

CLASSIFICAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS E DETERMINAÇÃO DA
CAPACIDADE DE CAMPO *IN SITU* A PARTIR DE TESTES DE INFILTRAÇÃO.

Marta Vasconcelos Ottoni

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D.

Dr. José Ronaldo de Macedo, D.Sc.

Dr. Francesco Palmieri, Ph.D.

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

Prof. Paulo Leonel Libardi, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2005

OTTONI, MARTA VASCONCELOS

Classificação Físico-Hídrica de Solos e
Determinação da Capacidade de Campo *in situ*
a partir de Testes de Infiltração. [Rio de
Janeiro] 2005

XV, 141 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 2005)

Dissertação - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Classificação físico-hídrica de solos
2. Capacidade de Campo
3. Infiltração

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Dedico esta dissertação a um magnífico amigo, filho, esposo, pai, professor, cientista, filósofo e propositor do Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos: Meu amado pai, Theophilo Benedicto Ottoni Filho.

AGRADECIMENTOS

À vida, pois, através de sua grandiosa sabedoria e simples complexidade permitiu-me evoluir através de experiências, algumas vezes dolorosas, outras interessantes e até aquelas engraçadas.

Aos meus eternos pais, Maria de Fátima Vasconcelos Ottoni e Theophilo Benedicto Ottoni Filho, que, durante toda minha vida, sempre estiveram disponíveis para ajudar quando fosse ou não preciso. Não posso deixar de mencionar, neste momento tão importante da minha vida, que eu os amo muito e que daria minha vida, se assim pudesse, como forma de demonstração desse imenso amor e carinho que sinto.

À minhas queridas irmãs, Ana Vasconcelos Ottoni e Isabel Vasconcelos Ottoni, e respectivos namorados, meus cunhados, Luciano e Rodrigo.

Ao meu admirável namorado, Marcos Lima de Araújo. É muito pouco um agradecimento para dizer-lhe o quanto ele é fundamental nessa minha jornada de vida. Atenção, carinho, amor, dedicação, paixão, simplicidade, humildade e profissionalismo são atributos que o torna uma pessoa brilhante, magnífica e digna de muita homenagem. Te amo! Não posso deixar de agradecer também à sua grande família, Mariana Lima, Marcos Pinto, Rose Lima, Fábio, Tereza Cristina Lima, Tio Nadir de Araújo e Tia Edna de Araújo, que, com sua simplicidade e amor, fazem com que me aproxime cada dia mais de suas vidas.

Aos meus amigos do mestrado da COPPE: Ana Silvia, Betina, Iene, Augusto Getirana, Carlinhos, Bruno Moczydlower. Um agradecimento especial vai para uma grande amiga de mestrado: Muriel Batista de Oliveira. Durante os testes de campo em São José de Ubá, onde trabalhamos juntas, foi possível conhecer essa pessoa maravilhosa e meiga, mostrando-se enormemente capaz de vencer qualquer obstáculo que surgisse em sua vida. A minha amiga Muriel, não vale apenas meus agradecimentos, mas principalmente meus parabéns.

Este parágrafo é dedicado exclusivamente a uma grande amiga Gisele Kont. Agradeço a essa pessoa, pois, de todas que já conheci, sempre se mostrou fiel, dedicada e principalmente honesta. Sua vida a tornou uma pessoa digna de muitos aplausos,

admirações e muito amor. Desejo a Gisele toda a felicidade que uma pessoa pode querer na vida. Te adoro!

Não posso deixar de agradecer a algumas pessoas que conheci durante o trabalho de campo em São José de Ubá, que, com sua enorme simplicidade e carinho, me fizeram ficar apaixonada por elas: Silvinho, Penha, Alex, Sônia e sua linda filhinha Milena.

Aos meus eternos amigos: Adriana Rezende, Rubens, Rafael Di Bello, Fernanda Paola, Professor Nelson (Geologia/UFRJ), a amável Andrea, Michele, Rachel Cunha, Silvinha Pereira dos Santos, July, Claudinho Serricchio, Werneck e sua mulher Cristina, Bete Cad, Silvinha, Mauro Bichara, Professor Flávio Miguez e Pupo,

Aos meus amigos da SERLA: Mauro, Jussara, Mariângela, Ramanho, Verônica, Inez, Penha, seu Silvinho, Francisco de Almeida, Aguinaldo, Áureo, Alan, Antônia Mônica, Erasmo e André Pinhel (ex-serlense). Ao presidente e vice-presidente da SERLA: Ícaro Moreno e Altamirando, que sempre me depositaram enorme confiança.

À Equipe do Projeto Geparmbh (2003): Generosa (querida e amável amiga), Fábio, Marconi e Professora Luciene.

Aos funcionários da Embrapa Solos, que muito contribuíram no sucesso deste trabalho: Júlio Kornetz e Leo Cádio (laboratório de física), Fabiano, Rachel Bardy (uma enorme amiga e magnífica profissional), Júlio Roberto, Beth Brandão, Cláudio Capeche, Francesco Palmieri e Silvinho Bhering.

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado concedida para desenvolvimento do presente trabalho.

À FINEP pelo financiamento do Projeto Geparmbh (2003), que tornou possível a realização desta pesquisa.

Aos meus orientadores e amigos, Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho e José Ronaldo de Macedo (Embrapa Solos), pela confiança depositada e orientação, não somente na minha vida profissional, mas também pessoal.

À área de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Agradeço novamente a meu pai, Theophilo Benedicto Ottoni Filho, pois foi o grande idealizador do tema desta dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

CLASSIFICAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS E DETERMINAÇÃO DA
CAPACIDADE DE CAMPO *IN SITU* A PARTIR DE TESTES DE INFILTRAÇÃO.

Marta Vasconcelos Ottoni

Outubro/2005

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho

José Ronaldo de Macedo

Programa: Engenharia Civil

O sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) proposto por Theophilo B. Ottoni Filho classifica os solos segundo a capacidade de hidratação e aeração do perfil, a partir de testes *in situ* de capacidade de campo e infiltração. Este trabalho introduz as classes truncadas por rocha ou nível freático e sistematiza a metodologia do SCFH quanto aos testes de campo e mapeamento físico-hídrico do solo. Aplicou-se a metodologia em uma bacia hidrográfica de 13 km² do estado do Rio de Janeiro, com vistas à classificação dos perfis representativos de solo, ao mapeamento físico-hídrico e à avaliação das potencialidades do sistema. Propõe-se, também, uma metodologia alternativa de determinação *in situ* da capacidade de campo (CC), com base na umidade do solo sob os anéis infiltrômetros. Mostra-se que não existe uma correspondência direta entre as classificações físico-hídrica e pedológica, nem entre a primeira e as classes texturais. Entre os solos da bacia, as principais limitações físico-hídricas dizem respeito à baixa capacidade de aeração dos Gleissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-Amarelos, à baixa disponibilidade de água dos Cambissolos Háplicos gleicos e Neossolos Litólicos, bem como à pequena profundidade dos Neossolos Litólicos. Conclui-se que foi satisfatória e vantajosa a aplicação da metodologia do SCFH, sendo o teste de capacidade de campo considerado a sua maior limitação operacional. Quanto à determinação da CC a partir dos testes de infiltração, verificou-se que uma pedofunção linear, calculada a partir dos dados ajustados do infiltrômetro (reduzidos de 3% de umidade) e de microporosidade, foi uma boa estimadora global e local da capacidade de campo *in situ* dos solos da bacia, com a vantagem de que sua calibração independe dos dados do tabuleiro de inundação. Conclui-se que esta metodologia de determinação da CC tem a vantagem de integrar informações *in situ* de drenagem interna com dados de laboratório, permitindo definir um método mais operacional que o método *in situ* tradicional.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.).

THE PHYSICO-HYDRICAL SOIL CLASSIFICATION AND THE
DETERMINATION *OF IN SITU* FIELD CAPACITY FROM INFILTRATION
TESTS.

Marta Vasconcelos Ottoni

October/2005

Advisor: Otto Corrêa Rotunno Filho

José Ronaldo de Macedo

Department: Civil Engineering

The physico-hydrical classification system (PHCS), proposed by Theophilo B. Ottoni Filho, classifies soils according to their profile hydration and aeration capacities, based on *in situ* tests of field capacity and infiltration. This work introduces the truncated classes by the presence of rock or phreatic level and establishes a framework for the methodology of the PHCS which is related to the field tests and to the physico-hydrical soil mapping. The methodology is applied to a watershed of 13 km² in the state of Rio de Janeiro (Brazil), with the purpose of classifying the representative soil profiles, as well as to make the physico-hydrical mapping of the area and to evaluate the system potentialities. An alternative methodology to estimate the *in situ* field capacity (FC) is also proposed, based on the soil moisture under the ring infiltrometers. It is shown that there is not a straightforward relationship between the physico-hydrical and pedological classifications, neither between the first classification method and the textural classes. With respect to the watershed soils, the main observed physico-hydrical constraints are related to the low aeration capacity of the “Gleissolos Háplicos” and “Argissolos Vermelho-Amarelo”, to the low available water of the “Cambissolos Háplicos Gleicos” and “Neossolos Litólicos”, as well as to the small depth of the “Neossolos Litólicos”. The present work concludes that the application of the PHCS methodology was considered satisfactory and advantageous. However, the field capacity test was recognized as the most important operational limitation. With respect to the determination of the field capacity from infiltration tests, it was verified that the linear pedotransfer function, calculated from the adjusted infiltrometer data set (reduced of 3% moisture) and from the microporosity, was a good global and local estimator of the *in situ* field capacity of the watershed soils, with the advantages that their coefficients are independent of flooding basin data sets. It was concluded that this methodology of field capacity estimation has the advantage of integrating information of *in situ* internal drainage and of laboratory data, allowing the definition of a more operational method than the *in situ* standard method.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
I.1 - Introdução	1
I.2 - Objetivos	5
I.3 - Estrutura do Trabalho	6
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
II.1 - Os Sistemas de Classificação de Solos	7
II.1.1 - Considerações Gerais	7
II.1.2 - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA)	7
II.1.3 - Sistema de Capacidade de Uso	9
II.1.4 - Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras	12
II.1.5 - Sistema de Classificação de Terras para Irrigação	16
II.2 - Variáveis Físico-Hídricas dos Solos	18
II.2.1 - Considerações Gerais	18
II.2.2 - Porosidade Total	19
II.2.2.1 - Densidade do Solo	20
II.2.2.2 - Densidade das Partículas	21
II.2.3 - Ponto de Murcha Permanente	22
II.2.4 - Capacidade de Campo	24
II.2.5 - Água Disponível	28
II.2.6 - Velocidade de Infiltração Básica	29
II.2.7 - Aeração	32
II.3 - Classificação da Estrutura dos Solos	37
II.4 - Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)	38
II.5 - Sistema de Classificação Físico-Hídrica dos Solos	40
CAPÍTULO III - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	49
III.1 - Localização Geográfica	49
III.2 - Geologia e Geomorfologia	53

III.3 - Hidrometeorologia	54
III.3.1 - Clima	54
III.3.2 - Hidrografia	54
III.4 - Solos da Região	55
III.5 - Uso e Cobertura do Solo	57
CAPÍTULO IV - METODOLOGIA.....	59
IV.1 Introdução.....	59
IV.2 - Testes de Campo	59
IV.2.1 - Testes de Capacidade de Campo nos Tabuleiros	61
IV.2.2 - Testes de Infiltração e de Capacidade de Campo nos Infiltrômetros.....	62
IV.3 - Determinação Experimental de Valores	64
IV.3.1 - Variáveis Físico-Hídricas.....	64
IV.3.2 - Granulometria e Matéria Orgânica	66
IV.4 - Extensão da Metodologia do Sistema de Classificação Físico-Hídrica.....	66
IV.4.1 - Modificações na Legenda Físico-Hídrica dos Perfis de Solo	66
IV.4.2 - Ordens e Classes Truncadas.....	67
IV.4.3 - Mapeamento Físico-Hídrico	68
IV.5 - Proposta de Determinação da Capacidade de Campo Usando Infiltrômetros de Duplo Anel	71
CAPÍTULO V - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	75
V.1 - Introdução.....	75
V.2 - Resultados Experimentais	75
V.3 - Classificação Físico-Hídrica dos Perfis Representativos dos Solos da Bacia de Santa Maria e Cambiocó	75
V.4 - Mapeamento Físico-Hídrico dos Solos da Bacia de Santa Maria e Cambiocó	82
V.5 - Determinação da Capacidade de Campo <i>in situ</i> a Partir dos Infiltrômetros de Duplo Anel	89
V.6 - Classificação Físico-Hídrica usando a Capacidade de Campo a partir dos Testes de Infiltração	101
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	106

CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
APÊNDICES.....	125
APÊNDICE A – Nomenclatura dos solos representativos da bacia de Santa Maria e Cambiocó.....	125
APÊNDICE B – Descrição dos horizontes dos 13 solos estudados, com a profundidade de retirada das amostras nos testes de infiltração e de capacidade de campo <i>in situ</i>	126
APÊNDICE C – Legenda das unidades de mapeamento dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó	128
APÊNDICE D – Mapa de solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó.....	129
APÊNDICE E – Lâminas de infiltração (cm) nos infiltrômetros para os 13 perfis estudados, considerando as adições de água (segunda fase dos testes de campo)	130
APÊNDICE F – Resultados experimentais	131
F.1 – Valores da Capacidade de Campo nos infiltrômetros e das VIB's nos 13 perfis estudados (Figura IV.1).....	131
F.2 – Resultados médios das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área (Figura IV.1) nas profundidades de amostragens dos 13 perfis estudados.....	135
APÊNDICE G – Classificação físico-hídrica das classes de solos não predominantes nas unidades de mapeamento da bacia de Santa Maria e Cambiocó, nas profundidades padrão e de superfície.....	140
G.1 – Classificação físico-hídrica correspondente à classe de solo secundária nas unidades de mapeamento pedológico.....	140
G.2 – Classificação físico-hídrica correspondente à classe de solo terciária nas unidades de mapeamento pedológico*	141

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1 – Exemplo de símbolo de mapeamento padronizado para classificação de terras.	17
Figura II.2 – Gráfico de classificação da condição estrutural dos solos considerando sua capacidade de ar (Ca) e água disponível (Av).....	38
Figura II.3 - Triângulo da disponibilidade de ar e água no solo.....	43
Figura II.4 - Triângulos de classificação físico-hídrica dos solos: (a) solos de média condutividade hidráulica ($2,0 \leq VIB \leq 12,5 \text{ cm h}^{-1}$); (b) solos de alta condutividade hidráulica ($VIB > 12,5 \text{ cm h}^{-1}$); (c) solos de baixa condutividade hidráulica ($VIB < 2,0 \text{ cm h}^{-1}$)......	46
Figura III.1 – Área geográfica da região norte/noroeste fluminense, com destaque para os treze municípios.	49
Figura III.2 – Localização geográfica da sub-bacia do rio São Domingos na região norte/noroeste fluminense, com destaque para os rios Muriaé, Pomba e Paraíba do Sul.....	50
Figura III.3 – Bacia hidrográfica do rio São Domingos.	50
Figura III.4 –Bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó, no município de São José de Ubá/RJ.	51
Figura III.5 –Bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó observada de um de seus pontos mais altos.	52
Figura III.6 – Ilustração em terceira dimensão da bacia de Santa Maria e Cambiocó (RJ)	52
Figura III.7 – Identificação dos 36 perfis utilizados no levantamento dos solos na bacia de Santa Maria e Cambiocó (RJ)......	55
Figura III.8 – Mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia de Santa Maria e Cambiocó/RJ	58
Figura IV.1 – Configuração esquemática dos testes realizados em campo.....	60
Figura IV.2 –Teste de campo realizados em uma sub-área do P27.....	61
Figura IV.3 –Tabuleiro de inundação do teste de capacidade de campo <i>in situ</i>	62
Figura IV.4 – Infiltrômetro de duplo-anel	63
Figura IV.5 – Comparação entre os valores observados da CCtab e da CCinf-3%.	72

Figura V.1 - Mapa físico-hídrico padrão da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ).....	84
Figura V.2 - Mapa físico-hídrico de superfície da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ).....	85
Figura V.3 – (a) Ajuste da equação linear que calcula a CCinf-3% (equação A) a partir dos dados da microporosidade; (b) Comparação entre os valores observados da CCTab e os calculados a partir da equação A; (c) Comparação entre os valores observados da CCTab e os calculados através da pedofunção bilinear (equação B), a partir dos dados da microporosidade e do teor de argila.	90
Figura V.4 – Comparação entre os valores calculados pelas Equações A e C, a partir de 36 dados da microporosidade, e os valores correspondentes observados da capacidade de campo <i>in situ</i> (CCTab).	93
Figura V.5 – Comparação, por perfil de solo, da CC de referência com a CC estimada por 3 metodologias distintas (pedofunções A, C e CCinf-3%).	95
Figura V.6 – (a) Ajuste da equação que calcula a CCinf-3% local a partir dos 16 dados da microporosidade dos Planossolos Háplicos. (b) Comparação entre os valores observados da CC tab e os calculados através da pedofunção local (equação D) e da pedofunção global (equação A) de CC.....	97
Figura V.7 – Comparação entre os 16 valores observados da CCTab e CCinf, correspondentes aos Planossolos Háplicos.....	98
Figura V.8 – (a) Ajuste da equação E que calcula a CCinf local a partir dos 16 dados da microporosidade dos Planossolos Háplicos. (b) Comparação entre os valores observados da CCTab e os calculados pela pedofunções A, D e E.99	

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 – Descrição sumária das ordens de solos identificadas pelo SiBCS.....	9
Tabela II.2 – Caracterização sintética das classes de capacidade de uso.	11
Tabela II.3 – Exemplos de representação das unidades de capacidade de uso nas subclasses s (limitação relativa ao solo) e e (limitação pela erosão presente), ambas enquadradas na classe III.....	12
Tabela II.4 – Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.....	14
Tabela II.5 – Diferenciação dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras de acordo com os níveis de manejo A, B e C.....	15
Tabela II.6 – Definição das classes de disponibilidade de ar e água.....	44
Tabela II.7 – Classificação físico-hídrica dos solos: definição das ordens e classes de solo.....	45
Tabela III.1 – Distribuição de áreas e sua percentagens, em relação às diferentes unidades de mapeamento pedológico da bacia de Santa Maria e Cambiocó	56
Tabela IV.1 – Exemplo de dados físico-hídricos médios de perfis, a partir dos quais são definidas as ordens e classes de solo, tanto da classificação padrão (1ª linha) quanto de superfície (2ª linha).....	68
Tabela IV.2 – Exemplo de descrição de uma unidade de mapeamento pedológico	70
Tabela V.1 – Resultados físico-hídricos dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ), nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), e as classes texturais correspondentes.	77
Tabela V.2 – Legenda físico-hídrica dos perfis de solos representativos da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ).	78
Tabela V.3 – Classificação físico-hídrica dos solos predominantes nas unidades de mapeamento da bacia de Santa Maria e Cambiocó - classificação padrão (0-70 cm ou menos) e de superfície (0-30 cm ou menos)	83
Tabela V.4 – Participação decrescente, por porcentagem de área total da bacia de Santa Maria e Cambiocó, da ocupação das ordens físico-hídricas nas classificações padrão e de superfície.	88

Tabela V.5 – Coeficientes de correlação da capacidade de campo do infiltrômetro (subtraída de 3%) com outras variáveis pedológicas.....	89
Tabela V.6 – Valores dos erros médios quadráticos, dos coeficientes de determinação e resultado do teste de Wilcoxon.....	91
Tabela V.7 – Valores dos erros médios quadráticos, dos coeficientes de determinação e das estatísticas do teste de Wilcoxon, correspondentes às validações realizadas para as pedofunções A e C.	94
Tabela V.8 – Valores dos erros médios quadráticos locais de estimativa da CC no tabuleiro, correspondentes às equações A e C aplicadas aos dados de microporosidade do perfil.....	95
Tabela V.9 – Resultados estatísticos comparando os valores de CC calculados pela equação global A e equação local D com os valores de referência (CCtab). A comparação foi feita para os dados dos Planossolos Háplicos (P15 e P36).....	97
Tabela V.10 – Resultados dos erros médios quadráticos, dos coeficientes de determinação, bem como da aplicação do teste de Wilcoxon, visando a comparação entre os dados da Cctab e os valores da CCinf e CCinf-3% dos Planossolos Háplicos (P15 e P36).....	98
Tabela V.11 – Resultados estatísticos comparando os valores da CC calculados pela pedofunção local E com os valores de referência (CCtab).....	99
Tabela V.12 – Comparação entre a capacidade de campo calculada pela equação A e aquela mensurada nos tabuleiros.	101
Tabela V.13 – Classificação físico-hídrica dos 12 perfis representativos de solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30cm), segundo duas metodologias diferentes de determinação da capacidade de campo <i>in situ</i>	103

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

I.1 - Introdução

O solo corresponde a um arranjo complexo de partículas sólidas de diferentes tamanhos e formas, que possui seus espaços vazios preenchidos por água (solução) ou ar, passíveis de serem renovados com a atmosfera, sendo capaz de armazenar nutrientes e calor e servir como camada de sustentação das plantas. Sob essa ótica, o solo torna-se um meio natural vital para a produção agrícola, já que todos esses elementos são imprescindíveis ao pleno desenvolvimento das raízes.

Nesse contexto, várias pesquisas revelaram a existência de uma estreita interação entre o desenvolvimento da planta e as condições físicas do solo, uma vez que as raízes parecem dispor de um mecanismo de sensibilidade a essas condições, enviando sinais à parte aérea que controlam o crescimento e expansão foliar (Masle e Passioura, 1987; Passioura e Gardner, 1990; Davies e Zhang, 1991). Essas condições físicas do solo, na zona radicular, são determinadas pela sua capacidade de aeração e de hidratação, bem como pela resistência à penetração no solo e temperatura. Entretanto, a química e a morfologia do solo, assim como os fatores climáticos e fitológicos (Hillel, 1980a; Reichardt, 1990), obviamente, também devem ser levados em conta quando se pretende avaliar o potencial produtivo de um solo na zona radicular das plantas.

Logo, o reconhecimento da ocorrência da interação entre planta e condições físicas dos solos demonstra a necessidade de caracterizar essas condições, acima descritas, tanto na avaliação da influência de práticas de manejo sobre as culturas (Tormena *et al.*, 1998), como na escolha de um sistema adequado de produção agrícola. Adicionalmente, se essa caracterização for realizada nos diferentes tipos de solos que abrangem uma unidade geográfica, ela pode se tornar uma poderosa ferramenta no planejamento territorial para fins de uso agrícola.

Nesse sentido, baseado nas capacidades de aeração e de hidratação dos solos às raízes vegetais, foi proposto por Ottoni Filho (2003) um sistema de classificação físico-hídrica dos solos (SCFH). Naquele artigo, entendeu-se como capacidade de hidratação dos solos a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente,

enquanto que a capacidade de aeração foi avaliada pela conjugação dos valores da velocidade de infiltração básica e da porosidade drenável, esta última determinada pela subtração entre a porosidade total e a capacidade de campo. As variáveis de entrada desse sistema são as seguintes propriedades pedológicas: porosidade total (PT), capacidade de campo volumétrica (CC); ponto de murcha permanente volumétrico (PMP) e velocidade de infiltração básica (VIB).

Com esses dados, duas classificações foram propostas para um determinado solo: i) classificação padrão, que avalia os atributos físico-hídricos para o perfil com profundidade máxima de 70 cm; ii) classificação de superfície, que avalia os atributos físico-hídricos para o perfil com profundidade máxima de 30 cm. O interesse da classificação de superfície seria para os casos envolvendo cultivos com zona radicular rasa, pois, nos 30 cm superiores do solo, concentra-se a quase totalidade das raízes mais ativas dessas plantas, que têm a função de absorver água e nutrientes.

A iniciativa de representar físico-hidricamente os perfis num contexto classificatório tem principalmente o objetivo de agregar sistematicamente informações à classificação tradicional de solos, proposta pelo sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS) (Embrapa¹, 1999), considerando que é pouco contemplada a caracterização de variáveis físico-hídricas nos relatórios técnicos de levantamento dos perfis dos solos. Percebe-se apenas, nesses relatórios, a representação da porosidade total, da textura e da densidade do solo.

Assim, pode-se notar uma estreita ligação entre o SCFH e o SiBCS, uma vez que ambos têm como base a descrição dos perfis que pretendem classificar. No entanto, apesar dessa interação e sabendo que a partir do SiBCS são produzidos os mapas de solos, sendo estas representações cartográficas das unidades taxonômicas, a metodologia do SCFH nada especifica quanto à caracterização da capacidade de aeração e hidratação dos solos ao nível dessas unidades de mapeamento. Em se efetuando o mapeamento físico-hídrico, o SCFH passaria a ser uma ferramenta adicional na caracterização das paisagens existentes, servindo também como instrumento de planejamento territorial, sendo possível melhor identificar as áreas de maior e menor potencial para fins de utilização agrícola, e contribuindo na preservação do meio ambiente e uso adequado dos solos.

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

A classificação físico-hídrica permite gerar uma extensa base de informações de grande serventia para o manejo agrícola e não agrícola das terras, incluindo os cálculos de projetos de irrigação e modelagem hidrológica.

Ressalta-se, ainda, que esse sistema também é importante na avaliação da aptidão agrícolas e/ou agroecológica das terras, quando associado aos elementos do clima, da planta, da topografia, do nível de manejo, entre outros.

Cumprir mencionar que o SCFH possui uma metodologia simples e precisa, que pode ser manipulada por usuários de pouca experiência pedológica. Ademais, esse método de classificação baseia-se em cálculos estritamente numéricos, o que diminui sensivelmente o teor de subjetividade do processo classificatório.

Entretanto, o trabalho de Ottoni Filho (2003), que enuncia a metodologia de classificação físico-hídrica, foi, até o presente momento, pouco testado a nível de campo. A dissertação de Brito (2004) constitui-se no primeiro trabalho nessa direção, quando os solos de uma pequena bacia hidrográfica de aproximadamente 11 km² (1.072 ha), no município de Paty do Alferes (RJ), foram classificados e mapeados segundo o SCFH. Todavia, o trabalho de Brito (2004) não explicita completamente uma sistemática para os trabalhos de levantamento de solos e mapeamento físico-hídrico.

No SCFH, duas de suas mais importantes propriedades de entrada, a serem obtidas através de experimentação *in situ*, são a capacidade de campo e a velocidade de infiltração básica, que, de acordo com Ottoni Filho (2003), devem ser realizadas segundo os métodos da Embrapa (1979). Entretanto, a metodologia desse sistema nada diz quanto à disposição dos testes no campo. Além disso, o teste de capacidade de campo *in situ* apresenta algumas inconveniências operacionais, além de alguns conceitos arbitrários, que, em função disso, requer que seja feita sua sistematização com vistas à determinação de uma metodologia padronizada e de fácil operacionalização quanto à obtenção de resultados satisfatórios da capacidade de campo.

Segundo a Embrapa (1979), a determinação da capacidade de campo consiste na aplicação de uma lâmina de água por inundação, num tabuleiro de 1 m², para garantir o molhamento pleno do perfil (saturação), com posterior proteção superficial da região umedecida visando evitar a perda de água por evaporação ou a adição por ocorrência de chuvas. A umidade no solo² referente à capacidade de campo é aquela cujas variações temporais no perfil são mínimas, o que torna mais complexo o processo operacional, já

² Umidade no solo também é chamada, por alguns autores, de conteúdo de água no solo.

que são requeridas determinações de umidade em diversos tempos, de 24 horas em 24 horas em geral. Percebe-se, nesse conceito, uma certa arbitrariedade, uma vez que não se define claramente quais são as condições iniciais de umidade do solo antes da realização do teste, já que podem interferir na capacidade de campo em si, bem como não se explicita o conceito da mínima variação temporal.

Em vista desses aspectos, Ottoni Filho (2003) sugere que os procedimentos sejam padronizados ao máximo, como a realização do teste durante a estação seca e a fixação do tempo de amostragem em 48 h após o término da inundação. Por outro lado, muitos autores buscaram representar a capacidade de campo a partir de testes em laboratório, assumindo que ela estaria associada a uma determinada sucção de água, sendo comumente adotado o valor de 0,033 MPa para solos argilosos e o de 0,01 MPa para solos arenosos. Entretanto, Hillel (1980c) afirma que nenhum método de laboratório é capaz de representar perfeitamente a dinâmica de água no perfil, ressaltando que o conteúdo de água relativo ao potencial de 0,033 MPa ou de 0,01 MPa é apenas correlacionável com a umidade na capacidade de campo, mas não sendo a capacidade de campo em si, confirmando a necessidade da sua mensuração direta.

Entretanto, apesar do método *in situ* ser aquele mais recomendável na determinação da capacidade de campo e mesmo considerando as padronizações propostas por Ottoni Filho (2003), o teste *in situ* da capacidade de campo apresenta alguns inconvenientes operacionais, principalmente no que se refere ao estabelecimento do valor do volume de água a aplicar, que varia conforme a área de inundação, a umidade inicial e a profundidade de saturação no perfil de solo, bem como às dificuldades executivas dessa aplicação. Adicionalmente, deve-se ressaltar que a declividade dos terrenos também é um fator que dificulta a operacionalização desses testes no campo, isso porque a cravação do tabuleiro de inundação, bem como a aplicação de água no seu interior tendem a ser mais dificultosos do que quando realizados em áreas planas.

No que concerne à área mínima para realização do teste de capacidade de campo, Fabian e Ottoni Filho (2000) sugerem a possibilidade da redução do tamanho do tabuleiro definido pela Embrapa (1979), uma vez que houve uma equivalência entre os dados do tabuleiro de 1 m² (Embrapa, 1979) com os de uma câmara de fluxo de 0,5 m² (Fabian e Ottoni Filho, 1997). Vislumbra-se a conveniência dessa redução de área, considerando a dificuldade operacional do transporte do tabuleiro metálico de 1 m², bem como, principalmente, a economia do volume de água a aplicar.

Alguns trabalhos (Maclean e Yager, 1970; Oliveira e Melo, 1971; Rivers e Shipp, 1971; Borges e Medina, 1981; Medina e Oliveira, 1987; Fabian e Ottoni Filho, 2000) citam a lâmina de água requerida nos testes *in situ*, cujos volumes, em alguns casos, dificultam consideravelmente a sua realização, em função dos problemas de captação e transporte hídricos.

Assim, a principal inconveniência do teste de capacidade de campo *in situ*, desconsiderando a questão da declividade dos terrenos e incluindo as padronizações sugeridas por Ottoni Filho (2003), refere-se à área do tabuleiro, sendo de interesse um estudo crítico quanto a sua dimensão mínima. Nesse sentido, vislumbra-se a possibilidade de que os infiltrômetros de duplo anel (Embrapa, 1979), além de serem instrumentos padrões nos testes de infiltração, possam também ser utilizados na determinação da capacidade de campo *in situ* numa única aplicação de água para ambos os testes.

A verificação da possibilidade de se utilizar uma única aplicação hídrica para ambos os testes de infiltração e capacidade de campo é particularmente motivadora no que diz respeito ao SCFH, tendo em vista que tais testes, principalmente os da capacidade de campo, constituem-se nos elementos de maior dificuldade executiva daquela metodologia.

I.2 - Objetivos

O presente trabalho visa sistematizar a metodologia do sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) de Ottoni Filho (2003) ao nível dos testes de campo. Além disso, pretende-se expandir essa metodologia de classificação de solos, no que se refere às classes e ordens truncadas e ao mapeamento físico-hídrico dos solos. Com base nessa extensão, será feita sua aplicação numa pequena bacia hidrográfica de 13 km², localizada no noroeste do estado do Rio de Janeiro, com vistas à classificação dos perfis representativos da região e ao seu mapeamento físico-hídrico.

Pretende-se, paralelamente, propor e testar uma metodologia alternativa de determinação da capacidade de campo *in situ* com o uso do infiltrômetro de duplo anel, considerando as vantagens da realização de ambos os testes, de infiltração e capacidade de campo, através de uma única aplicação de água no campo.

Ressalte-se que os trabalhos de campo desta pesquisa inseriram-se no âmbito do projeto “Gestão Participativa da Sub-bacia do Rio São Domingos”, RJ (Geparmbh,

2003), que desenvolvem ações integradas e participativas com a comunidade local, no nível de bacia hidrográfica, introduzindo técnicas conservacionistas e conscientizando-a sobre os problemas de degradação ambiental.

I.3 - Estrutura do Trabalho

Esta dissertação foi dividida em sete capítulos. No capítulo I, como já visto, são apresentados as considerações iniciais e objetivos do presente trabalho.

No Capítulo II, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, descrevendo-se sumariamente os principais sistemas de classificação dos solos aplicados no país, para, então, se realizar uma explanação detalhada de algumas variáveis físico-hídricas do solo. Em seguida, é feito um breve resgate de alguns trabalhos que caracterizam o solo a partir de elementos físico-hídricos. Entre esses trabalhos, destaque é fornecido ao SCFH, cuja metodologia é descrita e apresentada de forma a oferecer ao leitor uma abordagem integrada com as variáveis físico-hídricas discriminadas no capítulo.

No Capítulo III, é descrita a área de estudo, especificamente quanto à caracterização geográfica, geomorfológica, climatológica e pedológica.

Já no Capítulo IV, são traçados os procedimentos metodológicos para consecução dos objetivos propostos, com destaque para o levantamento físico-hídrico dos solos e para a proposta alternativa de determinação da capacidade de campo *in situ*. Nesse capítulo, também é apresentada uma proposta de extensão da metodologia do sistema de classificação físico-hídrica, incluindo-se alguns complementos na metodologia de Ottoni Filho (2003).

O Capítulo V traz os resultados do trabalho com a apresentação da classificação físico-hídrica da região de estudo, a nível do mapeamento físico-hídrico dos solos e da descrição físico-hídrica dos perfis representativos. O capítulo também apresenta uma análise de resultados da proposta de determinação da capacidade de campo *in situ*, tendo como base os dados de capacidade de campo levantados tanto no tabuleiro como nos anéis infiltrômetros, para todos os solos representativos da bacia mapeada.

Finalmente, no Capítulo VI, são apresentadas as considerações finais da presente dissertação, destacando-se algumas recomendações para futuros trabalhos de pesquisa.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 - Os Sistemas de Classificação de Solos

II.1.1 - Considerações Gerais

Solo é um conjunto de indivíduos naturais tridimensionais, resultante da ação integrada do clima e organismos sobre o material de origem, condicionado pelo relevo em diferentes períodos de tempo, o qual apresenta características que constituem a expressão do(s) processo/mecanismo(s) dominante(s) na formação do solo (Jenny 1941; Simonson, 1967).

Os solos abrigam os lençóis subterrâneos de água, mantêm os fluxos de base dos rios e lagos, sustentam a vida dos microorganismos decompositores e da macro flora, além de servirem como fonte de alimentação e renda para a humanidade. Guerras já foram travadas para se garantir a posse da terra, confirmando, então, a importância atribuída aos solos desde os nossos primórdios.

Tendo em vista que os solos são essenciais para a manutenção e sustentação da vida, o seu conhecimento torna-se fundamental. Nesse sentido, foram propostos alguns sistemas de classificação de solos, que visam caracterizá-los sob diferentes óticas. Os principais sistemas utilizados no país estão descritos, de forma sintética, nos itens a seguir.

II.1.2 - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA)

O sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS), proposto pela Embrapa (1999), e com origem da década de 1970, apresenta características diferenciadas em relação a sistemas aplicados em outros países, tendo em vista a predominância na formação dos solos brasileiros das condições de clima tropical e não de clima temperado.

Esse sistema de classificação já passou por aproximações sucessivas, buscando um sistema multicategórico, pois comporta a hierarquização de várias categorias em nível descendente de grau de generalização, ou seja, parte-se de classes abrangentes de

categoria mais elevada para classes mais específicas, mais baixas categoricamente. Além disso, o SiBCS é um sistema aberto, admitindo a inserção de novas classes de solos (Embrapa, 1999).

A unidade básica de estudo do sistema brasileiro de classificação de solos é o perfil de solo que constitui a menor porção da superfície terrestre a ser descrita, apresentando três dimensões e perfazendo um volume mínimo que possibilite estudar a variabilidade dos atributos, propriedades e características dos horizontes ou camadas do solo (Embrapa, 1999).

A partir do levantamento de solos realizado por perfil são definidos os relatórios técnicos, que abordam as características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas dos perfis e os mapas de solos que apresentam a distribuição espacial das unidades de mapeamento, as quais ilustram as unidades taxonômicas simples e/ou em associação com outras unidades. Essa discriminação de solos pode servir de base, se convenientemente interpretada, para diferentes classificações técnicas ou interpretativas, como apresentadas nos itens II.1.3, II.1.4 e II.1.5.

O SiBCS é composto de 6 níveis categóricos, a seguir listados no sentido dos níveis mais elevados (abrangentes) para os mais baixos: 1º nível categórico (ordens); 2º nível categórico (subordens); 3º nível categórico (grandes grupos); 4º nível categórico (subgrupos); 5º nível categórico (famílias) e 6º nível categórico (séries) (Embrapa, 1999). De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos, um nível categórico é conceituado como um conjunto de classes definidas num mesmo nível de generalização ou abstração e incluindo todos os solos que satisfazem a essa definição.

Os níveis categóricos são caracterizados com base nas propriedades dos solos que possam ser identificadas diretamente ou deduzidas de outras propriedades, a partir do levantamento de amostras e/ou reconhecimento no campo, ou a partir do conhecimento da ciência do solo e de outras disciplinas correlatas. Para os níveis categóricos mais elevados (ordens e subordens), suas características diferenciais devem ser as propriedades que resultem diretamente dos processos de gênese do solo ou que interfiram diretamente na sua gênese (Embrapa, 1999). Por outro lado, os níveis categóricos mais baixos (famílias e séries) devem priorizar as propriedades que permitam avaliar as aptidões do solo para o uso agrícola ou tecnológico.

Uma visão geral do sistema mostra 14 classes no nível de ordem (1º nível categórico), 44 classes no nível de subordem (2º nível), 150 classes no nível de grande grupo (3º nível) e 580 classes no nível de subgrupo (4º nível).

Até o presente momento, o SiBCS permite somente a classificação até o nível de subgrupo (4º nível categórico), sendo, então, necessária uma revisão desse sistema no sentido de estender sua descrição pedológica ao nível de famílias e séries.

Na Tabela II.1, é apresentada uma breve descrição das ordens de solos identificadas pelo SiBCS.

Tabela II.1 – Descrição sumária das ordens de solos identificadas pelo SiBCS

Nome da Ordem	Descrição
ARGISSOLOS	Solos com horizonte B textural e argila de atividade baixa.
CAMBISSOLOS	Solos com horizonte B incipiente.
CHERNOSSOLOS	Solos escuros, ricos em bases e carbono, com horizonte B contendo argila de atividade alta.
ESPODOSSOLOS	Solos com horizonte B espódico.
GLEISSOLOS	Solos com horizonte glei ocorrendo à profundidade menor que 50 cm.
LATOSSOLOS	Solos com horizonte B latossólico.
LUVISSOLOS	Solos ricos em bases, B textural ou nítico com argila de atividade alta.
NEOSSOLOS	Solos pouco desenvolvidos; ausência do horizonte B diagnóstico.
NITOSSOLOS	Solos com horizonte nítico e argila de atividade baixa.
ORGANOSSOLOS	Solos orgânicos.
PLANOSSOLOS	Solos com horizonte B plânico.
PLINTOSSOLOS	Solos com horizonte plântico à profundidade menor ou igual a 40 cm.
VERTISSOLOS	Solos com horizonte vértico.

Fonte: Embrapa (1999)

II.1.3 - Sistema de Capacidade de Uso

Segundo o manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso (Lepsch *et al.*, 1983), o sistema brasileiro de capacidade de uso é uma classificação técnica, baseado em sistema similar desenvolvido nos Estados Unidos (Klingbiel e Montgomery, 1961), que visa agrupar, numa mesma

unidade geográfica, aquelas terras que apresentam respostas semelhantes quanto a sua capacidade de uso, conceito este diretamente ligado às possibilidades e limitações das terras. Esse sistema é freqüentemente utilizado no Brasil.

Nesse sistema, foram definidas algumas características e propriedades das terras que serviram de base para a definição de suas classes homogêneas (Lepsch *et al.*, 1983). Essas características da terra são atributos que podem ser medidos ou estimados, como, por exemplo, a textura e a cor do solo. As propriedades das terras são atributos relativos ao seu comportamento, resultantes da interação do solo com o ambiente, como, por exemplo, a produtividade agrícola, o risco à erosão, as limitações topográficas e climáticas, entre outros fatores. Sob esse enfoque, o conceito de terra passa a ter uma interpretação mais abrangente que o conceito de solos, pois incorpora essas interrelações com o meio ambiente, incluindo clima, vegetação, topografia, drenagem, erosão e manejo.

O levantamento das terras, voltado ao estabelecimento da capacidade de uso, pode ser realizado em áreas desprovidas de levantamento pedológico, tendo em vista os custos envolvidos. Dessa forma, o meio físico poderia ser inventariado de maneira simplificada, denominado levantamento utilitário, visando ao estabelecimento da capacidade de uso das terras. Assim, esse levantamento pode ser executado no âmbito do conhecimento técnico dos engenheiros agrônomos, prescindindo de informações pedológicas mais especializadas.

