25	21	16	13	9	32	10	22	2,640	23	Podzólico
Eus 02	100	100	100	100	99	93	88	84	67	54	47	37	17	13	38	15	23	2,600	10	Podzólico
Eus 04	100	100	100	100	99	90	82	75	54	40	33	25	18	16	28	7	21	2,640	13	Podzólico
Eus 03	100	100	100	100	92	79	67	57	39	28	22	17	12	10	36	12	24	2,620	13	Podzólico
Eus 05	100	100	100	100	89	80	70	62	55	51	48	41	32	28	40	14	26	2,600	10	Podzólico
Eus 07	100	100	100	100	98	89	81	75	60	50	42	34	26	24	36	12	24	2,620	9	Podzólico
Fort 01	100	100	100	100	99	95	91	88	76	67	59	51	40	35	38	14	24	2,600	7	Podzólico
Fort 02	100	100	100	100	94	86	79	73	64	57	51	42	31	28	36	12	24	2,610	11	Podzólico
Fort 04	100	100	100	100	98	93	88	85	66	51	40	33	23	19	36	10	26	2,640	8	Podzólico
Fort 05	100	100	100	100	92	88	82	77	68	59	54	46	37	34	42	16	26	2,620	5	Podzólico
Fort 06	100	100	100	100	96	88	80	72	64	58	53	45	32	28	40	15	25	2,620	11	Podzólico
Fort 03	100	100	100	100	95	84	75	67	58	52	46	38	26	22	36	14	22	2,630	8	Podzólico
Guaiú 01	100	100	100	100	94	85	77	70	60	52	47	41	33	30	36	14	22	2,620	9	Podzólico
Guaiú 03	100	100	100	100	96	91	87	84	77	72	69	59	47	43	42	20	22	2,600	12	Podzólico
Guaiú 06	100	100	100	100	91	85	78	74	69	66	65	57	49	46	42	16	26	2,600	8	Podzólico
Itait 02	100	100	100	100	97	90	84	78	52	34	26	20	15	13	34	12	22	2,600	9	Podzólico
Maran 02	100	100	100	100	92	81	71	63	53	47	44	37	28	24	38	14	24	2,600	10	Podzólico

AMOSTRA	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 40	Nº 50	Nº 100	Nº 200	0,05	0,005	0,002	LL	IP	LP	MES	EA	Pedologia
	50,8	25,4	9,5	4,76	2,00	1,19	0,59	0,42	0,297	0,149	0,074									
Maran 04	100	100	100	100	96	87	78	71	62	56	52	45	37	33	38	14	24	2,600	7	Podzólico
Maran 06	100	100	100	100	87	77	67	60	53	48	45	36	26	22	40	16	24	2,620	8	Podzólico
Mess 01	100	100	100	100	99	93	87	83	67	58	49	43	33	29	36	14	22	2,600	9	Podzólico
Mess 03	100	100	100	100	98	93	88	85	61	45	34	26	10	5	32	10	22	2,620	12	Podzólico
Pacat 01	100	100	100	100	93	79	66	55	43	34	29	24	14	10	34	10	24	2,650	14	Podzólico
Pacat 02	100	100	100	100	97	90	83	77	67	60	54	47	39	38	38	14	24	2,600	7	Podzólico
Guaiú 02	100	100	100	100	100	98	97	96	83	73	60	52	44	40	42	18	24	2,580	0	Vertisolo
Média	100,0	100,0	100,0	100,0	94,9	87,6	80,1	73,3	59,6	47,0	40,9	33,8	24,4	21,2						

LL (Limite de Liquidez)

IP (Índice de Plasticidade)

LP (Limite de Plasticidade)

MES (Massa Específica dos Sólidos)

EA (Equivalente de areia)

ANEXO III

(Resultados dos Ensaio de Mini-CBR, Expansão e Contração na
Energia Normal para os Solos Estudados)

QUADRO RESUMO**AM01-COFEÇO (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
5,8	1,825	0,000	0,120	18,3	8,1
7,1	1,857	0,040	0,101	13,8	10,0
8,5	1,857	0,040	0,059	13,6	8,9
9,7	1,847	0,000	0,039	13,0	7,2
11,1	1,869	0,000	0,080	11,8	10,3

QUADRO RESUMO**AM02-Mangabeira (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,4	1,656	0,418	0,060	21,2	2,3
8,8	1,812	0,000	0,179	32,9	7,6
10,1	1,999	0,098	0,366	29,6	18,3
11,6	1,984	0,020	0,570	17,2	16,8
13,0	1,918	0,000	0,868	10,1	8,1

QUADRO RESUMO**AM 03-Prainha (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
3,8	1,692	0,000	0,119	8,1	4,0
5,1	1,696	0,000	0,000	8,5	5,9
6,5	1,699	0,000	0,020	6,4	7,0
8,1	1,690	0,040	0,060	7,0	7,4
9,5	1,695	0,000	0,040	6,3	5,2

QUADRO RESUMO**AM 05-Pirapora (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
5,2	1,775	0,020	0,139	16,9	6,9
6,5	1,805	0,040	0,199	14,2	7,5
7,9	1,814	0,000	0,158	12,4	6,8
9,2	1,811	0,020	0,180	11,6	7,2
10,5	1,818	0,000	0,238	10,0	9,3

QUADRO RESUMO**AM 06-Pastor (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
3,3	1,730	0,425	0,040	17,3	1,7
4,6	1,767	0,177	0,020	31,4	5,9
6,1	1,845	0,040	0,119	24,9	11,8
8,8	1,856	0,000	0,179	19,0	10,2
7,7	1,912	0,000	0,224	11,7	12,2

QUADRO RESUMO**AM 07-Zé Novo (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,3	1,559	1,683	0,000	46,3	3,2
11,7	1,770	0,535	0,318	40,7	5,9
13,4	1,914	0,456	0,635	23,5	13,1
14,8	1,843	0,080	1,551	7,6	6,8
15,9	1,815	0,000	2,386	4,3	4,1

QUADRO RESUMO**AM 08-Danilo (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
3,6	1,841	0,000	0,138	20,9	7,2
5,0	1,863	0,020	0,203	11,0	6,8
6,4	1,876	0,000	0,159	22,7	10,6
7,6	1,857	0,020	0,100	13,0	15,0
8,8	1,874	0,000	0,081	15,4	9,2

QUADRO RESUMO**Aquiraz 01 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,7	1,553	1,130	0,040	55,3	5,0
14,7	1,768	0,339	0,962	22,7	11,4
16,5	1,797	0,060	0,463	13,0	13,4
18,2	1,709	0,000	1,123	8,1	6,8
19,6	1,680	0,020	2,063	5,1	5,0

QUADRO RESUMO**Cauc 01 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,5	1,623	0,670	0,162	31,4	1,0
8,1	1,738	0,493	0,100	31,4	2,2
9,6	1,999	0,000	0,098	26,4	13,8
10,9	1,990	0,000	1,335	5,8	7,2
12,2	1,949	0,000	1,697	2,9	2,5

QUADRO RESUMO**Cauc 02 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,7	1,800	0,000	0,357	18,2	8,7
9,1	1,834	0,000	0,242	16,0	10,0
11,4	1,891	0,020	0,220	21,2	16,4
12,1	1,897	0,000	0,159	19,8	17,2
13,8	1,873	0,000	0,182	8,8	8,0
15,0	1,840	0,000	0,000	3,6	4,9

QUADRO RESUMO**Cauc 03 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,0	1,508	2,666	0,060	36,1	2,2
13,6	1,490	2,362	0,203	32,9	2,6
15,5	1,523	1,845	0,591	31,1	3,2
17,3	1,636	0,659	0,968	27,8	7,8
19,4	1,720	0,542	1,924	16,4	9,8
20,6	1,688	0,159	2,135	10,0	8,1

QUADRO RESUMO**Cauc 04 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,4	1,660	0,894	0,223	17,3	3,2
11,3	1,872	0,160	0,479	29,6	11,8
13,5	1,899	0,100	1,407	12,6	9,2
15,2	1,828	0,039	1,557	7,6	5,0
17,1	1,768	0,000	1,850	3,2	2,3
18,9	1,707	0,000	1,105	1,4	1,3