Após inventariadas as características e propriedades das terras, destacando-se a natureza do solo, a declividade, a erosão, a drenagem e o clima, realiza-se o agrupamento, a análise e a interpretação, para, em seguida, se determinar e separar as terras por grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso (categorias dos sistemas de classificação de uso).

Os grupos de capacidade de uso são expressos, em ordem decrescente de intensidade de uso das terras, pelas letras maiúsculas A, B e C. O grupo A define terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre (comporta as classes I, II, III e IV). O grupo B designa aquelas terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, porém cultiváveis em casos de algumas culturas especiais protetoras do solo (compreende as classes V, VI e VII). Finalmente, o grupo C define as terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou

reflorestamento, porém apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água (comporta a classe VIII).

As classes de capacidade de usos consistem em grupamentos de terras apresentando o mesmo grau de limitação, ou seja, terras com limitações de uso e/ou risco de degradação do solo em grau semelhante. Essas classes são designadas em números de 1 a 8, expressos em algarismos romanos (Tabela II.2). Por exemplo, para o grupo A, a classe I significa terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação.

As subclasses são baseadas na natureza da limitação de uso, sendo definidas, nesse sistema, através das letras e, s, a, c, que significam, respectivamente, limitações pela erosão, pela natureza do solo, pelo excesso de água e pelo clima. A ausência da letra significa que não há a limitação correspondente.

Tabela II.2 – Caracterização sintética das classes de capacidade de uso.

Grupo A	
- Classe I:	Terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação;
- Classe II:	Terras cultiváveis com problemas simples de conservação;
- Classe III:	Terras cultiváveis com problemas complexos de conservação;
- Classe IV:	Terras cultiváveis.
Grupo B	
- Classe V:	Terras adaptadas em geral para pastagem e/ou reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação, cultiváveis apenas em casos muito especiais;
- Classe VI:	Terras adaptadas em geral para pastagem e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação, cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo;
- Classe VII:	Terras adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.
Grupo C	
-Classe VIII:	Terras impróprias para cultura, pastagem ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação, ou para fins de armazenamento de água.

Fonte: Lepsch *et al.* (1983)

Finalmente, as unidades de capacidade de uso caracterizam de forma mais explícita a natureza da limitação do uso, facilitando a adoção de práticas de manejo. É o caso, por exemplo, da subclasse IIIs (classe III com limitação pelo solo), onde a letra s pode estar representando pouca profundidade, pedregosidade, salinidade, entre outras

características. A maneira de explicitar cada um desses fatores limitantes é através da notação da unidade de capacidade de uso, designada pela colocação de algarismos arábicos, a critério do elaborador do mapa, à direita do símbolo da subclasse, dele separados por hífen.

A unidade de capacidade de uso representaria o elemento da subclasse perfeitamente identificado, em função do fator limitante, como nos seguintes exemplos da Tabela II.3

Tabela II.3 – Exemplos de representação das unidades de capacidade de uso nas subclasses s (limitação relativa ao solo) e e (limitação pela erosão presente), ambas enquadradas na classe III

Exemplo 1: IIIs	Descrição
IIIs-1*:	Limitação por problema de profundidade;
IIIs-2:	Limitação por pedregosidade;
IIIs-3:	Limitação por salinidade.
Exemplo 2: IIIe	Descrição
IIIe-1:	Limitação pela declividade;
IIIe-2:	Limitação por erosão laminar;
IIIe-3:	Limitação por erosão em sulcos.

* A definição da limitação correspondente à unidade de IIIs-1 é feita em função da limitação predominante.

Fonte: Lepsch *et al.* (1983)

II.1.4 - Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras

Nesse sistema, as terras são classificadas segundo sua aptidão para culturas sob diferentes manejos (Ramalho Filho e Beek, 1995). Também é conhecido como sistema FAO³ brasileiro.

A introdução do item de manejo na interpretação da qualidade das terras foi uma importante inovação do sistema de aptidão agrícola das terras em relação ao sistema de capacidade de uso. Esse sistema considera, no seu processo interpretativo, além das características pedológicas, fatores do meio ambiente, tais como, clima, vegetação,

³ Food Agriculture Organization

topografia e condições de drenagem. Também incorpora a possibilidade de diferentes níveis tecnológicos de manejo agrícola.

O sistema de avaliação de aptidão agrícola é aberto, pois permite a substituição e atualização à medida que os conhecimentos científicos e tecnológicos evoluem, tanto da metodologia do sistema, como das classificações e interpretações.

Esse método apresenta três níveis de manejo que, de acordo com Ramalho Filho e Beek (1995), visam diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos, de acordo com o nível de aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das terras e das lavouras, bem como com os tipos de práticas agrícolas adotadas. A simbologia do nível de manejo é expressa através das letras A, B e C (em ordem crescente de nível tecnológico), que variam também na sua forma de escrita (minúscula e entre parênteses), dependendo da classe de aptidão agrícola em que se apresentam as terras (Tabela II.4).

Esse sistema de classificação apresenta uma estrutura categórica que reconhece grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola.

Os grupos analisam as condições agrícolas das diferentes unidades de mapeamento, não somente para lavouras, mas também para pastagem plantada e natural, e silvicultura, ou seja, identificam no mapa a melhor aptidão agrícola das terras. Já os subgrupos indicam o tipo de utilização das terras, cujo resultado se deve à avaliação conjunta da classe de aptidão das terras com o nível de manejo.

Vale ressaltar que, no caso da pastagem plantada e da silvicultura, está prevista uma modesta aplicação de fertilizantes, defensivos e corretivos, que corresponde ao nível de manejo B. Para a pastagem natural, está implícita uma utilização sem melhoramentos tecnológicos, condição que caracteriza o nível de manejo A.

Os grupos desse sistema são representados através dos números de 1 a 6 (Tabela II.5), sendo que os três primeiros grupos (1, 2 e 3), além de indicarem lavoura como tipo de utilização, apresentam, nos seus subgrupos, as melhores classes de aptidão das terras indicadas para lavoura, segundo os níveis de manejo. Por exemplo, no subgrupo 1(a)bC, o algarismo 1 indica o grupo, representando aí a melhor classe de aptidão dos componentes desse subgrupo, uma vez que as terras pertencem à classe de aptidão boa, no nível de manejo C (grupo 1), classe de aptidão regular, no nível de manejo B (grupo 2) e classe de aptidão restrita, no nível de manejo A (grupo 3). Os grupos 4, 5 e 6, indicam apenas o tipo de utilização (respectivamente, pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação de flora e da fauna), independentes da classe de

aptidão (Tabela II.5). A título de ilustração, cita-se o grupo 5, que inclui as terras com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura. As limitações que afetam os tipos de utilização crescem do grupo 1 para o grupo 6, diminuindo, dessa forma, as alternativas de uso e a frequência com que podem ser utilizadas as terras.

Finalmente, as classes desse sistema, sendo em número de 4 (boa, regular, restrita e inapta), expressam a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização, com um nível de manejo definido, dentro de um subgrupo de aptidão. As classes são definidas em termos de graus, dependendo do nível de limitação para a produção sustentável de um determinado tipo de utilização. Os fatores que expressam essa limitação são: deficiência de fertilidade (f), deficiência de água (h), excesso de água ou deficiência de oxigênio (o), susceptibilidade à erosão (e) e impedimentos a mecanização (m). Vale mencionar que todos esses parâmetros, com exceção do fator deficiência de fertilidade, são qualitativos, o que introduz subjetividade no processo de classificação.

Na simbologia desse sistema, as classes são identificadas através da formatação dos níveis de manejo. Por exemplo, no subgrupo 2ab(c), a letra minúscula sem parênteses, nos níveis de manejo A e B, significa aptidão regular para as lavouras nesses níveis; já a letra minúscula entre parênteses exemplifica uma classe restrita no nível de manejo C. Quando uma das letras (nível de manejo) não aparece no subgrupo, significa que, naquele nível não identificado, as terras são inaptas.

Na Tabela II.4, é apresentada a simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras e, na Tabela II.5, é identificada a diferenciação dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras de acordo com os níveis de manejo A, B e C.

Tabela II.4 – Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras

Classe de Aptidão Agrícola	Tipos de Utilização					
	Lavouras			Pastagem Plantada	Silvicultura	Pastagem Natural
	Nível de Manejo			Nível de Manejo B	Nível de Manejo B	Nível de Manejo A
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

Tabela II.5 – Diferenciação dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras de acordo com os níveis de manejo A, B e C.

Grupo	Caracterização	Subgrupo
1	Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo nos níveis de manejo A, B ou C	1ABC 1ABc, 1AB(c), 1AB 1aBC, 1(a)BC, 1BC 1Abc, 1Ab(c), 1A(bc), 1Ab, 1A(b), 1A 1aBc, 1aB(c), 1(a)Bc, 1(a)B(c) 1aB, 1Bc, 1(a)B, 1B(c), 1B 1abC, 1(a)Bc, 1(ab)C, 1Bc, 1(b)C, 1(b)C, 1C
2	Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo nos níveis de manejo A, B ou C	2abc 2ab(c), 2ab 2(a)bc, 2bc 2a(bc), 2a(b), 2a 2(a)b(c), 2(a)b, 2b(c), 2b 2(ab)c, 2(b)c, 2c
3	Terras com aptidão restrita para lavouras de ciclo curto e/ou longo nos níveis de manejo A, B ou C	3(abc) 3(ab) 3(bc) 3(a) 3(b) 3(c)
4	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada	4P 4p 4(p)
5	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura e/ou pastagem natural	5SN, 5Sn, 5S(n), 5S 5sN, 5sn, 5s(n), 5s 5(s)N, 5(s)n, 5(sn), 5(s) 5N, 5n, 5(n)
6	Terras sem aptidão para uso agrícola	6

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

II.1.5 - Sistema de Classificação de Terras para Irrigação

Segundo o manual de classificação de terras para irrigação⁴ (Carter, 1993), a classificação de terras é uma avaliação econômica dos recursos da terra, relativos a sua aptidão para agricultura sob irrigação.

Nesse sistema, as terras são classificadas segundo suas classes, subclasses e deficiências dominantes, associadas à aptidão para irrigação.

As classes de terras baseiam-se, de modo geral, na economia de produção e nos custos de desenvolvimento da terra, supondo-se que esses custos são de responsabilidade do agricultor. O sistema permite identificar 3 grupos de terras: (1) terras aráveis; (2) terras não aráveis e (3) uma classe provisória, totalizando 6 classes. As 4 primeiras classes (1 a 4) representam as terras aráveis com aptidão para irrigação. A classe 1 é aquela cujas restrições ao desenvolvimento de uma cultura sob irrigação são mínimas ou inexistentes, apresentando a maior capacidade de pagamento do investimento de implantação e desenvolvimento do projeto de irrigação. As limitações das terras à irrigação, no que concerne às demais classes, aumentam conforme a ordem crescente das classes, ou seja, da 2 para a 4. A classe 5 (classe provisória) pode ser constituída por terras potencialmente aráveis, mas que requerem estudos mais detalhados para uma classificação definitiva. A última classe (classe 6) corresponde àquelas terras não aráveis, que geram uma renda líquida do lote insuficiente para o pagamento dos custos de operação, manutenção e reposição do projeto de irrigação.

Com exceção da classe 1, as demais classes apresentam subclasses que são usadas para indicar deficiências nos três fatores básicos das terras reconhecidos pelo sistema: solo, topografia e drenagem. São indicadas na simbologia de classificação de terras, acrescentando-se as letras “s”, “t” e “d” ao número da classe, o que representa, respectivamente, deficiência no solo, na topografia ou na drenagem.

A aptidão agrícola das terras é representada através de um símbolo de fração em que o numerador inclui a classe e a subclasse da terra. No denominador, estão presentes caracteres que identificam e quantificam avaliações informativas, que incluem uso da

⁴ O manual apresenta ferramentas para execução de estudos de classificação de terras para irrigação seguindo o sistema de classificação de terras utilizado pelo “Bureau of Reclamation” (United States, 1982).

terra (C, P, L, G, B, H, W ou Row)⁵, produtividade (1 a 6), limites de custo de desenvolvimento das terras (1 a 6), exigência de água no imóvel rural (A, B ou C)⁶ e drenabilidade. No lado direito da fração, estão outros símbolos informativos, que especificam, com mais detalhes, qual o tipo de deficiência referente ao solo, à topografia e à drenagem. Seu uso facilita a análise econômica e a revisão do trabalho de campo. Esses últimos símbolos podem ser expandidos com o uso de notações identificando os graus de deficiência. A Figura II.1 ilustra a simbologia de uma representação cartográfica típica desse sistema de classificação de terras, destacando as informações que podem estar contidas no símbolo.

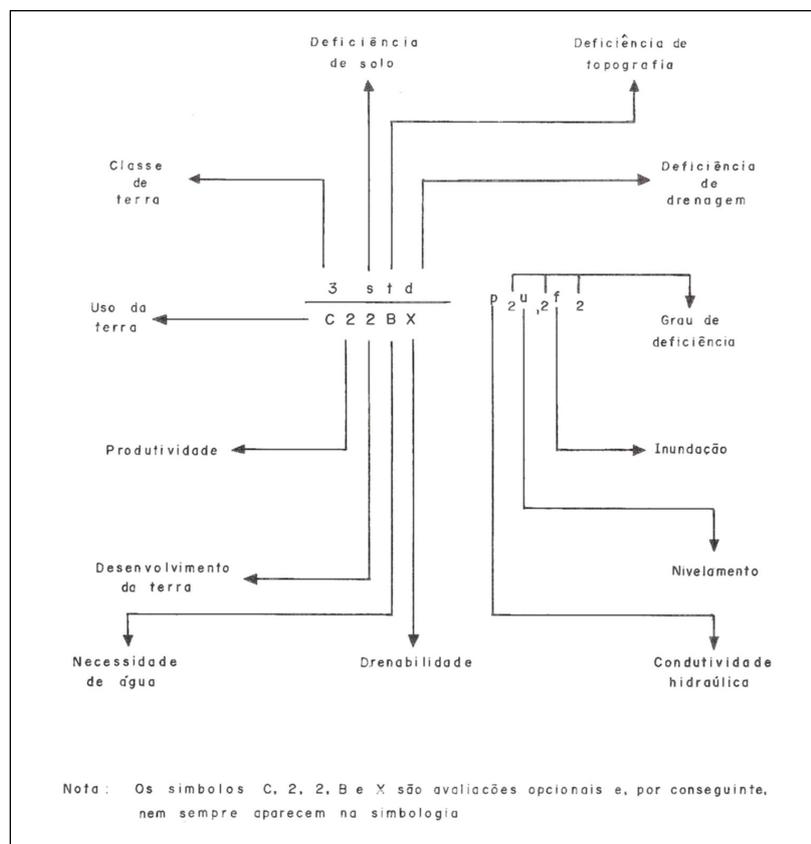


Figura II.1 – Exemplo de símbolo de mapeamento padronizado para classificação de terras.

Fonte: Carter (1993)

⁵ C – cultivada sob irrigação; P – pastagens permanentes irrigadas; L – cultivada não irrigada; G – pastagens permanentes não irrigadas; B – caatinga, capoeira ou mata; H – urbano ou imóveis rurais; W – vazadouro e Row – faixa de domínio.

⁶ A, B e C representam, nessa seqüência, baixa, média e alta necessidade de água no lote.

Outros símbolos cartográficos também são utilizados para identificar certos fatores físicos das terras que não são indicados nas classes de terras, mas que representam características fisiográficas que podem ter contribuído para a definição das classes de terra. Esses símbolos são opcionais neste sistema de classificação.

Finalmente, vale mencionar que esse sistema de classificação de terras para irrigação é uma ferramenta importante na fase de planejamento de projetos de irrigação, pois, através dos mapas, é possível identificar as terras aptas à irrigação e testar sua capacidade de pagar os custos de implantação e operação. As informações levantadas durante a classificação também podem ser utilizadas no dimensionamento de canais, estações de bombeamento e outras estruturas de irrigação.

Esse sistema não é ainda muito utilizado no Brasil e, atualmente, a Embrapa Solos/RJ está realizando estudos com vistas a um sistema de classificação de terras para irrigação mais especificamente aplicado para o nordeste brasileiro.

Na seqüência do texto, discorre-se sobre um conjunto de indicadores físico-hídricos dos solos que permitirão, então, o tratamento de alguns estudos que analisam o solo a partir do uso parcial ou integral dessas informações. Em especial, ênfase será dada ao sistema de classificação físico-hídrica dos solos (SCFH) proposto por Ottoni Filho (2003).

II.2 - Variáveis Físico-Hídricas dos Solos

II.2.1 - Considerações Gerais

As variáveis físico-hídricas apresentam uma importância significativa na engenharia de solo e na hidrologia, pois fornecem informações para o desenvolvimento de projetos de irrigação, para o estabelecimento de sistemas de manejo de solo e água, na análise dos solos quanto a sua suscetibilidade à erosão, no manejo agrícola, bem como na modelagem hidrológica. Ademais, a classificação físico-hídrica dos solos, tema central desta dissertação, fundamenta-se nessas variáveis, o que justifica a inclusão nesta revisão bibliográfica.

Nesse sentido, os seguintes itens serão discutidos: porosidade total, ponto de murcha permanente, capacidade de campo, água disponível, velocidade de infiltração básica e aeração, todas variáveis pedológicas de natureza físico-hídrica relacionadas ao escopo desta dissertação.

II.2.2 - Porosidade Total

A relação entre os volumes dos poros e o volume total do solo é definida como a porosidade total ou, simplesmente, porosidade. Seu valor normalmente varia numa faixa de 0,3 a 0,6 (Hillel,1980c). Solos com textura (ou granulometria) fina, como os materiais argilosos, tendem a apresentar uma porosidade maior que aqueles com textura mais grosseira, como as areias. De fato, é de se estranhar tal afirmativa, considerando que os volumes individuais dos poros nos solos arenosos são maiores do que no caso dos solos argilosos. No entanto, tais volumes individuais nos solos argilosos são mais numerosos e, quando totalizados, tornam normalmente o volume total de vazios superior em relação à porosidade da areia. Vale ressaltar que a porosidade total nos solos argilosos pode naturalmente variar consideravelmente, uma vez que esses solos podem se expandir e contrair com a entrada e saída de água, respectivamente. Ressalta-se que essa possibilidade de variação depende fortemente da natureza das argilas.

A porosidade total, apesar de expressar os volumes dos poros do solo, nada revela sobre a distribuição dos mesmos (Hillel, 1980c). Diversas pesquisas foram desenvolvidas na tentativa de classificá-los segundo seu tamanho, destacando-se uma forma mais simplificada, que os separa segundo duas classes principais: microporos e macroporos.

Os macroporos, de acordo com Hillel (1980c), são basicamente cavidades interagregadas, onde predominantemente se processam as infiltrações, percolações e trocas de ar com a atmosfera, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento das raízes. Kiehl (1979) propõe que seus diâmetros sejam aqueles maiores que 0,06 mm, enquanto que Richards (1965) e USDA (1972) os classificam como espaços com diâmetros maiores que 0,05 mm. Outros limites para os macroporos são sugeridos por Luxmoore (1981) e Koorevaar *et al.* (1983).

Já as microporos são basicamente capilares intragregados, sendo os principais responsáveis pela retenção de água e solutos para uso vegetal (Hillel,1980c), sendo definidos, segundo Richards (1965), USDA (1972) e Kiehl (1979), como aqueles espaços que apresentam diâmetros equivalentes menores que 0,06 mm ou 0,05 mm.

Entretanto, segundo Hillel (1980c), a separação entre essas duas classes de poros é arbitrária. Na tentativa de definir uma classificação de poros um pouco mais detalhada, vários autores incluíram os mesoporos como classe intermediária (Klein e Libardi, 2002), existindo até aqueles que subdividem os poros em até oito classes,

chegando à classe dos criptoporos, com diâmetro inferior a 0,0002 mm (Hamblin, 1985; Klein e Libardi, 2002).

Diversos trabalhos (Klute, 1982; Silva *et al.*, 1986; Alves, 1992; Veiga *et al.*, 1994; Klein e Libardi, 2002; Ribon *et al.*, 2002) avaliaram que, em camadas compactadas, tanto a porosidade total como os macroporos representam redução de volume em relação ao seu estado original, acompanhada pelo aumento da microporosidade e da densidade dos solos. Nesses casos, pode-se observar uma elevação na capacidade de retenção de água nos terrenos (Canalli e Roloff, 1997; Oliveira *et al.*, 2004) e uma diminuição da capacidade de drenagem interna do solo comandadas pela nova estrutura dos perfis, uma vez que, predominando os microporos, o movimento do ar e água é dificultado (Cavenage *et al.*, 1999). No entanto, segundo esses mesmos autores, deve-se considerar também a proporção entre a microporosidade e a macroporosidade, pois o comportamento relatado anteriormente, relativo à diminuição da drenagem interna, ocorrerá principalmente quando a macroporosidade estiver abaixo das condições ideais, isto é, abaixo da faixa de 0,10 – 0,15 m³/m³ (Baver, 1972; Kiehl, 1979).

Os volumes dos microporos e macroporos podem ser determinados segundo diferentes metodologias, sendo a mais utilizada no Brasil aquela definida pela Embrapa (1997). Nesse caso, para o cálculo da microporosidade, considera-se a umidade que a amostra de solo apresenta depois de ser submetida à tensão de 60 cm de coluna de água, correspondente ao espaço poroso com diâmetro menor que 0,05 mm, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Na determinação da porosidade total, o procedimento mais usual é calculá-la a partir da relação entre densidade do solo e densidade das partículas (Equação IV.1), discutidas a seguir.

II.2.2.1 - Densidade do Solo

A densidade do solo ou densidade global é definida pela razão entre a massa de solo seco e o volume do solo. Seus valores geralmente situam-se entre 1,0 g/cm³ e 2,0 g/cm³ para solos minerais. Comumente, os solos mais arenosos apresentam-se com densidade superior a 1,4 g/cm³, sendo que os materiais mais argilosos são freqüentemente menos densos que esse valor (Reichardt e Timm, 2004).

Essa propriedade física do solo está diretamente relacionada com sua estrutura e composição química e granulométrica. Em vista disso, em solos sob condições de intensa compactação, seja por transporte de máquinas, por pisoteio animal ou manejo que implique desagregação das partículas, a densidade do solo tende a aumentar, principalmente nos horizontes superficiais do solo, acompanhada por um aumento de resistência à penetração, que varia também com a umidade no solo, conjuntamente com uma diminuição da porosidade, assim como da macroporosidade. Vários trabalhos têm constatado essas modificações em diversas áreas do país (Machado e Brum, 1978; Abraão *et al.*, 1979; Beltrama *et al.*, 1981; Machado *et al.*, 1981; Leite e Medina, 1984; Vieira e Muzilli, 1984; Centurion e Demattê, 1985; Corrêa, 1985a,b; Silva *et al.*, 1986; Miranda, 1993; Anjos *et al.*, 1994; Albuquerque *et al.* 1995). Já em condições naturais de solo, essa densidade também tende a aumentar ao longo da profundidade, considerando o peso das camadas subjacentes e/ou a redução de matéria orgânica, que tendem a reduzir o volume dos poros (Cavenage *et al.*, 1999).

Assim, a densidade do solo e a porosidade total são, com certa restrição, muito eficazes no estudo das transformações que ocorrem no solo (Fernandes, 1982), especialmente na quantificação da compactação dos perfis (Camargo e Alleoni, 1997; Reichardt e Timm, 2004), sendo de grande valia na escolha do sistema mais adequado para que se recupere suas potencialidades (Fernandes, 1982).

Existem diferentes metodologias para a determinação da densidade do solo, sendo a mais usual o método do anel volumétrico, que consiste em coletar uma amostra de solo com estrutura indeformada, através do uso de um equipamento de inserção de um anel amostrador, para sua posterior pesagem. Em seguida, essa amostra é colocada em estufa a 105°C, sendo retirada após 24 horas. Espera-se, por alguns minutos, o seu esfriamento, para, na seqüência, ser pesada. A densidade é, então, o quociente entre o peso da amostra seca e o volume do anel.

II.2.2.2 - Densidade das Partículas

A densidade das partículas ou densidade dos sólidos é a relação entre a massa de solo seco e o volume dos sólidos ou partículas. Essa densidade varia de acordo com a constituição mineral e conteúdo de matéria orgânica do solo, sendo comumente adotado um valor médio de 2,65 g/cm³ em solos minerais (Kiehl, 1979). Esse valor foi estimado a partir da densidade dos minerais predominantes no solo, tais como quartzo, feldspato e

os silicatos de alumínio, que está em torno de 2,65 g/cm³ (Kiehl, 1979; Klar, 1984). Vale ressaltar que, para solos orgânicos, a densidade das partículas é menor em comparação com outros solos, considerando que a densidade dos constituintes orgânicos é bem inferior que a dos constituintes minerais, na faixa aproximada de 1,3 g/cm³ (Hillel, 1980b).

As densidades das partículas, como mencionado anteriormente, dependem da presença de determinados componentes minerais ou orgânicos. Como tais constituintes não variam significativamente sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo, esse atributo, diferentemente da densidade do solo, torna-se uma variável ineficaz para estimar o quão alterado está um solo (Hillel, 1980c).

O método mais usual para a determinação da densidade das partículas é o método do balão volumétrico (Embrapa, 1997), que consiste em determinar o volume de álcool etílico necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico contendo uma determinada quantidade de solo seco em estufa. Seu valor é calculado pela razão entre o peso da amostra seca a 105°C e a diferença entre a capacidade do balão (50ml) e o volume de álcool gasto.

II.2.3 - Ponto de Murcha Permanente

O solo com umidade inferior a um determinado nível perde, primordialmente, sua água através do processo contínuo de absorção de água pelas raízes das plantas e pela evaporação direta. Nesse caso, em não havendo mais adição de água, seja por chuva ou por irrigação, o solo tende a umidades muito baixas. Esse cenário faz com que as sucções de água no solo sejam muito altas e que o fluxo de água do solo para as raízes seja fortemente reduzido. Dessa forma, as raízes das plantas não são mais capazes de absorver água numa taxa condizente com a demanda evaporativa plena ou potencial, fazendo com que a planta murche. Quando, nessas condições, o vegetal não consegue retornar, durante o período noturno, ao estágio anterior de turgidez, e não sendo o solo mais irrigado, diz-se que o solo atingiu o seu limite inferior de água disponível para planta, definido como ponto de murcha permanente – PMP (Bernardo, 1995).

Percebe-se, assim, que esse limite varia com a demanda evaporativa, o que depende do clima, da cultura em si e de seus estágios de crescimento (Skaggs *et al.*, 1982; Boedt e Verheye, 1985), não sendo uma propriedade intrínseca do solo.

Como contribuição pioneira na caracterização do PMP, cita-se a conceituação de Veihmeyer e Hendrickson (1949): “*é a umidade do solo quando as folhas das plantas em crescimento atingem um estado de murcha a partir do qual não se recuperam quando colocadas em uma atmosfera saturada por 12 horas, sem adição de água no solo*”. Destacam-se outros conceitos similares a esse último, tais como em Klar (1984) e em Carvalho e Silva (1999).

Comumente, a umidade do solo a 15 bar (aproximadamente 1,5 MPa) é referida como sendo o PMP (Richards e Weaver, 1944; Winter, 1984; Silva *et al.*, 1994; Tormena *et al.*, 1998; Mello *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2002; Araujo *et al.*, 2004; Leão *et al.*, 2004; Reichardt e Timm, 2004), tendo em vista que o murchamento permanente das folhas, em condições de vasos contidos em estufas, acontece aproximadamente a essa tensão. Entretanto, esse método indireto de determinação do PMP continua aberto a discussão, porque sugere que todas as espécies se comportem similarmente em diferentes solos e climas (Winter, 1984).

O procedimento para a indicação do ponto de murcha permanente pelo método fisiológico direto é classicamente realizado em pequenas quantidades de amostras de solo contidas em vasos em casa de vegetação, usando o girassol como planta indicadora (Peters, 1965). Pesquisas têm evidenciado que o algodoeiro é uma planta tolerante a baixos teores de água no solo, diferentemente de culturas como girassol e feijão, comumente empregadas como plantas de teste na determinação do PMP (Kiehl, 1979). Diferenças entre os valores de ponto de murcha permanente, obtidos a partir da utilização do girassol e feijão-caupi como plantas indicadoras, são registradas por Oliveira e Martins (1966)

Entretanto, a determinação do PMP por processos biológicos requer definições claras, como a condição de umidade em que a planta específica (girassol) murchou e não retornou a turgidez (Winter, 1984). Além disso, registra-se a inconveniência do tempo um tanto quanto extenso para a realização dos testes. Dessa forma, a umidade referente a uma tensão de água de 1,5 MPa, obtida por dessecação de amostras indeformadas em câmara de pressão (Richards e Weaver, 1944), tornou-se o método de determinação do PMP mais frequentemente aplicado, apesar de suas limitações (Reichardt e Timm, 2004). Esse procedimento representa uma metodologia simples, rápida e precisa, que independe do comportamento da planta (Winter, 1984). Oliveira e Martins (1996) concluíram, quando compararam o desempenho das plantas indicadoras na determinação do PMP, que o conteúdo de água a 1,5 MPa situa-se ainda dentro da faixa de água

disponível às plantas, podendo, na maioria dos casos, substituir o valor encontrado pelo método fisiológico.

II.2.4 - Capacidade de Campo

Entre as primeiras definições do conceito da capacidade de campo (CC), aquela de principal contribuição foi a de Veihmeyer e Hendrickson (1931,1949). De acordo com esses autores, a capacidade de campo é a *“quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme”*.

Esse conceito tem sido sujeito a críticas, chegando mesmo Richards (1960) a afirmar que o conceito da capacidade de campo causou mais males do que esclarecimento. O principal argumento em que se baseiam as críticas deve-se ao fato desse conceito ser arbitrário e não uma propriedade intrínseca do solo, independente, pois, do modo de sua determinação (Reichardt e Timm, 2004). Entretanto, a definição da capacidade de campo (CC) é de grande utilidade, por indicar o limite superior aproximado de quantidade da água disponível para as plantas (Jong, 2000), não existindo ainda um outro conceito alternativo desse limite superior que substitua o conceito da capacidade de campo.

Os procedimentos normalmente adotados para a determinação da capacidade de campo podem ser agrupados de duas formas: os indiretos, sendo subdivididos em métodos de laboratório ou de determinação por pedofunções, e o método direto.

Em laboratório (método indireto), a umidade da capacidade de campo é normalmente associada a uma determinada tensão da água no solo, sendo comumente adotado, para solos argilosos, a de 0,033 MPa (Oliveira *et al.*, 2002; Ruiz *et al.*, 2003; Reichardt e Timm, 2004), e a de 0,01 MPa (Cirino e Guerra, 1994; Silva *et al.*, 1994; Tormena *et al.*, 1998; Giarola *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2002; Araújo *et al.*, 2004; Leão *et al.*, 2004; Reichardt e Timm, 2004) ou 0,006 MPa (Mello *et al.*, 2002; Reichardt e Timm, 2004) para solos arenosos. Em laboratório, também é adotada a quantidade de água retida por uma amostra previamente saturada, após ter sido submetida a uma força centrífuga 1.000 vezes a da gravidade durante 30 minutos. Essa força equivale a um potencial de 33 kPa (Cassel e Nielsen, 1986). Essa última umidade de laboratório denominou-se de equivalente de umidade (EU). Outros métodos de laboratório para

determinar a capacidade de campo têm sido desenvolvidos, podendo-se destacar o usado por Fernandes e Sykes (1968), que consiste em estimar a capacidade de campo utilizando colunas drenantes de solo.

Já as pedofunções são equações que podem estimar atributos do solo a partir de dados de fácil aquisição (Bouma, 1989), ou melhor, são funções que podem transformar propriedades do solo, levantadas mais facilmente, numa informação de aplicação mais ampla, tal como aquelas que se usam na modelagem de processos no solo (Wagenet *et al.*, 1991; Bernoux *et al.*, 1998). Nesse contexto, é possível, então, estimar a capacidade de campo a partir de outras variáveis, como, por exemplo, algumas propriedades físicas ou químicas do solo (textura, microporosidade, densidade do solo, matéria orgânica, entre outras), que são mais facilmente obtidas do que a própria capacidade de campo, seja ela determinada por método direto ou de laboratório. Assim, diversos trabalhos foram desenvolvidos objetivando propor equações para predição, tanto do conteúdo de água retida pelo solo na tensão equivalente à capacidade de campo (Rivers e Shipp, 1978; Gupta e Larson, 1979, Rawls *et al.*, 1982; Ahuja *et al.*, 1985; Saxton *et al.*, 1986; Arruda *et al.*, 1987; Giarola *et al.*, 2002; Macedo *et al.*, 2002), quanto daquele referente à capacidade de campo *in situ* (método direto) (Fabian e Ottoni Filho, 2000; Thurler, 2000; Macedo *et al.*, 2002).

No trabalho de Macedo *et al.* (2002), foram obtidas equações globais (para vários solos), através de regressão múltipla, de forma a determinar a retenção hídrica, na capacidade de campo *in situ* (método direto) e em várias faixas de tensão (desde 0,006 MPa até 1,5 MPa), a partir do teor de matéria orgânica, percentagens texturais ou simplesmente, a partir da microporosidade. Esse procedimento foi feito porque essas variáveis se correlacionaram significativamente com as variáveis de retenção hídrica. Fabian e Ottoni Filho (2000) validaram a equação global determinada por Macedo *et al.* (2002) para a determinação da capacidade de campo *in situ* a partir da microporosidade (umidade a 0,006MPa), trabalhando com um Podzólico Vermelho-Amarelo do município de Seropédica (RJ). Na mesma linha de pesquisa desenvolvida por Macedo *et al.* (2002), está o trabalho de Thurler (2000), a partir de Podzólicos Vermelho-Amarelo e um Latossolo da Formação Barreiras (ES).

Entretanto, Oliveira *et al.* (2002) ressaltam que essas equações não devem ser empregadas indiscriminadamente, pois a sua maioria foi desenvolvida em solos de clima temperado, e que seu uso não deve prescindir de calibrações locais. Esse mesmo autor afirma que as funções de pedotransferência tendem a ser mais acuradas quanto mais

homogêneos forem os solos que compõem a base de informações para sua calibração e quanto mais próximos destes estiverem os solos que terão seus dados estimados. Salaria, também, como inconveniente no uso de pedofunções, a diferença nos métodos empregados para obtenção das variáveis dependentes e independentes.

Apesar dos métodos de laboratório serem amplamente utilizados na determinação da capacidade de campo, Hillel (1980c) e Reichardt e Timm (2004) afirmam que nenhum método de laboratório é capaz de representar a dinâmica de água no perfil, ressaltando, por exemplo, que o conteúdo de água relativo ao potencial de 0,033 MPa, 0,01 MPa ou 0,006MPa é apenas correlacionável com a umidade da capacidade de campo, mas não sendo a capacidade de campo em si, confirmando a necessidade da sua mensuração direta. Essa afirmativa também vale para o método das pedofunções, uma vez que algumas delas estimam os valores da capacidade de campo como sendo a umidade a uma dada tensão de água. Na realidade, tais métodos indiretos são tentativas de eliminar as dificuldades práticas dos procedimentos *in situ*.

A determinação direta da capacidade de campo *in situ* consiste na aplicação de uma lâmina de água por inundação, numa área delimitada, para garantir o molhamento pleno do perfil de solo, com posterior proteção superficial da região umedecida, visando evitar a perda de água por evaporação ou a adição por ocorrência de chuvas. A umidade da capacidade de campo, por profundidade, é normalmente obtida após dois a quatro dias da completa infiltração da lâmina aplicada. Os métodos *in situ* usuais são descritos pela Embrapa (1979) e por Cassel e Nielsen (1986).

Apesar das determinações *in situ* serem as que mais representam o conceito de capacidade de campo, eminentemente um conceito de um processo hidrológico de campo, elas são sujeitas a críticas (Bayer *et al.* 1972; Hillel, 1980c; Cassel e Nielsen, 1986; Reichardt, 1988; Fabian e Ottoni Filho, 2000), principalmente no que se refere às condições iniciais de umidade do solo, antes da realização do teste, ao tempo ideal de medição após a infiltração, à área mínima do tabuleiro e, finalmente, à lâmina de água a ser aplicada.

No que diz respeito às condições iniciais do solo, Hillel (1980c) sugere que, quanto mais úmido inicialmente estiver o solo e quanto maior for a lâmina de molhamento, mais lenta será a taxa de redistribuição e maior será a capacidade de campo. Por essa razão, Ottoni Filho (2003) recomenda a realização do teste *in situ* em solos secos, em adição ao fato de que, no período seco, é menor a possibilidade de ocorrência de chuvas.

No que tange ao tempo para medição da capacidade de campo, várias críticas foram levantadas. Reichardt (1988) e Souza e Reichardt (1996) afirmam que o fluxo de drenagem interna do experimento da capacidade de campo, sem evapotranspiração, processo que depende da condutividade hidráulica e do gradiente do potencial hidráulico (lei de Darcy), a rigor, nunca cessa completamente. Essa constatação decorre do fato de que o gradiente se reduz em tempos relativamente longos, de até meses, enquanto que a condutividade também decresce continuamente, e de forma acentuada em períodos relativamente curtos, de dois a três dias após o fim da molhação. Dessa forma, a seleção de um tempo ideal para a mensuração da capacidade de campo torna-se problemática. No entanto, os autores sugerem que essa escolha seja feita dependendo do interesse prático que se quer dar à determinação. Normalmente, utiliza-se o tempo de 2 a 5 dias (Kiehl, 1979). A recomendação clássica é de que seja de 1 a 2 dias para solos arenosos e de 2 a 3 dias para solos argilosos (Bernardo, 1984). A Embrapa (1979) recomenda que a umidade referente à capacidade de campo seja aquela cujas variações temporais de umidade no perfil são mínimas, o que torna a execução mais complexa, já que são requeridas determinações de umidade em diversos tempos (de 24 h em 24 h, pelo menos).

Por causa dos inconvenientes citados na metodologia de determinação *in situ* da capacidade de campo, Ottoni Filho (2003) sugere que os procedimentos sejam padronizados ao máximo, como a realização do teste durante a estação seca e o tempo de amostragem de 48 h após o término da inundação.

Em vista das dificuldades operacionais do teste da capacidade de campo *in situ*, principalmente no que se refere ao estabelecimento do volume de água a aplicar, Fabian e Ottoni Filho (2000) avaliaram uma área mínima para adi o de  gua. O estudo comparou a capacidade de campo por dois processos *in situ*, incluindo o preconizado pela Embrapa (1979), onde o tabuleiro   de 1 m², e a câmara de fluxo (Fabian e Ottoni Filho, 2000), onde a área é de 0,50 m². Os resultados mostraram uma equivalência entre os dados obtidos pelos dois procedimentos, sugerindo, então, a possibilidade da redu o do tamanho do tabuleiro definido pela Embrapa (1979).

Quanto   lâmina de água a aplicar, o método da Embrapa (1979) define que deve ser aquela suficiente para saturar o perfil até a profundidade desejada. Essa lâmina é obtida pela diferença entre a porosidade total e a umidade inicial do solo, integrada ao longo do perfil, adicionando uma quantidade de água relativa às perdas laterais oriundas dos fluxos horizontais. Tais fluxos são provenientes dos gradientes de pressão entre o

solo úmido sob o tabuleiro e aquele mais seco circundante. No entanto, não se sabe *a priori* o valor da porosidade e da umidade inicial, considerando que normalmente não se realizam análises do solo previamente aos testes, como também não se conhece o tamanho das perdas laterais. Nesse sentido, torna-se desejável também a aplicação de uma lâmina de água padronizada nos testes. Alguns trabalhos (Maclean e Yager, 1970; Oliveira e Melo, 1971; Rivers e Shipp, 1971; Borges e Medina, 1981; Medina e Oliveira, 1987; Fabian e Ottoni Filho, 2000) citam a quantidade de água aplicada, mas sem a preocupação em buscar um valor padrão, o que acarreta, em alguns casos, a adição de volumes consideráveis de água, dificultando a viabilização dos testes *in situ*.

Ottoni *et al.* (2004) sugerem a quantidade de 200 mm como valor da lâmina padrão a ser usada nos testes de capacidade de campo *in situ* dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, no Município de São José de Ubá/RJ, solos estes analisados na presente dissertação, recomendando estudos adicionais em solos diversos, visando aperfeiçoar e dar mais rigor a essa proposta. Entretanto, vale ressaltar que as lâminas costumeiramente aplicadas nos testes *in situ* de capacidade de campo (por tabuleiro), inclusive a lâmina de 200 mm, são razoavelmente altas, o que pode inviabilizar a realização em larga escala desses testes, em vista das dificuldades na captação e transporte da água.

II.2.5 - Água Disponível

A água disponível (AD), segundo Veihmeyer e Hendrickson (1927, 1949, 1950 e 1955), corresponde a um intervalo de umidade que vai de um limite superior, a capacidade de campo (CC), até um limite inferior, o ponto de murcha permanente (PMP).