QUADRO RESUMO

Cauc 05 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,2	1,845	0,177	0,080	38,6	6,6
7,7	1,947	0,060	0,141	24,9	11,9
9,2	1,997	0,020	0,140	27,1	14,5
10,4	2,020	0,040	0,120	30,3	23,5
11,8	1,986	0,000	0,325	10,6	11,5

QUADRO RESUMO

Cauc 06 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,3	1,896	0,059	0,139	29,6	8,5
8,6	1,946	0,020	0,239	26,0	13,5
9,9	1,976	0,020	0,259	22,7	13,9
11,3	2,010	0,000	0,320	22,4	18,5
12,4	1,960	0,000	0,364	11,1	11,6

QUADRO RESUMO

Cauc 07 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,4	1,768	1,208	0,395	32,1	5,5
10,3	1,883	0,218	0,575	27,5	13,0
12,1	1,957	0,120	1,231	14,5	13,2
14,1	1,884	0,158	1,917	5,6	5,2
15,8	1,826	0,000	4,211	2,7	2,5

QUADRO RESUMO

Cauc 08 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
15,2	1,537	1,019	0,222	45,6	6,8
17,1	1,675	0,000	0,797	29,3	13,4
19,2	1,705	0,120	1,047	15,7	14,9
21,0	1,666	0,079	1,489	10,7	7,6
22,6	1,587	0,000	1,667	4,8	5,0

QUADRO RESUMO Cauc 09 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,8	1,850	0,728	0,606	17,3	8,0
13,2	1,899	0,433	0,747	23,0	12,6
14,5	1,909	0,990	0,958	17,2	11,0
15,8	1,856	0,286	1,437	9,9	6,7
17,5	1,799	0,488	1,908	4,4	5,0

QUADRO RESUMO Cauc 10 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,4	1,822	0,181	0,101	28,2	2,7
7,7	1,882	0,159	0,100	23,8	8,5
8,9	1,940	0,080	0,317	28,5	14,4
10,5	2,026	0,000	0,319	23,5	26,4
11,9	1,897	0,000	1,108	10,3	12,6

QUADRO RESUMO Cauc 11 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,6	1,639	3,760	0,519	26,7	1,1
13,8	1,766	2,779	1,087	18,9	1,7
16,1	1,874	1,048	2,335	7,6	3,2
17,8	1,802	0,324	3,126	3,9	2,3
19,8	1,730	0,100	3,880	2,1	1,8

QUADRO RESUMO Cauc 12 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,0	1,632	0,914	0,137	50,1	3,4
11,4	1,774	0,180	0,344	25,3	8,9
13,0	1,866	0,080	0,570	26,7	17,2
14,2	1,889	0,061	0,912	19,0	14,6
15,6	1,849	0,020	1,287	10,7	8,3

QUADRO RESUMO Cauc 13 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,6	1,633	3,246	0,752	26,0	1,9
12,5	1,694	1,334	1,004	19,8	3,2
14,3	1,759	1,327	1,284	16,0	5,7
15,6	1,818	0,822	1,670	13,8	5,9
17,5	1,766	0,781	2,283	6,8	4,1

QUADRO RESUMO Cauc 14 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,6	1,580	0,417	0,159	43,5	2,3
10,0	1,674	0,538	0,434	18,1	3,6
11,6	1,758	0,162	0,518	20,0	7,6
12,6	1,833	0,059	0,555	18,3	8,5
14,5	1,872	0,000	1,014	13,0	9,2
15,8	1,833	0,060	1,700	6,0	6,9

QUADRO RESUMO Cauc 15 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,8	1,799	0,417	0,420	23,8	4,1
11,5	1,830	0,181	0,519	21,1	7,2
12,7	1,873	0,163	0,508	18,3	11,1
14,2	1,902	0,435	0,842	10,3	8,8
15,5	1,846	0,000	1,599	6,2	7,0

QUADRO RESUMO Eus 01 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,7	1,915	0,000	0,182	15,6	13,8
10,9	1,927	0,000	0,200	20,1	13,8
11,9	1,940	0,040	0,279	19,8	17,2
14,0	1,900	0,000	0,278	4,9	6,8
15,1	1,884	0,000	0,538	3,2	3,2

QUADRO RESUMO Eus 02 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,1	1,520	1,251	0,120	36,4	1,3
13,2	1,758	0,276	0,494	28,5	7,8
15,1	1,855	0,140	1,181	12,2	11,4
16,8	1,787	0,160	2,161	6,0	5,0
19,1	1,694	0,040	2,917	3,2	2,5

QUADRO RESUMO Eus 03 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,2	1,638	0,918	0,059	44,9	3,9
10,6	1,775	0,335	0,278	38,6	11,0
12,0	1,868	0,198	0,438	30,3	16,4
13,4	1,905	0,040	0,648	24,5	16,8
14,8	1,863	0,000	1,012	13,0	11,4

QUADRO RESUMO Eus 04 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,7	1,634	1,144	0,138	40,7	2,9
11,9	1,783	0,399	0,364	29,3	8,2
13,2	1,897	0,160	0,645	28,5	15,8
14,9	1,848	0,061	1,286	12,2	9,3
16,1	1,816	0,000	1,634	8,1	5,9

QUADRO RESUMO Eus 05 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,7	1,521	2,020	0,040	30,7	2,4
14,5	1,587	1,465	0,360	31,8	4,6
16,6	1,740	0,581	0,671	26,4	10,0
18,4	1,771	0,200	1,230	18,7	13,1
20,3	1,710	0,061	1,623	7,6	8,3

QUADRO RESUMO**Eus 06 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,2	1,671	0,040	0,341	12,2	7,7
13,7	1,677	0,100	0,258	14,0	9,2
14,6	1,702	0,000	0,160	15,5	7,1
16,2	1,747	0,000	0,159	17,2	10,1
19,5	1,689	0,000	0,000	1,9	2,3
17,9	1,727	0,000	0,220	10,7	5,2

QUADRO RESUMO**Eus 07 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,8	1,527	1,128	0,060	38,6	2,5
13,3	1,674	0,402	0,344	33,6	5,9
14,7	1,806	0,098	0,698	28,3	14,5
16,1	1,801	0,020	1,312	16,0	11,0
17,2	1,784	0,041	1,597	8,5	7,6

QUADRO RESUMO**Fort 01 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
14,7	1,641	0,000	0,519	26,4	5,9
16,7	1,808	0,040	1,094	13,6	11,5
18,5	1,739	0,000	1,886	6,3	5,5
20,4	1,670	0,000	2,551	3,6	2,7
22,6	1,638	0,102	3,488	1,9	1,4

QUADRO RESUMO**Fort 02 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,6	1,624	1,264	0,298	34,5	3,9
14,6	1,802	0,158	0,732	26,7	13,6
16,3	1,820	0,118	1,562	11,5	10,1
18,4	1,743	0,000	2,278	5,0	4,9
20,4	1,702	0,000	2,490	3,2	2,3

QUADRO RESUMO**Fort 03 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,8	1,580	1,512	0,437	34,6	2,5
13,7	1,783	0,394	0,815	25,6	10,1
15,8	1,855	0,061	1,543	12,6	10,6
17,3	1,772	0,060	1,928	5,2	5,1
18,9	1,734	0,040	2,061	3,0	4,1

QUADRO RESUMO**Fort 04 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,1	1,798	0,573	0,302	37,5	4,1
10,8	1,996	0,000	0,562	22,4	12,4
12,1	1,953	0,000	1,198	8,4	7,7
13,7	1,876	0,000	1,042	4,6	4,1
14,9	1,810	0,000	1,222	2,5	2,1

QUADRO RESUMO**Fort 05 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
16,1	1,660	1,281	0,678	22,4	5,9
17,8	1,735	0,759	1,190	18,1	9,0
19,1	1,753	1,294	1,673	16,4	8,3
21,5	1,672	0,279	2,553	6,7	5,6
23,6	1,607	0,060	2,711	4,0	3,6

QUADRO RESUMO**Fort 06 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,8	1,512	1,089	0,060	42,4	2,2
13,9	1,741	0,256	0,496	32,3	12,5
15,6	1,825	0,080	0,896	20,5	21,7
17,6	1,758	0,020	1,274	5,6	7,4
19,2	1,720	0,000	1,881	4,0	3,6

QUADRO RESUMO**Guaiú 01 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,4	1,609	0,701	0,203	39,3	3,6
14,3	1,800	0,197	0,672	31,8	13,4
15,9	1,822	0,059	1,307	16,0	12,3
17,8	1,761	0,000	2,014	5,3	5,7
19,8	1,697	0,000	2,224	2,7	3,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 02 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,6	1,856	1,260	0,603	21,5	4,0
12,4	1,921	0,296	0,698	16,4	5,0
14,2	1,901	0,236	1,751	7,6	3,1
16,3	1,829	0,040	2,652	2,5	1,9
18,1	1,763	0,000	2,474	1,1	1,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 03 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
17,6	1,633	0,982	0,794	26,0	10,0
19,5	1,711	0,434	1,298	22,7	12,6
20,9	1,684	0,278	1,925	11,0	8,1
23,2	1,614	0,060	2,396	6,3	4,3
24,6	1,582	0,080	3,333	4,6	3,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 04 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,5	1,856	0,563	0,402	22,7	4,0
12,6	1,905	0,552	0,493	18,8	7,8
14,4	1,875	0,537	1,062	8,5	7,5
15,3	1,858	0,320	1,624	5,3	4,1
18,6	1,740	0,000	2,478	2,1	2,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 05 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,4	1,538	3,548	0,366	29,2	2,4
14,7	1,636	2,536	0,778	20,4	2,4
16,4	1,741	0,511	1,179	16,9	2,4
18,3	1,761	0,219	1,768	12,6	2,3
21,5	1,660	0,137	2,688	3,6	2,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 06 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
16,8	1,492	2,153	0,647	24,5	3,9
18,5	1,587	1,350	1,162	23,5	6,9
20,4	1,674	0,553	1,807	20,9	11,9
22,1	1,643	0,259	2,555	12,9	9,3
24,1	1,580	0,000	3,185	5,1	5,0

QUADRO RESUMO**Itait 01 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
13,6	1,552	2,470	0,365	23,3	2,2
15,3	1,615	1,431	0,673	16,5	5,2
17,2	1,665	1,034	0,942	16,4	6,1
18,8	1,740	0,000	1,288	16,5	7,6
20,7	1,703	0,768	1,707	11,5	6,6

QUADRO RESUMO**Itait 02 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,1	1,647	0,977	0,000	44,9	1,8
8,4	1,712	0,713	0,120	45,6	3,1
9,9	1,895	0,079	0,238	34,6	10,3
11,4	1,996	0,040	0,440	21,2	20,5
12,8	1,929	0,000	1,233	8,9	7,6

QUADRO RESUMO**Maran 01 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,0	1,552	3,415	0,403	29,3	1,7
11,7	1,627	1,806	0,656	27,1	2,2
13,4	1,693	1,864	0,736	21,4	4,8
14,3	1,764	0,658	1,035	19,0	5,9
16,2	1,813	1,218	1,539	14,6	5,2
17,5	1,784	0,622	2,400	6,0	4,8

QUADRO RESUMO**Maran 02 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,2	1,793	0,752	0,436	29,3	8,5
12,5	1,916	0,297	0,879	26,4	16,2
14,2	1,869	0,060	1,599	9,5	8,5
15,4	1,821	0,481	2,287	5,6	4,9
16,6	1,791	0,060	2,723	3,6	4,1

QUADRO RESUMO**Maran 03 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,4	1,769	2,544	0,553	20,9	4,4
12,1	1,828	1,200	0,501	16,2	5,6
13,4	1,868	0,620	0,413	18,3	7,6
14,7	1,876	0,618	0,935	13,1	6,2
16,1	1,838	0,442	1,226	8,6	4,8

QUADRO RESUMO**Maran 04 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,9	1,550	1,846	0,503	32,9	2,3
13,5	1,707	0,769	0,775	29,3	6,3
15,5	1,842	0,435	1,406	21,6	10,7
17,3	1,771	0,060	2,320	9,1	7,6
19,2	1,715	0,000	2,030	4,1	3,2

QUADRO RESUMO**Maran 05 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,4	1,744	4,137	0,224	29,3	1,1
7,8	1,797	2,700	0,322	24,2	2,7
9,4	1,851	2,238	0,302	21,6	3,4
10,8	1,902	1,437	0,376	23,6	5,3
13,5	1,906	0,770	1,797	4,8	5,1
11,7	1,972	0,561	0,516	19,4	8,8

QUADRO RESUMO**Maran 06 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,9	1,527	2,477	0,264	35,0	1,5
13,8	1,651	1,388	0,702	26,4	3,2
15,7	1,783	0,438	1,161	20,5	8,5
17,4	1,764	0,000	2,011	8,3	5,5
19,7	1,696	0,000	2,786	3,2	3,2

QUADRO RESUMO**Maran 07 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,9	1,812	1,413	0,491	24,2	5,7
12,5	1,879	0,679	0,604	17,5	9,3
14,0	1,916	0,518	0,759	17,5	11,3
15,4	1,878	0,220	1,578	9,9	6,6
16,8	1,828	0,260	1,777	5,9	3,6

QUADRO RESUMO**Maran 08 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,5	1,843	0,880	0,512	22,4	7,7
13,2	1,890	0,298	0,720	15,7	9,9
14,6	1,862	1,099	1,238	12,2	6,0
16,1	1,812	0,061	2,180	5,9	2,9
17,4	1,764	0,020	2,125	2,1	2,7

QUADRO RESUMO

Maran 09 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
14,2	1,566	4,310	0,630	19,8	1,8
16,1	1,652	5,152	1,016	14,5	2,5
18,1	1,716	2,141	1,340	16,0	4,1
19,9	1,731	1,316	1,881	11,0	3,2
22,2	1,647	0,403	2,635	4,3	2,7

QUADRO RESUMO

Maran 10 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,2	1,572	2,583	0,295	37,5	1,2
12,6	1,630	2,233	0,547	27,4	1,8
14,0	1,688	1,659	0,720	25,1	3,0
15,4	1,794	0,713	1,161	20,9	5,8
16,5	1,836	0,633	2,113	12,6	7,3
17,4	1,812	0,282	2,124	9,3	6,2
18,8	1,750	0,020	3,047	3,4	3,2

QUADRO RESUMO

Maran 11 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,0	1,616	2,935	0,162	33,6	1,1
10,4	1,728	2,255	0,364	29,3	3,1
11,8	1,818	0,358	0,557	22,7	5,0
12,8	1,901	0,080	0,820	19,8	7,6
14,8	1,858	0,220	2,217	5,9	4,1

QUADRO RESUMO

Mess 01 (Normal)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,5	1,726	0,435	0,420	27,8	3,6
12,9	1,880	0,140	0,614	16,8	8,5
14,4	1,853	0,039	1,336	8,5	6,0
15,8	1,812	0,020	1,532	5,2	3,6
17,1	1,751	0,000	1,871	3,2	2,2

QUADRO RESUMO**Mess 03 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,1	1,603	0,000	0,143	25,6	1,2
8,4	1,721	0,240	0,202	27,8	1,2
9,4	1,851	0,020	0,364	28,6	3,2
11,0	2,015	0,000	0,498	23,5	6,8
12,4	1,965	0,000	1,603	11,4	5,2
14,2	1,885	0,000	2,037	1,9	1,6

QUADRO RESUMO**Pacat 01(Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,6	1,707	1,443	0,358	37,5	3,2
10,1	1,813	0,778	0,422	26,4	8,5
11,4	1,921	0,217	0,504	23,1	14,4
13,1	1,925	0,258	1,273	12,7	9,3
14,9	1,852	0,080	1,566	3,8	4,3