É de se esperar que esse conceito seja sujeito a críticas, tendo em vista aquelas já apresentadas e discutidas em relação aos dois limites extremos de disponibilidade de água. Entretanto, cumpre ressaltar que, quando se comenta sobre a água disponível para a planta, é de se esperar um volume de água que esteja prontamente disponível. No entanto, esse fato não ocorre em larga faixa de variação de volume, pois o solo possui uma capacidade de transmitir água às raízes, que depende fortemente da condutividade hidráulica não saturada do solo, que diminui acentuadamente com o decréscimo da umidade. Se essa capacidade de transmissão for menor que as taxas potenciais de transpiração vegetal, as folhas podem murchar, mesmo o reservatório do solo estando

razoavelmente cheio de água. Assim, percebe-se que o conceito estrito de água disponível do solo não requer apenas conhecimentos relacionados ao solo (condutividade hidráulica, gradientes hidráulicos, relação entre a umidade e a tensão de água no solo, entre outros), mas também à planta (por exemplo, densidade das raízes, profundidade, taxa de crescimento das raízes, fisiologia da raiz e área foliar) e à atmosfera (vento, déficit de saturação, radiação disponível, entre outros). Dentro desse contexto, Carlesso (1995) conceitua que água disponível às plantas é determinada, basicamente, pela habilidade do sistema radicular da cultura em utilizar a água armazenada no solo, existindo estreita relação com a demanda evaporativa da atmosfera imposta à cultura, que, por sua vez, é determinada pela combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo das plantas. Nessa mesma linha conceitual, estão os trabalhos de Garden (1960) e Matzenauer e Sutili (1983).

O conceito de água disponível à planta, segundo Garden (1960), diz respeito à interação entre três fatores principais: (i) o tipo de planta, incluindo as condições físicas da planta, estágio de maturidade, distribuição das raízes, entre outras características; (ii) o gradiente do potencial hidráulico existente na interface raiz-água no solo; e (iii) a condutividade hidráulica no solo.

No entanto, todas essas conceituações diferem do sentido clássico dado à capacidade de água disponível no solo, representando essa última a máxima quantidade de água passível de ser disponível para a planta sob baixas condições de demanda evaporativa, determinada pela diferença entre a CC e o PMP. Assim, esse conceito é sujeito a muitos questionamentos, mesmo porque os métodos de determinação da capacidade de campo e ponto de murcha permanente também o são. Entretanto, devido a sua simplicidade, o emprego dessa definição clássica de água disponível tem sido amplamente utilizado na pedologia (Embrapa, 1997; Fabian e Ottoni Filho, 2000; Giarola *et al.*, 2002; Reichardt e Timm, 2004) e na engenharia de irrigação (Hansen *et al.*, 1979; Daker, 1984; Mello *et al.*, 2002).

II.2.6 - Velocidade de Infiltração Básica

A infiltração no solo é definida como o processo pelo qual a água penetra no solo através de sua superfície (Libardi, 1995), que atua primordialmente no sentido vertical. A velocidade de entrada dessa água no solo ocorre em função do gradiente de

potencial hidráulico da água e da condutividade hidráulica na superfície, sendo representada pela lei de Darcy:

$$v = K \cdot \text{grad } \psi \quad (\text{II.1})$$

em que v é a densidade do fluxo de água ou vazão específica [$L T^{-1}$], K é a condutividade hidráulica do solo [$L T^{-1}$], ψ é o potencial hidráulico de água no solo, em termos de coluna de água [L] e $\text{grad } \psi$ é o gradiente de potencial hidráulico [$L L^{-1}$].

Os potenciais de água que regem esse movimento são oriundos das forças correspondentes ao potencial matricial, que são aquelas provenientes da interação da água com a matriz porosa, somadas com as forças gravitacionais (Hillel, 1980c; Clemmens, 1983; Reichardt e Timm, 2004). O potencial matricial é tanto mais expressivo quanto mais seco o solo estiver. Nos solos muito úmidos, as diferenças de potencial matricial dentro do perfil vão se tornando inexpressivas e o potencial gravitacional tende a predominar sobre o potencial matricial.

De forma geral, quando do início do processo, o potencial matricial prevalece em relação ao gravitacional como elemento indutor da infiltração. Ao longo do tempo, estando o solo com lâmina de água em sua superfície, devido à chuva ou a irrigação, o potencial gravitacional tende progressivamente a se destacar. Logo, em condições de saturação ou quase saturação dos horizontes mais superficiais do solo, o que acontece após um prolongado tempo de inundação da superfície do terreno, o gradiente do potencial hidráulico total se resume praticamente ao gradiente gravitacional (Hillel, 1980c; Gish e Starr, 1983; Reichardt, 1990), que é $\text{grad } \psi=1$ (Hillel, 1980c; Reichardt, 1990). Nessas condições, a Equação (II.1) reduz-se a $v = K_0$, onde K_0 é a condutividade hidráulica de saturação [$L T^{-1}$], indicando que o fluxo de água tende a um valor constante ao longo do tempo, denominado de velocidade de infiltração básica (VIB), valor que deve corresponder à condutividade hidráulica média saturada ou quase saturada do perfil superficial do solo, K_0 (Bouwer, 1978; Hillel, 1980c; Reichardt e Timm, 2004). A infiltração é, pois, um processo que se inicia a altas velocidades e decresce gradativamente no tempo até atingir um certo equilíbrio dinâmico. Nessas condições, quando a velocidade de infiltração passa a ser praticamente constante no tempo, diz-se que a VIB é, então, estabelecida e que $VIB \approx K_0$.

Vários são os fatores intervenientes na taxa de infiltração básica do solo, sendo eles associados às propriedades físicas do solo, à própria água, principalmente quanto a sua viscosidade e aos íons passíveis de permutação com as partículas, e ao manejo do solo (Araújo Filho e Ribeiro, 1996; Oliveira Sales *et al.*, 1999). O valor da VIB varia, inclusive, em relação ao método utilizado de medição de infiltração (Araújo Filho e Ribeiro, 1996). Assim, textura (Daker, 1970), estrutura (Resende *et. al*, 1997), tamanho e disposição do espaço poroso (Baver *et al.*, 1972), manejo do solo (Dickerson, 1976; Machado, 1976), mineralogia (Ferreira,1988) e umidade inicial para solos com argila expansiva (Araújo Filho e Ribeiro, 1996; Jabro, 1996), além da metodologia adotada no teste de infiltração (Brito *et al.*, 1996), são algumas das causas mais importantes de variação da velocidade de infiltração básica.

Essa velocidade de infiltração básica tem relevância na definição do manejo agrícola em sistemas irrigados, uma vez que serve de referência na escolha dos métodos de aplicação de água de irrigação a adotar (Jensen, 1980; Bernardo, 1984), no dimensionamento das estruturas de conservação de solo e água, além de representar, de forma parcial e relativa, a permeabilidade de ar nos macroporos (item II.2.7). Adicionalmente, a VIB é correntemente utilizada na área de engenharia de recursos hídricos quando da seleção de locais apropriados para recarga de água subterrânea ou para despejo de águas servidas ou de drenagem pluvial (Custódio e Llamas, 1976; Tucci e Geng, 1995).

A determinação dessa grandeza deve ser executada preferencialmente no campo, pois ela fortemente depende da estrutura e morfologia do perfil do solo. No entanto, a VIB está sujeita a variações espaciais de razoável magnitude no campo, tendo em vista a questão da variabilidade espacial das propriedades pedológicas (Warrick e Nielsen, 1980; Reichardt, 1990). Libardi (1995) comenta que muitos pesquisadores têm procurado calculá-la a partir de outras propriedades do solo de mais fácil obtenção. Ahuja *et al.* (1984) e Miyazaki (1996) buscaram determinar o valor da VIB a partir da macroporosidade e densidade do solo, enquanto que Oliveira Sales *et al.* (1999) indicaram que a condutividade hidráulica do solo saturado e a densidade poderiam ser utilizadas conjuntamente como estimadoras da VIB em solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo.

Como método de determinação *in situ*, o mais comum é o que utiliza os infiltrômetros de duplo anel concêntricos (Embrapa, 1979). Consiste basicamente na medição da variação de nível de água da lâmina de inundação no anel interno com o

tempo. Na tentativa de minimizar as perdas laterais deste anel, de modo a reproduzir uma infiltração a mais vertical possível, é aplicado um volume de água no anel externo até que os níveis de água em ambos os anéis se igualem durante a duração do teste. Os diâmetros dos anéis concêntricos estão comumente nas faixas de 20 cm a 30 cm (anel interno) e de 40 cm a 60 cm (anel externo).

No trabalho de Pott e Maria (2003), buscou-se comparar diferentes métodos *in situ* de determinação da velocidade de infiltração básica, utilizando um infiltrômetro de aspersão, um permeâmetro desenvolvido por Vieira (1995, 1998), um infiltrômetro de tensão, utilizando o modelo de Perroux e White (1988), e, finalmente, um infiltrômetro de pressão, similar ao infiltrômetro de tensão, sendo a VIB determinada na superfície do solo. Verificou-se que os métodos se comportaram diferentemente em relação ao tipo de solo. Notou-se, ainda, que os menores valores de VIB foram aqueles obtidos pelo infiltrômetro de aspersão, onde ocorre o impacto desagregador das gotas de chuva na superfície do solo. Com esses resultados, pode-se constatar que os métodos de avaliação determinam diferentes valores da VIB (Pott e Maria, 2003).

Como outro método *in situ* de determinação da velocidade de infiltração básica, pode-se citar a câmara de fluxo desenvolvida por Fabian e Ottoni Filho (1997). Esse instrumento consiste num cilindro de aço inox com 80 cm de diâmetro, 80 cm de altura e 1 mm de espessura, com reforço estrutural externo em cantoneira de ferro, sendo totalmente cravado por pressão hidráulica, com auxílio de contrapesos e de uma mesa de cravação. Devido ao seu tamanho e ao método de instalação, ela reduz os principais inconvenientes apresentados pelo infiltrômetro de duplo anel, relacionados ao pequeno tamanho dos anéis, à percolação horizontal e à modificação da estrutura superficial do solo devido à cravação dos anéis por percussão. Seu uso é aconselhado quando se pretende desenvolver estudos *in situ* de fenômenos de transferência vertical em solos (Fabian e Ottoni Filho, 1997), como é o caso da determinação da VIB. No trabalho de Fabian e Ottoni Filho (1997), foi testada a câmara de fluxo juntamente com infiltrômetros de duplo anel, indicando que a infiltração na câmara foi sempre bem inferior que no anel, cerca de 4 vezes menor.

II.2.7 - Aeração

As plantas e microorganismos aeróbicos existentes no solo requerem, para sua atividade metabólica, quantidades adequadas de oxigênio (Feng *et al.*, 2002; Reichardt e

Timm, 2004). Caso a taxa de consumo de O₂ no solo for maior que aquela correspondente à transferência de O₂ do ar atmosférico para os vazios do solo, esse terreno tenderá a apresentar condições anaeróbicas (Hillel, 1980c; Reichardt e Timm, 2004).

Segundo Hillel (1980c), a anaerobiose, além de ser deletéria ao desenvolvimento de culturas, assim como dos microorganismos que, sob tais condições, competem por ar com as raízes das plantas, induz uma série de reações químicas e bioquímicas no solo. Grande parte do produto dessas reações é tóxica para o sistema radicular das plantas.

As condições de aeração no solo estão fortemente ligadas a sua estrutura (Feng *et al.*, 2002). Assim, compactações das camadas superficiais do solo, por exemplo, podem tornar essas condições limitantes à produtividade agrícola (Hillel, 1980c).

Nesse contexto, o entendimento do processo de aeração torna-se uma tarefa necessária, senão primordial, de avaliação edafológica. Segundo Koorevaar *et al.* (1983), dá-se o nome de aeração do solo ao fenômeno que lhe permite o suprimento de O₂ e a remoção de CO₂ pela troca com a atmosfera. Essa troca de gases entre ambas as atmosferas, do solo e do ar, dá-se por dois mecanismos diferentes, a advecção⁷ e a difusão.

A advecção ocorre em função do gradiente de pressão do ar no solo, mas também depende das condições de permeabilidade do solo ao ar, da massa específica do ar e de sua viscosidade dinâmica. Assim, o fluxo de ar por advecção no solo pode ser expressa na forma da lei de Darcy (Hillel, 1980c), apresentada na Equação (II.1):

$$q_m = - \left(\frac{\rho_a \cdot k_a}{\eta_a} \right) \frac{dP}{dx} \quad (\text{II.2})$$

onde q_m é o fluxo de ar por advecção no solo [$M L^{-2} T^{-1}$], k_a é a permeabilidade do solo ao ar [L^2], ρ_a é a massa específica do ar [$M L^{-3}$], η_a é a sua viscosidade dinâmica [$M L^{-1} T^{-1}$], P é a pressão total do gás [$M L^{-1} T^{-2}$] e $\frac{dP}{dx}$ o gradiente de pressão do ar no solo [$M L^{-2} T^{-2}$].

Já a difusão do gás no solo, segundo a Lei de Fick (Reichardt e Timm, 2004), está relacionada ao seu coeficiente de difusão, que é função da temperatura, ao conteúdo

⁷ A advecção é denominada, por alguns autores, de convecção.

de ar no solo, definido pela diferença entre a porosidade total no solo e a sua umidade volumétrica, ao fator de tortuosidade do solo $(L/Le)^2$ e ao gradiente de concentração do gás na atmosfera do solo. O fator de tortuosidade é uma grandeza que exprime a conectividade entre os poros, expressa pelo quadrado da razão entre o caminho em linha reta na direção do eixo cartesiano (L) e o caminho efetivamente percorrido pelo composto no solo (Le). Assim, a densidade de um fluxo de gás por difusão é dada pela Equação (II.3) (Reichardt e Timm, 2004):

$$j_d = -D'_o (\beta) \left(\frac{L}{Le} \right)^2 \frac{dC}{dx} \quad (II.3)$$

em que j_d é a densidade de fluxo de gás por difusão [$M L^{-2} T^{-1}$], D_o é o seu coeficiente de difusão molecular [$L^2 T^{-1}$], $D'_o = a.D_o$, sendo a uma constante de proporcionalidade que depende do gás considerado. Adicionalmente, β é o conteúdo de ar no solo [$L^3 L^{-3}$], $(L/Le)^2$ é o fator de tortuosidade do solo [$L^2 L^{-2}$], C é a concentração do gás [$M L^{-3}$] e $\frac{dC}{dx}$ é o gradiente de concentração na atmosfera do solo [$M L^{-4}$].

Percebe-se que, em ambos os processos, advecção e difusão, os fluxos correspondentes são induzidos pelos respectivos gradientes de pressão do ar e concentração do gás. Hillel (1980c) reconhece que os macroporos são os principais espaços onde tais fenômenos ocorrem, uma vez que, usualmente, uma parte predominante da microporosidade está preenchida pela solução do solo. Além disso, a advecção de ar nos microporos é usualmente desprezível em relação à advecção nos macroporos. Pode-se concluir que quanto maiores forem os volumes dos macroporos maior será a difusão dos gases e a advecção de ar nos solos. Entretanto, também é de se esperar a importância da continuidade desses macroporos dentro dos vazios, principalmente no processo do fluxo convectivo. Nesse sentido, observa-se que, além dos volumes dos macroporos, suas interconexões (relacionadas à permeabilidade ao ar, k_a) podem influenciar os fenômenos de transferência de ar entre a atmosfera e o solo (Ball *et al.*, 1988).

Finalmente, considerando que o estudo físico-analítico desses mecanismos de transferência de ar é uma tarefa um tanto laboriosa (Reichardt e Timm, 2004), pode-se caracterizar a aeração a partir de alguns índices relacionados à advecção e difusão, que sejam mais facilmente mensuráveis. Dois deles são: permeabilidade do solo ao ar, k_a

(advecção), e conteúdo de ar, β (difusão) (Hillel, 1980c; Feng, *et al.*, 2002). Entretanto, pouco sucesso obteve-se na tentativa de utilizar esses parâmetros para correlacionar o desenvolvimento da planta com a aeração (Mc Intyre, 1970; Moore e Attenborough, 1992). Por outro lado, é evidente que um baixo conteúdo de ar e uma pífia permeabilidade ao ar são fatores inibidores ao crescimento e desenvolvimento da planta (Moore e Attenborough, 1992). Nesse sentido, essas duas grandezas podem ser vistas como elementos indicadores do caráter aerador dos solos na zona radicular das plantas.

Nas situações usuais de umidade, abaixo da capacidade de campo, pode-se supor que a macroporosidade está inteiramente ocupada por ar, ou seja, que $\beta >$ capacidade de ar, que é igual, por sua vez, a diferença entre porosidade total e capacidade de campo. Desprezando a advecção de ar nos microporos, considera-se que, nessas condições usuais de umidade, a permeabilidade do solo ao ar, k_a , é aproximadamente igual à permeabilidade intrínseca do solo (k), dada pela Equação (II.4) (Reichardt e Timm, 2004):

$$K_o = k \frac{\rho_w \cdot g}{\eta_w} \quad (\text{II.4})$$

onde K_o é condutividade hidráulica saturada do solo em $[L T^{-1}]$, k é a permeabilidade intrínseca do solo $[L^2]$, η_w é a viscosidade dinâmica da água em $[M L^{-1} T^{-1}]$, ρ_w é a massa específica da água em $[M L^{-3}]$ e g a aceleração da gravidade em $[L T^{-2}]$.

Assim sendo, pode-se fazer a seguinte aproximação:

$$K_o \cong k_a \frac{\rho_w \cdot g}{\eta_w} \quad (\text{II.5})$$

Como apresentado no item anterior (velocidade de infiltração básica), o fluxo de água no solo, após longo período de infiltração com saturação na superfície, tende a VIB. Como a VIB é correlacionável com a condutividade hidráulica saturada (K_o) no perfil do solo (Bouwer, 1978; Hillel; 1980a; Oliveira Sales *et al.*, 1999 e item II.2.6), e sendo essa última fortemente relacionada à permeabilidade ao ar (vide Equação II.5), por transitividade, pode-se dizer que a VIB pode ser vista como sendo um indicador ou uma medida relativa e parcial da permeabilidade do solo ao ar (Otoni Filho, 2003).

Quanto à capacidade de ar, também chamada de porosidade livre de água, porosidade de aeração ou porosidade drenável, ela é definida como a quantidade de água que drena desde a saturação do perfil até a capacidade de campo (Hillel, 1980b, Cruciani, 1983). Essa grandeza é determinada pela diferença entre a porosidade total e a capacidade de campo, sendo esse valor representativo da disponibilidade mínima de ar disponível no solo. Outros autores (Archer e Smith, 1972, Thomasson, 1978) conceituaram como capacidade de ar a diferença entre a porosidade total e o conteúdo de água a uma determinada tensão, normalmente 1/3 atm ou 1/10 atm. Esse conceito é passível a críticas, uma vez que o processo de drenagem interna tende a se estabilizar no campo a um nível de umidade que não necessariamente corresponde a uma tensão de água pré-estabelecida. (Salter e Willians, 1965, Reichardt, 1988, Fabian e Ottoni Filho, 2000)

Erickson (1982), em revisão detalhada a respeito da porosidade de aeração, concluiu que, para a maioria das culturas, o valor mínimo do espaço poroso livre de água deve ser aproximadamente de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No entanto, esse valor é apenas um valor usual de referência, pois a taxa de difusão gasosa no solo depende também da profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo, tortuosidade do espaço poroso, dentre outros (Hillel, 1980b; Jong, 2001). Outros autores (Baver, 1972; Hillel, 1980b, Silva *et al.*, 1994; Tormena *et al.*, 1998; Araújo *et al.*, 2004; Leão *et al.*, 2004) também apontam esse valor de $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ como um valor mínimo razoável de porosidade drenável.

Finalmente, um solo bem drenado internamente, ou seja, com alta porosidade drenável, tende a apresentar uma boa aeração ao sistema radicular, uma vez que os volumosos macroporos devem facilitar o processo de difusão. Além disso, caso esses macroporos sejam permeáveis, a advecção também é majorada, o que tende a ocorrer caso a VIB seja alta (Ottoni Filho, 2003). Logo, prevê-se que os testes *in situ* de capacidade de campo, que, de fato, é um teste de drenagem interna dos perfis, bem como os testes de infiltração, possam ser utilizados como indicadores do potencial aerador dos solos.

Feitas essas considerações sobre as variáveis físico-hídricas do solo, apresentam-se, no texto que se segue, alguns trabalhos que caracterizam o solo sob a ótica físico-hídrica. Dentre esses trabalhos, é dado um destaque ao sistema de classificação físico-hídrica de solos (SCFH) proposto por Ottoni Filho (2003), uma vez que está intrinsecamente relacionado com a metodologia proposta na presente dissertação.

II.3 - Classificação da Estrutura dos Solos

A classificação dos solos proposta por Thomasson (1978) visa classificar as condições estruturais na superfície do solo com base no volume de duas categorias de tamanhos dos poros, abaixo definidas:

i) capacidade de ar, (Ca): volume total dos poros maiores que 60 μm de diâmetro, determinado como o volume tomado de ar numa amostra indeformada desde a saturação até o equilíbrio numa tensão de 0,05 bar (1 bar é aproximadamente a 0,1 MPa);

ii) água disponível, (Av): volume dos poros entre 60 μm a 0,2 μm de diâmetro, determinado como o volume de água de uma amostra indeformada equilibrada entre as tensões de 0,05 bar e 1,5 bar (aproximadamente 1,5 MPa).

A estrutura do solo superficial é classificada em quatro categorias: pobre, moderada, boa e muito boa, a partir da configuração de Ca e Av em um sistema de eixos coordenados (Figura II.2). A posição tomada pelo solo na Figura II.2 fornece a sua classificação. A Figura II.2 ilustra também as posições de alguns solos siltosos da Inglaterra e Escócia, onde, da mesma forma, são mostrados o teor de carbono e a indicação se o solo apresenta problemas de drenagem sub-superficial.

Cumprе ressaltar que Thomasson (1978) não apresenta uma metodologia de campo para a amostragem do perfil e que todas as variáveis levantadas são obtidas em laboratório a partir de amostras indeformadas do horizonte superficial. O autor também conclui que inexistе uma relação direta geral entre as classes texturais e as quatro categorias estruturais. Tal falta de correlação geral também é percebida entre as faixas de teor de carbono, bem como de drenagem sub-superficial e as categorias estruturais.

O autor reconhece que essa proposta de classificação é principalmente hidrológica no conceito e pode ser aprimorada através, por exemplo, da realização de testes utilizando plantas. Ele comenta, finalmente, que existe a possibilidade de que a determinação das variáveis envolvidas nesse sistema de classificação possa vir a ser realizada no campo.

No estudo de Moura *et al.* (1992), foi proposta uma classificação de solos da baixada ocidental Maranhense ao longo de duas seções, baseada no trabalho de Thomasson (1978). Entretanto, a capacidade de aeração e a água disponível foram determinadas segundo metodologias diferentes daquelas propostas por Thomasson (1978).

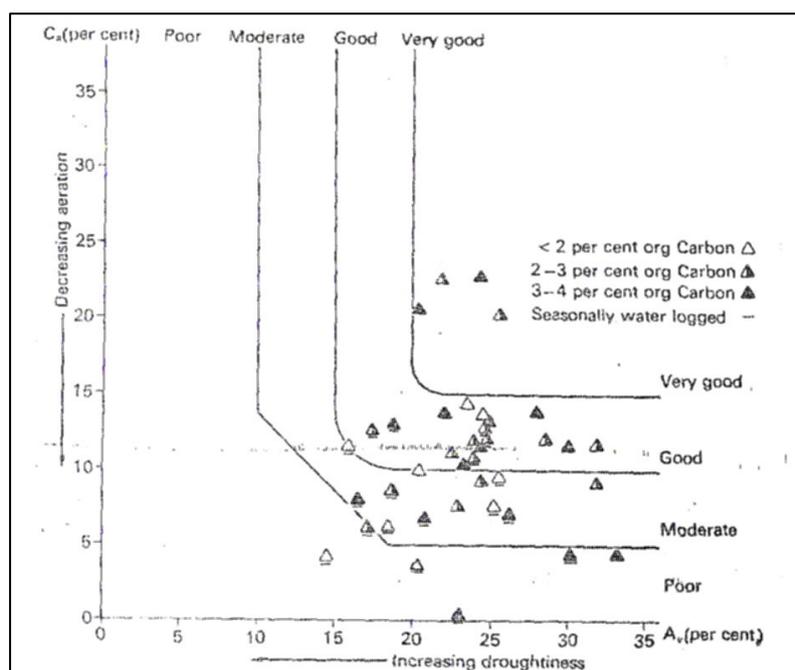


Figura II.2 – Gráfico de classificação da condição estrutural dos solos considerando sua capacidade de ar (C_a) e água disponível (A_v)

Fonte: Thomasson (1978)

II.4 - Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)

O conhecimento da estrutura no solo, termo usado para descrever o arranjo, orientação e organização das partículas sólidas no solo, além de definir a geometria dos espaços porosos (Reichardt e Timm, 2004), é de vital importância para definição de técnicas adequadas de manejo do solo para a agricultura. Esse fato ocorre porque sua alteração influencia a produtividade das culturas por meio das modificações na disponibilidade de água, na difusão de oxigênio e na resistência do solo à penetração das raízes (Tormena *et al.*, 1998). Segundo esses autores, vários atributos físicos do solo são ligados a sua estrutura, dificultando assim sua quantificação e fazendo com que a relação entre a produtividade das culturas e a estrutura física do solo seja ainda pouco compreendida. Ressaltam ainda que essa descrição físico-estrutural se torna ainda mais complexa à medida que se considera a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo.

Entretanto, alguns atributos físicos do solo relacionam-se diretamente com o desenvolvimento da planta, como retentividade de água, aeração e resistência à penetração das raízes (Letey, 1985). Torna-se necessário quantificar essa interação,

atributo físico versus crescimento da planta, na avaliação da influência das práticas de manejo sobre as condições físicas do solo na zona radicular.

Nesse sentido, foi proposta (Letey, 1985) uma única variável que esclarece as interações entre atributos físicos descritos e o crescimento das plantas, denominada intervalo hídrico não limitante (*non limiting water range*-NLWL). Essa grandeza define uma amplitude de variação de umidade do solo superficial, em que são nulas as limitações físicas ao desenvolvimento de plantas, limitações essas associadas à disponibilidade de água e ar e à resistência do solo à penetração. Entretanto, esse conceito foi aprimorado por Silva *et al.* (1994), considerando que o crescimento das plantas é apenas menos restritivo dentro dessa faixa de umidade do que fora dela, caracterizando o intervalo hídrico minimamente limitante (*least limiting water range*-LLWR). Sua quantificação foi realizada por Topp *et al.* (1994) e Silva *et al.* (1994), propondo-o como índice de qualidade estrutural do solo para o crescimento das plantas, considerando que os impactos dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo modificam os atributos do solo na zona radicular, promovendo alterações no LLWR. No Brasil, a variável LLWR foi denominada de intervalo hídrico ótimo, ou IHO (Orellana *et al.*, 1997).

O IHO integra dados relativos à água disponível (capacidade de campo – CC e ponto de murcha permanente - PMP), capacidade de ar e resistência do solo à penetração das raízes, fatores esses relacionados com o crescimento da planta.

Para determinação do IHO, Silva *et al.* (1994) propõem a retirada de amostras indeformadas a partir de anéis volumétricos no perfil superficial do solo, sendo, então, levadas ao laboratório para determinação da curva de retenção da água, obtida também em função da densidade do solo, bem como da curva de resistência à penetração, que depende ainda da densidade do solo e do conteúdo de água. Essas curvas são definidas, respectivamente, segundo metodologia desenvolvida por Ross *et al.* (1991) e utilizando modelo proposto por Busscher (1990).

Os valores do conteúdo de água na capacidade de campo (umidade à tensão de 0,01 MPa) e no ponto de murcha permanente (umidade à tensão de 1,5 MPa) são obtidos através na curva de retenção, enquanto que o conteúdo de água (θ_1), referente ao limite crítico superior da resistência à penetração no solo (a 2 MPa) é determinado a partir da curva de resistência à penetração. O limite superior de umidade para que não haja problemas de aeração (θ_2) é estimado a partir da relação $[(1-DS/DP)-0,1]$, onde DS é a densidade do solo e DP é a densidade das partículas. Pela expressão acima, os

autores impõem uma porosidade de aeração mínima aceitável de 10%. Com esses resultados, são definidas as curvas da CC, PMP, θ_1 e θ_2 a partir das densidades do solo. O IHO é, então, calculado pela diferença entre um limite superior e inferior de umidade. O limite superior é determinado pelo menor valor do conteúdo de água comparando-se a capacidade de campo com a umidade (θ_2) na porosidade de aeração de 10%, enquanto o limite inferior é o maior valor entre o conteúdo de água na resistência de 2,0 MPa (θ_1) e o ponto de murcha permanente.

Vale ressaltar que, segundo Silva *et al.*(1994), um solo com boas qualidades físicas, ou seja, com condições adequadas de ar e água e sem limitações quanto à penetração das raízes, tem seu IHO coincidindo com a água disponível (AD), quando o limite superior do IHO é a capacidade de campo e o inferior é o ponto de murcha permanente.

Alguns trabalhos, como os de Araújo *et al.* (2004) e Leão *et al.* (2004), foram desenvolvidos para se avaliar a qualidade física dos solos sob diferentes sistemas de manejo, através da determinação do IHO. Em ambos os estudos, o IHO apresentou-se como uma grandeza eficaz na identificação dos solos cujos atributos físicos, relacionados ao crescimento vegetal, encontraram-se mais preservados, o que é útil quando se deseja avaliar o impacto no solo de diferentes formas de manejo. A metodologia do IHO também permite o reconhecimento daqueles atributos que são mais restritivos ao desenvolvimento das plantas.

II.5 - Sistema de Classificação Físico-Hídrica dos Solos

O sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) dos solos proposto por Ottoni Filho (2003) baseia-se na capacidade de hidratação e aeração dos solos. Entende-se como capacidade de hidratação a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Já a capacidade de aeração é conceitualmente estabelecida pelo sistema como a conjugação entre a velocidade de infiltração básica e a porosidade drenável, sendo essa última variável definida pela subtração da porosidade total pela capacidade de campo. Nesse contexto, as seguintes variáveis pedológicas são determinadas pelo sistema: porosidade total (PT), capacidade de campo volumétrica (CC); ponto de murcha permanente volumétrico (PMP) e velocidade de infiltração básica (VIB). A partir desses dados, duas classificações são propostas para um determinado solo: i) classificação padrão, que avalia os atributos físico-hídricos para o

perfil de 70 cm de profundidade; ii) classificação de superfície, que avalia os atributos físico-hídricos para o perfil de 30 cm de profundidade.

De acordo com Ottoni Filho (2003), a metodologia para determinação das variáveis físico-hídricas deve ser rigorosamente padronizada. Sugere-se como métodos de determinação aqueles definidos pela Embrapa (1997). São eles: densidade das partículas (método do balão volumétrico); densidade do solo (método do anel volumétrico); porosidade total (a partir da densidade do solo e da densidade das partículas); ponto de murcha permanente (método da câmara de pressão, com amostras indeformadas). No que se refere aos métodos de campo, sugere-se (Embrapa, 1979): capacidade de campo (método *in situ*, em tabuleiro de inundação); velocidade de infiltração básica (método do infiltrômetro de duplo anel).

Segundo esse sistema, as amostras para determinação dessas variáveis devem ser retiradas dos horizontes pedológicos até a profundidade máxima de 70 cm ou até aquela em que se encontrou transição para rocha ou lençol freático.

Na intenção de se definir um método *in situ* padrão da capacidade de campo, Ottoni Filho (2003) sugere que a inundação no tabuleiro seja realizada num período seco do ano, com aplicação de uma lâmina de água suficiente para aproximadamente saturar o perfil de 70 cm ou até aquela profundidade em que se encontrou impedimento por rocha ou lençol freático. Recomenda-se que as amostragens de solo para determinação de umidade sejam realizadas 48 h após o término da infiltração no tabuleiro.

Após a determinação das três propriedades, PT, CC ou PMP, nas profundidades de amostragem sob o tabuleiro, procede-se o cálculo da média no perfil de solo, correspondente a cada variável. Assim, identificando-se a propriedade por x (Equação II.6), ao longo das duas profundidades pré-definidas, 30 cm e 70 cm, tem-se em termos médios:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta z_i \cdot x_i}{L} \quad (\text{II.6})$$

onde x_i é o valor considerado para a propriedade x em cada uma das N faixas de profundidade de amostragem Δz_i dentro do perfil, sendo que o somatório de Δz_i é igual a L , onde L é a profundidade do perfil ($L = 70$ cm ou 30 cm). Quando houver impedimento por rocha (ou transição para rocha) ou lençol freático numa profundidade

h menor que 70 cm, $L = h$ para a classificação padrão e $L = \min(h, 30 \text{ cm})$ para a classificação de superfície. A partir desse referencial, determinam-se as seguintes médias:

$$\bar{A} = \overline{PT} - \overline{CC} \quad (\text{II.7})$$

$$\bar{W} = \overline{CC} - \overline{PMP} \quad (\text{II.8})$$

$$\bar{VE} = (1 - \overline{PT}) + \overline{PMP} \quad (\text{II.9})$$

onde \bar{A} é o ar disponível, \bar{W} é a água disponível e \bar{VE} é o volume estático, todas essas sendo as variáveis médias no perfil. A variável VE pode ser considerada como sendo o volume de solo que não engloba qualquer volume de transferência de ar ou água, caso se assuma o PMP como um volume morto estático. De maneira complementar, $VD = (A+W)$ é aquela fração do volume do solo correspondente a possíveis transferências de ar e água, sendo, por isso, designado como volume dinâmico do solo. Assim,

$$\bar{A} + \bar{W} + \bar{VE} = 1 \quad (\text{II.10})$$

havendo, dessa forma, sempre um ponto representando um determinado solo dentro de um triângulo de representação em cujos lados estejam as escalas de A, W e VE. Nesse sistema de classificação, esse triângulo denomina-se triângulo de disponibilidade de ar e água no solo (Figura II.3). Como normalmente $VE > 50\%$, as escalas de A e W são definidas apenas na faixa de 0-50%.

A classificação dos solos é realizada segundo as classes de disponibilidade de ar e água, sendo elas correspondentes as nove sub-áreas específicas representadas no triângulo da Figura II.3. A definição dessas classes foi determinada mediante as combinações possíveis entre três faixas de variação (baixa, média e alta) nas escalas de A e W. No que se refere às faixas para água disponível, tem-se: baixa ($W < 6\%$); média ($6\% \leq W \leq 12\%$) e alta ($W > 12\%$). Referente ao ar disponível, definem-se as faixas: baixa ($A < 10\%$); média ($10\% \leq A \leq 20\%$) e alta ($A > 20\%$).

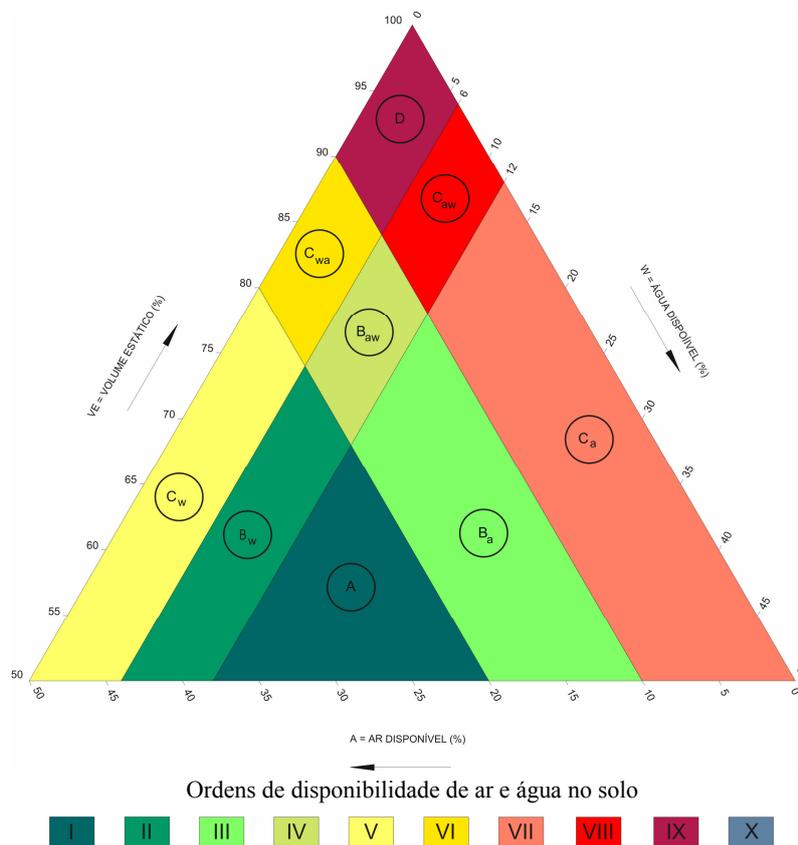


Figura II.3 - Triângulo da disponibilidade de ar e água no solo

Fonte: Ottoni Filho (2003)

Assim, nove classes de disponibilidade de ar e água são definidas, sendo elas: A; B_w; B_a; B_{aw}; C_w; C_a; C_{wa}; C_{aw}; D. As classes A e D representam os extremos da composição de faixas, apresentando ambos os valores altos e baixos, respectivamente, tanto para a escala de A como de W. De outro lado, há as classes designadas pelas letras B e C. Em ambos os casos, há subcritos (a, w) que, no caso da classe tipo B, indicam valores médios na variável respectiva (A, W). Já para a classe do tipo C, os primeiros subcritos indicam valores baixos na variável correspondente e os segundos subcritos indicam valores médios. A falta do subscrito, tanto em B quanto em C, indica que a classe tem a variável correspondente na faixa de variação alta. Por exemplo, a classe C_a representa um solo que possui baixa disponibilidade de ar e alta disponibilidade de água. Já a classe B_{aw} indica aqueles solos com disponibilidade média de ar e de água.

Para cada classe de disponibilidade de ar e água, existe uma ordem correspondente (I a IX), sendo enumerada numa ordenação decrescente segundo os volumes de ar e água disponível. Priorizou-se, atribuindo-se numeração menor, a importância do ar em relação a água. A Tabela II.6 apresenta as classes de disponibilidade de ar e água e suas respectivas ordens de solo.

Tabela II.6 – Definição das classes de disponibilidade de ar e água

Classificação quanto à disponibilidade de ar e água	Ar disponível	Água disponível	Classe de disponibilidade de ar e água	Ordem de disponibilidade de ar e água
solos com baixa restrição	alto ⁽¹⁾	alta ⁽⁴⁾	A	I
solos com média restrição	alto médio ⁽²⁾ médio	média ⁽⁵⁾ alta média	B _w B _a B _{aw}	II III IV
solos com alta restrição	alto médio baixo ⁽³⁾ baixo baixo	baixa ⁽⁶⁾ baixa alta média baixa	C _w C _{wa} C _a C _{aw} D	V VI VII VIII IX

⁽¹⁾ A > 20 %. ⁽²⁾ 10 ≤ A ≤ 20 %. ⁽³⁾ A < 10 %. ⁽⁴⁾ W > 12 %. ⁽⁵⁾ 6 ≤ W ≤ 12 %. ⁽⁶⁾ W < 6 %.

Fonte: Ottoni Filho (2003)

Esse sistema classifica os solos segundo sua capacidade aeradora e de hidratação nos perfis, sendo representadas pelas classes e ordens físico-hídricas. No que se refere à hidratação, assumem-se as mesmas faixas de variação correspondentes à água disponível. Quanto à aeração, levando-se em conta o item II.2.7, são consideradas aquelas faixas obtidas das combinações possíveis envolvendo as faixas de variação do ar disponível (Tabela II.6) e da velocidade de infiltração básica, já que a VIB representa, indiretamente, de forma relativa, a permeabilidade do solo ao ar (k_a). São definidas como faixas de variação da VIB aquelas determinadas a partir da classificação de Klute (1965), sendo elas: baixa ($VIB < 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$); média ($2,0 \leq VIB \leq 12,5 \text{ cm.h}^{-1}$); alta ($VIB > 12,5 \text{ cm.h}^{-1}$). O sistema considera, então, que as faixas alta, média ou baixa da VIB, respectivamente, elevam, mantêm ou rebaixam o nível (estatus) do ar disponível, A, a fim de definir o nível da aeração. Por exemplo, se a VIB for baixa e o A for alto, a aeração será média, pois a faixa da VIB reduziu o nível de A. O único caso em que o nível da aeração permanece o mesmo do de A é quando a faixa da VIB for média. Assim, o sistema torna impossível um solo ser classificado como de baixa aeração, caso o mesmo seja permeável (VIB alta), ou como de alta aeração, se a VIB for baixa.

A partir da combinação das faixas de variação da hidratação e da aeração, já definidas, são obtidas as 27 classes principais de solo do sistema (Tabela II.7). Caso o terreno apresente uma média VIB, as nove classes correspondentes apresentam a

mesma notação daquelas apresentadas na Tabela II.6, sendo representadas na Figura II.4a. Se o solo apresentar uma alta ou baixa VIB, a notação das nove classes da Tabela II.6 recebe, em cada caso (Figura II.4b e Figura II.4c), o sobrescrito + ou -, respectivamente. Os triângulos da Figura II.4 são designados como triângulos de classificação físico-hídrica dos solos.

Tabela II.7 – Classificação físico-hídrica dos solos: definição das ordens e classes de solo.