QUADRO RESUMO**Pacat 02 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,7	1,533	2,946	0,521	27,5	2,1
14,7	1,677	1,474	0,987	22,7	4,6
16,8	1,800	0,178	1,755	17,5	8,9
18,6	1,765	0,059	2,582	6,6	5,0
20,4	1,700	0,040	2,808	3,2	3,3

QUADRO RESUMO**Pacat 03 (Normal)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
14,2	1,625	2,822	0,901	20,9	3,4
16,1	1,721	1,300	1,215	17,5	6,3
18,1	1,747	1,146	1,700	14,2	5,0
19,5	1,727	0,625	2,491	10,3	4,6
21,1	1,656	0,543	2,379	6,8	4,1

ANEXO IV

(Resultados dos Ensaaios de Mini-CBR, Expansão e Contração na Energia Intermediária para os Solos Estudados)

QUADRO RESUMO**AM 01-Cofeco (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
5,5	1,896	0,040	0,137	34,4	14,8
6,9	1,922	0,020	0,160	26,8	15,0
8,3	1,934	0,000	0,139	22,7	15,8
9,8	1,931	0,000	0,217	20,0	17,7
11,2	1,952	0,000	0,158	19,3	16,2

QUADRO RESUMO**AM02-Mangabeira (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,5	1,818	1,269	0,040	91,3	4,4
7,9	1,902	0,615	0,081	56,6	10,9
9,6	2,076	0,040	0,139	76,5	49,8
10,8	2,028	0,000	0,300	23,5	19,0
12,2	1,954	0,000	0,639	6,8	7,6

QUADRO RESUMO**AM03-Prainha (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
3,7	1,753	0,060	0,140	14,6	7,6
5,3	1,770	0,000	0,161	12,4	6,1
6,3	1,753	0,020	0,201	11,1	10,1
7,7	1,741	0,020	0,141	10,0	10,1
9,3	1,755	0,000	0,161	10,7	10,2

QUADRO RESUMO**AM05-Pirapora (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
4,9	1,856	0,000	0,121	33,0	13,8
6,2	1,885	0,040	0,142	24,4	15,0
7,6	1,880	0,000	0,119	22,3	12,6
8,4	1,878	0,059	0,120	19,6	17,3

QUADRO RESUMO**AM06-Pastor (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
3,1	1,793	0,340	0,059	28,6	2,6
4,5	1,849	0,100	0,060	49,4	8,9
5,9	1,928	0,060	0,161	37,6	16,4
7,2	1,940	0,000	0,121	31,7	20,8
8,6	1,936	0,000	0,182	23,6	18,5

QUADRO RESUMO**AM07-Zé Novo (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,6	1,717	2,090	0,000	38,7	4,8
10,1	1,733	1,256	0,061	80,7	5,2
11,6	1,899	0,257	0,138	85,3	10,9
13,1	1,933	0,000	0,716	27,1	16,8
14,4	1,874	0,000	1,395	9,3	7,5

QUADRO RESUMO**AM08-Danilo (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
3,2	1,922	0,020	0,081	15,0	13,8
4,5	1,949	0,040	0,120	38,0	21,5
5,9	1,951	0,000	0,139	38,0	14,6
7,2	1,935	0,000	0,120	30,4	18,5
8,5	1,938	0,020	0,060	27,5	24,8

QUADRO RESUMO**Aquiraz 01(Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,2	1,705	1,111	0,041	100,0	7,6
14,4	1,912	0,592	0,458	79,2	23,6
16,0	1,794	0,000	0,788	16,8	11,3
18,1	1,741	0,020	1,309	6,2	6,0
19,7	1,693	0,000	1,763	6,3	3,6

QUADRO RESUMO**Cauc 01 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,7	1,782	1,469	0,080	51,2	2,7
8,1	1,962	0,220	0,160	64,3	5,6
9,6	2,097	0,201	0,763	28,5	16,6
11,0	2,000	0,000	1,600	8,5	8,1
12,3	1,986	0,000	2,015	5,0	3,2

QUADRO RESUMO**Cauc 02 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,0	1,885	0,400	0,020	56,0	5,0
7,3	1,905	0,020	0,138	15,0	6,8
8,9	1,938	0,040	0,242	30,7	23,6
10,1	1,951	0,060	0,259	42,5	23,0
11,4	1,968	0,000	0,179	38,5	32,5
12,9	1,939	0,000	0,199	14,9	16,9

QUADRO RESUMO**Cauc 03 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,2	1,637	2,878	0,041	49,8	4,6
13,9	1,638	3,331	0,198	80,2	4,4
15,9	1,749	1,547	0,664	68,7	11,7
17,6	1,794	1,596	1,178	43,5	14,6
19,6	1,706	0,257	1,738	17,5	10,7

QUADRO RESUMO**Cauc 04 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,4	1,809	0,956	0,121	53,3	7,0
11,4	2,029	0,178	0,576	61,5	32,9
15,1	1,863	0,000	2,009	7,1	6,7
16,9	1,790	0,000	3,708	3,2	3,1

QUADRO RESUMO**Cauc 05 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,1	1,955	0,119	0,000	77,9	13,4
7,4	2,052	0,000	0,162	55,7	23,0
8,7	2,090	0,060	0,182	50,5	38,6
10,1	2,071	0,000	0,315	27,1	27,2
11,5	2,017	0,000	0,414	14,2	15,4

QUADRO RESUMO**Cauc 06 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
5,8	1,876	0,040	0,000	24,9	5,5
7,3	2,010	0,000	0,141	52,6	20,3
8,7	2,046	0,059	0,240	49,4	34,4
10,2	2,053	0,000	0,278	26,0	27,1
11,3	2,026	0,000	0,316	15,9	18,2

QUADRO RESUMO**Cauc 07 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,5	1,922	0,529	0,325	80,6	9,3
9,6	2,043	0,198	0,520	66,0	43,8
11,3	1,993	0,415	0,974	22,4	17,5
13,2	1,908	0,041	1,803	5,2	6,8
14,7	1,874	0,365	2,223	3,6	3,6

QUADRO RESUMO**Cauc 08 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
14,6	1,623	1,657	0,121	91,0	8,8
16,6	1,789	0,299	0,555	80,6	24,9
18,2	1,745	0,000	0,746	24,9	12,7
20,1	1,695	0,138	1,443	13,8	11,9
22,0	1,643	0,000	1,455	8,9	6,8

QUADRO RESUMO**Cauc 09 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,3	1,920	2,097	0,420	59,5	9,3
11,2	2,012	0,540	0,455	55,3	23,3
12,7	2,017	0,767	0,749	32,1	14,3
14,1	1,943	0,460	1,265	14,6	13,5
15,4	1,862	0,512	1,615	9,3	5,9
16,8	1,822	0,101	1,695	4,8	5,0

QUADRO RESUMO**Cauc 10 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,0	1,982	0,000	0,060	18,1	14,2
7,3	2,043	0,119	0,080	22,7	14,2
8,7	2,086	0,000	0,239	52,6	30,5
10,2	2,083	0,000	0,599	24,5	20,5
11,9	1,998	0,000	1,185	8,5	9,3

QUADRO RESUMO**Cauc 11 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,0	1,836	5,487	0,354	68,4	1,3
12,9	1,991	2,679	1,148	38,9	4,6
15,2	1,916	0,099	2,049	11,5	4,5
17,4	1,821	0,258	3,060	3,4	3,0
19,1	1,757	0,141	3,686	2,2	1,9

QUADRO RESUMO**Cauc 12 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,1	1,792	0,892	0,220	53,3	10,0
11,6	1,944	0,236	0,460	73,5	31,4
13,0	1,952	0,099	0,848	40,6	29,9
14,3	1,892	0,120	0,825	13,0	13,0
15,8	1,845	0,059	0,833	9,3	8,7

QUADRO RESUMO**Cauc 13 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,40	1,761	6,429	0,508	17,3	1,8
11,4	1,927	2,529	0,715	46,6	3,1
13,7	1,933	2,298	0,966	36,4	12,2
15,7	1,874	2,356	1,929	15,0	7,6
17,2	1,787	0,000	2,910	6,8	5,5
20,0	1,705	0,397	4,403	2,7	2,3

QUADRO RESUMO**Cauc 14 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,9	1,713	1,405	0,041	68,4	6,8
9,6	1,807	0,859	0,298	65,7	14,0
11,1	1,906	0,355	0,398	52,1	31,1
12,5	1,965	0,258	0,631	31,1	23,6
14,0	1,890	0,000	0,763	19,8	6,8

QUADRO RESUMO**Cauc 15 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,8	1,943	0,479	0,396	53,3	17,2
11,1	1,999	0,000	0,458	50,5	16,6
11,9	2,012	0,643	0,346	32,9	22,0
13,9	1,919	0,160	0,998	17,5	10,0
15,2	1,846	0,142	1,111	8,1	5,2

QUADRO RESUMO**Eus 01 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,0	1,985	0,000	0,160	42,8	12,6
9,4	2,005	0,000	0,140	42,2	21,7
10,6	2,022	0,000	0,142	35,7	23,9
11,3	2,007	0,000	0,240	29,9	30,2
12,5	1,966	0,000	0,259	14,9	12,6

QUADRO RESUMO**Eus 02 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,9	1,70	1,558	0,081	66,3	5,5
12,6	1,93	0,534	0,558	57,4	19,4
14,5	1,88	0,000	1,094	16,0	12,6
16,3	1,81	0,000	1,689	7,2	6,3
17,8	1,77	0,000	1,791	5,1	5,0

QUADRO RESUMO**Eus 03 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,6	1,789	1,410	0,020	79,6	8,2
10,0	1,887	0,794	0,200	94,7	14,7
11,4	2,007	0,137	0,399	81,9	37,1
13,0	1,933	0,100	0,518	29,2	21,7
14,1	1,877	0,040	0,974	12,0	11,0

QUADRO RESUMO**Eus 04 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,9	1,770	1,848	0,040	81,9	6,7
11,4	1,924	0,551	0,360	72,5	15,6
12,8	1,946	0,079	0,582	36,7	23,6
13,6	1,920	0,061	0,730	17,2	14,5
15,6	1,835	0,082	1,416	7,1	5,6

QUADRO RESUMO**Eus 05 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,3	1,679	2,455	0,040	72,1	5,9
14,3	1,758	1,582	0,240	75,2	10,0
16,0	1,861	1,045	0,717	61,5	15,9
18,1	1,792	0,178	1,058	21,1	16,2
19,8	1,731	0,141	1,977	8,7	8,7

QUADRO RESUMO

Eus 06 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,8	1,744	0,158	0,236	30,0	13,5
12,4	1,758	0,120	0,221	24,5	16,9
13,6	1,766	0,120	0,178	28,6	15,2
15,1	1,782	0,138	0,198	28,9	16,6
16,6	1,770	0,000	0,317	12,7	12,7

QUADRO RESUMO

Eus 07 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,7	1,676	1,269	0,000	90,3	5,6
12,1	1,732	1,119	0,202	63,4	8,5
13,7	1,907	0,406	0,569	65,0	20,4
15,0	1,858	0,060	0,789	23,9	16,9
16,4	1,776	0,081	1,344	8,7	8,2

QUADRO RESUMO

Fort 01 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
13,8	1,757	0,489	0,238	60,7	9,3
15,9	1,822	0,203	0,815	28,5	12,2
17,7	1,758	0,000	1,606	5,9	5,9
19,6	1,707	0,000	2,254	4,6	4,1
21,4	1,684	1,199	2,746	2,2	1,2

QUADRO RESUMO

Fort 02 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,4	1,788	1,373	0,375	75,9	11,0
14,4	1,924	0,381	1,031	37,1	17,9
16,1	1,815	0,100	1,747	11,5	8,9
18,2	1,749	0,000	2,264	4,4	4,4
20,0	1,716	0,020	2,008	2,2	3,0

QUADRO RESUMO**Fort 03 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,4	1,738	2,651	0,282	70,4	6,0
13,1	1,918	0,809	0,636	70,8	18,1
15,0	1,866	0,377	1,042	17,9	16,0
16,8	1,793	0,277	1,805	7,2	7,6
18,2	1,752	0,281	2,357	3,9	4,2

QUADRO RESUMO**Fort 04 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,5	1,899	1,002	0,120	84,3	8,7
10,1	2,088	0,181	0,361	65,7	32,1
11,5	1,987	0,020	0,914	13,8	10,3
12,9	1,927	0,000	1,370	7,6	5,2
14,1	1,892	0,000	1,696	4,4	3,6

QUADRO RESUMO**Fort 05 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
13,5	1,760	2,908	0,444	46,0	8,5
16,0	1,849	1,219	0,850	41,7	14,0
18,0	1,797	0,296	1,408	18,3	15,3
19,9	1,723	0,258	1,631	8,0	9,2
22,2	1,645	0,079	2,824	4,4	6,0
23,4	1,634	0,061	2,970	3,9	5,6

QUADRO RESUMO**Fort 06 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,4	1,674	1,538	0,100	80,2	6,3
13,5	1,889	0,376	0,558	84,6	22,0
15,3	1,835	0,000	0,807	19,0	16,4
17,1	1,770	0,079	1,440	7,5	6,4
19,0	1,717	0,000	1,749	3,6	4,1

QUADRO RESUMO**Guaiú 01 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,3	1,785	1,166	0,100	39,4	10,1
14,2	1,931	0,354	0,475	60,9	21,4
16,1	1,822	0,059	1,124	9,5	9,0
17,6	1,771	0,000	1,696	5,2	4,5
19,4	1,706	0,000	1,619	2,7	2,6

QUADRO RESUMO**Guaiú 02 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,3	1,975	3,253	0,418	69,1	2,9
10,5	2,028	1,275	0,397	42,8	13,4
12,3	2,005	0,571	0,726	24,3	11,5
14,1	1,907	0,296	2,098	8,5	5,9
16,3	1,841	0,061	2,518	4,2	4,1
18,2	1,785	0,000	2,071	1,9	2,3

QUADRO RESUMO**Guaiú 03 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
15,1	1,720	2,118	0,344	45,7	8,7
16,8	1,770	1,377	0,715	60,5	14,6
18,6	1,788	0,476	1,359	32,9	16,2
20,5	1,701	0,139	1,559	14,3	9,3
22,3	1,632	0,118	2,294	5,2	4,0
24,1	1,604	0,102	2,874	3,6	3,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 04 (inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,3	1,987	2,554	0,421	59,1	7,0
11,5	2,017	1,261	0,473	44,9	13,4
12,9	1,964	0,336	0,681	14,9	11,8
14,1	1,881	0,142	1,489	8,1	6,9
15,2	1,866	0,318	1,910	5,9	4,8
17,1	1,788	0,000	2,594	2,7	2,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 05 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,7	1,733	4,130	0,344	55,3	2,7
15,0	1,864	2,004	0,881	47,7	6,8
16,9	1,841	0,099	1,404	17,5	5,2
20,1	1,728	0,000	2,490	4,4	3,2
21,6	1,658	0,549	3,876	2,3	3,2

QUADRO RESUMO**Guaiú 06 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
16,0	1,617	3,648	0,334	66,3	6,0
17,8	1,742	1,309	0,951	58,1	10,7
19,7	1,731	1,192	1,655	34,4	10,7
21,4	1,665	0,120	2,338	16,0	13,0
23,5	1,604	0,100	3,109	5,6	5,9

QUADRO RESUMO**Itaitin 01 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,8	1,716	2,450	0,479	50,9	7,6
14,7	1,782	1,466	0,729	29,3	11,0
16,4	1,840	0,745	1,345	35,4	14,0
18,5	1,770	0,478	1,490	17,5	6,6
20,4	1,701	0,182	2,292	2,3	5,0