Classificação quanto à aeração e disponibilidade de água	Ar disponível	VIB ⁽¹⁾	Aeração	Água disponível	Classe de solo	Ordem de solo e nomenclatura
solos com baixa restrição	alto	alta ⁽²⁾	alta	alta ⁽⁸⁾	A ⁺⁽¹¹⁾	I
	alto	média ⁽³⁾			A ⁽¹²⁾	solos aerado-
	médio	alta			B _a ⁺	-aquíferos
solos com média restrição	alto	alta	alta	média ⁽⁹⁾	B _w ⁺	II
	alto	média			B _w	solos aerado-
	médio	alta	média	alta	B _{aw} ⁺	-mesaquiíferos
	alto ⁽⁵⁾	baixa ⁽⁴⁾			A ⁻⁽¹³⁾	III
médio ⁽⁶⁾	média	B _a			solos mesaerado-	
baixo ⁽⁷⁾	alta	C _a ⁺	-aquíferos			
solos com alta restrição	alto	baixa	média	média	B _w ⁻	IV
	médio	média			B _{aw}	solos mesaerado-
	baixo	alta			C _{aw} ⁺	-mesaquiíferos
solos com alta restrição	alto	alta	alta	baixa ⁽¹⁰⁾	C _w ⁺	V
	alto	média			C _w	solos aerado-
	médio	alta			C _{wa} ⁺	-aquicludos
solos com alta restrição	alto	baixa	média	baixa	C _w ⁻	VI
	médio	média			C _{wa}	solos mesaerado-
	baixo	alta			D ⁺	-aquicludos
solos com alta restrição	médio	baixa	baixa	alta	B _a ⁻	VII
	baixo	média			C _a	solos anaerado-
	baixo	baixa			C _a ⁻	-aquíferos
solos com alta restrição	médio	baixa	baixa	média	B _{aw} ⁻	VIII
	baixo	média			C _{aw}	solos anaerado-
	baixo	baixa			C _{aw} ⁻	-mesaquiíferos
solos com alta restrição	médio	baixa	baixa	baixa	C _{wa} ⁻	IX
	baixo	média			D	solos anaerado-
	baixo	baixa			D ⁻	-aquicludos
					E	X
					solos alagados ⁽¹⁴⁾	

⁽¹⁾ VIB é a velocidade de infiltração básica ⁽²⁾ VIB > 12,5 cm.h⁻¹ ⁽³⁾ 2,0 ≤ VIB ≤ 12,5 cm.h⁻¹ ⁽⁴⁾ VIB < 2,0 cm.h⁻¹ ⁽⁵⁾ A > 20%

⁽⁶⁾ 10 ≤ A ≤ 20 % ⁽⁷⁾ A < 10 % ⁽⁸⁾ W > 12 % ⁽⁹⁾ 6 ≤ W ≤ 12 % ⁽¹⁰⁾ W < 6 % ⁽¹¹⁾ Classe com sobrescrito + indica alta VIB.

⁽¹²⁾ Classe sem sobrescrito indica média VIB ⁽¹³⁾ Classe com sobrescrito - indica baixa VIB ⁽¹⁴⁾ Solos que se alagam por mais de

8 meses durante um ano hidrológicamente normal

Fonte: Ottoni Filho (2003)

Assim, esse sistema prevê 9 ordens principais, cada uma delas contendo 3 classes de solo (Tabela II.7 e Figura II.4), totalizando, então, as 27 classes principais de solos, tendo essas ordens a seguinte nomenclatura e numeração: solos aerado-aquíferos (I); solos aerado-mesaquíferos (II); solos mesaerado-aquíferos (III); solos mesaerado-mesaquíferos (IV); solos aerado-aquícludos (V); solos mesaerado-aquícludos (VI); solos anaerado-aquíferos (VII); solos anaerado-mesaquíferos (VIII); solos anaerado-aquícludos (IX). Uma última ordem, não principal, é possível (ordem X), a ordem de solos alagados, com apenas uma classe (classe E, conforme Tabela II.7).

A partir dos valores médios de \bar{A} e \bar{W} no perfil e do valor da VIB, o uso da Tabela II.7 ou da configuração na Figura II.4 permite proceder a classificação do solo.

Duas classificações físico-hídricas dos solos, como já mencionado anteriormente, são previstas nesse sistema: classificação padrão e de superfície, cada uma englobando 10 ordens e 28 classes possíveis de solos. Na existência de solos homogêneos ao longo do perfil de 70 cm e 30 cm de comprimento, as duas classificações serão coincidentes. A classificação de Ottoni Filho (2003), no entanto, não leva em conta classes diferenciadas em perfis que apresentem truncamento por rocha ou lençol freático.

Segundo Ottoni Filho (2003), a legenda físico-hídrica dos perfis deve ser iniciada com as notações das classes físico-hídricas nas duas profundidades (70 cm e 30 cm), separadas por uma barra (/), em que, antes, deve vir a classificação padrão. A seguir, devem vir os nomes das ordens correspondentes, seguindo a mesma regra da notação das classes. Por fim, termina-se com a descrição da classe de condutividade hidráulica de solos. Segundo o critério de Klute (1965), essas classes de condutividade hidráulica variam conforme o valor da VIB, podendo ser: muito lento ($VIB < 0,125 \text{ cm.h}^{-1}$), lento ($0,125 \leq VIB < 0,5 \text{ cm.h}^{-1}$), moderadamente lento ($0,5 \leq VIB < 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$), moderado ($2,0 \leq VIB < 6,25 \text{ cm.h}^{-1}$), moderadamente rápido ($6,25 \leq VIB < 12,5 \text{ cm.h}^{-1}$), rápido ($12,5 \leq VIB < 25 \text{ cm.h}^{-1}$) e muito rápido ($VIB > 25 \text{ cm.h}^{-1}$). Quando as duas classificações (padrão e de superfície) forem coincidentes, evita-se a repetição das classes e nomes das ordens.

A título de exemplo, cita-se um solo Latossolo Amarelo classificado, a 30 cm de profundidade, na classe A^- e a 70 cm, na classe Bw^- , o que corresponde, respectivamente, às ordens III e IV (Tabela II.7 ou Figura II.4c). O solo, pelo seu valor da VIB, apresenta-se na classe de condutividade hidráulica moderadamente lenta.

Portanto, a legenda físico-hídrica terá a seguinte descrição: Latossolo Amarelo Bw/A⁻ mesaerado-mesaquífero/mesaerado-aquífero moderadamente lento.

O trabalho de Brito (2004) foi o primeiro estudo a aplicar a metodologia do SCFH. Foram levantados os solos de uma bacia de aproximadamente 11 km², em Paty do Alferes/RJ (item I.1), sendo apresentados os mapas físico-hídricos padrão e de superfície. Concluiu-se que o sistema de classificação físico-hídrico se mostrou satisfatório em todos os tipos de terrenos da bacia estudada (bacia do Córrego da Cachoeira), sendo possível identificar os solos que tendem a apresentar fatores limitantes ao desenvolvimento das plantas, no que tange às questões de disponibilidade de água e de aeração. Vale novamente mencionar (item I.1) que, naquele trabalho, não foi explicitada completamente uma sistemática para os trabalhos de levantamento e mapeamento físico-hídrico.

Finalmente, reitera-se que, na presente dissertação, pretende-se fazer uma extensão e aplicação do método do sistema de classificação físico-hídrica de solos.

CAPÍTULO III - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

III.1 - Localização Geográfica

A região norte-noroeste do estado do Rio de Janeiro apresenta uma área de aproximadamente 5.400km², equivalente a 12,3% da área total do estado do Rio de Janeiro, estando localizada geograficamente entre os paralelos de 20°30' e 22°00' de latitude Sul, e entre meridianos de 41°00' e 42°30' a Oeste de Greenwich. Essa região engloba treze municípios, sendo eles: Aperibé, Bom Jesus de Itabapoana, Cambuci, Italva, Itaocara, Itaperuna, Laje do Muriaé, Miracema, Natividade, Porciúncula, Santo Antônio de Pádua, São José de Ubá e Varre-Sai (Figura III.1).



Figura III.1 – Área geográfica da região norte/noroeste fluminense, com destaque para os treze municípios.

Fonte: Radema (1999)

Dentro dessa macroregião norte/noroeste, encontra-se a bacia hidrográfica do rio São Domingos, onde se situa a área de estudo. Esse rio é um afluente do Muriaé, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul (Figura III.2). A bacia do São Domingos possui uma área de aproximadamente 280 km², estando 90% em território do município

de São José de Ubá e os restantes 10% situando-se no município de Itaperuna (Figura III.3).

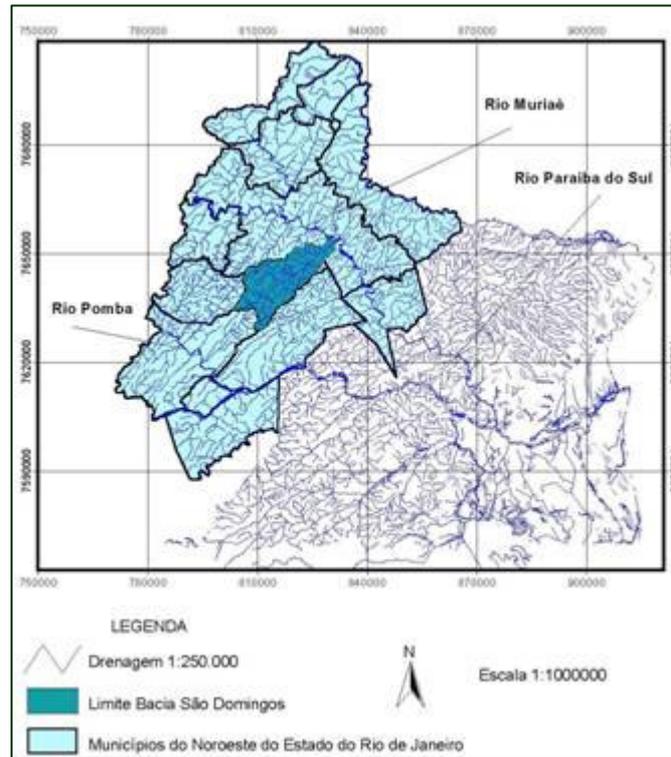


Figura III.2 – Localização geográfica da sub-bacia do rio São Domingos na região norte/noroeste fluminense, com destaque para os rios Muriaé, Pomba e Paraíba do Sul.
Fonte: Geparmbh (2003)



Figura III.3 – Bacia hidrográfica do rio São Domingos.
Fonte: Geparmbh (2003)

A área geográfica específica de interesse corresponde a uma pequena sub-bacia do rio São Domingos, que engloba duas comunidades agrícolas do município de São José do Ubá, denominadas Santa Maria e Cambiocó, apresentando aproximadamente 13km² de superfície. A escolha dessa área foi realizada pela equipe do Projeto Geparmbh (2003), denominado “Gestão Participativa da bacia do rio São Domingos”, projeto este aprovado por meio do Edital FINEP/CT-Hidro 02/2002, envolvendo a Embrapa Solos, a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), a Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Pesca e do Interior-Secretaria de Microbacia Hidrográfica (SEAAPI/SMH) e a EMATER-RIO (RJ). Na Figura III.4, é apresentada a localização da bacia de Santa Maria e Cambiocó e na Figura III.5, uma foto da bacia observada de um de seus pontos mais altos. Finalmente, na Figura III.6 é exibida uma ilustração em terceira dimensão desta bacia.

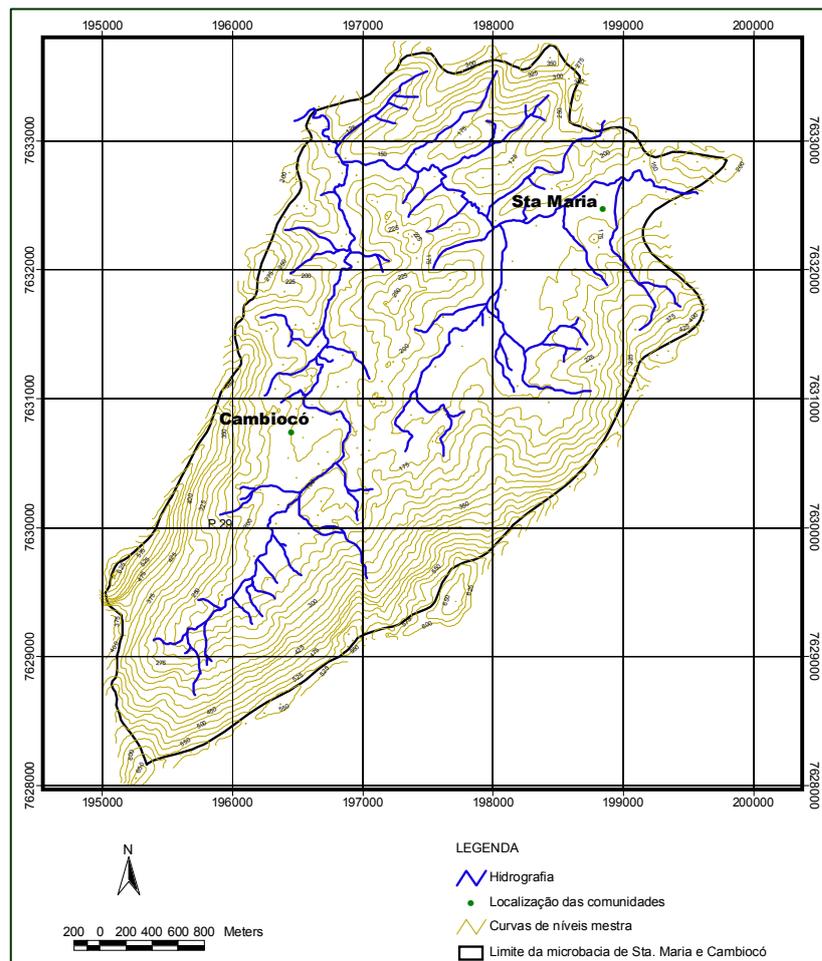


Figura III.4 –Bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó, no município de São José de Ubá/RJ.

Fonte: Geparmbh (2003)



Figura III.5 –Bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó observada de um de seus pontos mais altos.

Fonte: Geparmbh (2003)

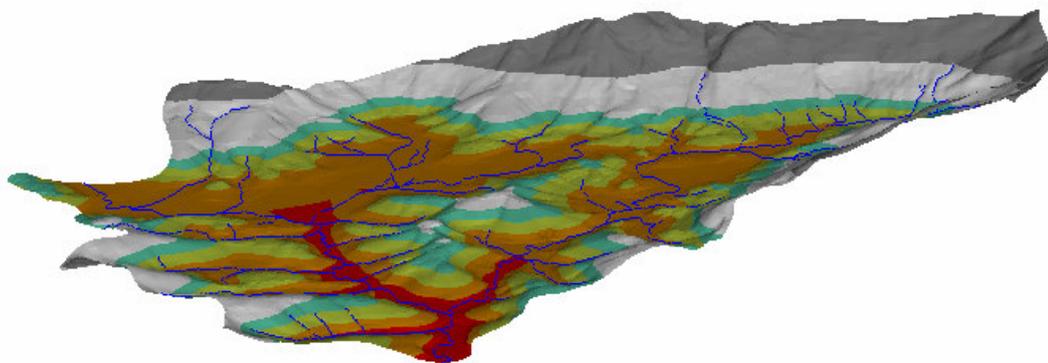


Figura III.6 – Ilustração em terceira dimensão da bacia de Santa Maria e Cambiocó (RJ)

Fonte: Geparmbh (2003)

Cumprе ressaltar que a bacia de Santa Maria e Cambiocó foi escolhida como área experimental piloto, no contexto do projeto Geparmbh (2003), para que fossem realizados diversos estudos e atividades com vistas ao conhecimento e estudo socioeconômico-ambiental da bacia do rio São Domingos, localizada na região norte-noroeste fluminense. Dentre algumas ações executadas durante os anos de 2003 e 2004 na bacia de Santa Maria e Cambiocó, pode-se citar o monitoramento hidrológico, bem

como de qualidade de água e climatológico, modelagem hidrológica, cadastramento dos poços profundos, identificação dos sistemas de produção existentes na região, implantação de UPEPADEs (unidades de pesquisa participativa e demonstrativa) em áreas de produtores locais com o plantio de 2.000 mudas de tomate, incluindo implantação nas UPEPADEs de sistemas de conservação de solo e água (plantio em nível e terraceamento, condução da lavoura com fitilho no lugar das varas de bambu, sistema de irrigação por gotejamento e com fertirrigação). Outra ação de grande relevância no projeto foi a criação do grupo gestor, que é um órgão de gestão comunitária composto por representantes de 5 comunidades locais (15 membros), cuja finalidade é discutir e direcionar as ações de intervenção do projeto, bem como fomentar a participação comunitária quanto ao tratamento dos assuntos de interesse comum.

Finalmente, no que se refere às atividades realizadas pelo presente trabalho no âmbito do projeto Geparmbh (2003), destaca-se o levantamento das características físico-hídricas dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, com vistas ao manejo do solo e água.

III.2 - Geologia e Geomorfologia

A região norte-noroeste fluminense é formada pelo embasamento cristalino constituído por rochas metamórficas de alto grau, de idade pré-cambriana, apresentando gnaisses charnockíticos como rochas predominantes, ao lado de rochas metassedimentares e ortognáissicas. As rochas caracterizam-se pela presença de intenso falhamento, causado pelos mesmos eventos tectônicos que condicionaram o curso do rio Paraíba do Sul e seus afluentes (Graben do Paraíba) (Geparmbh, 2003).

A geomorfologia da região e do município de São José do Ubá, onde se inclui a bacia de Santa Maria e Cambiocó, é caracterizada por relevo variando de plano, nas baixadas, a fortemente ondulado, escarpado e montanhoso.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, ocorrem dois tipos principais de aquíferos subterrâneos na região: (a) poroso – nos depósitos aluvionares e solos de alteração das rochas; e (b) fissural – nas fraturas das rochas cristalinas. Devido a pequena espessura dos solos e a heterogeneidade dos aluviões, o aquífero fissural torna-se o mais importante aquífero subterrâneo da região, favorecido pela presença de intenso

falhamento e fraturamento nas rochas, tornando essas últimas propícias ao armazenamento e percolação de água subterrânea.

III.3 - Hidrometeorologia

III.3.1 - Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima característico da região nortenoeste fluminense é o Aw, ou seja, tropical quente e úmido com estação seca (inverno) e chuvosa (verão) bem definidas. No norte da região, especificamente na porção ocidental conhecida como alto noroeste, ocorre uma pequena mancha do tipo Cwa, tropical de altitude com verões quentes e úmidos. Essa área, que abrange o município de Varre-Sai e parte dos municípios de Natividade, Porciúncula e Bom Jardim do Itabapoana, diferencia-se do restante do noroeste fluminense por estar situada em maiores altitudes, entre 500 e 800 metros (Cezar 2001).

De acordo com os dados das estações meteorológicas de Itaperuna e Santo Antônio de Pádua, as médias térmicas anuais estão em torno de 23^o C, com a média do mês mais quente perto dos 26^o C e a do mês mais frio entre 19^o e 20^o C (Cezar, 2001).

O total pluviométrico anual do noroeste fluminense está em torno de 1.200 mm. As precipitações concentram-se com valores aproximados de 82% do total, no período de outubro a março (período de primavera-verão). Dezembro é o mês mais chuvoso, com médias de 288,8 mm em Santo Antônio de Pádua e 247,5 mm em Itaperuna. A partir de abril, verifica-se acentuado declínio da pluviosidade, sendo o período mais seco compreendido de abril a setembro (outono/inverno), tendo seu auge nos meses de junho a agosto, caracterizando forte estiagem. O trimestre totaliza 71 mm de precipitações em Santo Antônio de Pádua e 55 mm em Itaperuna (Cezar, 2001).

III.3.2 - Hidrografia

A bacia estudada é composta pelos córregos Santa Maria e Cambiocó, que drenam para o rio São Domingos. A confluência desses corpos de água ocorre junto à foz da bacia (Figura III.4), onde foi instalado um posto fluviométrico (vertedouro trapezoidal do tipo “CIPOLETTI”), com estação registradora, ambos em estágio inicial

de operação. Nessa última, são monitoradas os níveis de água, as alturas pluviométricas, as temperaturas do ar e as concentrações de sedimentos.

No período de seca, percebe-se que as vazões nesses córregos são praticamente nulas, devido às poucas chuvas na região e ao manejo inadequado desses recursos hídricos, já que numerosos pequenos barramentos para captação de água para o cultivo do tomate, principalmente, induzem perdas por evaporação não desprezíveis.

III.4 - Solos da Região

Os trabalhos de levantamento dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó foram realizados pela equipe da Embrapa Solos, estudando 36 perfis, sendo 12 deles considerados característicos dos solos da área. Percebe-se, segundo a Figura III.7, que tais perfis foram distribuídos, de modo geral, ao longo da extensão de córregos que compõem a bacia, abrangendo desde áreas de baixadas até aquelas de relevo suave ondulado a forte ondulado (os últimos em menor proporção). No mapeamento dos solos da bacia (Bhering *et al.*, 2005) a nomenclatura da classificação dos solos foi realizada segundo preconizado pelo sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa, 1999).

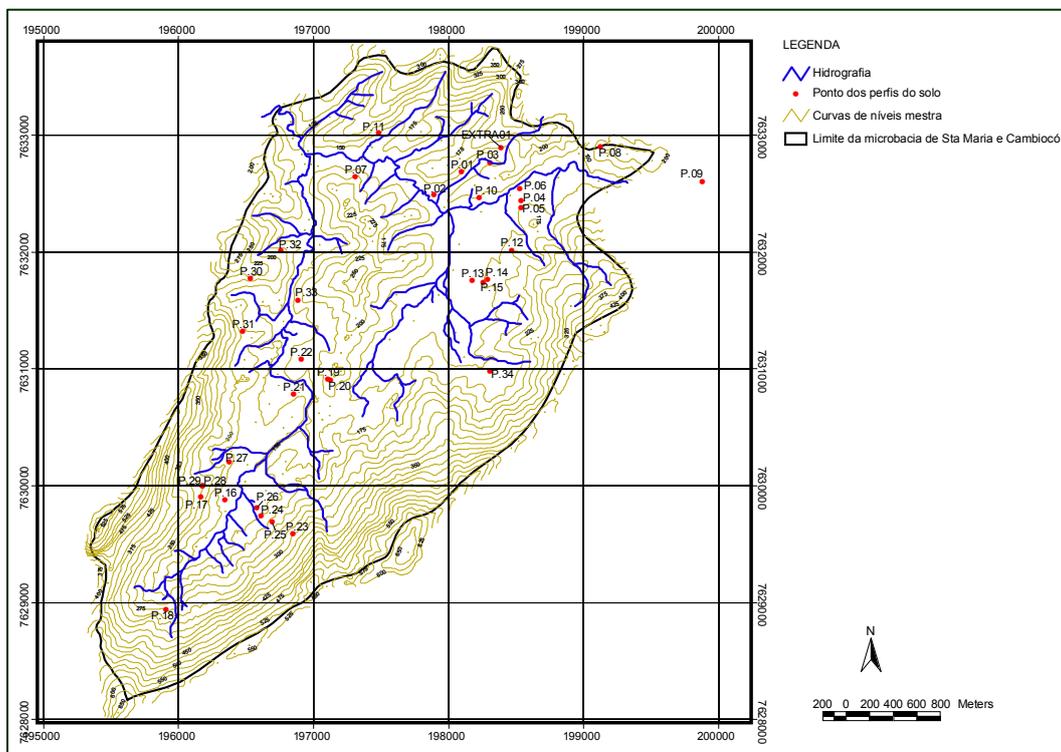


Figura III.7 – Identificação dos 36 perfis utilizados no levantamento dos solos na bacia de Santa Maria e Cambiocó (RJ).

Os 12 perfis selecionados na fase de levantamento pedológico são representativos das principais classes de solos existentes na região, sendo eles: Cambissolos Hápticos lépticos (P5, P22), Cambissolos Hápticos gleicos (P34), Argissolos Vermelho-Amarelo (P4, P24 e P32), Neossolos Litólicos (P20), Gleissolos Hápticos (P6 e P21), Planossolos Hápticos (P15 e P36) e Luvisolos Hápticos (P27).

A bacia é composta por 9 unidades de mapeamento, abaixo indicadas entre parêntesis. Todas as unidades são compostas por associações de classes de solos, indicando a complexidade da distribuição dos solos na área. Em cada uma das 9 unidades de mapeamento, a classe predominante é: Cambissolo Háptico léptico (CXbe2, CXve2, CXve3), Cambissolo Háptico lítico (CXbe1), Cambissolo Háptico gleico (CXve1), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd e PVAe), Neossolo Litólico (RLve) e Gleissolo Háptico (GXve). Vale lembrar que nas unidades de mapeamento a primeira classe é a classe predominante da associação.

Percebe-se, segundo a Tabela III.1, que os Cambissolos Hápticos lépticos (CXbe2, CXve2 e CXve3) e líticos (CXbe1) são os solos dominantes na bacia de Santa Maria e Cambiocó, abrangendo aproximadamente 44% da área total. Em seguida, vêm os Argissolos Vermelho-Amarelo (PVAd e PVAe), com uma superfície de 18,5%, e os Neossolos Litólicos (RLve), com 16,7%. Os restantes 20,8% da região são compostos, em ordem decrescente de área, pelos Cambissolos Hápticos gleicos (CXve1), Gleissolos Hápticos (GXve) e Afloramentos de Rocha (AR). Através dessa caracterização e considerando a predominância dos Cambissolos Hápticos lépticos e líticos (solos com rocha a pequena profundidade), percebe-se que a maior parte dos solos da região são de pequena espessura, levando também em conta a predominância dos Neossolos Litólicos.

Tabela III.1 – Distribuição de áreas e sua percentagens, em relação às diferentes unidades de mapeamento pedológico da bacia de Santa Maria e Cambiocó

Unidade de Mapeamento	Área (m ²)	Porcentagem
CXbe1	356.674	2,63%
CXbe2	725.351	5,36%
CXve2	1.749.720	12,92%
CXve3	3.114.239	22,99%
PVAd	2.140.944	15,81%
PVAe	356.201	2,63%
RLve	2.256.464	16,66%
CXve1	1.808.935	13,36%

Tabela III.1 – Distribuição de áreas e suas percentagens, em relação às diferentes unidades de mapeamento pedológico da bacia de Santa Maria e Cambiocó. (continuação)

Unidade de Mapeamento	Área (m ²)	Porcentagem
GXve	632.993	4,67%
AR*	402.087	2,97%
Total	13.543.608	100%

* Afloramento de Rocha

Nas áreas de baixada, desenvolveram-se predominantemente os solos Cambissolos Háplicos gleicos (CXve1) e os Gleissolos (GXve), terrenos que *a priori* não são aptos à implantação de lavouras de sequeiro, uma vez que são áreas de encharcamento, enquanto que, nas encostas e nos terrenos com topografia ondulada predominam os Cambissolos Háplicos lépticos, Argissolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos (RLve), com afloramentos de rocha (AR). Junto aos divisores de águas, os Neossolos Litólicos são predominantes.

Nos Apêndices A, B e C, são apresentadas, nessa seqüência, as tabelas referentes à legenda dos 12 perfis representativos dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, à descrição morfológica desses perfis e à legenda das unidades de mapeamento pedológico. No Apêndice D, é mostrado o mapa de solos da região de estudo.

III.5 - Uso e Cobertura do Solo

Na bacia de Santa Maria e Cambiocó, predominam atividades essencialmente agropecuárias. Percebe-se tanto nas áreas de baixada como de encosta o cultivo de culturas olerícolas (principalmente o tomate, além do pimentão) e a pecuária de baixa produtividade, tanto de corte como de leite. A cultura do arroz também é encontrada nas baixadas. Além disso, verifica-se a utilização de práticas de manejo convencionais, como aração e gradagem, inclusive aração no sentido de descida do morro, quando feitas para renovação e/ou implantação de pastagens e culturas olerícolas. Ressalta-se que, de acordo com Fidalgo e Abreu (2005), a cultura do tomate, apesar de sua importância econômica na região, ocupa apenas pequenas parcelas de área, nos meses de março a outubro. Dessa forma, uma preponderante parte dos solos é ocupada com pastagens, tornando-os mais compactados e suscetíveis à erosão, dificultando assim o seu uso para o desenvolvimento de culturas. Isso também acarreta conseqüências graves

aos corpos hídricos existentes, tais como o assoreamento e cheias, bem como impõe diminuição da recarga hídrica dos terrenos por infiltração direta de chuva e induz a aceleração dos processos erosivos.

A irrigação das culturas olerícolas é feita pela molhação manual e ineficiente, com o uso de mangueiras acopladas a bombas. A água normalmente é tomada de pequenos reservatórios que se formam artificialmente nas baixadas, pelo represamento indiscriminado dos córregos, o que contribui para a degradação dos recursos hídricos.

De acordo com a Figura III.8, em que é apresentado o mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia de Santa Maria e Cambiocó/RJ, verificou-se que aproximadamente 91,3% da área dessa região são ocupados por pastagem⁸, o que evidencia uma alta degradação ambiental nesta bacia, considerando também pequenos fragmentos de vegetação natural⁹, com apenas 5,4% da área, além da presença de voçorocas, sulcos de erosão e massas deslizadas de terras.

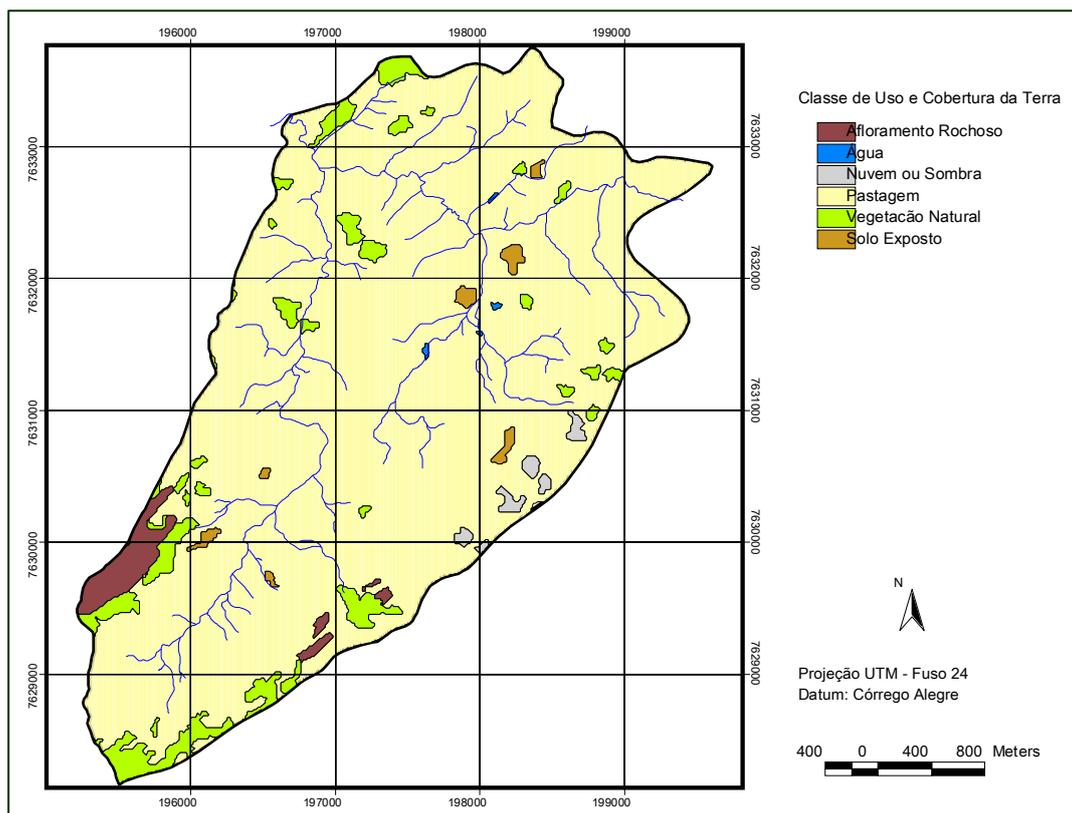


Figura III.8 – Mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia de Santa Maria e Cambiocó/RJ

Fonte: Fidalgo e Abreu (2005)

⁸ corresponde às áreas cobertas por pastagem sob diferentes manejos, incluindo pasto sujo.

⁹ são as áreas cobertas por remanescentes da vegetação natural

CAPÍTULO IV - METODOLOGIA

IV.1 Introdução

Nessa dissertação objetiva-se sistematizar a metodologia do sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) ao nível dos testes de campo, além de se prever sua extensão, no que se refere à definição das classes e ordens físico-hídricas truncadas por rocha ou lençol freático e ao mapeamento físico-hídrico dos solos. Com base nessa expansão e sistematização da metodologia de classificação físico-hídrica, propõe-se, adicionalmente, aplicá-la aos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó.

Nesse sentido, realizar-se-á no presente capítulo a descrição da metodologia dos testes de campo e do levantamento das variáveis de entrada do SCFH. Também serão descritos os procedimentos de classificação de solos truncados por rocha ou lençol freático, bem como de unidades de mapeamento de solos.

Nesse capítulo também será apresentado um procedimento alternativo de determinação *in situ* da capacidade de campo, utilizando os infiltrômetros de duplo anel e os testes de infiltração. Sugere-se tal proposta na tentativa de minimizar os inconvenientes dos testes tradicionais de capacidade de campo *in situ*, conforme apresentados no item I.1, além de se poder, através de uma única aplicação hídrica *in situ* no infiltrômetro, realizar dois testes de campo, o da capacidade de campo *in situ* e o de infiltração. Entretanto, essa metodologia é baseada nos resultados de Oliveira (2005), os quais são apresentados nesse capítulo com o objetivo de compactar todo esse tema metodológico numa única parte do texto dessa dissertação.

IV.2 - Testes de Campo

O levantamento físico-hídrico consiste principalmente na determinação das variáveis físico-hídricas através da realização dos testes da capacidade de campo *in situ* e de infiltração. Sendo assim, foram selecionados na bacia de Santa Maria e Cambiocó 12 perfis representativos dos solos dessa região. Adicionalmente, foi identificado um outro perfil de solo da bacia, denominado de perfil extra, PE, onde também se realizaram os testes de campo. Entretanto, o mesmo não apresentou descrição

morfológica. Os testes de campo foram realizados próximo à trincheira utilizada no levantamento pedológico de cada perfil

Os testes de capacidade de campo *in situ* foram desenvolvidos em duas repetições. O local do levantamento do perfil e dos dois testes de capacidade de campo foram definidos em uma configuração semelhante a um triângulo isósceles, onde os vértices da base são compostos pelos testes da capacidade de campo, com afastamento de 10 m, e o outro vértice do triângulo definido pela posição da trincheira, distanciada dos vértices da base em aproximadamente 5 m (Figura IV.1).

Na tentativa de se determinar uma metodologia alternativa da capacidade de campo *in situ* com o uso dos infiltrômetros, foram instalados próximos a cada tabuleiro de inundação um par de infiltrômetros de duplo anel, de maneira a minimizar o efeito da variabilidade espacial. Cada infiltrômetro do par ficou a 1,0 m do tabuleiro correspondente, como indicado na Figura IV.1, compondo, assim, o tabuleiro e o par de anéis infiltrômetros, uma sub-área (Figura IV.1 e IV.2). Logo, para cada perfil onde se realizaram os testes de campo, foram definidas duas sub-áreas, sendo compostas cada uma por dois infiltrômetros e um tabuleiro.

Assim, para os 12 solos selecionados, adicionando o perfil PE, foram totalizados 78 testes de capacidade de campo, dos quais 52 foram realizados no infiltrômetro e os restantes (26) no tabuleiro, além dos 52 testes de infiltração.

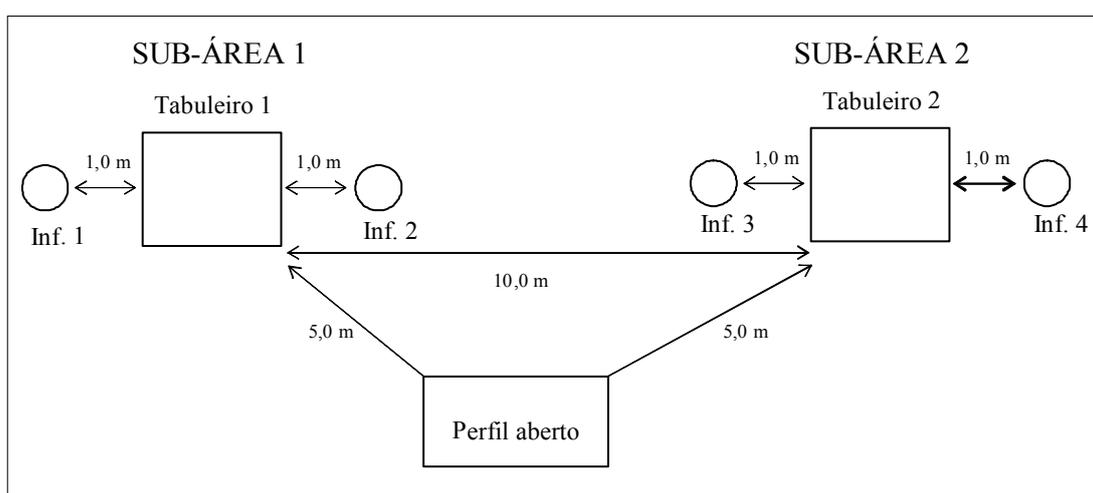


Figura IV.1 – Configuração esquemática dos testes realizados em campo



Figura IV.2 –Teste de campo realizados em uma sub-área do P27

IV.2.1 - Testes de Capacidade de Campo nos Tabuleiros

A capacidade de campo de referência foi determinada pelo método direto (ou método *in situ*) (Oliveira e Melo, 1971; Embrapa, 1979), que consiste na aplicação de uma lâmina de água, suficiente para saturar o perfil na profundidade estudada (70 cm), num tabuleiro com dimensões de 1,00 m x 1,00 m x 0,25 m (Figura IV.3). Após a infiltração total, a área de inundação era coberta com uma lona plástica para evitar as perdas por evaporação ou adição de água pela chuva. O conteúdo volumétrico de água no solo, que é o valor da capacidade de campo, foi, então, determinado após 48 h do término da infiltração no tabuleiro.

Os tabuleiros foram instalados a percussão, cravados cerca de 5 cm no solo, com o uso de um batedor de ferro. Quando alojados em áreas aclivosas, foi feito, no lado externo dos mesmos, um dique de solo para conter a água proveniente de eventuais vazamentos no equipamento. Nesses casos, fez-se também um pequeno aplainamento do solo dentro da área dos tabuleiros, de maneira a garantir uma infiltração de água tão uniforme quanto possível. Já em terrenos de baixadas, as áreas dos tabuleiros eram apenas limpas através do corte da parte aérea da vegetação, com o uso de uma tesoura.

Numa primeira fase dos testes, relativamente a sete perfis (P4, P5, P15, P21, P22, P24 e PE), foi aplicada no tabuleiro uma lâmina aproximada de 350 mm¹⁰ (ou 350L) de água, com exceção do P22, onde a lâmina foi de 300 mm, já que o P22

¹⁰ A lâmina de 350 mm foi aquela suficiente para saturar um perfil de 70 cm, considerando que o solo antes da aplicação do volume de água estivesse completamente seco e que a porosidade total do mesmo

apresentou transição para rocha a 60 cm de profundidade. Entretanto, verificou-se que esse volume era desnecessariamente alto (Ottoni *et al.*, 2004). Assim, foi adicionada nos demais perfis representativos (P6, P20, P27, P32, P34 e P36) uma lâmina entre 200mm e 250 mm. O trabalho de Ottoni *et al.* (2004), aplicando diferentes lâminas nos tabuleiros de alguns solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó (P4, P5, P6, P15, P22, P34), indicou que não houve diferenças na capacidade de campo quando as lâminas foram de 300 mm ou 200 mm.

A água utilizada para os testes de capacidade de campo foi obtida através de poços ou reservatórios próximos à área dos testes, sendo armazenada em tonéis de 100 L ou 200 L. A aplicação da água nos tabuleiros foi feita com auxílio de um regador ou de uma mangueira conectada a tais tonéis.

Vale mencionar que, dentro de cada um dos tabuleiros, foram instalados tensiômetros a três ou quatro profundidades até 70 cm, cujos dados não foram utilizados neste trabalho devido a problemas na instalação ou operação dos mesmos.



Figura IV.3 –Tabuleiro de inundação do teste de capacidade de campo *in situ*.

IV.2.2 - Testes de Infiltração e de Capacidade de Campo nos Infiltrômetros

A determinação do teste de infiltração foi feita de acordo com o método do infiltrômetro de duplo anel (Embrapa, 1979). Os equipamentos para esse método são dois anéis de aço galvanizado, sendo o menor com diâmetro de 20 cm e o maior de 39 cm, ambos com 20 cm de altura e 2 mm de espessura (Figura IV.4). Foram instalados de forma concêntrica, na vertical, sendo fixados 5 cm no solo, com o auxílio de marreta.

fosse de 50%; nesse sentido, pode-se admitir como muita segurança, que essa lâmina foi suficiente para saturar o perfil de 70 cm de profundidade.