QUADRO RESUMO**Itaitin 02 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,7	1,796	0,993	0,020	87,6	4,6
8,1	1,860	0,745	0,040	48,8	8,1
9,6	2,040	0,099	0,181	75,2	32,3
10,9	2,013	0,000	0,522	19,8	12,3
12,6	1,948	0,000	1,140	8,0	7,2

QUADRO RESUMO**Maran 01 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,6	1,733	4,678	0,260	55,3	3,0
11,2	1,825	3,234	0,461	58,8	5,2
12,5	1,884	1,570	0,487	55,7	6,8
13,6	1,924	1,513	0,774	37,6	7,3
15,1	1,864	0,661	1,005	20,1	10,1
15,6	1,856	0,420	1,620	13,5	8,9
16,5	1,821	0,141	1,980	10,4	4,2

QUADRO RESUMO**Maran 02 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,8	1,818	2,080	0,256	83,6	5,9
11,0	1,985	0,663	0,520	72,8	22,0
12,3	1,968	0,079	0,839	30,7	21,2
12,9	1,930	0,080	1,371	14,5	13,4
13,8	1,834	0,414	1,233	6,7	6,3

QUADRO RESUMO**Maran 03 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,2	1,972	2,811	0,396	47,3	8,3
11,7	2,013	1,308	0,419	35,0	11,9
13,3	1,969	0,339	0,520	18,7	10,3
14,5	1,905	0,797	0,677	14,6	7,6
16,0	1,855	0,623	1,445	6,4	5,2

QUADRO RESUMO**Maran 04 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
11,3	1,686	1,955	0,200	64,3	3,8
13,1	1,844	1,314	0,605	83,3	12,0
15,1	1,896	0,255	1,066	35,0	17,7
17,0	1,804	0,040	1,684	11,3	6,2
18,8	1,741	0,040	2,684	6,3	4,0

QUADRO RESUMO**Maran 05 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
6,0	1,904	4,379	0,143	57,8	1,4
7,5	1,965	3,576	0,223	50,5	3,2
9,0	2,018	2,040	0,302	50,1	8,3
10,7	2,057	1,039	0,687	26,7	8,0
11,9	1,986	0,567	1,139	10,9	6,8

QUADRO RESUMO**Maran 06 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
10,9	1,698	3,411	0,162	84,6	2,5
12,9	1,806	2,560	0,521	70,4	6,0
14,7	1,900	1,286	1,203	44,2	11,5
16,7	1,811	0,000	1,738	9,5	4,0
18,2	1,745	0,040	2,652	5,9	3,0

QUADRO RESUMO**Maran 07 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,4	1,920	1,804	0,360	59,8	4,6
10,6	2,001	0,829	0,284	41,7	15,4
12,0	2,018	1,102	0,568	28,5	13,5
13,5	1,967	0,396	1,137	20,1	15,3
14,9	1,901	1,094	1,727	7,4	6,4
16,6	1,825	1,003	2,380	4,2	3,2

QUADRO RESUMO**Maran 08 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,4	1,931	2,577	0,381	52,2	10,3
9,8	1,955	1,070	0,452	51,9	18,1
11,5	1,994	1,012	0,529	32,3	17,2
12,9	1,952	0,297	0,963	16,9	12,4
14,4	1,876	1,773	1,412	7,6	6,1
15,7	1,822	0,041	1,984	4,4	3,3
17,1	1,781	0,364	2,265	2,0	2,2

QUADRO RESUMO**Maran 09 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
13,5	1,760	5,863	0,499	49,1	3,6
16,1	1,851	1,563	0,946	28,5	2,3
17,5	1,821	2,340	1,644	16,8	5,0
19,2	1,756	0,539	1,915	11,5	6,8
21,9	1,654	0,298	2,721	4,1	3,2

QUADRO RESUMO**Maran 10 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,5	1,810	1,427	0,518	69,7	5,2
13,9	1,916	1,763	1,035	48,4	10,0
15,4	1,885	0,722	1,718	24,5	10,3
16,9	1,796	0,100	2,165	7,2	7,6
18,4	1,764	0,000	2,702	3,9	4,2

QUADRO RESUMO**Maran 11 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,3	1,782	3,096	0,060	75,2	2,9
9,9	1,897	2,313	0,281	69,1	6,8
11,1	1,975	1,195	0,356	57,4	8,4
12,7	1,975	0,281	0,900	27,1	10,8
14,0	1,905	0,121	1,556	9,2	6,4

QUADRO RESUMO**Mess 01 (Inter)**

Umidade (%)	Densidade (g/cm3)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
9,1	1,721	1,717	0,100	80,7	3,4
11,3	1,907	0,373	0,361	63,7	13,8
12,6	1,951	0,000	0,725	26,4	13,0
13,8	1,896	0,000	1,247	8,9	7,3
15,5	1,826	0,000	1,872	5,5	5,2
18,1	1,709	0,000	2,495	1,4	2,7

QUADRO RESUMO

Mess 03 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
7,0	1,768	1,900	0,040	55,3	3,6
8,4	1,923	1,292	0,203	47,0	8,5
9,8	2,081	0,259	0,395	46,3	28,0
11,0	2,017	0,000	1,082	8,5	8,4
12,7	1,938	0,000	1,745	3,6	2,3

QUADRO RESUMO

Pacat 01 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
8,0	1,831	1,939	0,262	74,5	6,2
9,7	1,951	0,376	0,238	69,7	17,5
10,8	2,046	0,259	0,259	48,0	34,6
12,4	1,950	0,099	1,001	10,9	10,1
13,9	1,892	0,040	1,798	4,8	8,2

QUADRO RESUMO

Pacat 02 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
12,3	1,709	3,328	0,381	66,3	4,3
14,3	1,862	1,722	0,855	59,1	9,5
16,3	1,872	0,433	1,542	22,7	12,6
18,2	1,769	0,059	2,403	7,2	5,5
20,1	1,716	0,000	2,772	3,9	2,7

QUADRO RESUMO

Pacat 03 (Inter)

Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Expansão (%)	Retração (%)	Mini - CBR (Imediato)	Mini - CBR (24 h)
13,2	1,831	3,129	0,715	42,1	5,5
15,3	1,877	2,044	0,976	30,2	4,9
17,5	1,769	0,000	1,431	14,3	7,0
19,4	1,718	0,283	1,998	5,2	4,8
21,7	1,626	0,080	2,465	3,6	2,0

ANEXO V

**(Resultados das Propriedades Tecnológicas dos Solos Obtidos na Energia de
Compactação Normal para Cilindro Convencional e Miniatura)**

AMOSTRA	MINI-CBR ENERGIA NORMAL						CBR ENERGIA NORMAL				Pedologia
	MN-ÓT (%)	MN-DEN (g/cm³)	MN-EXP (%)	MN-CON (%)	Mini-CBR (24 h) (%)	Mini-CBR (IM) (%)	PN-ÓT (%)	PN-DEN (g/cm³)	N-CBR (%)	N-EXP (%)	
COFECO	7,6	1,865	0,0	0,0	11,0	14,0	9,0	1,970	19,0	0,0	Areia
Mangabeira	10,6	2,040	0,1	0,4	25,0	26,0	10,2	1,860	16,0	0,0	Areia
Prainha	6,5	1,699	0,0	0,0	7,0	8,0	6,9	1,820	15,0	0,0	Areia
Pirapora	7,0	1,818	0,0	0,2	7,0	13,0	8,0	1,840	11,0	0,0	Areia
Pastor	7,7	1,912	0,0	0,2	12,2	20,0	6,0	1,850	12,0	0,0	Areia
Danilo	6,0	1,880	0,0	0,2	9,0	18,0	6,6	1,820	17,0	0,0	Areia
Cauc 05	10,1	2,030	0,1	0,1	21,0	31,0	9,1	2,017	11,0	0,0	Areia
Cauc 06	11,2	2,020	0,0	0,3	20,0	22,0	8,9	2,029	13,0	0,0	Areia
Cauc 10	10,5	2,026	0,0	0,3	23,5	26,4	9,7	1,808	28,0	0,2	Areia
Cauc 02	12,1	1,897	0,0	0,2	17,2	19,8	7,7	1,996	16,0	0,1	Areia
Eus 01	12,3	1,950	0,0	0,3	17,0	18,0	8,3	1,966	7,0	0,0	Areia
Cauc 09	14,0	1,925	0,4	0,8	13,0	19,0	14,8	1,734	9,0	0,8	Bruno
Itait 01	18,8	1,740	0,0	1,3	7,6	16,5	17,7	1,700	5,0	0,5	Bruno
Maran 09	19,2	1,760	1,5	1,5	4,0	13,0	18,7	1,669	3,0	0,2	Bruno
Maran 10	16,5	1,836	0,6	1,8	7,3	12,6	14,5	1,685	7,0	0,4	Bruno
Maran 11	13,2	1,920	0,0	1,2	7,0	17,0	12,8	1,722	6,0	0,1	Bruno
Eus 06	16,6	1,760	0,0	0,2	12,0	15,0	10,9	1,713	13,0	0,2	Halomórfico
Cauc 13	15,6	1,818	0,8	1,7	5,9	13,8	19,3	1,546	8,0	1,0	Litólico
Maran 01	15,5	1,830	1,0	1,4	5,1	18,0	13,3	1,844	5,0	0,3	Litólico
Cauc 11	16,1	1,874	1,0	2,3	3,2	7,6	18,1	1,639	2,0	1,7	Planosolo
Cauc 15	14,0	1,910	0,1	0,8	9,0	11,0	13,1	1,814	10,0	0,1	Planosolo
Guaiú 04	12,9	1,920	0,5	0,6	9,5	18,0	15,2	1,798	2,0	0,3	Planosolo
Guaiú 05	17,2	1,800	0,4	1,5	2,4	14,0	17,9	1,561	2,0	1,4	Planosolo
Maran 03	14,3	1,890	0,6	0,7	7,0	17,0	14,0	1,794	5,0	0,4	Planosolo
Maran 05	11,7	1,972	0,6	0,5	8,8	19,4	9,4	1,910	6,0	0,1	Planosolo
Maran 07	13,8	1,930	0,5	0,8	13,0	18,0	13,9	1,939	5,0	0,3	Planosolo
Maran 08	13,5	1,900	0,3	0,8	11,0	15,0	14,7	1,789	1,0	0,7	Planosolo
Pacat 03	17,2	1,775	1,4	1,5	5,5	15,0	18,7	1,584	3,0	0,6	Planosolo
Zé Novo	12,8	1,940	0,4	0,5	10,0	26,0	14,0	1,880	11,0	0,0	Podzólico
Aquir 01	15,5	1,850	0,3	0,4	17,0	20,0	17,2	1,694	5,0	0,2	Podzólico

AMOSTRA	MINI-CBR ENERGIA NORMAL						CBR ENERGIA NORMAL				Pedologia
	MN-ÓT (%)	MN-DEN (g/cm ³)	MN-EXP (%)	MN-CON (%)	Mini-CBR (24 h) (%)	Mini-CBR (IM) (%)	PN-ÓT (%)	PN-DEN (g/cm ³)	N-CBR (%)	N-EXP (%)	
Cauc 01	9,8	2,050	0,0	0,4	20,0	22,0	8,2	2,070	9,0	0,1	Podzólico
Cauc 03	18,9	1,730	0,7	1,7	11,0	18,0	16,2	1,703	5,0	0,3	Podzólico
Cauc 04	12,1	1,950	0,1	0,7	15,0	23,0	15,4	1,819	4,0	0,1	Podzólico
Cauc 07	12,1	1,957	0,1	1,2	13,2	14,5	16,4	1,780	1,0	0,4	Podzólico
Cauc 08	18,1	1,740	0,0	0,8	20,0	22,0	19,5	1,539	13,0	0,1	Podzólico
Cauc 12	13,7	1,915	0,0	0,8	20,0	22,0	13,1	1,727	19,0	0,1	Podzólico
Cauc 14	13,7	1,900	0,0	0,8	10,0	26,0	11,4	1,751	8,0	0,2	Podzólico
Eus 02	14,3	1,875	0,2	0,8	13,0	18,0	15,6	1,817	7,0	0,1	Podzólico
Eus 04	13,2	1,897	0,2	0,6	15,8	28,5	13,7	1,831	3,0	0,0	Podzólico
Eus 03	12,8	1,940	0,1	0,6	18,0	27,0	12,1	1,733	14,0	0,1	Podzólico
Eus 05	17,4	1,800	0,4	0,8	14,0	23,0	16,4	1,601	12,0	0,1	Podzólico
Eus 07	14,8	1,820	0,1	0,8	15,0	26,0	14,8	1,656	7,0	0,1	Podzólico
Fort 01	16,7	1,808	0,0	1,1	11,5	13,6	17,0	1,752	5,0	0,1	Podzólico
Fort 02	15,4	1,850	0,2	1,2	13,0	18,0	16,8	1,670	4,0	0,1	Podzólico
Fort 04	11,0	2,020	0,0	0,6	13,0	20,0	14,0	1,830	2,0	0,3	Podzólico
Fort 05	18,6	1,770	0,7	1,4	9,0	17,0	20,4	1,618	4,0	2,8	Podzólico
Fort 06	14,8	1,850	0,2	0,8	27,0	30,0	16,2	1,692	8,0	0,1	Podzólico
Fort 03	14,8	1,900	0,2	1,2	15,0	20,0	16,0	1,642	5,0	0,1	Podzólico
Guaiú 01	14,8	1,860	0,2	0,8	18,0	26,0	16,5	1,751	2,0	0,1	Podzólico
Guaiú 03	19,8	1,720	0,4	1,3	13,0	24,0	22,4	1,579	2,0	0,4	Podzólico
Guaiú 06	20,2	1,680	0,7	1,7	11,0	21,0	21,0	1,580	8,0	0,1	Podzólico
Itait 02	10,9	2,020	0,1	0,4	22,0	25,0	10,4	1,748	16,0	0,1	Podzólico
Maran 02	12,5	1,916	0,3	0,9	16,2	26,4	14,3	1,837	4,0	0,2	Podzólico
Maran 04	15,5	1,842	0,4	1,4	10,7	21,6	16,1	1,755	7,0	0,1	Podzólico
Maran 06	16,2	1,820	0,4	1,4	8,0	18,0	16,0	1,716	3,0	0,3	Podzólico
Mess 01	13,2	1,900	0,1	0,7	10,0	17,0	14,2	1,813	2,0	0,2	Podzólico
Mess 03	11,0	2,015	0,0	0,5	6,8	23,5	10,6	1,935	3,0	0,0	Podzólico
Pacat 01	12,0	1,960	0,1	0,7	13,0	18,0	11,7	1,818	7,0	0,1	Podzólico
Pacat 02	17,3	1,825	0,2	2,0	7,5	14,0	16,9	1,593	4,0	0,5	Podzólico
Guaiú 02	13,0	1,940	0,2	1,1	4,0	13,0	18,7	1,744	1,0	1,2	Vertisolo

ANEXO VI

**(Resultados das Propriedades Tecnológicas dos Solos Obtidos na Energia de
Compactação Intermediária para Cilindro Convencional e Miniatura)**