Antes da cravação, era feita uma limpeza da área removendo-se apenas a parte aérea da vegetação, com auxílio de uma tesoura. Findada a infiltração aproveitou-se a inundação dos anéis cilíndricos para se realizar um experimento de drenagem interna visando determinar uma capacidade de campo no infiltrômetro, segundo metodologia análoga a do teste *in situ* no tabuleiro.

A aplicação de água foi feita com auxílio de um regador, contra as paredes internas dos cilindros, para evitar que o seu impacto direto modificasse a estrutura dos primeiros centímetros do solo. A água para a realização desses testes foi a mesma da dos testes de capacidade de campo *in situ*.

Os dois infiltrômetros de uma mesma sub-área (Figura IV.1 e Figura IV.2) foram sempre abastecidos ao mesmo tempo, de forma a manter uma lâmina de água de aproximadamente 5 cm sobre o terreno, com uma oscilação máxima de 2 cm. As leituras do nível de água foram realizadas sempre no anel interno, com o auxílio de uma bóia presa a uma haste metálica conectada a uma régua vertical fixada nesse cilindro (Figura IV.4). No anel externo, a lâmina de água foi mantida a uma altura semelhante a do anel interno, para assegurar a minimização da dispersão lateral da água infiltrada a partir do anel interno. Geralmente, as leituras das lâminas infiltradas foram realizadas num intervalo de 15 minutos, o que permitiu a obtenção das velocidades de infiltração nesse intervalo de tempo. Quando as diferenças entre essas velocidades passaram a ser mínimas, o que normalmente ocorreu entre 3 a 6 horas de ensaio, considerou-se atingida a velocidade de infiltração básica (VIB). O valor da VIB foi, geralmente, calculado pela média das três últimas leituras da velocidade de infiltração. Logo, para cada perfil, foram obtidos 4 valores de VIB.



Figura IV.4 – Infiltrômetro de duplo-anel

Na primeira fase dos testes (perfis P4, P5, P15, P21, P22, P24 e PE), os testes de infiltração foram sempre encerrados entre 6 e 7 horas de ensaio, mesmo após a VIB já ter sido alcançada, sendo, em seguida, retirados os anéis e colocada uma lona plástica por cima das áreas umedecidas. Para os demais perfis (P6, P20, P27, P32, P34 e P36), que correspondem a segunda fase dos testes, as leituras correspondentes aos experimentos de infiltração foram finalizadas logo quando se estabilizava a VIB. Entretanto, mesmo após a finalização dessas leituras, os anéis permaneciam com água, se fosse o caso, até que se infiltrasse pelo menos uma lâmina total, desde o início do teste, de aproximadamente 200 mm, quantidade essa considerada correspondente à lâmina aplicada no tabuleiro para esses mesmos perfis. Após essa infiltração¹¹, procedeu-se da mesma maneira que nos perfis anteriores. Dessa forma, garantiu-se, nos perfis da segunda fase dos testes, que a VIB fosse medida e que se aplicasse uma lâmina mínima de aproximadamente 200 mm em todos os anéis, visando uma compatibilização com a lâmina dos tabuleiros.

No Apêndice E, são apresentadas as lâminas infiltradas nos anéis infiltrômetros dos 12 perfis representativos e do perfil PE, estando aí incluídos aqueles em que foram adicionadas lâminas de água para completar os 200 mm. As curvas de infiltração de todos os testes realizados na bacia de Santa Maria e Cambiocó podem ser encontradas no trabalho de Oliveira (2005).

IV.3 - Determinação Experimental de Valores

IV.3.1 - Variáveis Físico-Hídricas

Após 48h do término da infiltração nos tabuleiros e infiltrômetros foram retiradas uma ou duas amostras indeformadas, por horizonte (a descrição dos horizontes já havia sido feita nos trabalhos de levantamento pedológico, conforme Apêndice B), até a profundidade de 70 cm ou até aquela onde se encontrou impedimento por rocha ou lençol freático. Note-se que neste trabalho não houve em nenhum perfil truncamento por lençol freático. As profundidades de amostragens acham-se indicadas no Apêndice B.

¹¹ Em alguns perfis da segunda fase (P6, P20, P34 e P27), a infiltração nos anéis e tabuleiros demoraram mais de um dia.

No caso dos tabuleiros, essas amostragens foram levantadas em duas repetições por tabuleiro, com o uso do anel de Uhlund, visando a determinação da respectiva capacidade de campo (CC), microporosidade (umidade à tensão de 0,006MPa), ponto de murcha permanente (PMP) e umidade à tensão de 0,033MPa, enquanto que, em cada infiltrômetro, houve apenas uma amostragem, feita através do anel de Kopeck, para a obtenção da CC apenas. Todas as amostras foram devidamente protegidas para evitar alteração no conteúdo de água.

Vale ressaltar que as amostras obtidas no tabuleiro permaneceram nos anéis amostradores para garantir sua indeformabilidade. Já nos infiltrômetros, as amostras foram extraídas do anel de Kopeck, cujo volume era previamente conhecido, sendo, em seguida, colocadas em um saco plástico devidamente vedado.

As umidades volumétricas da CC foram obtidas pelo método gravimétrico (Embrapa, 1997), enquanto que as umidades volumétricas relativas à tensão de 0,033 MPa, à microporosidade e ao PMP foram definidas pelo método da câmara de pressão (Embrapa, 1997)

A média das duas repetições, no tabuleiro, de CC, microporosidade, umidade à tensão de 0,033 MPa e PMP foi o valor considerado no trabalho para essas variáveis em cada tabuleiro (sub-área), nas diversas profundidades. A capacidade de campo no infiltrômetro (CCinfiltrômetro), por sub-área e por profundidade, foi a média das capacidade de campo nos dois infiltrômetros contíguos ao tabuleiro, que deverá ser comparada com a CC do tabuleiro correspondente. Da mesma forma, a VIB da sub-área 1 foi considerada como sendo a média das VIB's dos dois infiltrômetros correspondentes (infiltrômetro 1 e 2 – Figura IV.1), enquanto que a VIB da sub-área 2 foi a média das VIB's dos infiltrômetros 3 e 4 (Figura IV.1)

A densidade do solo (DS) foi obtida através das mesmas amostras indeformadas coletadas no tabuleiro. Já para a determinação da densidade das partículas (DP), retiraram-se amostras deformadas no meio de cada tabuleiro, sem repetição, nas mesmas profundidades das amostras indeformadas, com o uso de uma cavadeira.

As DS's e DP's foram obtidas, respectivamente, pelo método do anel volumétrico e do balão volumétrico (Embrapa, 1997). Dessa forma, a porosidade total foi determinada através da Equação (IV.1), em duas repetições por solo, nas diferentes profundidades de amostragem.

$$PT = 1 - \frac{DS}{DP} \quad (IV.1)$$

em que PT é porosidade total, DS é a densidade do solo e DP é densidade das partículas.

IV.3.2 - Granulometria e Matéria Orgânica

As frações granulométricas (areia total, silte e argila) foram definidas a partir do método do densímetro (Embrapa, 1997). Já o teor de matéria orgânica foi obtido pela multiplicação do fator 1,724 pelo teor de carbono orgânico, determinado a partir do método do bicromato de potássio com titulação pelo sulfato ferroso (Embrapa, 1997). Tais variáveis foram definidas em todas as amostras utilizadas na determinação de DP.

IV.4 - Extensão da Metodologia do Sistema de Classificação Físico-Hídrica

A metodologia de classificação físico-hídrica desenvolvida por Ottoni Filho (2003) não previu uma abordagem de classificação quanto aos solos truncados por rocha ou nível freático e ao mapeamento físico-hídrico dos solos.

Nesse sentido, será feita, nos próximos itens deste capítulo, uma extensão da metodologia de Ottoni Filho (2003) no que se refere aos casos acima mencionados. Para tanto, serão apresentados resultados físico-hídricos de alguns perfis representativos dos solos da bacia estudada, na tentativa de esclarecer e ilustrar os procedimentos propostos de expansão da metodologia de classificação físico-hídrica.

Adicionalmente, serão apresentadas alterações nos critérios de nomenclatura dos perfis de solo, em relação ao originalmente proposto no trabalho de Ottoni Filho (2003).

IV.4.1 - Modificações na Legenda Físico-Hídrica dos Perfis de Solo

Propõe-se uma modificação na legenda físico-hídrica dos perfis de solo, ou seja, que toda a classificação físico-hídrica padrão (0-70 cm) esteja separada da de superfície (0-30 cm) através de uma barra (/), encerrando-se a descrição com a classe de condutividade hidráulica do solo. Ambas as classificações seriam iniciadas com o nome da ordem, seguida da notação da classe. Quando as ordens e/ou classes físico-hídricas

forem coincidentes na classificação padrão e de superfície, prevê-se a não repetição de sua descrição na legenda do solo.

A título de exemplo, cita-se um solo Gleissolo Háplico, com classe de condutividade hidráulica moderadamente lenta, cuja classificação padrão é de classe C_{aw}^- e ordem VIII; sua classificação de superfície enquadra-se na classe B_{aw}^- e ordem VIII. Nesse sentido, considerando-se as proposições acima elencadas, esse solo passa a ter a seguinte legenda físico-hídrica: solo anaerado-mesaquífero C_{aw}^-/B_{aw}^- moderadamente lento. Percebe-se que o nome da ordem foi descrito uma única vez; esse procedimento ocorre porque, entre as duas profundidades (0-30 cm e 0-70 cm), as ordens foram coincidentes, apesar das classes não o serem.

IV.4.2 - Ordens e Classes Truncadas

Prevê-se a expansão da metodologia de Ottoni Filho (2003) considerando ordens e classes diferenciadas para os solos com impedimento por rocha (ou transição para rocha) ou lençol freático, já que a presença de camada R ou nível freático alto tem influência marcante no desempenho físico-hídrico do perfil. Assim, são definidas 9 ordens e 27 classes de solos truncados por rocha (ou transição para rocha) e outras 9 ordens e 27 classes de solos truncados por nível freático. Tais perfis recebem na notação da ordem e classe principal, seja na profundidade padrão ou de superfície, a terminação com as letras R (truncado por rocha) ou P (truncado por lençol freático). O sistema de classificação físico-hídrica assim expandido passa a ter 9 ordens (e 27 classes) principais, 18 ordens (e 54 classes) truncadas e uma ordem (com uma classe) dos solos alagados. Os nomes das ordens truncadas passariam a receber a expressão truncado por rocha ou truncado por freático, conforme o caso.

A fim de prover um exemplo, a Tabela IV.1 apresenta os dados básicos e a classificação físico-hídrica padrão (perfil com 70 cm ou menos de profundidade) e de superfície (perfil com 30 cm ou menos de profundidade) para 3 perfis representativos na bacia estudada, todos apresentando truncamento por rocha. Observa-se que as notações das classes e ordens físico-hídricas, apenas na classificação padrão, receberam a terminação com a letra R, indicando que houve truncamento por rocha abaixo da profundidade de 30 cm.

Caso um desses 3 perfis fosse truncado por rocha (R) ou lençol freático (P), numa profundidade acima de 30 cm, as variáveis físico-hídricas (PT, CC, PMP, A e W)

seriam definidas até a profundidade de truncamento, segundo a Equação (II.6), conforme já previsto em Ottoni Filho (2003). Nesse caso, as classificações padrão e de superfície seriam coincidentes.

Tabela IV.1 – Exemplo de dados físico-hídricos médios de perfis, a partir dos quais são definidas as ordens e classes de solo, tanto da classificação padrão (1ª linha) quanto de superfície (2ª linha).

Perfis representativos	Prof. (cm)	PT	CC	PMP	A	W	VIB (cm.h ⁻¹)	Classe de solo	Ordem de solo
		%							
P5	0-50*	46,9	20,5	11,3	26,4	9,2	1,89	B _w R	IVR
	0-30	47,7	21,9	10,9	25,8	11		B _w	IV
P22	0-60***	45,4	29,4	21,6	16	7,8	2,19	B _{aw} R	IVR
	0-30	46,9	28,2	18,9	18,7	9,3		B _{aw}	IV
P20	0-30**	46,9	23,2	18	23,7	5,2	1,18	C _w R	VIR
	0-30	46,9	23,2	18	23,7	5,2		C _w	VI

* Houve transição para rocha a 50 cm de profundidade

** Houve truncamento por rocha a 30 cm de profundidade

*** Houve transição para rocha a 60 cm de profundidade

No exemplo anterior, considerando a proposta de alteração de legenda físico-hídrica dos perfis de solo (item IV.4.1), o perfil P20 da Tabela IV.1 seria classificado como um solo mesaerado-aquícludo truncado por rocha C_wR/mesaerado-aquícludo C_w moderadamente lento.

IV.4.3 - Mapeamento Físico-Hídrico

No que se refere à sistemática de elaboração dos mapas físico-hídricos, o que não havia sido definida por Ottoni Filho (2003), prevê-se que cada unidade de mapeamento pedológico corresponda a uma unidade de mapeamento físico-hídrico e vice-versa.

Para toda classe identificada de solo no mapeamento pedológico, estando em associação ou não, devem ser selecionados para representá-la um ou mais perfis onde previamente foram realizados os testes físico-hídricos. A partir dos valores levantados

das variáveis físico-hídricas nesses perfis selecionados por classe identificada de solo, será, então, realizada sua classificação físico-hídrica.

As unidades de mapeamento pedológico podem consistir de uma única classe de solo ou de uma associação de várias classes (Tabela IV.2), sendo, no último caso, sua caracterização no mapa (cor e notação) feita a partir da classe de solo preponderante na unidade de mapeamento.

Correspondentemente, as unidades de mapeamento físico-hídrico são compostas por uma única classe ou por uma associação de classes físico-hídricas. Quanto à representação (cor e notação) no mapa físico-hídrico, a cor é definida pela ordem do solo e a notação é a própria notação da classe físico-hídrica. Se a unidade de mapeamento for composta por uma associação de solos, a ordem e a classe do solo predominante é que devem definir, respectivamente, a cor e notações daquela unidade.

Na intenção de esclarecer a metodologia acima descrita, serão apresentados os procedimentos de classificação de uma unidade de mapeamento de solo da bacia estudada.

Segundo a Tabela IV.2, a classificação da classe predominante (um Cambissolo Háplico) da associação CXve2 será obtida através da média aritmética dos dois valores das variáveis A, W e VIB, obtidas para os perfis P5 e P22 (Tabela IV.1), já que esses foram os perfis de Cambissolos Háplicos selecionados para representar a classe de solo predominante daquela associação (Tabela IV.2). Levando em conta a classificação padrão (Tabela IV.1), tais médias aritméticas serão $A=21,2\%$ (média de 26,4 e 16,0%), $W=8,5\%$ (média de 9,2 e 7,8%) e $VIB=2,03\text{cm.h}^{-1}$ (média de 1,89 e 2,19 cm.h^{-1}). Em outras palavras, a classe físico-hídrica da classificação padrão do solo predominante na associação CXve2 será B_wR (alto A, média W e média VIB, com truncamento por rocha). Portanto, estabelece-se que o mesmo B_wR representará a notação da unidade de mapeamento físico-hídrico correspondente à unidade CXve2, na classificação padrão. Essa mesma regra é também válida para a classificação de superfície.

Deve-se dizer que, no exemplo acima, se apenas um dos perfis (P5 ou P22), cujos dados participaram das médias aritméticas que permitiram a classificação padrão do Cambissolo Háplico (CXve2) em B_wR , fosse truncado, ainda assim essa classe de solo teria sido classificada como truncada e o algebrismo do cálculo das médias teria sido igual ao que foi apresentado no exemplo, com um valor da propriedade físico-hídrica (A, W ou VIB) sendo calculado para o perfil completo e o outro calculado para o perfil truncado. A mesma regra metodológica desse parágrafo aplica-se na

classificação dos solos truncados por nível freático, ou se houver mais de dois perfis para representar uma classe de solo.

Ainda de acordo com a Tabela IV.2, para a classe de solo secundária da unidade CXve2, o Neossolo Litólico, existe apenas um perfil representativo (P20). Logo, a classificação físico-hídrica correspondente a essa classe de solo é a mesma da do perfil P20 (Tabela IV.1).

Tabela IV.2 – Exemplo de descrição de uma unidade de mapeamento pedológico

Simbologia	Descrição da unidade de mapeamento
CXve2	Associação de CAMBISSOLO HÁPLICICO (P5 e P22)* Ta Eutrófico léptico, textura média/argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO (P20) Eutrófico típico, textura média, ambos A moderado + AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso. Cambissolo Háplico: classe predominante

* Os perfis representativos das classes de solos nas unidades de mapeamento estão definidos entre parênteses.

Conforme já mencionado, a notação da unidade de mapeamento físico-hídrico, seja na profundidade padrão ou de superfície, é representada pela correspondente notação da classe físico-hídrica do solo isolado ou do solo predominante de uma associação. Caso haja duas notações iguais representando unidades de mapeamento físico-hídrico diferentes, elas serão tornadas distintas através de números arábicos colocados no final de cada notação coincidente. Por exemplo, se a classe B_{aw} representar duas distintas unidades de mapeamento físico-hídrico, haverá, então, um B_{aw}1 e B_{aw}2 para representá-las.

As cores devem representar as ordens físico-hídricas no mapa, que são em número de 28 (9 principais +18 truncadas + ordem dos solos alagados). A definição das cores deve seguir uma lógica, pautada na indicação das capacidades de aeração e de hidratação. A cor verde indica os solos sem alta restrição de aeração e/ou hidratação (ordens de I a IV), sendo um verde azulado na ordem I (solos com alta aeração e hidratação); o amarelo indica os solos com alta restrição hídrica (Ordens V e VI); o vermelho aponta os solos com alta restrição de aeração (Ordens VII e VIII); e o vermelho-roxo representa os solos com alta restrição de água e de aeração (Ordem IX). Os solos alagados (Ordem X) são, naturalmente, representados pelo azul. Há que se diferenciar o tom desse azul com o azul de representação de um corpo de água, como um lago ou rio. Propõe-se que, sobre as cores dessas 9 ordens principais, sejam impostas hachuras para representar as ordens truncadas por rocha e pequenas marcas

azuladas para representar os solos truncados por lençol freático. No triângulo da disponibilidade de ar e água no solo, ilustrado na Figura II.3, são identificadas as 9 cores das ordens físico-hídricas principais.

Propõe-se que, na legenda da classificação físico-hídrica padrão e de superfície de uma unidade de mapeamento, inicie-se com o nome da ordem, seguida da notação da classe, encerrando-se com o nome da classe de condutividade hidráulica do solo. Caso a unidade de mapeamento corresponda a uma associação de solos, a legenda acima definida deve ser repetida para todas as classes da associação.

Reitera-se que os mapas físico-hídricos são realizados com base no mapa de solos da bacia, ou seja, para cada unidade de mapeamento desse último mapa devem ser definidas uma cor e notação físico-hídrica correspondente a classificação padrão e de superfície, segundo os critérios acima descritos nesse item. Com relação ao mapeamento físico-hídrico da bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó, foi aplicado o Programa ArcView 3.2.

Estabelecido o referencial das extensões e aplicações propostas para o método de classificação físico-hídrica de solos, discute-se, na seqüência do texto, uma nova proposta para estimativa da capacidade de campo *in situ*.

IV.5 - Proposta de Determinação da Capacidade de Campo Usando Infiltrômetros de Duplo Anel

No contexto do trabalho de Oliveira (2005), foi feita uma comparação entre a capacidade de campo *in situ*¹² e a capacidade de campo medida nos infiltrômetros, sendo ambas definidas a partir dos mesmos levantamentos físico-hídricos realizados neste trabalho (item IV.2 e IV.3). De acordo com Oliveira (2005), fez-se tal análise com base na comparação entre os respectivos 56 valores dessas duas variáveis (CCinfiltrômetro x CCtabuleiro), determinados naquelas sub-áreas (Figuras IV.1 e IV.2), onde a lâmina infiltrada em cada um dos dois infiltrômetros correspondentes tivesse excedido 15 cm¹³. Dessa forma, foram totalizados 56 pares de valores da CC (CCinfiltrômetro x CCtabuleiro) dentre os 92 pares originalmente obtidos na bacia.

¹² Nesta dissertação, a capacidade de campo *in situ* também é chamada de capacidade de campo no tabuleiro (CCtab)

¹³ Os 56 pares de valores da Ccinf x CCtab correspondem ao conjunto dos dados das duas sub-áreas dos perfis P15, P20, P27, P32, P34, P36, P6, da sub-área 1 do perfil PE e da sub-área 2 do perfil P4. Leve-se em conta que o perfil PE é um perfil extra, além dos outros 12 previamente selecionados na bacia de

Os resultados de Oliveira (2005) mostraram que a capacidade de campo no infiltrômetro, quando reduzida de 3% de umidade (CCinf-3%), estima os valores da capacidade de campo *in situ* (CCTab) com um erro médio quadrático (EMQ)¹⁴ de 5,95% de umidade volumétrica, sem apresentar diferenças significativas nos níveis de confiança de 99% e 95%, segundo o teste não paramétrico de Wilcoxon (Bradley, 1968; Zar, 1984). Dessa forma, a autora conclui que a CCinf-3% é um estimador da capacidade de campo *in situ*, sem tendências de subestimá-la ou superestimá-la (Figura IV.5). Além disso, Oliveira (2005) ressalta ainda que esse avaliador (CCinf-3%) é determinado através de testes de infiltração no campo, sendo, por isso, uma variável que incorpora o comportamento da drenagem interna no perfil, diferentemente de outros estimadores obtidos por métodos indiretos de laboratório (item II.2.4). Entretanto, segundo essa autora, o EMQ proveniente da comparação entre os dados da CCTab e CCinf-3% apresentou-se com um valor alto, o que acarreta baixa qualidade relativa da avaliação.

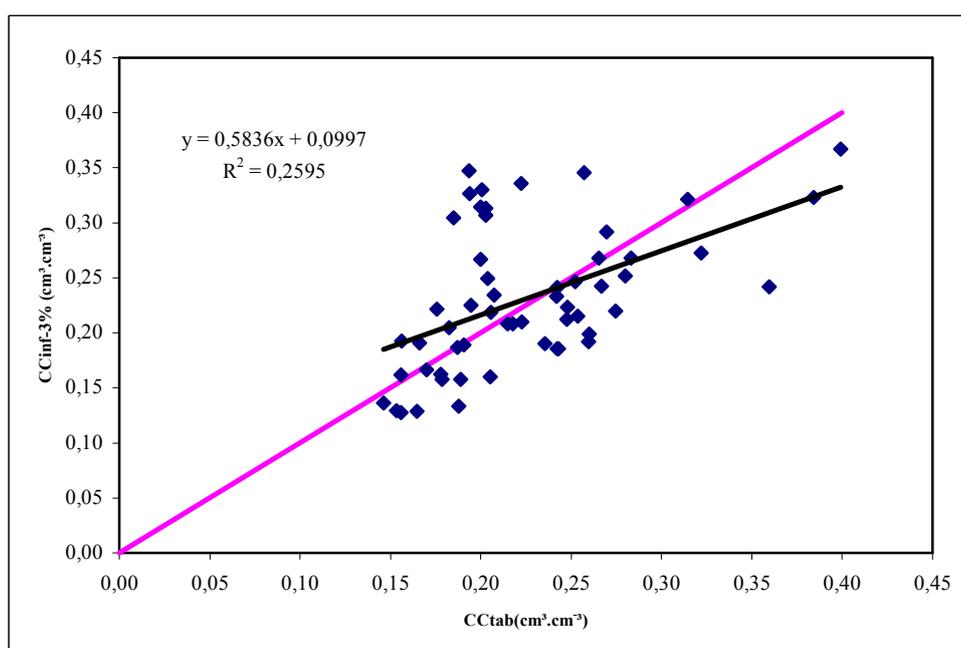


Figura IV.5 – Comparação entre os valores observados da CCTab e da CCinf-3%.

Fonte: Oliveira (2005)

Santa Maria e Cambiocó. Esses locais foram aqueles onde os infiltrômetros receberam lâminas hídricas compatíveis com o tabuleiro contíguo.

¹⁴ $EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n}}$, y_i e y'_i são os valores observados e calculados, respectivamente, entre as n repetições da variável.

Com base no resultado de Oliveira (2005), ilustrado na Figura IV.5, em que se percebe uma grande dispersão dos pontos ao longo da reta 1:1, e considerando, segundo essa autora, que o erro de estimativa da CC_{tab} a partir da CC_{inf-3%} foi alto (5,95%), propõe-se, neste trabalho, aprimorar tal avaliação. O procedimento sugerido é a determinação de pedofunções para o cálculo da CC_{inf-3%}, sendo tais pedofunções obtidas a partir do ajuste com variáveis definidas em laboratório que, por sua vez, sejam valores também bem relacionados com a CC_{inf-3%}.

Assim, foram realizadas algumas análises de regressão estatística linear (CC_{inf-3%} = ax + b) e bilinear (CC_{inf-3%} = ax₁ + bx₂ + c) entre os 56 dados da CC_{inf-3%} e os das variáveis de laboratório correspondentes, citadas no parágrafo anterior. Como é sabido que a CC_{inf-3%} é uma variável sem tendência de subestimar ou superestimar a CC no tabuleiro na área de estudo (Oliveira, 2005), espera-se, por transitividade, que os valores calculados pelas pedofunções de CC_{inf-3%} também sejam estimadoras da CC *in situ* sem tal tendência. Sendo assim, essas funções, daqui para a frente, também serão consideradas como pedofunções de CC *in situ* a serem testadas.

Chama-se a atenção ao fato de que o processo acima proposto de calibração não depende dos dados levantados no tabuleiro. Essa independência dos dados do tabuleiro representa uma vantagem relevante, devido às dificuldades operativas dos testes *in situ* da CC (item I.1).

Na tentativa de se definir as variáveis de laboratório que apresentam boa correspondência com a CC_{inf-3%}, foram realizadas as correlações dos 56 dados da CC_{inf-3%} com suas respectivas frações granulométricas (areia total, silte e argila), teor de matéria orgânica, bem como umidades volumétricas a 0,033MPa, a 0,006MPa (microporosidade) e a 1,5MPa (ponto de murcha permanente-PMP). Tais correlações foram testadas estatisticamente nos níveis de significância de 1% e 5%, através do teste de Pearson (Pearson e Hartley, 1958; Draper and Smith, 1981), aplicando-se o Programa SPSS.

Assim, a partir de cada uma das pedofunções da CC *in situ* acima descritas, envolvendo as diversas possibilidades de relações lineares e bilineares entre a CC_{inf-3%} e as variáveis de laboratório supracitadas, foram calculados os correspondentes 56 valores estimados da capacidade de campo. Tais valores, relativos a cada pedofunção ajustada, foram comparados um a um com a capacidade de campo no tabuleiro, através

do cálculo do EMQ e do uso do teste não paramétrico de Wilcoxon (Bradley, 1968; Zar, 1984). Com respeito ao último teste, foi aplicado o Programa SPSS.

A pedofunção de melhor potencial estimador da CC *in situ* será, aqui considerada, aquela que apresentar menor EMQ, sem tendência de subestimar ou superestimar os valores da capacidade de campo no tabuleiro.

CAPÍTULO V - ANÁLISE DOS RESULTADOS

V.1 - Introdução

Neste capítulo são examinados os resultados do trabalho com a apresentação da classificação físico-hídrica para a região de estudo, ao nível da descrição físico-hídrica dos perfis representativos e do mapeamento físico-hídrico dos solos. O capítulo também apresenta uma análise de resultados da proposta de determinação da capacidade de campo *in situ*, tendo como base os dados de capacidade de campo levantados tanto no tabuleiro como nos anéis infiltrômetros, para todos os solos representativos da bacia mapeada.

V.2 - Resultados Experimentais

Os valores levantados das variáveis físico-hídricas, bem como das 3 frações granulométricas (areia total, silte e argila) e teor de matéria orgânica, nos 13 perfis testados, acham-se indicados no Apêndice F. O perfil PE não foi utilizado na análise da classificação físico-hídrica, sendo incluído neste estudo apenas na análise de determinação da capacidade de campo *in situ*.

No texto que se segue, serão utilizadas as seguintes notações para as variáveis físico-hídricas: DP (densidade das partículas); DS (densidade do solo); PT (porosidade total); CC (capacidade de campo); PMP (ponto de murcha permanente); VIB (velocidade de infiltração básica); A (ar disponível); W (água disponível).

V.3 - Classificação Físico-Hídrica dos Perfis Representativos dos Solos da Bacia de Santa Maria e Cambiocó

A classificação físico-hídrica dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó foi executada a partir do levantamento dos solos da bacia previamente realizado pela Embrapa Solos/RJ, assim como dos testes físico-hídricos executados nos perfis

representativos, seguindo metodologia descrita por Ottoni Filho (2003), levando em conta sua extensão apresentada no capítulo anterior.

De posse dos resultados laboratoriais dos 12 perfis amostrados (Apêndice F), descritos no item IV.3.1, procedeu-se o cálculo das médias de CC, PMP e PT (\overline{CC} , \overline{PMP} e \overline{PT}), calculadas para as faixas de profundidade de 0-70 cm, de 0-30 cm ou até aquela onde houve truncamento por rocha ou lençol freático, segundo Equação (II.6), em cada um dos dois tabuleiros de cada um dos solos. Em seguida, determinaram-se os valores da disponibilidade de ar ($\overline{A} = \overline{PT} - \overline{CC}$) e da disponibilidade de água ($\overline{W} = \overline{CC} - \overline{PMP}$), nas faixas de profundidade supracitadas. Finalmente, a classificação do solo de cada perfil representativo foi realizada considerando as médias aritméticas dos 2 valores de \overline{A} e de \overline{W} e dos 4 valores de VIB da área (\overline{VIB}).

Determinados os valores médios finais de A, W e VIB para cada perfil representativo dos solos da bacia, como acima descrito, nas duas faixas de profundidade previstas (30 cm, 70 cm ou profundidade do impedimento por rocha ou lençol freático), inseriu-se tais valores de A e W nos triângulos de classificação físico-hídrica, segundo a faixa de variação da VIB (Figuras II.4a, II.4b e II.4c). A posição no triângulo definiu a ordem e classe do solo. Logo, para cada solo nas profundidades de 70 cm e 30 cm (ou naquela onde existe impedimento por rocha ou lençol freático), obteve-se uma respectiva classe físico-hídrica com sua ordem correspondente.

Os resultados médios das variáveis físico-hídricas nessas profundidades de perfil, através dos quais obteve-se as respectivas classes e ordens físico-hídricas, encontram-se na Tabela V.1. As faixas de profundidade (Δz), utilizadas no cálculo das médias das variáveis no perfil (Equação II.6), acham-se também indicadas no Apêndice F. Apresenta-se, também, na Tabela V.1, a classificação textural dos 12 perfis.

A Tabela V.1 contém exemplos de classes e ordens truncadas (por rocha) que foram propostas nesta dissertação (item IV.4.2). São os casos dos perfis P5, P22 e P20, todos os três apresentando truncamento abaixo de 30 cm de profundidade, ou seja, afetando apenas a classificação padrão.

A descrição e nomenclatura físico-hídricas desses 12 perfis representativos são apresentadas na Tabela V.2, já contendo as modificações de legenda propostas no item IV.4.1.

Tabela V.1 – Resultados físico-hídricos dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ), nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), e as classes texturais correspondentes.

Classe Pedológica	Prof.	Classificação Textural	Umidade Volumétrica					VIB	Classe de solo	Ordem de solo
			PT	CC	PMP	A	W			
Perfil	(cm)		(%)					cm.h ⁻¹		
Cambissolo Háptico léptico (P5)	0-50*	Franco -Arenoso	46,9	20,5	11,3	26,4	9,2	1,89	B _w R	IVR
	0-30	Franco-Arenoso	47,8	21,9	10,9	25,9	11,0		B _w ⁻	IV
Cambissolo Háptico léptico (P22)	0-60**	Franco-Argiloso	45,3	29,4	21,6	15,9	7,8	2,19	B _{aw} R	IVR
	0-30	Franco-Argiloso	46,9	28,2	18,9	18,7	9,3		B _{aw}	IV
Cambissolo Háptico gleico (P34)	0-70	Franco-Arenoso	42,4	19,3	15,6	23,1	3,7	0,38	C _w ⁻	VI
	0-30	Franco-Arenoso	44,5	19,5	15,0	25,0	4,5		C _w ⁻	VI
Argissolo Vermelho-Amarelo (P4)	0-70	Franco-Argiloso	41,3	34,4	26,6	6,9	7,8	1,00	C _{aw} ⁻	VIII
	0-30	Franco-Argilo-Arenoso	39,5	30,0	20,5	9,5	9,5		C _{aw} ⁻	VIII
Argissolo Vermelho-Amarelo (P24)	0-70	Argila	43,4	34,5	27,8	8,9	6,7	1,21	C _{aw} ⁻	VIII
	0-30	Argilo-Arenoso	41,9	29,3	20,3	12,6	9,0		B _{aw} ⁻	VIII
Argissolo Vermelho-Amarelo (P32)	0-70	Argila	48,1	24,6	21,6	23,5	3,0	1,53	C _w ⁻	VI
	0-30	Argila	50,8	21,1	18,7	29,7	2,4		C _w ⁻	VI
Neossolo Litólico (P20)	0-30***	Franco-Arenoso	46,9	23,2	18,0	23,7	5,2	1,18	C _w R	VIR
	0-30	Franco-Arenoso	46,9	23,2	18,0	23,7	5,2		C _w ⁻	VI
Gleissolo Háptico (P6)	0-70	Franco-Argiloso	40,3	18,8	18,6	21,5	0,2	0,55	C _w ⁻	VI
	0-30	Franco-Argilo-Arenoso	38,9	17,7	15,5	21,2	2,2		C _w ⁻	VI
Gleissolo Háptico (P21)	0-70	Franco-Argiloso	44,7	36,8	28,7	7,9	8,1	0,66	C _{aw} ⁻	VIII
	0-30	Franco	43,2	32,3	21,9	10,9	10,4		B _{aw} ⁻	VIII
Planossolo Háptico (P15)	0-70	Areia Franca	45,6	17,3	6,5	28,3	10,8	7,24	B _w	II
	0-30	Areia Franca	45,6	15,9	4,8	29,7	11,1		B _w	II
Planossolo Háptico (P36)	0-70	Franco-Arenoso	38,9	25,0	16,5	13,9	8,5	7,78	B _{aw}	IV
	0-30	Franco-Arenoso	39,9	20,9	10,4	19,0	10,5		B _{aw}	IV

Tabela V.1 – Resultados físico-hídricos dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ), nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), e as classes texturais correspondentes. (continuação)

Classe Pedológica	Prof.	Classificação Textural	Umidade Volumétrica					VIB	Classe de solo	Ordem de solo
			PT	CC	PMP	A	W			
Perfil	(cm)		(%)					cm.h ⁻¹		
Luvisolo Háptico (P27)	0-70	Franco-Argilo-Arenoso	45,9	24,8	23,1	21,1	1,7	1,68	C _w ⁻	VI
	0-30	Franco-Argilo-Arenoso	47,2	24,1	20,2	23,1	3,9		C _w ⁻	VI

* Transição para rocha a 50cm de profundidade

** Transição para rocha a 60cm de profundidade

*** Rocha a 30cm de profundidade

Tabela V.2 – Legenda físico-hídrica dos perfis de solos representativos da bacia de Santa Maria e Cambiocó (São José de Ubá/RJ).

Classe Pedológica Perfil	Descrição com Caracterização e Nomenclatura Físico-Hídricas
Cambissolo Háptico léptico (P5)	Solo mesaerado-mesaquífero truncado por rocha B _w ⁻ R/ mesaerado-mesaquífero B _w ⁻ moderadamente lento
Cambissolo Háptico léptico (P22)	Solo mesaerado-mesaquífero truncado por rocha B _{aw} ⁻ R/ mesaerado-mesaquífero B _{aw} ⁻ moderado
Cambissolo Háptico gleico (P34)	Solo mesaerado-aquícludo C _w ⁻ moderadamente lento
Argissolo Vermelho-Amarelo (P4)	Solo anaerado- mesaquífero C _{aw} ⁻ moderadamente lento
Argissolo Vermelho-Amarelo (P24)	Solo anaerado-mesaquífero C _{aw} ⁻ /B _{aw} ⁻ moderadamente lento
Argissolo Vermelho-Amarelo (P32)	Solo mesaerado-aquícludo C _w ⁻ moderadamente lento
Neossolo Litólico (P20)	Solo mesaerado-aquícludo truncado por rocha C _w ⁻ R/ mesaerado-aquícludo C _w ⁻ moderadamente lento
Gleissolo Háptico (P6)	Solo mesaerado-aquícludo C _w ⁻ moderadamente lento
Gleissolo Háptico (P21)	Solo anaerado-mesaquífero C _{aw} ⁻ /B _{aw} ⁻ moderadamente lento
Planossolo Háptico (P15)	Solo aerado-mesaquífero B _w moderadamente rápido
Planossolo Háptico (P36)	Solo mesaerado-mesaquífero B _{aw} moderadamente rápido
Luvisolo Háptico (P27)	Solo mesaerado-aquícludo C _w ⁻ moderadamente lento

Segundo a legenda pedológica dos perfis representativos dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, apresentada no Apêndice A deste trabalho, percebe-se que dentre os 12 perfis, os pares (P5 e P22) e (P15 e P36) apresentam, entre seus respectivos componentes, descrição pedológica coincidente, a menos do relevo entre os perfis P5 e

P22 (Apêndice A), sendo representativos, respectivamente, dos solos Cambissolos Háplicos lépticos e Planossolos Háplicos da bacia.

Essas duas repetições pedológicas para as classes dos Cambissolos Háplicos lépticos (P5 e P22) e Planossolos Háplicos (P15 e P36) apresentam a vantagem de permitir avaliar a variação da classificação físico-hídrica dentro de solos com classificação pedológica idêntica até o quarto nível categórico.

Verifica-se acima que, entre os dois Cambissolos Háplicos lépticos, a principal variação físico-hídrica deveu-se à variável A (ar disponível), que foi bem mais alta no P5 (26,4%) do que no P22 (15,9%), o que pode ser explicado pelo fato do P5 ter textura mais arenosa que o P22. A mesma observação vale para os dois Planossolos: o P36, um perfil franco-arenoso, teve ar disponível (13,9%) bem inferior ao P15 (28,3%), que é uma areia franca. Essas diferenças de desempenho físico-hídrico entre solos que são muito similares em termos pedológicos fizeram com que os dois Planossolos tenham sido classificados diferentemente (o P15 na Ordem II e o P36 na Ordem IV), o que não ocorreu com os dois Cambissolos devido unicamente ao fato da VIB estar no limite de transição ($2,0 \text{ cm.h}^{-1}$) da VIB baixa para média. A VIB baixa do P5 rebaixou o nível de alto ar disponível para média aeração. Esse procedimento justificou que ambos os Cambissolos tivessem classificação quase idêntica.

De qualquer maneira, pode-se dizer que, mesmo com algumas diferenças físico-hídricas (veja as diferenças entre as VIB's), os 4 perfis acima mencionados (Cambissolos Háplicos lépticos e Planossolos Háplicos) apresentaram comportamento físico-hídrico relativamente semelhante, pois todos corresponderam a solos sem qualquer limitação marcante (fora da faixa de variação baixa) em suas capacidades de aeração e de hidratação. De fato, não se levando em conta o caráter léptico (raso) dos Cambissolos Háplicos, esses 4 solos constituíram-se nos perfis mais bem avaliados na bacia em termos físico-hídricos.

Entretanto, cumpre ressaltar que a presença de rocha nos Cambissolos Háplicos lépticos de encosta da bacia, que são os solos mais comuns da área (item III.4), pode atuar como limitador na sua utilização para fins agrícolas, uma vez que impede o pleno desenvolvimento de cultivos cuja profundidade radicular seja maior do que a profundidade de truncamento. Além disso, o truncamento por rocha nesses Cambissolos pode fazer com que seus terrenos tenham fortes tendências erosivas, devido à possibilidade de deslizamento da massa de solo por sobre a rocha durante os períodos chuvosos mais extremos, destacando-se ainda que a sua topografia também é aclivosa.

A caracterização do truncamento como elemento de diferenciação de ordem físico-hídrica tem o objetivo de enfatizar tais limitações agrícolas através da descrição e mapeamento dos solos.

Correspondendo aos perfis cujos solos foram classificados, com ou sem truncamento, como mesaerado-aquícludo (Ordem VI), citam-se o P6, P32, P34, P27 e P20 (Tabela V.1). Apresentam como principal restrição físico-hídrica, além do caráter litólico (solos muito rasos) do P20 (Neossolo Litólico), a baixa disponibilidade de água ($W < 6\%$), o que pode implicar condições de estresse hídrico vegetal em regime não irrigado durante longos períodos de estiagem. Digno de destaque negativo entre tais perfis, é o P20, pois, além de ser um solo ainda mais raso que os Cambissolos Háplicos lépticos, seu uso para fins de produção agrícola torna-se dificultado pela baixa capacidade de hidratação e pelo fato de ocupar relevo forte ondulado e montanhoso. Levando ainda em conta a baixa disponibilidade hídrica desses Neossolos, sua revegetação, preferencialmente, deve se dar por espécies resistentes à seca.