AMOSTRA	MINI-CBR ENERGIA INTERMEDIÁRIA						CBR ENERGIA INTERMEDIÁRIA				Pedologia
	MI-ÓT (%)	MI-DEN (g/cm ³)	MI-EXP (%)	MN-CON (%)	Mini-CBR (24 h) (%)	Mini-CBR (IM) (%)	PI-ÓT (%)	PI-DEN (g/cm ³)	I-CBR (%)	I-EXP (%)	
COFECO	7,5	1,935	0,0	0,2	15,0	25,0	8,6	2,010	32,0	0,0	Areia
Mangabeira	9,8	2,080	0,0	0,2	40,0	60,0	9,8	2,000	21,0	0,0	Areia
Prainha	5,3	1,770	0,0	0,2	9,5	12,4	6,6	1,830	23,0	0,0	Areia
Pirapora	6,2	1,885	0,0	0,1	15,0	24,4	7,8	1,960	35,0	0,0	Areia
Pastor	6,5	1,950	0,0	0,1	21,0	35,0	5,8	1,940	26,0	0,0	Areia
Danilo	5,2	1,960	0,0	0,1	20,0	38,0	6,0	1,990	42,0	0,0	Areia
Cauc 05	9,3	2,110	0,1	0,3	42,0	42,0	8,8	2,081	12,0	0,0	Areia
Cauc 06	9,5	2,060	0,0	0,3	31,0	38,0	8,8	2,101	25,0	0,0	Areia
Cauc 10	9,4	2,115	0,0	0,4	30,0	38,0	9,0	1,991	33,0	0,2	Areia
Cauc 02	11,1	1,970	0,0	0,3	33,0	39,0	7,6	2,022	27,0	0,1	Areia
Eus 01	10,8	2,025	0,0	0,2	30,0	34,0	8,1	2,012	25,0	0,0	Areia
Cauc 09	12,0	2,050	0,8	0,6	24,0	40,0	14,3	1,860	12,0	0,7	Bruno
Itait 01	16,4	1,840	0,7	1,0	14,0	35,4	16,9	1,832	6,0	0,5	Bruno
Maran 09	16,3	1,860	3,3	1,2	3,0	30,0	18,5	1,734	4,0	0,2	Bruno
Maran 10	14,3	1,940	1,5	1,2	12,0	40,0	13,9	1,810	8,0	0,4	Bruno
Maran 11	11,8	2,020	0,8	0,6	15,0	40,0	12,1	1,852	6,0	0,1	Bruno
Eus 06	15,1	1,782	0,1	0,2	16,6	28,9	10,9	1,790	19,0	0,2	Halomórfico
Cauc 13	12,2	2,000	3,4	0,9	6,0	42,0	18,5	1,638	9,0	1,0	Litólico
Maran 01	13,4	1,930	1,4	0,8	8,0	31,0	12,8	1,884	6,0	0,2	Litólico
Cauc 11	12,9	1,991	2,7	1,1	4,6	38,9	17,4	1,718	2,0	1,7	Planosolo
Cauc 15	11,5	2,020	0,0	0,5	21,0	45,0	12,8	1,897	12,0	0,1	Planosolo
Guaiú 04	11,5	2,017	1,3	0,5	13,4	44,9	14,7	1,861	2,0	0,3	Planosolo
Guaiú 05	15,6	1,880	1,3	1,1	6,0	35,0	17,7	1,704	2,0	1,4	Planosolo
Maran 03	12,2	2,025	1,0	0,5	12,0	30,0	13,5	1,948	9,0	0,4	Planosolo
Maran 05	10,4	2,075	1,3	0,6	9,0	30,0	9,1	2,030	9,0	0,1	Planosolo
Maran 07	11,7	2,030	0,8	0,5	22,0	32,0	13,6	1,941	7,0	0,3	Planosolo
Maran 08	11,9	2,000	0,8	0,7	17,0	27,0	14,5	1,867	2,0	0,7	Planosolo
Pacat 03	15,4	1,877	2,0	1,0	4,9	30,2	17,9	1,735	4,0	0,6	Planosolo
Zé Novo	12,3	1,975	0,2	0,4	16,0	50,0	12,0	1,900	18,0	0,0	Podzólico
Aquir 01	14,4	1,912	0,6	0,5	23,6	79,2	16,6	1,783	7,0	0,2	Podzólico

AMOSTRA	MINI-CBR ENERGIA INTERMEDIÁRIA						CBR ENERGIA INTERMEDIÁRIA				Pedologia
	MI-ÓT (%)	MI-DEN (g/cm ³)	MI-EXP (%)	MN-CON (%)	Mini-CBR (24 h) (%)	Mini-CBR (IM) (%)	PI-ÓT (%)	PI-DEN (g/cm ³)	I-CBR (%)	I-EXP (%)	
Cauc 01	9,6	2,097	0,2	0,8	16,6	28,5	8,0	2,116	10,0	0,1	Podzólico
Cauc 03	17,1	1,820	1,3	1,0	16,0	51,0	16,0	1,772	6,0	0,3	Podzólico
Cauc 04	11,4	2,029	0,2	0,6	32,9	61,5	15,3	1,870	5,0	0,1	Podzólico
Cauc 07	9,9	2,060	0,2	0,6	33,0	52,0	15,9	1,847	3,0	0,3	Podzólico
Cauc 08	16,6	1,789	0,3	0,6	24,9	80,6	18,8	1,631	15,0	0,1	Podzólico
Cauc 12	12,1	1,980	0,2	0,7	50,0	60,0	13,1	1,798	21,0	0,1	Podzólico
Cauc 14	12,3	1,975	0,3	0,6	30,0	35,0	10,9	1,871	10,0	0,1	Podzólico
Eus 02	12,7	1,940	0,5	0,6	20,0	57,0	15,2	1,853	8,0	0,1	Podzólico
Eus 04	12,3	1,980	0,3	0,5	26,0	52,0	13,0	1,907	4,0	0,0	Podzólico
Eus 03	11,4	2,007	0,1	0,4	37,1	81,9	11,5	1,803	18,0	0,1	Podzólico
Eus 05	16,0	1,861	0,9	0,7	15,9	61,5	16,0	1,715	14,0	0,1	Podzólico
Eus 07	13,8	1,930	0,3	0,6	25,0	52,0	13,9	1,777	8,0	0,1	Podzólico
Fort 01	15,9	1,822	0,2	0,8	12,2	28,5	16,5	1,798	11,0	0,1	Podzólico
Fort 02	14,5	1,925	0,4	1,1	18,0	37,0	16,6	1,797	6,0	0,1	Podzólico
Fort 04	10,1	2,088	0,2	0,4	32,1	65,7	13,1	1,905	3,0	0,2	Podzólico
Fort 05	16,2	1,860	1,2	1,0	15,0	38,0	20,4	1,674	4,0	2,7	Podzólico
Fort 06	13,7	1,900	0,3	0,7	25,0	70,0	15,9	1,816	9,0	0,1	Podzólico
Fort 03	13,3	1,930	0,8	0,7	21,0	55,0	15,4	1,847	6,0	0,1	Podzólico
Guaiú 01	14,2	1,931	0,4	0,5	21,4	60,9	16,9	1,775	3,0	0,1	Podzólico
Guaiú 03	18,0	1,810	0,7	0,9	21,0	40,0	21,7	1,631	3,0	0,3	Podzólico
Guaiú 06	18,4	1,775	1,2	1,2	12,0	50,0	20,1	1,703	11,0	0,1	Podzólico
Itait 02	9,9	2,050	0,2	0,3	28,0	55,0	9,9	1,851	20,0	0,1	Podzólico
Maran 02	11,5	2,045	0,4	0,7	39,0	52,0	14,1	1,858	5,0	0,1	Podzólico
Maran 04	14,2	1,930	0,7	0,8	23,0	53,0	15,6	1,848	9,0	0,1	Podzólico
Maran 06	14,7	1,900	1,3	1,2	11,5	44,2	16,7	1,802	4,0	0,3	Podzólico
Mess 01	12,0	1,970	0,2	0,5	15,0	38,0	14,5	1,856	4,0	0,2	Podzólico
Mess 03	9,8	2,081	0,3	0,4	28,0	46,3	10,3	1,999	6,0	0,0	Podzólico
Pacat 01	10,8	2,046	0,3	0,3	34,6	48,0	11,1	2,011	9,0	0,1	Podzólico
Pacat 02	15,3	1,925	1,3	1,0	14,0	37,0	16,5	1,790	6,0	0,5	Podzólico
Guaiú 02	11,0	2,060	0,8	0,7	18,0	40,0	18,4	1,769	1,0	1,2	Vertisol