Percebe-se também que as VIB's dos perfis P6 (Gleissolo Háplico) e P34 (Cambissolo Háplico gleico) são muito baixas, o que pode eventualmente criar problemas de aeração por saturação do terreno, quando acontecerem eventos prolongados ou excessivos de chuva. Entretanto, juntamente com o P21 (Gleissolo Háplico), esses 3 solos representativos de condições de baixada da área, devido ao seu caráter de pequena condutividade hidráulica ($VIB < 0,66\text{cm h}^{-1}$), podem se constituir em solos com boas condições para o cultivo do arroz ou de pastagem com espécies adaptadas a excesso de água.

A análise da Tabela V.1 permite afirmar o caráter de independência entre o sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) e o sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS), uma vez que os cinco perfis acima elencados, com classificação físico-hídrica idêntica (todos são C_w^- , com exceção do P20 que é C_w^-R), pertencem a classes pedológicas distintas. Essa independência entre os sistemas de classificação sugere que o primeiro possa ser realizado complementarmente ao segundo, visando enriquecê-lo e ampliá-lo em seu potencial de uso. Também verifica-se que esses 5 perfis com classificações físico-hídricas idênticas englobam classes texturais bastantes distintas, desde a faixa franco-arenosa até a argila. Destaca-se aí a argila P32 (Argissolo Vermelho-Amarelo) que se mantém nessa granulometria desde a superfície até a profundidade de 70 cm, desmistificando assim o senso geral que os solos argilosos são bons armazenadores de água para o uso vegetal. Tudo isso aponta, também, para o

caráter de independência entre a classificação físico-hídrica e a classificação granulométrica, como já observado por Ottoni Filho (2003).

Um outro grupo de perfis foram igualmente classificados como anaerado-mesaquífero (P21, P4 e P24), apesar de constituírem classes pedológicas distintas (Gleissolo e 2 Argissolos distintos). Esses solos, segundo a Tabela V.1, apresentam alta restrição físico-hídrica imposta pelo baixo ar disponível ($A < 10\%$) aliado a uma baixa VIB ($VIB < 2,0\text{cm h}^{-1}$), o que os tornam de baixa aeração. Em períodos chuvosos pronunciados, esses terrenos devem tender ao encharcamento. Mesmo após cessadas as chuvas, drenarão muito lentamente, o que deverá dificultar os processos de trocas gasosas da atmosfera com o sistema radicular, tanto por difusão como convecção. Esse cenário tende a provocar murchamento dos vegetais e queda na produtividade agrícola nos períodos úmidos, a não ser que sejam implantados nesses solos um sistema eficiente de drenagem.

Espacialmente, os solos mais significativos na região, após a predominância dos Cambissolos Háplicos lépticos e líticos, são os Argissolos Vermelho-Amarelo, representados pelos perfis P4, P24 e P32 (item III.4). Os dois primeiros são Argissolos diferenciados (a partir do 3º nível categórico - Apêndice A), mas com classificação físico-hídrica quase idêntica, o que também indica o caráter de independência entre o SCFH e SiBCS. Percebe-se, em todos os 3 Argissolos desse estudo, que os horizontes abaixo de 30 cm de profundidade têm menor capacidade de ar (menor A) do que as camadas superiores (Tabela V.1), o que pode ser explicado pela característica inerente desses solos de apresentar incremento do teor de argila com a profundidade.

O outro perfil com nítida limitação de aeração nas duas faixas de profundidade (0-30 cm e 0-70 cm) é o Gleissolo Háplico P21. Ele tem classificação coincidente com o Argissolo Vermelho-Amarelo P24, tanto padrão quanto de superfície. Entretanto, apesar do P21 ser menos argiloso que o P24, suas restrições físico-hídricas de aeração são ainda mais severas que o P24, tanto em termos de A quanto de VIB. Constata-se, por outro lado, que o Gleissolo P21 tem características e classificação físico-hídricas bastante diferenciadas do outro Gleissolo P6, que é um mesaerado-aquícludo, apesar de suas granulometrias serem similares (Tabela V.1). A menor capacidade de retenção hídrica do P6 talvez seja devida às modificações físico-estruturais provenientes do seu caráter solódico (Apêndice A), que não se manifesta no outro Gleissolo.

Outro exemplo de ordens físico-hídricas bastante diferenciadas acontecendo em solos de ordem pedológica idêntica ocorre entre os Argissolos P4 e P24 (na ordem anaerada-mesaquífera) e o Argissolo P32 (na ordem mesaerada-aquícluda).

A maioria dos solos da região são relativamente homogêneos, em termos físico-hídricos, ao longo do perfil, a menos da presença da camada R em duas classes de solos predominantes na bacia, os Cambissolos Háplicos lépticos e os Neossolos Litólicos, sendo assim bastante próxima a classificação padrão da classificação de superfície desses conjuntos de solos.

V.4 - Mapeamento Físico-Hídrico dos Solos da Bacia de Santa Maria e Cambiocó

Os valores de A, W e VIB apresentados na Tabela V.1 permitem a classificação físico-hídrica de todas as classes de solos identificadas no mapeamento pedológico da bacia, possibilitando o mapeamento físico-hídrico da área, tanto padrão quanto de superfície.

Deve-se dizer que o mapeamento físico-hídrico tem como base o mapeamento pedológico previamente realizado. No caso da bacia estudada, todas as unidades de mapeamento são compostas por associações de solos (item III.4)

Com base nos resultados da Tabela V.1 e considerando a metodologia de classificação físico-hídrica (Otoni Filho, 2003), com as expansões apresentadas no item IV.4 deste trabalho, procedeu-se à classificação físico-hídrica das classes de solos predominantes nas unidades de mapeamento pedológico da bacia estudada, nas profundidades padrão e de superfície, sendo esta definida na Tabela V.3. Essa classificação é que vai dar as cores e as notações dos polígonos que aparecem no mapa.

São indicados, entre parêntesis, na Tabela V.3 os perfis levantados que representam a classe predominante na associação de solos da unidade. Quando mais de um perfil representar a classe de solo (caso das classes predominantes em CXve2, CXve3 e PVAe), a classificação dessa classe se dará a partir das médias aritméticas dos valores respectivos de A, W e VIB tomados nesses perfis (indicados na Tabela V.1), conforme preconizado no item IV.4.3. Nesse caso, quando houver truncamento em pelo menos um dos perfis que representa a classe de solo, o truncamento mais raso é que vai definir a classe físico-hídrica. É o caso das unidades CXve2 e CXve3, onde os perfis representativos P5 e P22 são ambos truncados por rocha na classificação padrão. Nesse

exemplo, o truncamento mais raso ocorre a 50 cm de profundidade, como indicado na Tabela V.3.

As Figuras V.1 e V.2 apresentam, respectivamente, os mapas físico-hídricos das classificações padrão e de superfície para a bacia estudada, bem como a legenda e nomenclatura físico-hídricas das unidades de mapeamento. A classificação das classes não predominantes nas associações de solos (Apêndice G) permitiu as descrições contidas na legenda das Figuras V.1 e V.2. Tal classificação foi baseada nas mesmas regras utilizadas na classificação das classes predominantes.

Tabela V.3 – Classificação físico-hídrica dos solos predominantes nas unidades de mapeamento da bacia de Santa Maria e Cambiocó - classificação padrão (0-70 cm ou menos) e de superfície (0-30 cm ou menos)

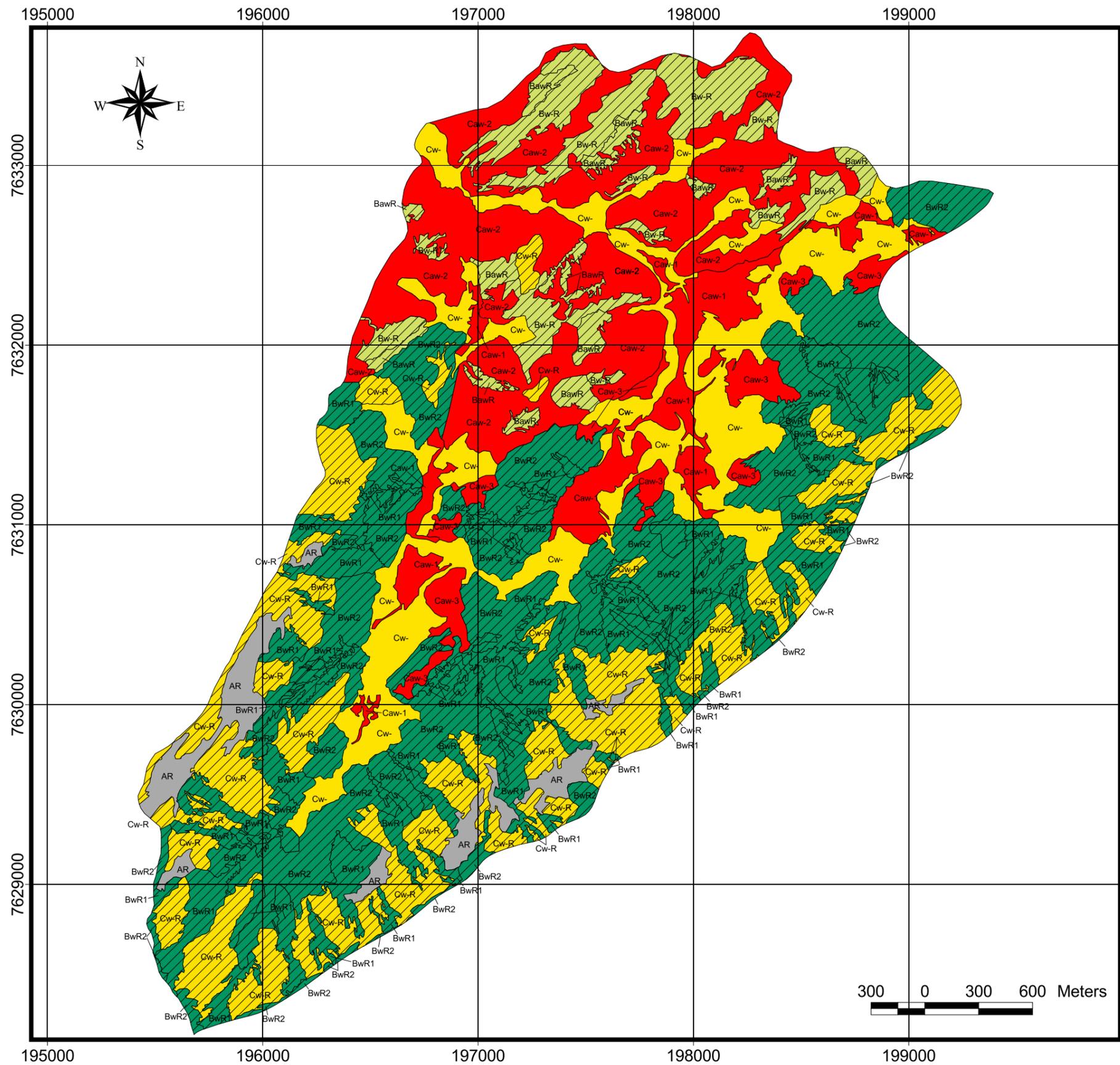
Unidade de mapeamento pedológico	Prof. (cm)	PT	CC	PMP	A	W	VIB (cm/h)	Classe de solo	Ordem de solo
		%							
CXbe1 (P22)*	0-60**	45,4	29,4	21,6	16	7,8	2,19	B _{aw} R	IVR
	0-30	46,9	28,2	18,9	18,7	9,3		B _{aw}	IV
CXbe2 (P5)	0-50***	46,9	20,5	11,3	26,4	9,2	1,89	B _w R	IVR
	0-30	47,7	21,9	10,9	25,8	11		B _w	IV
CXve1 (P34)	0-70	42,4	19,3	15,6	23,1	3,7	0,38	C _w	VI
	0-30	44,5	19,5	15	25	4,5		C _w	VI
CXve2 (P5, P22)	0-50***	46,1	24,9	16,4	21,2	8,5	2,04	B _w R	IIR
	0-30	47,3	25	14,9	22,3	10,1		B _w	II
CXve3 (P5, P22)	0-50***	46,1	24,9	16,4	21,2	8,5	2,04	B _w R	IIR
	0-30	47,3	25	14,9	22,3	10,1		B _w	II
PVAd (P4)	0-70	41,3	34,4	26,6	6,9	7,8	1,00	C _{aw}	VIII
	0-30	39,5	30	20,5	9,5	9,5		C _{aw}	VIII
PVAe (P24, P4)	0-70	42,4	34,5	27,2	7,9	7,3	1,1	C _{aw}	VIII
	0-30	40,7	29,6	20,4	11,1	9,2		B _{aw}	VIII
RLve (P20)	0-30****	46,9	23,2	18	23,7	5,2	1,18	C _w R	VIR
	0-30	46,9	23,2	18	23,7	5,2		C _w	VI
GXve (P21)	0-70	44,8	36,8	28,7	8	8,1	0,66	C _{aw}	VIII
	0-30	43,2	32,3	21,9	10,9	10,4		B _{aw}	VIII

* Entre parêntesis são indicados os perfis representativos da classe de solo predominante na unidade de mapeamento correspondente

** Transição para rocha a 60cm de profundidade

*** Transição para rocha a 50cm de profundidade

**** Rocha a 30cm de profundidade

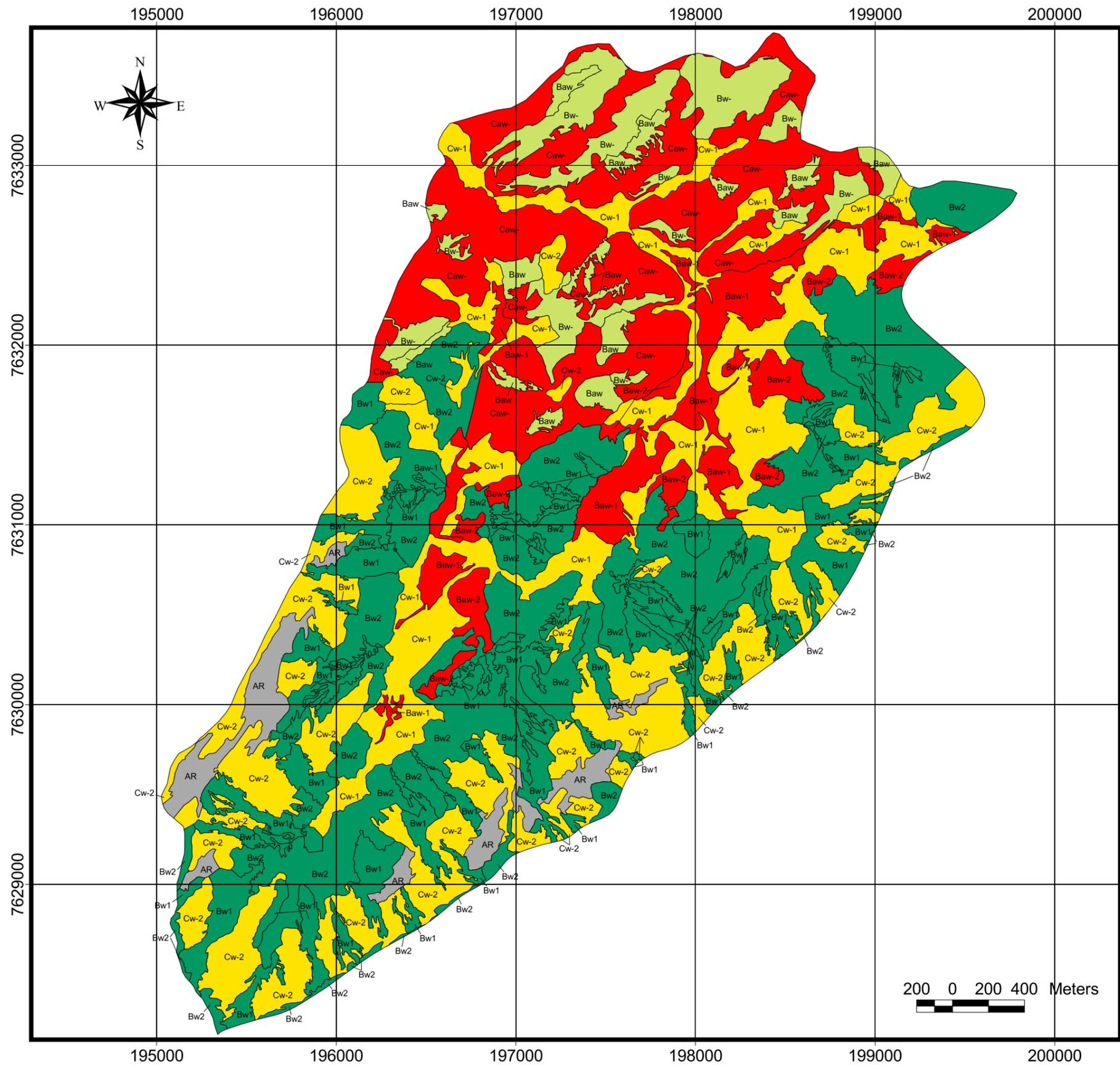


LEGENDA

- AR Afloramento de Rocha
- BwR1 Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO TRUNCADO POR ROCHA BwR moderado e mesaerado-aquícludo truncado por rocha Cw-R moderadamente lento, com inclusão de afloramento de rocha
- BwR2 Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO TRUNCADO POR ROCHA BwR moderado e anaerado-aquícludo Cwa- moderadamente lento, com inclusão de mesaerado-aquícludo Cw- moderadamente lento.
- Bw-R Associação de solo MESAERADO-MESAQUÍFERO TRUNCADO POR ROCHA Bw-R moderadamente lento e mesaerado-aquícludo truncado por rocha Cw-R moderadamente lento, com inclusão de afloramento de rocha
- BawR Associação de solo MESAERADO-MESAQUÍFERO TRUNCADO POR ROCHA BawR moderado e mesaerado-aquícludo truncado por rocha Cw-R moderadamente lento, com inclusão de afloramento de rocha.
- Cw- Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cw- lento e aerado-mesaquífero Bw moderadamente rápido, com inclusão de aerado-mesaquífero Bw moderadamente rápido.
- Cw-R Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO TRUNCADO POR ROCHA Cw-R moderadamente lento e aerado-mesaquífero truncado por rocha BwR moderado, com inclusão de afloramento de rocha.
- Caw-1 Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Caw- e mesaerado-aquícludo Cw-, todos moderadamente lentos.
- Caw-2 Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Caw- moderadamente lento e mesaerado-mesaquífero truncado por rocha BawR moderado, com inclusão de mesaerado-aquícludo Cw-moderadamente lento.
- Caw-3 Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Caw- moderadamente lento e aerado-mesaquífero truncado por rocha BwR moderado.

Unidade Pedológica	Ordem Físico-Hídrica	Classe Físico-Hídrica
CXve2	IIR	BwR1
CXve3	IIR	BwR2
CXbe2	IVR	Bw-R
CXbe1	IVR	BawR
CXve1	VI	Cw-
RLve	VIR	Cw-R
GXve	VIII	Caw-1
PVAd	VIII	Caw-2
PVAe	VIII	Caw-3

Figura V.1 - Mapa Físico-Hídrico Padrão da bacia de Santa Maria e Cambiocó - Município de São José de Ubá/RJ



- LEGENDA**
- AR Afloramento de Rocha
 - Bw1 Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado e mesaerado-aquícludo Cw-moderadamente lento, com inclusão de afloramento de rocha.
 - Bw2 Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado e anaerado-mesaquífero Baw-moderadamente lento, com inclusão de mesaerado-aquícludo Cw- moderadamente lento.
 - Bw- Associação de solo MESAERADO-MESAQUÍFERO Bw- e mesaerado-aquícludo Cw-ambos moderadamente lentos, com inclusão de afloramento de rocha.
 - Baw Associação de solo MESAERADO-MESAQUÍFERO Baw moderado e mesaerado-aquícludo Cw- moderadamente lento, com inclusão de afloramento de rocha.
 - Cw-1 Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cw- lento e aerado-mesaquífero Bw moderadamente rápido, com inclusão de aerado-mesaquífero Bw moderadamente rápido.
 - Cw-2 Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cw- moderadamente lento e aerado-mesaquífero Bw moderado, com inclusão de afloramento de rocha.
 - Baw-1 Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Baw- e mesaerado-aquícludo Cw-, todos moderadamente lentos.
 - Baw-2 Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Baw- moderadamente lento e aerado-mesaquífero Bw moderado.
 - Caw- Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Caw- moderadamente lento e mesaerado-mesaquífero Baw moderado, com inclusão de mesaerado-aquícludo Cw- moderadamente lento.

Unidade Pedológica	Ordem Físico-Hídrica	Classe Físico-Hídrica
CXve2	II	Bw1
CXve3	II	Bw2
CXbe2	IV	Bw-
CXbe1	IV	Baw
CXve1	VI	Cw-1
RLve	VI	Cw-2
GXve	VIII	Baw-1
PVAe	VIII	Baw-2
PVAd	VIII	Caw-

Figura V.2 - Mapa Físico-Hídrico de Superfície da bacia de Santa Maria e Cambiocó - Município de São José de Ubá/RJ

A análise das Tabelas V.1 e V.3 permite novamente concluir que não existe necessariamente uma correspondência direta entre as classificações pedológica e físico-hídrica. Por exemplo, a unidade de mapeamento GXve (na realidade, a sua classe de solo predominante, que é representada pelo Gleissolo P21) tem variáveis e classificação físico-hídricas quase idênticas ao PVAd e PV Ae, predominadas pelos Argissolos Vermelho-Amarelo representados pelos perfis P4 e P24. Tais terrenos têm um grau marcante de limitação físico-hídrica na aeração, pois são tomados, preferencialmente, por solos com baixa disponibilidade de ar (sempre abaixo de 10% no perfil de 70 cm) e baixa VIB (abaixo de 2,0 cm h⁻¹). Em períodos chuvosos longos, esses solos têm tendência de encharcar e de drenar muito lentamente, o que dificulta as trocas gasosas entre as rizosferas e a atmosfera, tendendo a provocar murchamentos vegetais e queda de produtividade agrícola. Essas três unidades localizam-se em áreas de baixadas (Gleissolo), ou de relevos ondulado e forte ondulado (Argissolo Vermelho-Amarelo). Possivelmente, constituem-se nos terrenos com as mais relevantes limitações físico-hídricas sob o ponto de vista agrícola, tendo em vista as dificuldades para incrementar sua capacidade de ar e condutividade hidráulica (VIB). Correspondem às regiões representadas nas Figuras V.1 e V.2 pela cor vermelha, de grande significância espacial na bacia (solos de ordem VIII no mapa).

Solos distintos, mas também semelhantes entre si em termos físico-hídricos, não se levando em conta a camada de rocha, são o Cambissolos Háplicos gleicos (CXve1) e os Neossolos Litólicos (RLve). Eles correspondem às unidades de cor amarela nas Figuras V.1 e V.2, indicando que sua principal limitação físico-hídrica é a baixa capacidade de água (solos aquícludos). Esses solos, nas profundidades padrão e de superfície, apresentam valores próximos entre suas respectivas disponibilidades de ar e de água, nas faixas classificadas como alta e baixa, respectivamente. Diferem, entretanto, no valor da VIB, já que o solo RLve apresenta-se aproximadamente 3 vezes mais permeável que o CXve1 (1,18 cm h⁻¹ contra 0,38 cm h⁻¹), e no posicionamento topográfico. Os Cambissolos Háplicos gleicos localizam-se prioritariamente em áreas de baixada com relevo plano e suave ondulado, enquanto que os Neossolos aparecem predominantemente no relevo montanhoso e forte ondulado. O caráter gleico do primeiro solo, assim como o seu posicionamento topográfico, são fatores que possivelmente lhe dão o comportamento de um terreno com classe de condutividade hidráulica lenta. A também baixa VIB do Neossolo é, possivelmente, devida ao substrato rochoso raso. Dessa forma, tanto o Cambissolo Háplico gleico como o

Neossolo Litólico apresentam alta limitação na sua capacidade de hidratação e média na de aeração (pois os A's são altos e as VIB's são baixas), o que impõe uma severa restrição ao manejo agrícola não irrigado durante os longos períodos de estiagem. Sob irrigação adequada, devem se constituir em terrenos com bom desempenho físico-hídrico, a menos da importante desvantagem da pequena profundidade dos Neossolos Litólicos.

Tanto os Gleissolos anaerado-mesaquíferos (Ordem VIII) quanto os Cambissolos Háplicos gleicos mesaerado-aquícludos (Ordem VI), devido as suas condições topográficas e de baixa condutividade hidráulica ($VIB < 0,66\text{cm/h}$), constituem-se, sob o ponto de vista físico-hídrico, em terrenos adequados ao cultivo de arroz inundado, que é uma prática agrícola tradicional na região em estudo.

Os solos de cor verde (clara e escura) nos mapas físico-hídricos representam as associações predominadas pelos Cambissolos Háplicos lépticos. As quatro unidades de mapeamento pedológico correspondentes (CXbe1, CXbe2, CXve2, CXve3) diferem entre si pela natureza das classes secundárias de solos ou por aspectos topográficos e geológicos (natureza do material de origem). Esses são os solos de maior extensão geográfica da bacia, tendo relevos forte ondulado e montanhoso. Dentre as 4 unidades acima, as duas primeiras são de menor extensão territorial (item III.4), estando mais ao norte da área (Figura V.1 e V.2).

A classificação físico-hídrica dos terrenos predominadas pelos Cambissolos Háplicos lépticos (CXbe2, CXve2, CXve3) e líticos (CXbe1) foi definida a partir das informações levantadas nos perfis P5 e/ou P22 (Tabela V.1). São materiais de alta a média disponibilidade de ar, de média hidratação e de média a baixa VIB, portanto, não apresentando globalmente severa restrição nas capacidades de aeração e água. Logo, segundo o sistema de classificação físico-hídrica, tais Cambissolos foram enquadrados nas ordens superiores II ou IIR (para CXve2 e CXve3), e IV ou IVR (para CXbe1 e CXbe2). Em outros termos, a mais significativa limitação físico-hídrica diz respeito ao seu caráter léptico (raso), além do inconveniente de ocuparem terrenos com topografia acidentada. No mapa de superfície (Figura IV.2), entretanto, não aparece qualquer classe truncada desses solos (não aparece hachuras), indicando que, sob um manejo adequado, levando em conta os inconvenientes do declive e da profundidade do perfil, tais Cambissolos podem se constituir, sob o ponto de vista físico-hídrico, em terrenos adequados à agricultura. Na área de estudo, vêm sendo muito utilizados na cultura do tomate.

Percebe-se, segundo a Tabela V.4, que, na bacia de Santa Maria e Cambiocó, predominam, em ordem decrescente de extensão, os solos de ordem IIR, VIII, VIR, VI e IVR (na classificação padrão), ou II, VI, VIII, IV (na classificação de superfície). As mais limitantes restrições físico-hídricas dizem respeito ao caráter anaerado dos solos de ordem VIII (Gleissolos e Argissolos) e ao caráter litólico dos solos de ordem VIR (Neossolos). Esses últimos, também com baixa disponibilidade hídrica e ocupando terrenos montanhosos, constituem-se em glebas de uso agrícola não-sustentável e de difícil revegetação. Tais solos com potencial mais limitado de uso agrícola (de ordem VIR e VIII) englobam 40% da bacia. Por outro lado, verifica-se, segundo a Tabela V.4, que uma grande extensão da bacia, de aproximadamente 36%, são ocupados por solos sem qualquer limitação físico-hídrica marcante quanto a sua capacidade de aeração e hidratação (Ordem II ou IIR). Entretanto, esses terrenos, que correspondem aos Cambissolos Háplicos lépticos, apresentam, como restrição ao desenvolvimento agrícola, em termos físico-estruturais, o seu caráter de pequena profundidade.

Tabela V.4 – Participação decrescente, por porcentagem de área total da bacia de Santa Maria e Cambiocó, da ocupação das ordens físico-hídricas nas classificações padrão e de superfície.

Ordem Físico-Hídrica Padrão	Porcentagem	Ordem Físico-Hídrica de Superfície	Porcentagem
IIR	35,91%	II	35,91%
VIII	23,11%	VI	30,02%
VIR	16,66%	VIII	23,11%
VI	13,36%	IV	7,99%
IVR	7,99%	AR	2,97%
AR*	2,97%	-	-

* Afloramento de rocha

A principal característica de heterogeneidade físico-hídrica vertical ao longo dos perfis de solos dessa bacia é a presença da camada R em unidades de mapeamento espacialmente significativas, predominadas pelo Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos lépticos e líticos, sendo assim bastante próximos, a não ser por esse fato, os mapeamentos das classificações padrão e de superfície. Chama-se a atenção para o fato de que as classes truncadas, ao pertencerem a ordens físico-hídricas diferenciadas das 9 ordens principais (não truncadas), tornam possível visualizar no mapa físico-hídrico a

geografia dos terrenos com solos rasos ou lençol freático elevado (acima da profundidade de 70cm), fato relevante no manejo das terras.

Os mapas físico-hídricos, assim como os pedológicos, devem vir acompanhados de relatórios técnicos descrevendo os testes de campo e os perfis representativos, bem como indicando os valores das variáveis físico-hídricas nas diversas profundidades e suas médias integradas nos perfis de 30 cm e 70 cm (ou até os truncamentos). Toda essa informação poderá se constituir em ferramenta relevante na modelagem hidrológica das bacias hidrográficas, no cálculo dos sistemas de engenharia de solo e água, como os projetos de irrigação ou de conservação de solo e água.

Cumprе ressaltar que, obviamente, quanto maior o número de perfis representativos e de repetições dos testes de campo, maior será a confiabilidade dos resultados da representação espacial das variáveis físico-hídricas.

V.5 - Determinação da Capacidade de Campo *in situ* a Partir dos Infiltrômetros de Duplo Anel

Visando definir as variáveis de laboratório que melhor se correlacionaram com a CCinf-3%, foi realizado um estudo de correlação apresentado na Tabela V.5.

Tabela V.5 – Coeficientes de correlação da capacidade de campo do infiltrômetro (subtraída de 3%) com outras variáveis pedológicas.

Correlações		N**	R
CC inf-3%	x teor de Argila	56	0,86008*
	teor de Areia		0,84621*
	PMP		0,78858*
	umidade à 0,033 Mpa		0,73546*
	Microporosidade		0,66362*
	teor de Silte		0,18124
	teor de Matéria Orgânica		0,07115

* Correlação é significativa no nível de 0,01 pelo teste de Pearson

** Número de pares correlacionados

Percebe-se que as melhores correlações, em ordem decrescente de qualidade, foram com: argila, areia, ponto de murcha permanente, umidade à 0,033MPa, microporosidade, silte e matéria orgânica.

A partir das variáveis de maior correlação com a CCinf-3% (as cinco primeiras da Tabela V.5) foram realizados alguns cenários de pedofunções lineares e bilienares de

CCinf-3%, conforme já mencionado no item IV.5. A equação cujos resultados revelaram o melhor desempenho, segundo critérios apresentados no item IV.5, quando comparados com os valores da capacidade de campo *in situ*, foi uma função simples linear do tipo $y=ax+b$, onde x corresponde a microporosidade.

A título de ilustrar o procedimento de ajustamento das funções de regressão lineares e bilineares que calcularam a CCinf-3%, são apresentadas, na Figura V.3, a performance da equação linear da CCinf-3% ajustada aos 56 dados da microporosidade (Equação A - Figuras V.3a,b) e da equação bilinear calibrada com os valores da microporosidade e do teor de argila (Equação B - Figura V.3c). A acurácia de tais equações como pedofunções de capacidade de campo *in situ* (no tabuleiro) foi testada a partir do uso de estatísticas (Tabela V.6) que compararam os 56 valores calculados pelas equações A e B com os correspondentes da CC observados no tabuleiro.

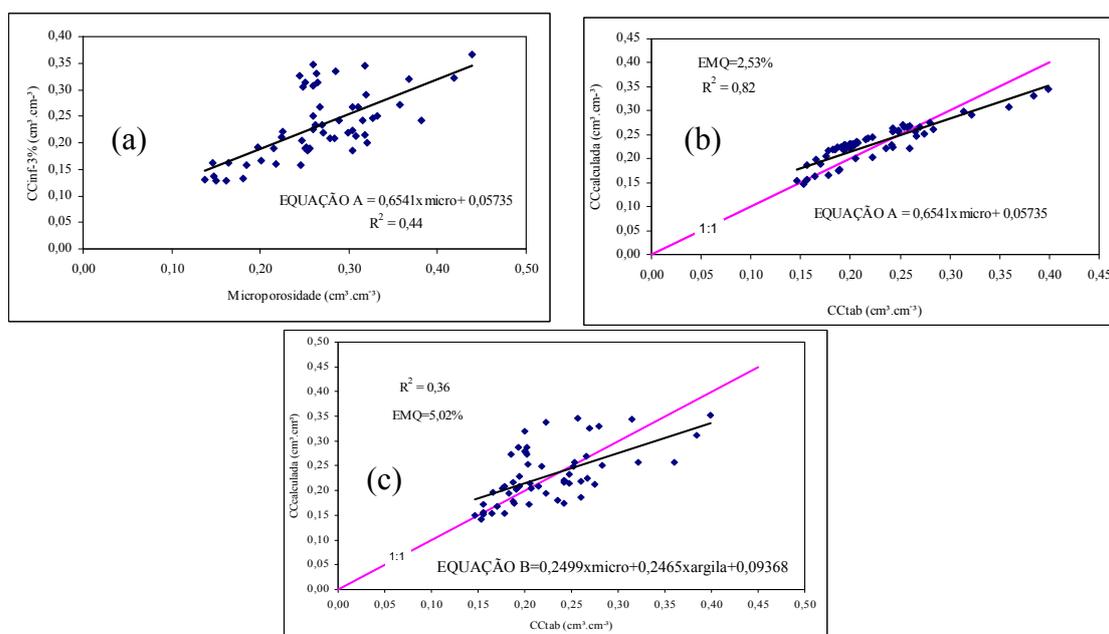


Figura V.3 – (a) Ajuste da equação linear que calcula a CCinf-3% (equação A) a partir dos dados da microporosidade; (b) Comparação entre os valores observados da CCtab e os calculados a partir da equação A; (c) Comparação entre os valores observados da CCtab e os calculados através da pedofunção bilinear (equação B), a partir dos dados da microporosidade e do teor de argila.

Tabela V.6 – Valores dos erros médios quadráticos, dos coeficientes de determinação e resultado do teste de Wilcoxon.

Equação	Pedofunção da CC	N	EMQ	R ²	Teste de Wilcoxon		
					t calculado	t crítico*	t crítico*
						(5%)	(1%)
A	CC=0,6541xmicro + 0,05735	56	2,53%	0,83	2,09	1,96	2,58
B	CC=0,2499xmicro+0,2465xargila+0,09368		5,02%	0,36	0,56		

* O valor de t crítico (1% e 5%) será sempre o mesmo para os casos cujo número de pares de correlação (N) for maior que 25, independente de N; nesse caso, se t calculado < t crítico, não há diferença significativa entre as variáveis comparadas.

A equação A foi aquela que melhor estimou a CC *in situ* dentre todas as equações lineares e bilineares para calcular a CCinf-3%. Ela foi a que possuiu menor erro médio quadrático, maior coeficiente de determinação, além de praticamente não apresentar tendência de subestimar ou superestimar os valores da capacidade de campo *in situ*, segundo o teste de Wilcoxon¹⁵.

A equação A foi aquela calibrada a partir dos 56 dados da microporosidade, ajustados aos dados de umidade do infiltrômetro (reduzidos de 3% de umidade), como indicado na Figura V.3a. Dessa forma, tal pedofunção depende tanto de dados de laboratório (microporosidade) como de dados *in situ* (capacidade de campo no infiltrômetro). A equação B, mostrada como exemplo, teve performance muito inferior à equação A (Figura V.3 e Tabela V.6), apesar de seu melhor desempenho quanto ao teste de Wilcoxon.

Oliveira (2005), a partir de mesma base de dados desta dissertação, mostrou também que uma equação linear da microporosidade¹⁶, mas calibrada a partir dos dados de CC do tabuleiro, foi o melhor método estimador da CC *in situ* dentre aqueles investigados no seu trabalho.¹⁷ Dessa forma, justifica-se o melhor resultado apresentado pela equação A, apesar da microporosidade não ser uma variável de boa

¹⁵ Percebe-se, segundo a Tabela V.5, que os 56 valores calculados da Equação A não se diferenciaram significativamente dos da CC *in situ*, no nível de confiança de 99%, o que não ocorreu para 95%. Entretanto, verifica-se que o t crítico de 5% é muito próximo do t calculado pela equação A, significando assim que essa equação foi aprovada pelo teste de Wilcoxon num nível de confiança muito próximo de 95%.

¹⁶ CCtab=0,7814xmicro (cm³cm⁻³) + 0,01767

¹⁷ Como outros métodos estimadores da CC *in situ*, Oliveira (2005) usou os valores de umidade às tensões de 0,033MPa e 0,006MPa, bem como a CC medida no infiltrômetro (Ccinf) e suas anamorfozes (Ccinf-1%, Ccinf-2%, Ccinf-3%, Ccinf-4% e Ccinf-5%).

correlação com a CCinf-3% (Figura V.3a). Essa mesma conclusão de Oliveira (2005), apontando para o bom potencial estimador da pedofunção de CC *in situ* a partir da microporosidade, confirma os trabalhos de Fabian e Ottoni Filho (2000), Thurler (2000) e Macedo *et al.* (2002). Vale mencionar que, nesta dissertação, além da equação linear, foram testados outros tipos de equações de ajuste da capacidade de campo com apenas uma variável (polinomial e potência). Entretanto, não apresentaram melhora significativa de desempenho em relação à equação linear.

Assim, sugere-se o uso da equação A como estimador global da CC *in situ* dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó.

Essa equação integra informações de uma grandeza estrutural do solo, determinada em laboratório (microporosidade), com uma grandeza determinada no campo (CC infiltrômetro), que, por sua vez, incorpora informações *in situ* do processo de drenagem interna do perfil. Além disso, apresenta a vantagem, em relação à equação de Oliveira (2005)¹⁶, de ser um avaliador da CC *in situ* independente de calibrações que utilizam os dados dos testes no tabuleiro, que são de execução operacional bem mais complexa que os testes de infiltração. Cumpre ressaltar que a metodologia de obtenção dessa pedofunção (Equação A) só se aplica quando houver um número razoável de dados (por exemplo, pelo menos 30 dados), devido ao fato dos dados de umidade no infiltrômetro (CCinf) terem muita variação, ou seja, serem muito dispersos (Figura V.3.a) quando relacionados com a microporosidade. Também, caso a Equação A fosse ajustada a partir dos dados da CCinf reduzidas de um valor diferente de 3%, os resultados de avaliação da CC *in situ* teriam sido piores, confirmando a análise de Oliveira (2005).

Finalmente, da comparação entre as Figura IV.5 (item IV.5) e V.3b, verifica-se que a última, em relação à primeira, apresentou uma redução na dispersão dos pontos em torno da reta 1:1, ou seja, houve uma diminuição substancial do EMQ que passou de 5,95% na Figura IV.5 para 2,53% de umidade na Figura V.3b. Adicionalmente, houve um aumento do R² que passou de 0,26 na Figura IV.5 para 0,82 na Figura V.3b. Esse resultado indica que a pedofunção linear de CCinf-3% (Equação A) é uma estimadora da Cctab potencialmente melhor que a própria CCinf-3% em si. De fato, a metodologia apresentada representa uma suavização dos erros de estimativa da CC no tabuleiro a partir da CC no infiltrômetro.

Em vista do que foi descrito nos dois parágrafos anteriores, propõe-se, então, que a forma de obtenção da equação A seja considerada como uma metodologia alternativa de determinação *in situ* da CC dos solos.

Conforme já mencionado, no trabalho de Oliveira (2005) foi ajustada uma pedofunção de C_{tab} (Equação C¹⁶) a partir dos mesmos 56 dados da microporosidade utilizados para calibração da equação A. Visando comparar os desempenhos de ambas as equações, ilustram-se as CC's estimadas por elas na Figura V.4 e calculam-se, na Tabela V.7, as estatísticas para comparar tais estimativas em relação à CC de referência (no tabuleiro). Esses cálculos foram para os 36¹⁸ dados de solos que não foram incluídos na calibração das Equações A e C.

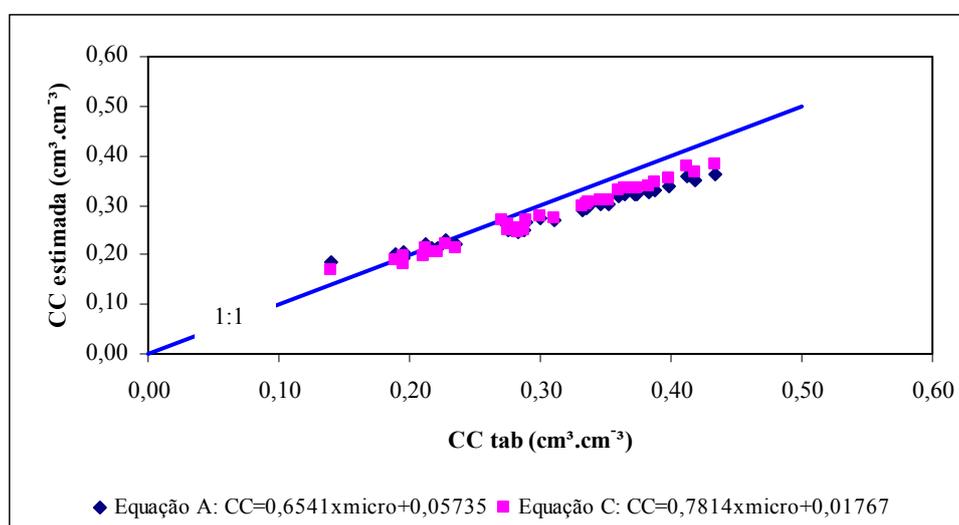


Figura V.4 – Comparação entre os valores calculados pelas Equações A e C, a partir de 36 dados da microporosidade, e os valores correspondentes observados da capacidade de campo *in situ* (C_{tab}).

Percebe-se uma equivalência nos desempenhos de ambas as equações. Analisando a Tabela V.7 e Figura V.4, nota-se que as duas tiveram o mesmo comportamento de subestimar os valores da capacidade de campo no tabuleiro, sendo o motivo pelo qual não passam no teste de Wilcoxon (Tabela V.7), apesar dos EMQ's não terem sido altos (abaixo de 4%). Entretanto, quando as duas equações se aplicam às 56

¹⁸ Esses 36 dados referem-se àquelas sub-áreas dos perfis estudados cujas lâminas infiltradas em ambos os infiltrômetros foram menores que 15cm. Esses 36 somados com outros 56 dados totalizam os 92 obtidos originalmente (item IV.5)

amostras utilizadas em sua calibração, os erros médios quadráticos são menores e também praticamente coincidentes (2,53% na Equação A e 2,32% na Equação C – Oliveira (2005)). Esse resultado reforça a tese de que uma pedofunção da CC *in situ* pode ser calibrada independentemente dos testes no tabuleiro, utilizando, alternativamente, os dados de CC no infiltrômetro.

Tabela V.7 – Valores dos erros médios quadráticos, dos coeficientes de determinação e das estatísticas do teste de Wilcoxon, correspondentes às validações realizadas para as pedofunções A e C.

Equação	Pedofunção da CC	N	EMQ	R ²	Teste de Wilcoxon		
					t calculado	t crítico* (5%)	t crítico* (1%)
A	CC=0,65415xMicro + 0,05735	36	3,77%	0,98	4,415	1,96	2,58
C	CC=0,7814xMicro + 0,01767		3,09%	0,98	4,870		

* O valor de tcrítico (1% e 5%) será sempre o mesmo para os casos cujo número de pares de correlação (N) for maior que 25, independente de N; nesse caso, se tcalculado < tcrítico, não há diferença significativa entre as variáveis comparadas.

Chama-se a atenção de que os dados de CC no tabuleiro e da microporosidade foram obtidas para uma mesma amostra de solo (no tabuleiro), diferentemente da amostra da CC no infiltrômetro, que foi coletada a cerca de 1,5 m de amostra da microporosidade. Devido à variabilidade espacial, esse fato deve introduzir algum erro na comparação entre a CC no tabuleiro e a CC calculada pela equação A, o que não acontece com a comparação correspondente da equação C (Tabela V.7)

Na tentativa de analisar o potencial da equação global A em estimar localmente a CC *in situ* nos solos da bacia (por perfil), aplicaram-se ambas as equações da Tabela V.7 aos valores da microporosidade de cada perfil, para, em seguida, se calcular os respectivos valores dos EMQ's a partir da comparação com os dados correspondentes da CC de referência (Tabela V.8). Esses perfis foram aqueles relativos aos 56 dados utilizados na calibração das pedofunções A e C.

Tabela V.8 – Valores dos erros médios quadráticos locais de estimativa da CC no tabuleiro, correspondentes às equações A e C aplicadas aos dados de microporosidade do perfil.

Perfil	Número de dados	EMQ (equação A)	EMQ (equação C)	Diferença entre os EMQ's
P4-sub-área2	4	4,23%	3,22%	1,06%
P34	6	3,37%	2,67%	0,70%
P32	8	1,90%	1,45%	0,45%
P20	6	2,07%	1,80%	0,27%
P6	8	2,96%	2,15%	0,80%
P15	8	1,02%	2,38%	1,36%
P36	8	2,87%	2,84%	0,03%
P27	4	1,73%	1,66%	0,07%
PE-sub-área1	4	1,38%	2,36%	0,97%

Da comparação entre os EMQ's de ambas as equações por perfil, percebe-se que, além de pequenos (a menos do P4-tab2), tais erros apresentaram valores próximos entre si, com diferença máxima de 1,36% de umidade. Os erros médios de estimativa foram máximos no P4, onde, entretanto, só foi possível fazer a comparação para um tabuleiro (4 dados). Nesse caso, o EMQ foi de 4,2% de umidade para a equação A e 3,2% para a Equação C. Assim, as equações A e C, estimam satisfatoriamente a CC *in situ* dos solos estudados, tanto a nível global (Tabela V.7) como local (Tabela V.8). Nas Figuras V.5, são apresentadas, para os 9 perfis listados na Tabela V.8, as performances locais das pedofunções A e C, comprovando também as suas similaridades. Na Figura V.5, é mostrada, também, a comparação entre a CC no infiltrômetro (subtraída de 3%) e a CC no tabuleiro. Nota-se claramente a suavização dos erros de estimativa quando se agrega, aos dados de CC no infiltrômetro, a metodologia de calibração da equação A.

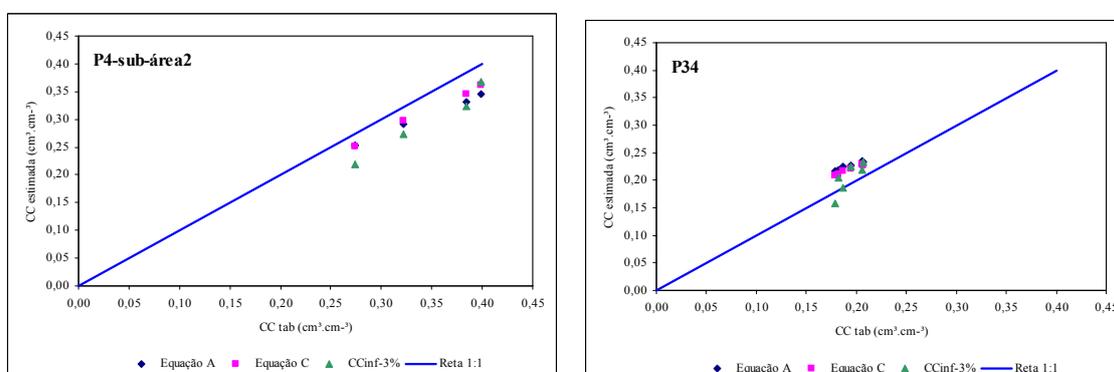


Figura V.5 – Comparação, por perfil de solo, da CC de referência com a CC estimada por 3 metodologias distintas (pedofunções A, C e CCinf-3%).

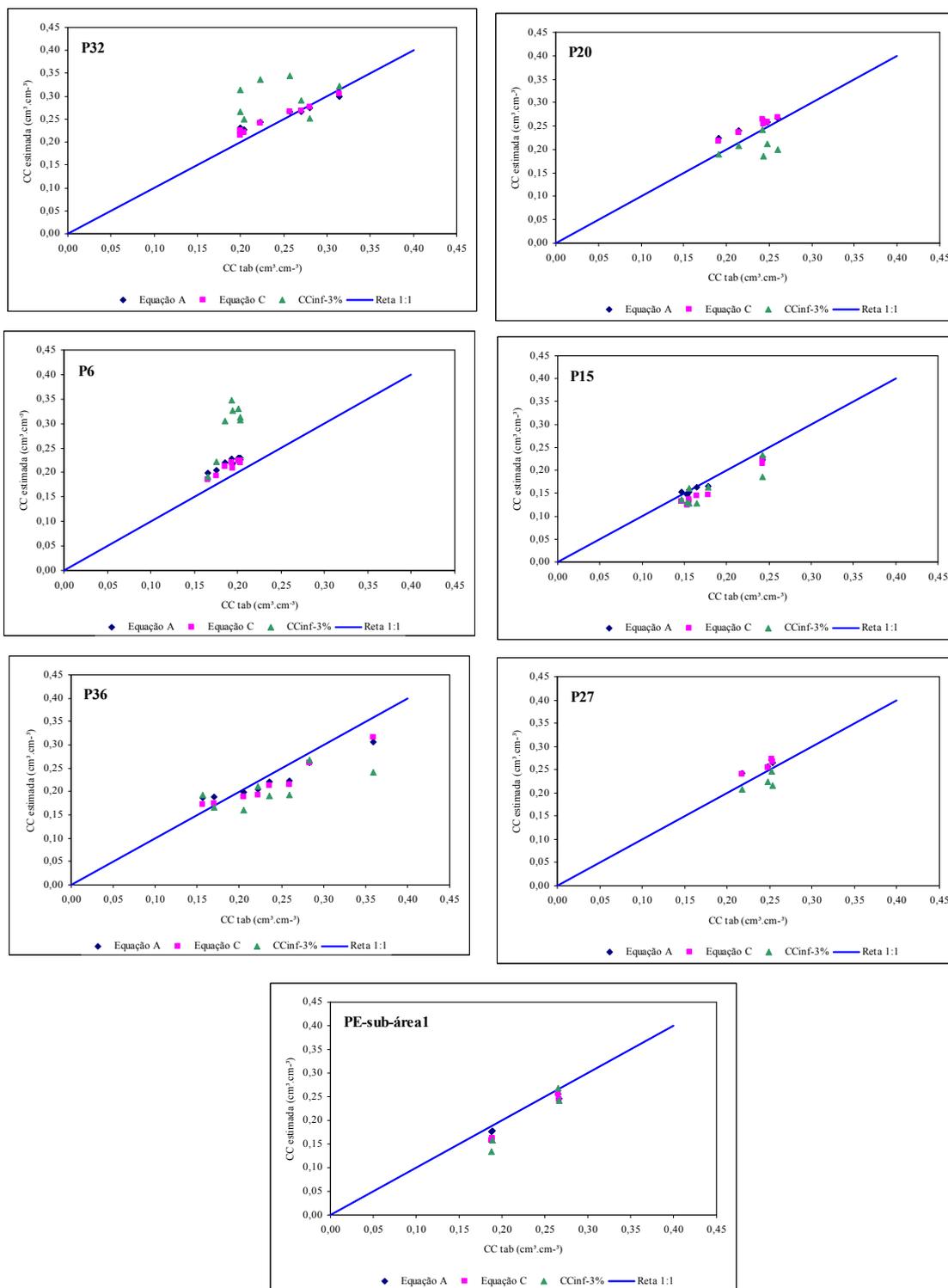


Figura V.5 – Comparação, por perfil de solo, da CC de referência com a CC estimada por 3 metodologias distintas (pedofunções A, C e CCinf-3%) (*continuação*)

A título de ilustração, faz-se abaixo uma análise da aplicação local da mesma metodologia de calibração da equação A aos perfis onde houve uma densidade razoável de dados para permitir a definição de uma pedofunção localmente calibrada. Verificou-

se que, entre os perfis da Tabela V.8, apenas os Planossolos Háplicos (P15 e P36), que são solos muito semelhantes (Apêndice A), conseguiram somar um número razoável de pares CCinf-3% versus microporosidade (16 pares de dados).

A partir dos 16 valores da CCinf-3% e da microporosidade daqueles Planossolos, ajustou-se uma nova equação estimadora da CC *in situ* segundo a mesma metodologia da equação A (Figura V.6a). O EMQ definido a partir da comparação dos valores calculados por essa nova equação (equação D) com os observados da CC *in situ* foi maior (3,72% - Figura V.6b) do que aquele quando foi utilizada localmente a equação A (2,15%) para esse mesmo conjunto de dados dos Planossolos. Observa-se, pela Figura V.6b, que a equação D também apresenta uma nítida tendência de subestimar os valores da capacidade de campo *in situ*, o que é comprovado pela aplicação do teste de Wilcoxon (Tabela V.9). Entretanto, a equação A não apresenta tendência de subestimar ou superestimar a CC de referência nesses solos (já que houve aprovação no teste de Wilcoxon nas probabilidades de 1% e 5%).

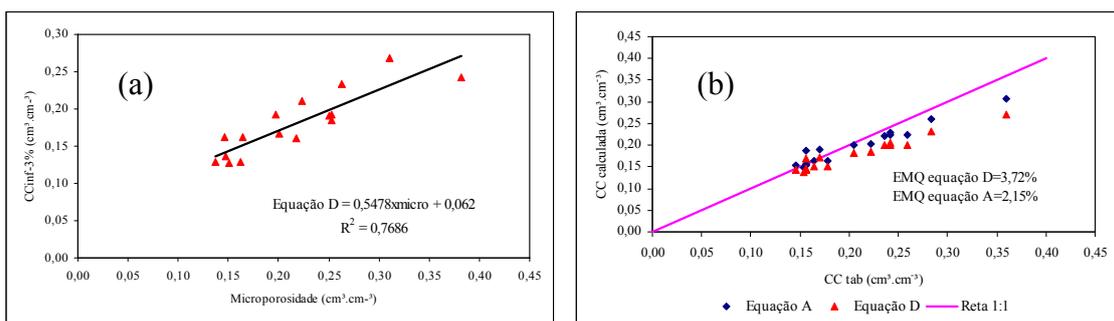


Figura V.6 – (a) Ajuste da equação que calcula a CCinf-3% local a partir dos 16 dados da microporosidade dos Planossolos Háplicos. (b) Comparação entre os valores observados da CC tab e os calculados através da pedofunção local (equação D) e da pedofunção global (equação A) de CC.

Tabela V.9 – Resultados estatísticos comparando os valores de CC calculados pela equação global A e equação local D com os valores de referência (CCtab). A comparação foi feita para os dados dos Planossolos Háplicos (P15 e P36)

Equação	Pedofunção da CC	N	EMQ	R ²	Teste de Wilcoxon		
					t calculado	t crítico* (5%)	t crítico* (1%)
A	$CC=0,65415x_{micro} + 0,05735$	16	2,15	0,94	30	29	19
D	$CC = 0,5478x_{micro} + 0,062$		3,72	0,94	6		

*Para N<25 o t crítico varia de acordo com o número de pares de correlação (N); nesse caso, se tcalculado>tcrítico, não há diferença significativa entre as variáveis comparadas.

Como houve piora de performance, em relação à equação global A, quando foi ajustada uma pedofunção local de capacidade de campo (equação D), espera-se que, para esses Planossolos, uma melhor estimativa da CC *in situ* possa ocorrer quando se reduz os valores da CCinf de uma constante diferente de 3% de umidade. Na verdade, nesses Planossolos, verifica-se que a melhor avaliação da CCTab a partir da comparação direta com os dados do infiltrômetro se deu com os dados brutos da CCinf, sem qualquer decréscimo de umidade (Figura V.7 e Tabela V.10) .

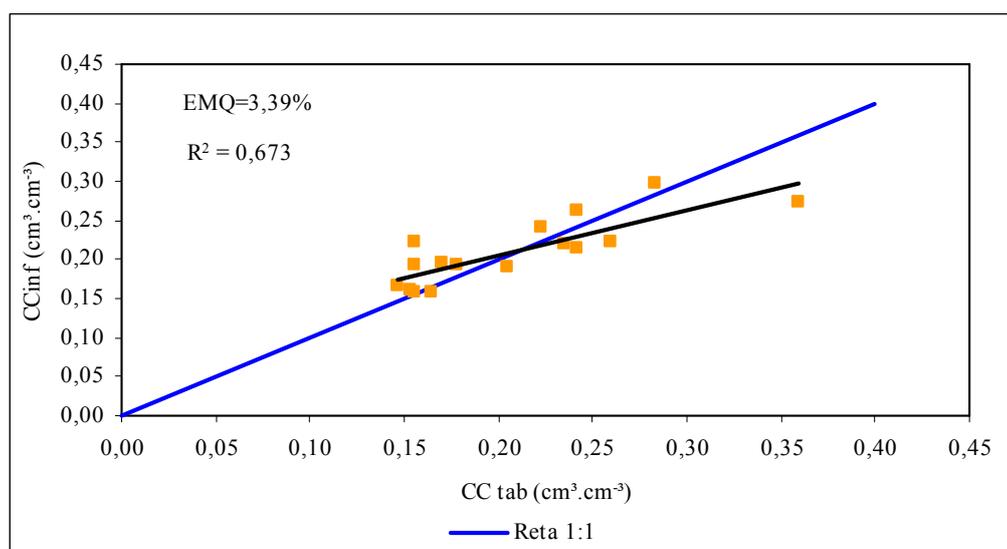


Figura V.7 – Comparação entre os 16 valores observados da CCTab e CCinf, correspondentes aos Planossolos Háplicos

Tabela V.10 – Resultados dos erros médios quadráticos, dos coeficientes de determinação, bem como da aplicação do teste de Wilconxon, visando a comparação entre os dados da CCTab e os valores da CCinf e CCinf-3% dos Planossolos Háplicos (P15 e P36).

Dados do infiltrômetro	N	EMQ (%)	R²	Teste de Wilconxon		
				t calculado	t crítico (5%)*	t crítico (1%)*
CCinf bruto	16	3,39	0,67	54	29	19
CCinf-3%		4,38	0,67	10		

*Para N<25 o t crítico varia de acordo com o número de pares de correlação (N); nesse caso, se tcalculado>tcrítico, não há diferença significativa entre as variáveis comparadas.

Com base nos resultados apresentados acima, fez-se um novo ajuste linear entre os 16 dados da CCinf (sem anamorfose) e da microporosidade desses Planossolos Háplicos (equação E). Os resultados dessa correlação encontram-se na Figura V.8 e Tabela V.11. Vale ressaltar que para esse novo ajuste foi aplicada a mesma metodologia da equação D, com a distinção de que agora não houve a redução dos 3% dos valores da CCinf.

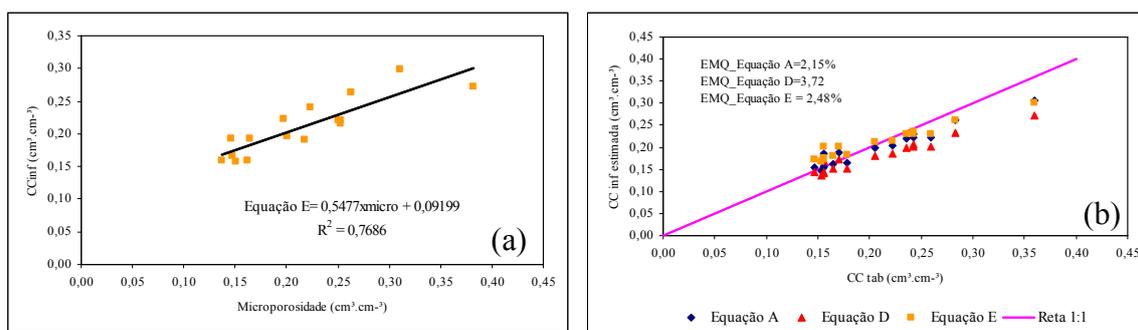


Figura V.8 – (a) Ajuste da equação E que calcula a CCinf local a partir dos 16 dados da microporosidade dos Planossolos Háplicos. (b) Comparação entre os valores observados da CCTab e os calculados pela pedofunções A, D e E.

Tabela V.11 – Resultados estatísticos comparando os valores da CC calculados pela pedofunção local E com os valores de referência (CCTab).

Equação	Pedofunção da CC	N	EMQ	R²	Teste de Wilcoxon		
					t calculado	t crítico* (5%)	t crítico* (1%)
E	$CC = 0,5477x_{micro} + 0,09199$	16	2,48	0,94	56	29	19

*Para $N < 25$ o t crítico varia de acordo com o número de pares de correlação (N); nesse caso, se $t_{calculado} > t_{crítico}$, não há diferença significativa entre as variáveis comparadas.

Percebe-se, segundo a Figura V.8 e Tabela V.11, que os resultados obtidos pelo uso da equação E foram melhores que os da equação D; tal fato ocorreu porque houve uma redução do EMQ (passou de 3,72% para 2,48%), além da equação E não apresentar tendência de subestimar ou superestimar os valores da CCTab (teste de Wilcoxon foi aprovado nos níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade), fato esse que não ocorreu na equação D. Entretanto, a performance da equação local E agora foi muito próxima do desempenho da equação global A.

Dessa forma, conclui-se que a metodologia global de calibração da equação A não deve ser estritamente aplicada a partir de calibrações locais, uma vez que assim

fazendo seus resultados foram piores (EMQ=3,72% - equação D) do que aqueles obtidos pela metodologia local da equação E (EMQ=2,48%), onde o que diferiu foi que não houve uma subtração de 3% dos dados da CCinf. Esse resultado sugere que, localmente, o valor da anamorfose dos dados da CCinf não é necessariamente igual entre solos, podendo ser diferente daquele obtido globalmente nos terrenos da bacia (-3%).

Cumprе ressaltar que, mesmo sendo global (calibrada para todos os solos onde houve dados), a equação A apresentou resultados satisfatórios quando aplicada localmente; nos Planossolos, seu EMQ foi ainda menor que o EMQ da equação E. Essa análise reforça a tese de que sua metodologia global, aplicando um único redutor constante e uma única equação para dados de perfis de uma região, possa ser utilizada com sucesso. Entretanto, em casos onde haja necessidade de estudos intensos num solo particular, é mais conveniente que se adote uma equação localmente calibrada, aplicando um redutor diferente do redutor global. Nesse caso, a desvantagem é que não se pode dispensar de alguns testes de capacidade de campo no tabuleiro, visando determinar o tamanho do redutor.

Através da análise contida nesse item, reforça-se a tese de que os testes de infiltração nos infiltrômetros de duplo anel podem ser utilizados, também, numa única operação hídrica, como testes para determinação de pedofunções globais (como a equação A) de cálculo de capacidade de campo *in situ* em uma dada região. Preferencialmente, tais pedofunções devem ser aplicadas nos mesmos solos onde foram realizados os testes de infiltração que permitiram sua calibração. Tal calibração não requer que se realizem testes nos tabuleiros de inundação. A hipótese supracitada teve aplicação bem sucedida na região da bacia hidrográfica em estudo. Não se sugere, entretanto, que a metodologia de calibração seja local, por perfil de solo (como a da equação D), a não ser que se calibre também localmente a unidade de anamorfose dos dados brutos de capacidade de campo no infiltrômetro, o que vai requerer a realização de alguns testes de inundação em tabuleiros.

A maior limitação aparente da nova metodologia alternativa de determinação de CC *in situ*, aqui proposta, é a necessidade de transformação dos dados brutos da capacidade de campo nos infiltrômetros, que, no caso estudado, foi de uma redução de 3% de umidade volumétrica. Há que se verificar, portanto, o grau de generalidade desse resultado, testando a metodologia para outros solos.

V.6 - Classificação Físico-Hídrica usando a Capacidade de Campo a partir dos Testes de Infiltração

Vislumbrando a possibilidade de eliminar os testes no tabuleiro da metodologia do sistema de classificação físico-hídrica, será feita na ilustração abaixo uma outra classificação para os solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, através do uso da metodologia alternativa preconizada no item anterior para a determinação da *CC in situ*, em que se prescinde dos resultados dos testes *in situ* nos tabuleiros.

De posse dos resultados físico-hídricos da Tabela V.1, a menos da *CC in situ*, aplicou-se a equação A (item V.5) aos valores médios da microporosidade nas profundidades de 30 cm e 70 cm (ou nas profundidades truncadas), em cada um dos 12 perfis representativos, para a determinação da *CC*, visando completar a classificação físico-hídrica desses perfis. Vale lembrar que alguns desses solos não foram utilizados como base de dados para calibração da Equação A, o que não é recomendável (item V.5). A capacidade de campo calculada dessa forma e aquela mensurada nos tabuleiros são indicadas na Tabela V.12.

Tabela V.12 – Comparação entre a capacidade de campo calculada pela equação A e aquela mensurada nos tabuleiros.

Perfil	Prof. (cm)	Caso1	Caso 2	Diferenças Absolutas
		CC <i>in situ</i> – Equação A	CC <i>in situ</i> –Embrapa (1979)	
		(%)		
Cambissolo Háptico léptico (P5)	0-50*	20,6	20,5	0,1
	0-30	20,9	21,9	1,0
Cambissolo Háptico léptico (P22)	0-60**	26,8	29,4	2,6
	0-30	25,6	28,2	2,6
Cambissolo Háptico gleico (P34)	0-70	22,2	19,3	2,9
	0-30	22,2	19,5	2,7
Argissolo Vermelho-Amarelo (P4)	0-70	30,2	34,4	4,2
	0-30	27,1	30,0	2,9
Argissolo Vermelho-Amarelo (P24)	0-70	30,1	34,5	4,4
	0-30	26,1	29,3	3,2

Tabela V.12 – Comparação entre a capacidade de campo calculada pela Equação A e aquela mensurada nos tabuleiros. (*continuação*)

Perfil	Prof. (cm)	Caso 1	Caso 2	Diferenças Absolutas
		CC <i>in situ</i> – Equação A	CC <i>in situ</i> – Embrapa (1979)	
		(%)		
Argissolo Vermelho- Amarelo (P32)	0-70	25,4	24,6	0,8
	0-30	23,1	21,1	2,0
Neossolo Litólico (P20)	0-30***	24,9	23,2	1,7
	0-30	24,9	23,2	1,7
Gleissolo Háplico (P6)	0-70	21,4	18,8	2,6
	0-30	20,2	17,7	2,5
Gleissolo Háplico (P21)	0-70	31,8	36,8	5,0
	0-30	28,2	32,3	4,1
Planossolo Háplico (P15)	0-70	16,2	17,3	1,1
	0-30	15,2	15,9	0,7
Planossolo Háplico (P36)	0-70	22,8	25,0	2,2
	0-30	19,9	20,9	1,0
Luvisso Háplico (P27)	0-70	26,2	24,8	1,4
	0-30	25,7	24,1	1,6

* Transição para rocha a 50 cm de profundidade

** Transição para rocha a 60 cm de profundidade

*** Rocha a 30 cm de profundidade

Examinando a Tabela V.12, não se observa, na maioria dos perfis, diferenças significativas entre os valores da capacidade de campo obtidos pelos dois métodos (Casos 1 e 2), a menos dos perfis P4, P21 e P24, cujas discrepâncias (última coluna da Tabela V.12) foram acima de 3% de umidade. Entretanto, cumpre ressaltar que quase todos os dados desses três perfis não foram utilizados para calibração da Equação A, o que pode justificar essa maior diferença de valores. Para os outros perfis, as diferenças absolutas entre os valores de CC foram sempre inferiores a 2,9% de umidade.

Visando comparar essa outra classificação físico-hídrica, definida a partir da CC calculada pela equação A, com a original, quando foram utilizadas as capacidades de campo determinadas no tabuleiro, é apresentada a Tabela V.13. Vale lembrar que os resultados físico-hídricos dependentes da equação A se diferenciam dos obtidos a partir do método tradicional de determinação da capacidade de campo *in situ* somente nos

valores de A e W do sistema de classificação físico-hídrica (A e W são calculados com base nos dados de CC), mantendo-se assim iguais as VIB's por perfil, nas duas classificações.

Tabela V.13 – Classificação físico-hídrica dos 12 perfis representativos de solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30cm), segundo duas metodologias diferentes de determinação da capacidade de campo *in situ*.

Perfil	Prof. (cm)	equação A		Capacidade de Campo <i>in situ</i> – método tradicional	
		Classe de solo	Ordem de solo	Classe de solo	Ordem de solo
Cambissolo Háptico léptico (P5)	0-50*	B _w ⁻ R	IVR	B _w ⁻ R	IVR
	0-30	B _w ⁻	IV	B _w ⁻	IV
Cambissolo Háptico léptico (P22)	0-60**	C _{wa} R	VIR	B _{aw} R	IVR
	0-30	B _w	II	B _{aw}	IV
Cambissolo Háptico gleico (P34)	0-70	B _w ⁻	IV	C _w ⁻	VI
	0-30	B _w ⁻	IV	C _w ⁻	VI
Argissolo Vermelho-Amarelo (P4)	0-70	C _{wa} ⁻	IX	C _{aw} ⁻	VIII
	0-30	B _{aw} ⁻	VIII	C _{aw} ⁻	VIII
Argissolo Vermelho-Amarelo (P24)	0-70	C _{wa} ⁻	IX	C _{aw} ⁻	VIII
	0-30	C _{wa} ⁻	IX	B _{aw} ⁻	VIII
Argissolo Vermelho-Amarelo (P32)	0-70	C _w ⁻	VI	C _w ⁻	VI
	0-30	C _w ⁻	VI	C _w ⁻	VI
Neossolo Litólico (P20)	0-30***	B _w ⁻ R	IVR	C _w ⁻ R	VIR
	0-30	B _w ⁻	IV	C _w ⁻	VI
Gleissolo Háptico (P6)	0-70	C _{wa} ⁻	IX	C _w ⁻	VI
	0-30	C _{wa} ⁻	IX	C _w ⁻	VI
Gleissolo Háptico (P21)	0-70	C _{wa} ⁻	IX	C _{aw} ⁻	VIII
	0-30	B _{aw} ⁻	VIII	B _{aw} ⁻	VIII

Tabela V.13 – Classificação físico-hídrica dos 12 perfis representativos de solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30cm), segundo duas metodologias diferentes de determinação da capacidade de campo *in situ*. (continuação)

Perfil	Prof. (cm)	equação A		Capacidade de Campo <i>in situ</i> – método tradicional	
		Classe de solo	Ordem de solo	Classe de solo	Ordem de solo
Planossolo Háptico (P15)	0-70	B _w	II	B _w	II
	0-30	B _w	II	B _w	II
Planossolo Háptico (P36)	0-70	B _{aw}	IV	B _{aw}	IV
	0-30	B _w	II	B _{aw}	IV
Luvissole Háptico (P27)	0-70	C _{wa} ⁻	IX	C _w ⁻	VI
	0-30	C _w ⁻	VI	C _w ⁻	VI

* Transição para rocha a 50cm de profundidade

** Transição para rocha a 60cm de profundidade

*** Rocha a 30cm de profundidade

Mesmo não sendo muito grandes as diferenças entre as capacidades de campo da Tabela V.12, elas introduziram muitas alterações na classificação físico-hídrica original. Isso se deve ao fato da CC modificar tanto o cálculo de A como de W. Segundo a Tabela V.13, percebe-se, entre os Caso 1 e 2, classificações físico-hídrica idênticas nas profundidades padrão e de superfície apenas para os perfis P5, P15 e P32.

Os únicos perfis que tiveram mudanças no nível de aeração na classificação padrão foram o Gleissolos P6 e o Luvissole P27, passando ambos da ordem VI (mesaerado-aquícludo) para IX (anaerado-aquícludo), devido aos aumentos da CC de 2,6% (no P6) e 1,4% (no P27). As demais alterações mais relevantes na classificação físico-hídrica se deveram apenas às variações de nível da capacidade de hidratação W, como abaixo relatado.

Com relação aos Cambissolos Hápticos lépticos (P5 e P22), a diferença mais importante se deu na classificação padrão do perfil P22, que passou da ordem IVR (mesaerado-mesaquífero truncado) para VIR (mesaerado-aquícludo truncado). Em outros termos, devido à diminuição da CC de 29,4% para 26,8% no perfil de 60 cm do P22 (Tabela V.12), o solo passou para o nível de baixa capacidade de água disponível (W). Nota-se que, nesse caso, o perfil P22 também não foi utilizado na calibração da equação A.

Quanto aos Argissolos Vermelho-Amarelo, as diferenças relevantes aconteceram nos perfis P4 e P24. Nesse caso, as discrepâncias entre as CC's calculadas pelos dois métodos foram das mais altas (entre 2,9% e 4,4%), como já mencionado, sempre no sentido da equação A subestimar a CC no tabuleiro. Essa diferença fez com que tais perfis passassem da ordem VIII (anaerado-mesaquífero) para IX (anaerado-aquícludo), ou seja, houve aqui também o rebaixamento do seu nível de hidratação, como no perfil P22.

O contrário ocorreu com o Neossolo Litólico (P20), que, devido ao pequeno incremento de 1,7% na sua capacidade de campo (23,2% para 24,9%), passou da ordem VIR (mesaerado-aquícludo truncado) para IVR (mesaerado-mesaquífero truncado). Mudança idêntica de classificação, ocorreu com o Cambissolo gleico (P34), que também passou da ordem VI para a IV, ou seja, mudança apenas na faixa de W, que passou de baixa para média.

O P21 (Gleissolos) foi o que teve a CC calculada com maior discrepância pela equação A. Esse foi também um perfil não utilizado na calibração dessa equação. Nesse caso, apenas sua classificação físico-hídrica de superfície foi modificada, da ordem VIII para a IX, ou seja, sendo rebaixado também apenas o seu nível de hidratação.

Os parágrafos acima evidenciam a inconveniência do fato da classificação físico-hídrica constituir-se num método discreto de classificação. Isso faz com que, algumas vezes, solos com resultados físico-hídricos muito semelhantes sejam classificados em ordens e classes diferentes. Dessa forma, é importante que o usuário não se restrinja somente na classificação em si, ou seja, em sua classe e ordem, mas que também analise a base de dados que gerou tal classificação.

CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho faz algumas extensões da metodologia do sistema de classificação físico-hídrica (Ottoni Filho, 2003), aplicando-a aos solos de uma bacia hidrográfica de 13 km². Adicionalmente, foi proposta e testada uma metodologia de determinação da capacidade de campo *in situ*, com uso dos anéis de infiltrômetros utilizados nos testes de infiltração, como um método alternativo à forma tradicional que se baseia nos testes de inundação em tabuleiros.

Assim, concluiu-se que a metodologia do sistema de classificação físico-hídrica (SCFH), com as extensões apresentadas neste trabalho, mostrou-se adequada e satisfatória quando aplicada aos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó. A partir desse referencial, foi possível classificar, com sucesso, os vários perfis de solos, além de mapear as complexas unidades pedológicas da região. O mapeamento físico-hídrico dos solos da bacia também permitiu a delimitação geográfica das terras com presença de substrato rochoso raso, ou com forte tendência de apresentar limitações quanto aos fluxos de ar e água na rizosfera.

Destaca-se que os mapas e o relatório físico-hídrico dos solos da bacia em questão podem se tornar uma ferramenta útil quanto ao entendimento dos processos pedogenéticos e à caracterização da aptidão agrícola daquelas terras, no que se refere à estrutura física dos perfis e as correspondentes capacidades de dispor ar e água às raízes vegetais. Lembre-se que, na medida que se indica, em uma determinada unidade geográfica, o potencial produtivo do solo quanto a sua capacidade de aeração e hidratação, permite-se uma melhor escolha dos terrenos próprios para o uso agrícola e não agrícola, deixando aqueles impróprios para outros fins. Esse procedimento garante maior sucesso quanto à sustentabilidade de uso dos recursos naturais de solo e água, minimizando, assim, o desgaste dessas matrizes porosas, os desperdícios hídricos e os eventos de estresse vegetal.

Além disso, através da aplicação do SCFH, são automaticamente gerados diversos resultados de utilidade para os campos da pedologia, hidrologia e engenharias de solo e água, incluindo a de irrigação. Destacam-se aí os dados da velocidade de

infiltração básica, capacidade de campo, ponto de murcha e das capacidades de ar e água do solo.

Pode-se também concluir, neste trabalho, que a classificação físico-hídrica dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó mostrou-se eficaz quando agregada à classificação pedológica (Embrapa, 1999), uma vez que ambas se apresentaram independentes e passíveis de se beneficiarem uma da outra.

Visando dar mais vigor ao SCFH, recomenda-se que sua metodologia seja aplicada a outros solos, em diversos pedoambientes. Nesse sentido, faz-se também necessário, baseado nesses novos testes de campo, que se aprofunde a validação da proposta alternativa de determinação da capacidade de campo *in situ*, a partir dos dados de umidade no solo sob os anéis de infiltração, considerando que tal proposta mostrou-se eficiente na estimativa da CC dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó. Entretanto, uma questão crítica dessa proposta é a redução de 3% de umidade volumétrica que se faz necessária nos dados de CC no infiltrômetro, conforme se verificou no presente estudo. É, então, fundamental que, nesses próximos ensaios de campo, se avalie, juntamente com toda a metodologia, essa questão da alteração dos valores observados da CC no infiltrômetro.

Nesse contexto, vislumbra-se que esta nova metodologia de determinação da capacidade de campo *in situ* possa ser adotada pelo SCFH, pois isto apresentaria a vantagem de se realizar apenas os testes de infiltração, abolindo-se os tabuleiros.

Tal metodologia alternativa de determinação da capacidade de campo *in situ* pode, obviamente, ser utilizada independentemente do SCFH. Sua utilização, como requer a realização dos testes de infiltração, apresenta como vantagem complementar a possibilidade de se levantar, a custos mínimos adicionais, as curvas de infiltração e a VIB dos solos. Deve-se frisar, também, que esta metodologia somente se aplica em regiões onde forem realizados diversos testes de infiltrações, em diferentes tipos de solos.

CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P.R. ; GOEPFERT, C. F. ; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F. e CASSOL, E. A., 1979, “Efeito de sistemas de preparo do solo sobre as características de um Latossolo Roxo distrófico”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.3, pp. 169-172.

AHUJA, D.R.; NANEY, J. W.; CREEN, R. E. e NIELSEN, D. R., 1984, “Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management”. *Soil Sci. Soc. Am. J*, Madison, v. 48, pp. 699-702.

AHUJA, L.R.; NAMEY, J.W.; WILLIAMS, R.D., 1985, “Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data”. *Soil Sci. Soc. Am. J*, Madison, v.49, pp.1100-1105.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. e FOTINELLI, F., 1995, “Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.19, pp.115-119.

ALVES, M.C., 1992, *Sistemas de rotação de culturas com plantio em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas*. Tese de D.Sc., ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B. e KRIEGER, M., 1994, “Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.18, pp.139 -145.

ARAÚJO FILHO, J.C. de e RIBEIRO, M. R., 1996, “Infiltração da água em Cambissolos do Baixio de Irecê (BA)”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.20, pp.363-370.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C. A. e SILVA, A. P., 2004, “Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.28, pp.337-345.

ARCHER, J.R. e SMITH, P.D., 1972, “The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils”. *J. Soil Sci.*, v.23, pp.475-480.

ARRUDA, F.B.; ZULLO JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, J.B., 1987, “Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.11, pp.11-15.

BALL, B.C.; O’SULLIVAN, M. F. e HUNTER, R., 1988, “Gas diffusion, fluid flow and derived pore continuity indices in relation to vehicle traffic and tillage”. *J. Soil Sci.*, v.39, pp.327-339.

BAYER, L.D.; GARDNER, W. H. e GARDNER, W. R., 1972, *Soil physics*. 4 ed., New York, John Wiley C. Sons.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L. A. P. e TAYLOR, J. S., 1981, “Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.5, pp.145-149.

BERNARDO, S., 1984, *Manual de irrigação*. 3 ed., Viçosa, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, caps. 1, 7, 8 e 9.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B. e JOLIVET, C., 1998, “Bulk densities of Brazilian Amazon soil related to other soil properties”. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.62, pp.743-749.

BHERING, S.B.; PEREIRO, N.R.; MACEDO, J.R.; CHAGAS, C.S.; SILVA, E.F.; PRADO, R.B.; NETO, N.C.S., 2005, “Caracterização edafoambiental das

sub-bacias de Cambiocó e Santa Maria no município de São José de Ubá, região noroeste do Estado do Rio de Janeiro para fins de planejamento conservacionistas”. In: *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência de Solos. Recife, Pernambuco.*

BOEDT, L. & VERHEYE, W., 1985, “Evaluation of profile available water capacity, 2., Application to irrigation on soils with different properties”. *Pedologie*, v. 35, pp. 67-89.

BORGES, E.A. e MEDINA, B.F., 1981, “Correlação entre a capacidade de campo in situ e em laboratório”. *Agropecuária Técnica*, v.2, nº 1, pp. 50-61.

BOUMA, J., 1989, “Using soil survey data for quantitative land evaluation”. *Adv. Soil Sci.*, v.9, pp.177-213.

BOUWER, H., 1978, *Groundwater hydrology*. McGraw-Hill, cap.8.

BRADLEY, J.V., 1968, *Distribution-Free Statistical Tests*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey, 388 p.

BRITO, F.S., 2004, *Classificação físico-hídrica dos solos da sub-bacia Córrego da Cachoeira no município de Paty do Alferes – RJ*. Dissertação de mestrado. UFRRJ, Seropédica.

BRITO, L.T.; LOUREIRO, B. T.; DENICULI, W.; RAMOS, M. M e SOARES, J. M., 1996, “Influência do método na determinação da velocidade de infiltração”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 20, n. 3, pp. 503-507.

BUSSCHER, W.J., 1990, “Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content”. *Transactions., ASAE*, v. 33, pp. 519-524.

CAMARGO, O.A. e ALLEONI, L.R.F., 1997, *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba, SNT, 132p.

CANALLI, L.B. e ROLOFF, G., 1997, “Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho – Escuro sob plantio direto”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 21, pp. 99-104.

CARLESSO, R., 1995, “Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas”. *Ci. Rural*, v. 25, pp.183-188.

CARTER, V.H., 1993, *Classificação de terras para irrigação*. Brasília, Secretaria de Irrigação, il. (Manual de Irrigação, v. 2).

CARVALHO, E.F. de e SILVA, R.F. da, 1999, *Como determinar o ponto de murcha permanente pelo método fisiológico*. Rio Branco, Universidade Federal do Acre-DCA-PET.23p.

CASSEL, D.K. e NIELSEN, D. R., 1986, “Field capacity and available water capacity”. In: KLUTTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1, Physical and mineralogical methods. 2^a. ed., Madison, American Society of Agronomy & Soil Science Society of Agronomy, pp. 901-926.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M. e BUZETTI, S., 1999, “Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, pp.997-1003.

CENTURION, J.F. e DEMATTÊ, J. L. I., 1985, “Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivo com soja”. *R. Bras. Ci. Solo*, v.9, pp. 263-266.

CEZAR, L.H.S., 2001, *A horticultura do tomate e a organização do território em São José de Ubá – Noroeste Fluminense*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

CIRINO, C.G. e GUERRA, H. O. C., 1994, “Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos”. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 29, n. 12, pp. 1973-1978.

CLEMMENS, A.J., 1983, “Infiltration equations for border irrigation models”. In: *National Conference on Advances in Infiltration*, 1983, Chicago, Proceedings, St. Joseph. American Society of Agricultural Engineers, p. 266-274 (ASAE Publication, 11-83. Advances in infiltration).

CORRÊA, J.C., 1985a, “Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do estado do Amazonas”. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 20, pp.1317-1322.

CORRÊA, J.C., 1985b, “Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (TYPIC ACRORTHOX) do estado do Amazonas, sob diferentes métodos de prepare”. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 20, pp. 1381-1387.

CRUCIANI, D.E., 1983, *A drenagem na agricultura*. São Paulo, Nobel, p.128-141.

CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M.R., 1976, *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona, Ediciones Omega S.A., caps. 19.1, 19.2 e 19.3.

DAKER, A., 1984, *Irrigação e Drenagem*. 6ª ed, Livraria Freitas Bastos S.A., cap. 2 e 3.

DAVIES, W.J. e ZANGH, J., 1991, “Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil”. *Ann. Rev. Plant Physiol, Plant Mol. Biol.*, v. 42, pp. 55-76.

DIKERSON, B.P., 1976, “Soil compactation after free-length skidding in northern Mississippi”. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 40, n. 6, pp. 965-966.

DRAPER, V.R. e SMITH, H., 1981, *Applied Regression Analysis*, John Wiley and Sons, 709pp.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGOPECUÁRIA – EMBRAPA, 1979, Centro Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, 235 pp.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGOPECUÁRIA – EMBRAPA, 1997, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro, 212 pp.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGOPECUÁRIA – EMBRAPA, 1999, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 6ª ed. Rio de Janeiro, 412 p.

ERICKSON, A.E., 1982, “Tillage effects on soil aeration”. In: *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes*, Madison, Proceedings, American Society of Agronomy, p. 91-104.

FABIAN, A.J. e OTTONI FILHO, T. B., 1997, “Determinação de curvas de infiltração usando uma câmara de fluxo”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 21, pp. 325-333.

FABIAN, A J. e OTTONI FILHO, T.B., 2000, “Determinação de capacidade de campo “in situ” ou através de equações de regressão”. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 35, pp.1029-1036.

FENG, Q.; ZHANG, Y.; HAO, P.; WANG, S., FU, G.; HUANG, Y.; LI, Y.; ZHU, J.; LIU, Y.; HU, X., 2002, “Sequence and analysis of rice chromosome 4”. *Nature*, 420:316–320.

FERNANDES, M.R., 1982, *Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FERNANDES, B. e SYKES, D. J., 1968, “Capacidade de campo e retenção de águas em três solos de Minas Gerais”. *R. Ceres*, v. 15, pp. 1-39.

FERREIRA, M.M., 1988, *Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros*. Viçosa, UFV, 79p., Tese de Doutorado.

FIDALGO, E.C.C. e ABREU, M.B. de, 2005, “Uso de imagens ASTER para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ”. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3747-3753.

GARDNER, W.R., 1960, “Dynamic aspects of water availability to plants”. *Soil Sci.*, v. 89, pp. 63-73.

GEPARMBH, 2003, *Relatório 1 do Projeto Gestão Participativa da Bacia do Rio São Domingos*. In: Edital CT-HIDRO/FINEP-MCT 02/2002.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A. P. e IMHOFF, S., 2002, “Relações entre propriedades físicas e características de solo da região sul do Brasil”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, pp. 885-893.

GISH, T.J. e STARR, J. L., 1983, “Temporal variability of infiltration under field conditions”. In: *National Conference on Advances in Infiltration*, Chicago, Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 122-131, (ASAE Publication, 11-83. Advances in infiltration).

GUPTA, S.C.; LARSON, W.E., 1979, “Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density”. *Water Resources Research*, v.20, pp.1633-1635.

HAMBLIN, A. P., 1985, “The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake”. *Adv.Agron.*, v.38, pp. 95-158.

HANSEN, V.E.; ISRAELSEN, O.W. STRINGHAN, G.E., 1979, *Irrigation principles and practices*. 4^a ed., New York, John Wiley and Sons.

HILLEL, D., 1980a, *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, caps. 2 e 6.

HILLEL, D., 1980b, *Fundamentals of soil physics*. New York, Academic Press, cap. 11.

HILLEL, D., 1980c, *Introduction to soil physics*. New York, Academic Press, caps. 2, 4, 8, 12 e 13.

JABRO, J.D., 1996, “Variability of field – saturated hydraulic conductivity in hagerstown soil as affected by initial water content”. *Soil Sci.*, v. 161, n. 11, pp. 735-739.

JENNY, H., 1941, *Factors of soil fomatation*. Mc. Graw-Hill, New York. USA. 281p.

JENSEN, M.E. (ed.), 1980, *Design and Operation of Farm Irrigation Systems.*, American Society of Agricultural Engineers, caps. 13, 14 e 15.

JONG van LIER, Q., 2000, “Índices da disponibilidade de águas para as plantas”. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. E SCHAEFER, C. E. G. R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 95-106.

JONG van LIER, Q., 2001, “Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 25, pp. 233-238.

KIEHL, E.J., 1979, *Manual de edafologia. Relações solo – planta*. São Paulo, Ed. Agrômica Ceres, caps. 6 e 13.

KLAR, A.E., 1984. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo, Nobel.

KLEIN, V.A. e LIBARDI, P. L., 2002. “Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, pp. 857-867.

KLINGBIEL, A.A. e MONTGOMERY, P. H., 1961, *Land – capability classification*. Washington, Soil Con. Service, U.S. Govvt. Print Office, (Handbook, 210).

KLUTE, A., 1965, “Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil”. In: BLACK, C.A., *ed. Methods of soil analysis*. Part 1, Madison, American Society of Agronomy, p.210-221.

KLUTE, A., 1982, “Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review”. In: VAN DOREN, D.M.; ALLMARAS, R.R.; LINDEN, D.R.; WHISLER, F.D. (*Ed.*) *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes*, Madison, ASA, cap.3, p.29-43.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G. e KIRKSEN, C., 1983, *Elements of soil physics*. Amsterdam, Elsevier, (Developments in Soil Science, 13).

LEÃO, T.P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S. e EUCLIDES, V. P. B., 2004, “Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 28, pp. 415-423.

LEITE, J.A. e MEDINA, B. F., 1984, “Efeito de sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo do Amazona”. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 19, pp. 1417-1422.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D. e ESPÍNDOLA, C. R., 1983, *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade uso*. 4ª aproximação. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

LETEY, J., 1985, “Relationship between soil physical properties and crop production”. *Adv. Soil Sci.*, v. 1, pp. 277-294.

LIBARDI, P.L., 1995, *Dinâmica da água no solo*. 1ª ed., Piracicaba, ESALQ/USP.

LUXMOORE, R.J., 1981, "Micro-, meso-, and macroporosity of soil". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 45, pp. 671-672.

MACEDO, J.R.; MENEGUELLI, N. A., OTTONI FILHO, T.B.; *et al.*, 2002, "Estimation of Field Capacity and Moisture Retention Based on Regression Analysis Involving Chemical and Physical Properties in Alfisols and Utilisols of the State of Rio de Janeiro". *Soil Sci. Plant Anal.*, v. 33 (13 and 14), pp. 2037-2055.

MACHADO, J.A. e BRUM, A. C. R., 1978, "Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 2, pp. 81-84.

MACHADO, J.A., 1976, *Efeito do sistema convencional de cultivo na capacidade de infiltração da água no solo. Santa Maria, RS. Tese de Mestrado, CCR, UFSM, RS.*

MACHADO, J.A.; PAULA SOUZA, D. M. e BRUM, A. C. R., 1981, "Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 5, pp. 187-189.

MACLEAN, A.H e YAGER, T.U., 1970, "Available water capacities of zambian soil in relation to pressure plate measurements and particle size analysis". *Soil Science*, v. 113, nº 1.

MASLE, A. e PASSIOURA, J. B., 1987, "Effect of soil strength on the growth of young wheat plants". *Aust. J. Plant. Physiol.*, v. 14, pp. 634-656.

MATZENAUER, R. e SUTILI, R., 1983, "A água na cultura do milho". *IPAGRO Informa*, v. 26, pp. 17-32.

MC INTYRE D.S., 1970, "The platinum microelectrode method for soil aeration measurement". *Advances in Agronomy*, v. 22, pp. 235-283.

MEDINA, B.F. e OLIVEIRA JR., R.C., 1987, "Relações entre capacidade de campo determinada in situ e em laboratório em Latossolo Amarelo muito argiloso". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 11, pp. 91-95.

MELLO, C.R. de; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, D. F. e LIMA, J. M. de, 2002, “Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da microrregião Campos das Vertentes, MG”. *Pesq. Agropeq. Bras.*, v. 37, n. 9, pp. 1319-1324.

MIRANDA, J., 1993, *Caracterização da solução sob solo e das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MIYAZAKI, T., 1996, “Bulk density dependence of air entry suctions and saturated hydraulic conductivities of soils”. *Soil Sci.*, v. 161, n. 8, pp. 484-490.

MOORE, H.M. e ATTENBOROUGH, K., 1992, “Acoustic determination of air-filled porosity and relative air permeability of soils”. *J. Soil Sci.*, v. 43, pp. 211-228.

MOURA, E.G.; VIEIRA, S. R. e CARVALHO, A. M., 1992, “Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transeções na Baixada Ocidental Maranhense”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 16, pp. 7-18.

OLIVEIRA SALES, L.E. de; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S. de e CURI, N., 1999, “Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo”. *Pesq. Agropeq. Bras.*, v. 34, n.11, pp. 2091-2095.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S. e CURI, N., 2004, “Caracterização química e físico – hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 28, pp. 327-336.

OLIVEIRA, L.B. de e MARTINS, A.M. C.M., 1966, “Considerações sobre a umidade de 15 atmosferas e a umidade de murcha (método fisiológico), em solos do Nordeste”. *Pesq. Agropeq. Bras.*, v.1, pp.91-95.

OLIVEIRA, L.B. ; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES, J. J. V. e MARQUES, F. A., 2002, “Funções de pedotransferência para predição da umidade

retida a potencias específicos em solos do estado de Pernambuco”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, pp. 315-323.

OLIVEIRA, L.B. e MELO, V., 1971, “Estudo da disponibilidade de água em um solo da Estação Experimental de Itapirema, Pernambuco”. *Pesq. Agropec. Bras.*, Sér. Agron., v. 6, pp. 31-37.

OLIVEIRA, M.B de, 2005. *Análise do desempenho de equações de infiltração e de Métodos de determinação da capacidade de campo dos solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

ORELLANA, J.A.; PILATTI, M. A. e GRENÓN, D. A., 1997, “Soil quality: an approach to physical state assessment”. *J. Sustain. Agric.*, v. 9, pp. 91-108.

OTTONI FILHO, T.B., 2003, “Uma classificação físico-hídrica dos solos”. *R. Bras.Ci. Solo*, v.27, pp. 211-222.

OTTONI, M.V., OLIVEIRA, M.B., MARINHO, A.G., OTTONI FILHO, T.B., MACEDO, J.R. de, 2004, “Influência da aplicação de diferentes lâminas d’água na determinação da capacidade de campo *in situ*”. In: *Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, São Luís, Maranhão, Brasil.

PASSIOURA, J.B. e GARDNER, P. A., 1990, “Control of leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil”. *Aust. J. Plant Physiol.*, v. 17, pp. 149-157.

PEARSON, E.S. e HARTLEY, H.O., 1958, *Biometrike tables for statisticians*. Cambridge University Press, v.I, pp. 28-32.

PERROUX, K.M.; WHITE, I., 1988, “Designs for disc permeameters”. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.52, pp.1205-1215.

PETER, D.B., 1965, “Water availability”. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, Part 1, p.279-280, (Agronomy, 9).

POTT, C.A. e DE MARIA, I. C., 2003, “Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, pp. 19-27.

RADEMA, 1999, *Sistemas pastoris sustentáveis utilizando práticas de plantio direto para recuperação de áreas degradadas em relevo movimentado do bioma Mata Atlântica na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro*. In: Edital PRODETAB 106-02/1999.

RAMALHO FILHO, A. e BEEK, K. J., 1995, *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3ª ed., Rio de Janeiro. EMBRAPA – CNPS, viii, 65 p.

RAWLS, W.J.; BRAKENSIEK, D.L.; SAXTON, K.E., 1982, “Estimation of soil water properties”. In: *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v.25, p.1316-1320.

REICHARDT, K. e TIMM, L. C., 2004, *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri, SP, Manole, cap. 3, 6, 7, 9, 11, 12, 16.

REICHARDT, K., 1988, “Capacidade de Campo”. *R. Bras. de Ci. Solo*, v. 12, n. 13, pp. 211-216.

REICHARDT, K., 1990, *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo, Manole, caps 3,5.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. e CORRÊA, C. R., 1997, *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 2ª. ed, Viçosa, NEPUTI.

RIBON, A.A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C. e CARVALHO FILHO, A., 2002, “Propriedades físicas de Latossolo e Argissolo em função de práticas de manejo aplicadas na entrelinha da cultura da seringueira, (*Hevea brasiliensis*)”. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, pp. 781-787.

RICHARDS, L.A. e WEAVER, L. R., 1944, “Fifteen– atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage”. *Soil Sci.*, v. 56, pp. 331-340.

RICHARDS, L.A., 1960, "Advances in soil physics". In: 7th *International Congress of Soil Science*, v. 1, Madison, International Society of Soil Science, p. 67-69

RICHARDS, L.A., 1965. "Physical conditions of water in soil". In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*, Part 1, Madison, American Society for Testing and Materials, 770p., (Agronomy, 9).

RIVERS, E.D. e SHIPP, R.F., 1971, "Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils". *Soil Sci.*, v. 113, n. 2.

RIVERS, E.D.; SHIPP, R.F., 1978, "Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands". *Soil Science*, v.126, pp.94-100.

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J. e BRISTOW, K. L., 1991, "Equations for extending water-retention curves to dryness". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 55, pp. 923-927.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G. B. e PEREIRA, J. B. M. 2003, "Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, pp. 389-393.

SALTER, P.J.; WILLIAMS, J.B., 1965, "The influence of texture on the moisture characteristics of soils. I. A critical comparison of techniques for determining the available water capacity and moisture characteristic curve of a soil". *J. Soil Sci.*, v.16, pp.1-15.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PADENDICK, R.I., 1986, "Estimating generalized soil-water characteristics from texture". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.50, pp.1031-1036.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P. L. e CAMARGO, D. A., 1986, "Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 10, pp. 91-95.

SILVA, A.P. da; KAY, B. D. e PERFECT, E., 1994, "Characterization of the least limiting water range of soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 58, pp. 1775-1781.

SIMONSON, R. W., 1967, "Outline of a generalized theory of soil. In: Selected papers in soil formation and classification". J.V. DREW (Ed.) SSSA Special Publication Series N.1. *Soil Sci. Soc. Am.*, Inc. Publisher. Madison. Wisconsin.USA. p. 301-310.

SKAGGS, R. W.; HARDJOAMIDJOJO, S.; WISER, E. H. e HILER, E. A., 1982, "Simulation of crop response to surface and subsurface drainage systems". In.: Trans. of the ASAE, v. 25(6):1673-1678.

SOUZA, C.C. de; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, I. de F. da e AMORIM NETO, M. da S., 2002, "Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão". *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 37, n. 3, pp. 337-341.

SOUZA, L.D. e REICHARDT, K., 1996, "Estimativas de capacidade de campo". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 20, pp. 183-189.

THOMASSON, A.J., 1978, "Towards an objective classification of soil structure". *J. Soil Sci.*, v. 29, pp. 38-46.

THURLER, A.M., 2000. *Determinação de capacidade de campo e retenção de umidade em solos do terciário da formação de barreiras, em função de suas características granulométricas e fatores estruturais*. Tese de Doutorado, UFRRJ, Seropédica, RJ.

TOPP, G.C.; GALGANOV, Y. T.; WIRES, K. C. e CULLEY, J. L. B., 1994, *Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure - Soil Quality Evaluation Program*. Ottawa, Agriculture and Agri-Food Canada, 36p., (Technical report, 2).

TORMENA, C.A.; SILVA, A. P. e LIBARDI, P. L., 1998, "Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto". *R. Bras. Ci. Solo*, v. 22, pp. 573-581.

TUCCI, C.M.E e GENG, F., 1995, “Controle do Impacto da urbanização”. In: TUCCI, C.M.E.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T., eds, *Drenagem Urbana*, Editora Universidade da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (item 7.4.1).

USDA, 1972, Department of Agriculture, Soil Conservation service, Soil Survey Laboratory Methods and procedures for collecting soil samples: soil survey investigations, Washington, (Report 1).

VEIGA, M.; BASSIL, L. e ROSSO, A., 1994, *Degradação do solo e da água: manual de uso, manejo e conservação do solo e da água*. 2ª.ed., Florianópolis, Secretaria da Agricultura e Abastecimento.

VEIHMEYER, F.J. e HENDRICKSON, A. J., 1927, “Soil moisture conditions in relation to plant growth”. *Plant Physiol*, v. 2, pp. 71-78.

VEIHMEYER, F.J. e HENDRICKSON, A. H., 1931, “The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils”. *Soil Sci.*, v. 32, pp. 181-193.

VEIHMEYER, F.J. e HENDRICKSON, A. H., 1949. *Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils*. *Soil Sci*, 68:75-95.

VEIHMEYER, F.J. e HENDRICKSON, A. H., 1950, “Soil moisture in relation to plant growth”. *Ann. Rev. Plant Physiol*, v. 1, pp. 285-304.

VEIHMEYER, F.J. e HENDRICKSON, A. H., 1955, “Does transpiration decrease as the soil moisture decreases?”. *Trans. Am. Geophys. Um.* v. 36, pp. 425-448.

VIEIRA, M.J. e MUZILLI, O., 1984, “Características físicas de Latossolo Vermelho Escuro sob diferentes sistemas de manejo”. *Pesq. Agropeq. Bras.*, v. 19, pp. 873-882.

VIEIRA, S.R., 1995-1998, “Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo”. *O Agrônomo*, pp. 47-50:32-33.

WAGENET, R.J.; BOUMA, J. e GROSSMAN, R. B., 1991, “Minimum data sets for use of soil survey information in soil interpretive models”. In: MAUSBACK, M. J. e WILDING, L.P., eds. *Spatial variabilities of soils and landforms*, Madison, Soil Science Society of America, (Special Publication, 28)

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R., 1980, “Spatial variability of soil physical properties in the field”. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York : Academic, p.319-344.

WINTER, E.J., 1984, *A água, o solo e a planta*. Traduzido por REICHARDT, K. e LIBARDI, P.L., 2ª ed., São Paulo, Nobel.

ZAR, HZ, 1984, *Biostatistical analysis*. 2ª ed., New Jersey, Prentice-Hall Inc.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Nomenclatura dos solos representativos da bacia de Santa Maria e Cambiocó

Simbologia	Legenda	Uso do Solo
CXe (P5)	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado a forte ondulado.	Pastagem brachiária
CXe (P22)	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado e forte ondulado.	Pastagem brachiária
CXveg (P34)	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico gleico, A moderado, textura média, fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.	Plantio de Cana de Açúcar
PVd (P04)	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado e forte ondulado.	Pastagem brachiária
PVe (P24)	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto, A moderado, textura média/muito argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado a forte ondulado..	Pastagem colômbio
PVe (P32)	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.	Pastagem brachiária
Re (P20)	NEOSSOLO LITÓLICO Ta Eutrófico típico, A moderado, textura média, fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.	Pastagem brachiária
GXe (P06)	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico solódico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical de várzea relevo plano.	Pastagem
GXve (P21)	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical de várzea relevo plano.	Pastagem com grama pernambuco
PHd (P15)	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico, A moderado, textura arenosa/média, fase floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado.	Pasto sujo
PHd (P36)	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico, A moderado, textura arenosa/média, fase floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado.	Plantio de pimentão
TPo (P27)	LUVISSOLO HÁPLICO órtico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado a montanhoso.	Pastagem brachiária

APÊNDICE B – Descrição dos horizontes dos 13 solos estudados, com a profundidade de retirada das amostras nos testes de infiltração e de capacidade de campo *in situ*.

Perfil	Classificação	Horizonte		Profundidade de Amostragem (cm)
		Símbolo	Profundidade (cm)	
P5	CAMBISSOLO HÁPLICO	A	0-20	10
		Bi	20-34	25
		CR	34-108	48
P22		Ap	0-11	5,5
		Bt	11-36	20
		C/CR	36-60	48
P34		Ap	0-27	13,5
		Bt1	27-43	36,5
		Bt2	43-82	56,5
	BC	82-115	x*	
	C	115-160	x	
P4	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	A	0-23	11
		BA	23-36	27
		Bt1	36-59	47
		Bt2	59-96	65
		Bt3	96-106	x
		Bt4	106-141	x
P24		Ap	0-15	7,5
		BA	15-33	22,5
		Bt1	33-62	47,5
		Bt2	62-91	66
		Bt3	91-116	x
		Bt4	116-160	x
P32	Ap	0-23	11,5	
	BA	23-43	26,5	
	Bt1	43-66	36,5	
	Bt2	66-93	55	
	BC	93-133	x	
P20	NEOSSOLO LITÓLICO	Ap	0-15	8,5
		B/C	15-32	12,5 e 18,5
P6	GLEISSOLO HÁPLICO	A	0-23	11
		CA	23-50	27
		C1	50-72	40
		C2fr	72-91	60
		C3	91-108	x
		C4	108-133	x
P21		Ap	0-13	6,5
		A2	13-33	21,5
		C1	33-50	41
		C2	50-75	60
		C3	75-94	x

APÊNDICE B – Descrição dos horizontes dos 13 solos estudados, com a profundidade de retirada das amostras nos testes de infiltração e de capacidade de campo *in situ*. (continuação)

Perfil	Classificação	Horizonte		Profundidade de Amostragem (cm)
		Símbolo	Profundidade (cm)	
P15	PLANOSSOLO HÁPLICO	Ap	0-22	11
		E	22-31	26
		Bt1	31-57	44
		Bt2	57-76	63,5
		BC	76-100	x
		C1	100-138	x
		C2	138-160	x
P36	PLANOSSOLO HÁPLICO	Af	0-10	5
		FA	10-30	20
		F/G	30-48	39
		FG/G	48-85	59
P27	LUVISSOLO HÁPLICO	Ap	0-20	10
		Bt1	20-44	25
		Bt2	44-81	37**
		Bt3	81-102	x
		BC/CR	102-125	x
PE	Sem classificação			11
				27
				47
				65

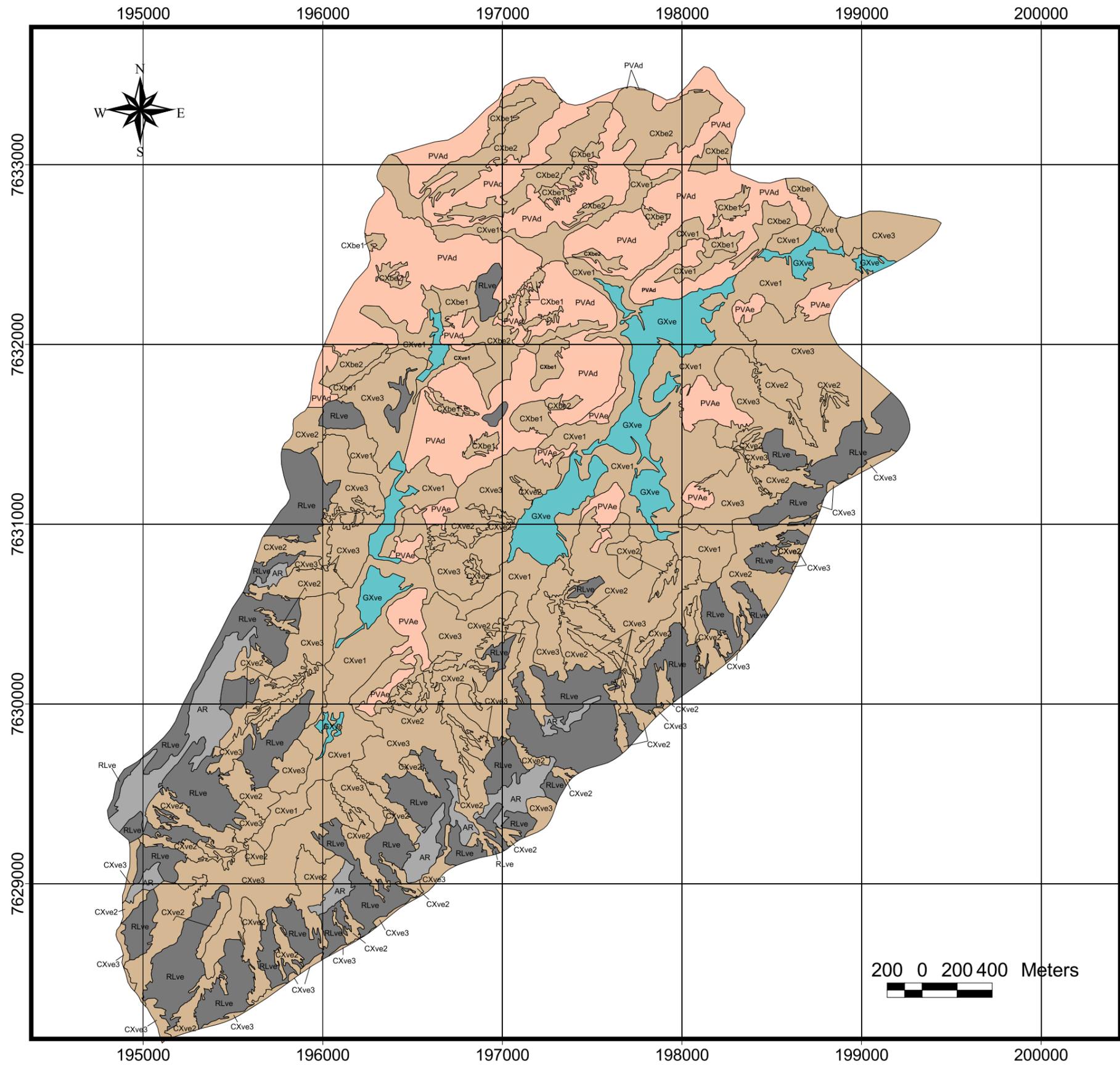
* Foram levantadas amostras até a profundidade máxima de 70cm

** Não foram tomadas mais amostras no horizonte Bt2, devido à excessiva presença de pedra e cascalho.

APÊNDICE C – Legenda das unidades de mapeamento dos solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó

Unidade de Mapeamento Pedológico	Legenda do Mapa de Solos
CXbe1	Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico lítico, textura média\argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura média, ambos A moderado, com inclusão de AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
CXbe2	Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico e léptico + NEOSSOLO LITÓFICO Eutrófico típico, ambos A moderado textura média e média\argilosa, com inclusão de AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso
CXve1	Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico gleico, textura média, A moderado, substrato sedimentos coluvionares + PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arenico, textura arenosa\média, A moderado, com inclusão PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, textura arenosa\média, A moderado, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado
CXve2	Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, textura média\argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura média, ambos A moderado + AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso
CXve3	Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico e léptico, textura média e média\argilosa, + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, textura média\argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abruptico, textura média\muito argilosa, todos A moderado, com inclusão LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico textura média\argilosa, A moderado, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
PVAd	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico, textura média\argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico e léptico, textura média, ambos A moderado, com inclusão LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, textura média\argilosa, A moderado, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
PVAe	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, ambos textura média\argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado
RLve	Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, ambos textura média, A moderado, com inclusão de AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso
GXve	Associação de GLEISSOLO HÁPLICO Eutróficos Ta e Tb típico, textura média\argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Eutróficos Tb Solódico, textura média\argilosa, todos A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano
AR	TIPOS DE TERRENO AFLORAMENTOS DE ROCHA

APÊNDICE D - Mapa de Solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó - Município de São José de Ubá/RJ



LEGENDA

- AR - Afloramento de Rocha
- PVAe - Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, ambos textura média\argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado
- PVAd - Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico, textura média\argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico e léptico, textura média, ambos A moderado, com inclusão LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, textura média\argilosa, A moderado, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
- CXbe1 - Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico lítico, textura média\argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura média, ambos A moderado, com inclusão de AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
- CXbe2 - Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico e léptico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, ambos A moderado textura média e média\argilosa, com inclusão de AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso
- CXve1 - Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico gleico, textura média, A moderado, substrato sedimentos coluvionares + PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arenico, textura arenosa\média, A moderado, com inclusão PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, textura arenosa\média, A moderado, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado
- CXve2 - Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, textura média\argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, textura média, ambos A moderado + AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso
- CXve3 - Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico e léptico, textura média e média\argilosa, + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, textura média\argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abruptico, textura média\muito argilosa, todos A moderado, com inclusão LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico textura média\argilosa, A moderado, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado
- GXve - Associação de GLEISSOLO HÁPLICO Eutróficos Ta e Tb típico, textura média\argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Eutróficos Tb Solódico, textura média\argilosa, todos A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano
- RLve - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico, ambos textura média, A moderado, com inclusão de AFLORAMENTOS DE ROCHA, todos fase floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso

APÊNDICE E – Lâminas de infiltração (cm) nos infiltrômetros para os 13 perfis estudados, considerando as adições de água (segunda fase dos testes de campo)

Infiltração acumulada (cm) nos infiltrômetros

Perfis	Inf 1	Adição	I _{total}	Inf.2	Adição	I _{total}	Inf.3	Adição	I _{total}	Inf.4	Adição	I _{total}
P04	21,70	x	21,70	3,70	x	3,70	15,30	x	15,30*	21,70	x	21,70*
P05	1,00	x	1,00	8,70	x	8,70	33,60	x	33,60	11,00	x	11,00
P06	1,50	15,00	16,50*	2,75	15,00	17,75*	5,60	14,50	20,10*	7,30	13,00	20,30*
P15	40,60	x	40,60*	57,50	x	57,50*	66,60	x	66,60*	51,40	x	51,40*
P20	3,75	14,00	17,75*	4,15	12,00	16,15*	23,70	x	23,70*	2,95	15,00	17,95*
P21	11,30	x	11,30	6,80	x	6,80	3,60	x	3,60	10,60	x	10,60
P22	27,00	x	27,00	13,10	x	13,10	29,40	x	29,40	12,50	x	12,50
P24	12,70	x	12,70	21,70	x	21,70	11,10	x	11,10	9,70	x	9,70
P27	5,35	11,00	16,35*	10,80	8,00	18,80*	30,85	x	30,85*	9,35	11,00	20,35*
P32	10,60	10,00	20,60*	13,80	7,00	20,80*	11,40	8,50	19,90*	15,20	5,00	20,20*
P34	2,70	16,10	18,80*	1,20	17,60	18,80*	3,15	13,50	16,65*	3,50	15,50	19,00*
P36	36,90	x	36,90*	36,40	x	36,40*	25,70	x	25,70*	39,20	x	39,20*
PE	27,60	x	27,60*	17,50	x	17,50*	14,70	x	14,70	x	x	x

* Dados utilizados na calibração da Equação A (item V.5)

Fonte: Oliveira (2005).

APÊNDICE F – Resultados experimentais

F.1 – Valores da Capacidade de Campo nos infiltrômetros e das VIB's nos 13 perfis estudados (Figura IV.1)

Perfil	Sub-área	Infiltrômetros	VIB (cm h ⁻¹)	Prof. (cm)	CC no infiltrômetro (cm ³ cm ⁻³)
P5	1	1	0,24	10	0,260
				25	0,186
				48	0,185
		2	1,30	10	0,288
	25			0,220	
	48			0,168	
	2	3	4,33	10	0,290
				25	0,251
48				0,350	
4		1,67	10	0,314	
	25		0,218		
	48		0,166		
P22	1	1	3,20	5,5	0,293
				20	0,258
				48	0,328
		2	1,51	5,5	0,223
	20			0,302	
	48			0,354	
	2	3	3,06	5,5	0,306
				20	0,246
48				0,214	
4		1,00	5,5	0,293	
	20		0,265		
	48		0,368		
P34	1	1	0,36	13,5	0,270
				36,5	0,265
				56,5	0,264
		2	0,40	13,5	0,258
	36,5			0,245	
	56,5			0,233	
	2	3	0,40	13,5	0,248
				36,5	0,236
56,5				0,170	
4		0,37	13,5	0,221	
	36,5		0,198		
	56,5		0,205		
P4	1	1	0,40	11	0,322
				27	0,366
				47	0,372
		65	0,320		
	2	2	0,20	11	0,271
				27	0,381
				47	0,377
		65	0,345		
2	3	1,50	11	0,251	
			27	0,282	
			47	0,384	
	65	0,384			

F.1 – Valores da Capacidade de Campo nos infiltrômetros e das VIB's nos 13 perfis estudados (Figura IV.1). (continuação)

Perfil	Sub-área	Infiltrômetros	VIB (cm h ⁻¹)	Prof. (cm)	CC no infiltrômetro (cm ³ cm ⁻³)	
P4	2	4	1,90	11	0,249	
				27	0,323	
				47	0,410	
				65	0,322	
P24	1	1	1,17	7,5	0,259	
				22,5	0,235	
				47,5	0,341	
				66	0,370	
	2	2	1,53	1,53	7,5	0,258
					22,5	0,283
					47,5	0,346
					66	0,349
	2	3	3	1,21	7,5	0,265
					22,5	0,287
					47,5	0,332
					66	0,400
2	4	4	0,91	7,5	0,275	
				22,5	0,278	
				47,5	0,350	
				66	0,360	
P32	1	1	1,47	11,5	0,300	
				26,5	0,363	
				36,5	0,362	
				55	0,381	
	2	2	2	1,56	11,5	0,294
					26,5	0,326
					36,5	0,369
					55	0,370
	2	3	3	1,00	11,5	0,274
					26,5	0,274
					36,5	0,295
					55	0,336
2	4	4	2,07	11,5	0,285	
				26,5	0,289	
				36,5	0,348	
				55	0,366	
P20	1	1	0,32	8,5	0,246	
				12,5	0,227	
				18,5	0,224	
				8,5	0,297	
	2	2	2	0,35	12,5	0,249
					18,5	0,214
					8,5	0,234
					12,5	0,238
2	3	3	3,79	18,5	0,206	
				8,5	0,224	
				12,5	0,247	
				18,5	0,225	

F.1 – Valores da Capacidade de Campo nos infiltrômetros e das VIB's nos 13 perfis estudados (Figura IV.1). (continuação)

Perfil	Sub-área	Infiltrômetros	VIB (cm h ⁻¹)	Prof. (cm)	CC no infiltrômetro (cm ³ cm ⁻³)
P6	1	1	0,78	11	0,205
				27	0,350
				40	0,403
				60	0,334
	2	2	0,33	11	0,236
				27	0,363
				40	0,352
				60	0,340
2	3	0,31	11	0,280	
			27	0,355	
	4		40	0,374	
			60	0,336	
P21	1	1	0,73	6,5	0,259
				21,5	0,243
				41	0,303
				60	0,433
	2	2	0,40	6,5	0,307
				21,5	0,301
				41	0,351
				60	0,431
2	3	0,49	6,5	0,351	
			21,5	0,320	
	4		41	0,337	
			60	0,466	
P15	1	1	5,87	11	0,157
				26	0,146
				44	0,145
				63,5	0,176
	2	2	8,44	11	0,175
				26	0,169
				44	0,174
				63,5	0,255
2	3	7,60	11	0,150	
			26	0,187	
	4		44	0,180	
			63,5	0,244	
2	4	7,04	11	0,168	
			26	0,198	
			44	0,204	
			63,5	0,282	

F.1 – Valores da Capacidade de Campo nos infiltrômetros e das VIB's nos 13 perfis estudados (Figura IV.1). (continuação)

Perfil	Sub-área	Infiltrômetros	VIB (cm h ⁻¹)	Prof. (cm)	CC no infiltrômetro (cm ³ cm ⁻³)
P36	1	1	6,83	5	0,261
				20	0,212
				39	0,223
				59	0,270
	2	2	8,40	5	0,184
				20	0,231
				39	0,257
				59	0,326
2	3	6,80	5	0,171	
			20	0,214	
	4		39	0,249	
			59	0,338	
P27	1	1	0,34	10	0,267
				25	0,218
				37	0,212
				10	0,286
	2	2	0,70	25	0,258
				37	0,278
		4		3	0,225
				4	0,282
PE	1	1	3,88	11	0,181
				27	0,158
				47	0,266
				65	0,350
	2	2	2,72	11	0,195
				27	0,169
		3		47	0,279
				65	0,246
2	3	1,53	11	0,237	
			27	0,285	
	4		47*	0,213	
			11	0,303	
27	0,218				
47	0,170				
65	0,134				

* Não foi levantada amostra na profundidade de 65 cm no infiltrômetro 3 do perfil PE.

F.2 – Resultados médios das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área (Figura IV.1) nas profundidades de amostragens dos 13 perfis estudados

Perfil	Prof. (cm)	Δz *(cm)	VIB (cm.h ⁻¹)	Densidade das Partículas (g cm ⁻³)	Densidade dos Solos (g cm ⁻³)	Porosidade Total (cm ³ cm ⁻³)	Umidade Volumétrica (cm ³ .cm ⁻³)					Granulometria (g/g)			Matéria Orgânica (g/g)
							0,0066 MPa	0,033 MPa	1,5 MPa	CC tab**	CC inf***	Areia	Silte	Argila	
P5-SBA1****	10	20	0,77	2,6316	1,384	0,4741	0,2406	0,1975	0,1162	0,2166	0,274	0,578	0,222	0,2	0,0093
	25	10		2,6316	1,407	0,4653	0,2406	0,197	0,113	0,2222	0,203	0,594	0,206	0,2	0,0084
	48	20		2,6316	1,296	0,5075	0,1961	0,1484	0,0842	0,14	0,1765	0,628	0,212	0,16	0,006
P5-SBA2*****	10	20	3	2,6316	1,3915	0,4712	0,2278	0,1816	0,0939	0,2106	0,302	0,614	0,206	0,18	0,0134
	25	10		2,6316	1,294	0,5083	0,2498	0,2026	0,119	0,236	0,2345	0,59	0,21	0,2	0,0095
	48	20		2,6667	1,5835	0,4062	0,2606	0,2223	0,1526	0,2275	0,258	0,556	0,284	0,16	0,006
P22-SBA1	5,5	11	2,36	2,6316	1,351	0,4866	0,3238	0,2611	0,1799	0,2711	0,2581	0,476	0,204	0,32	0,0174
	20	19		2,6667	1,473	0,4476	0,3203	0,2877	0,2104	0,2899	0,28	0,41	0,23	0,36	0,0098
	48	30		2,6667	1,4685	0,4493	0,3139	0,2866	0,2121	0,275	0,3412	0,4	0,24	0,36	0,0066
P22-SBA2	5,5	11	2,03	2,5974	1,3785	0,4693	0,297	0,2581	0,1725	0,2781	0,2997	0,548	0,232	0,22	0,0224
	20	19		2,6316	1,371	0,479	0,2899	0,2569	0,1823	0,2834	0,2557	0,368	0,372	0,26	0,0138
	48	30		2,6667	1,527	0,4274	0,3702	0,3435	0,2732	0,3372	0,291	0,388	0,332	0,28	0,0067
P34-SBA1	13,5	30	0,38	2,6385	1,3795	0,4772	0,2692	0,2318	0,1554	0,2073	0,264	0,65	0,17	0,18	0,0164
	36,5	13		2,6247	1,4005	0,4664	0,2599	0,212	0,1397	0,1945	0,255	0,634	0,166	0,2	0,0105
	56,5	27		2,649	1,6685	0,3701	0,2706	0,2452	0,1712	0,2057	0,2485	0,598	0,182	0,22	0,0076
P34-SBA2	13,5	30	0,39	2,649	1,5565	0,4124	0,2466	0,209	0,1447	0,1824	0,2345	0,668	0,172	0,16	0,0124
	36,5	13		2,7397	1,5255	0,4432	0,2549	0,2186	0,1593	0,1871	0,217	0,56	0,2	0,24	0,0083
	56,5	27		2,6738	1,5985	0,4022	0,2452	0,2118	0,1582	0,1785	0,1875	0,664	0,116	0,22	0,0062
P4-SBA1	11	23	0,3	2,5974	1,5875	0,3888	0,3313	0,2884	0,203	0,2996	0,2965	0,608	0,172	0,22	0,0172
	27	7		2,6316	1,543	0,4137	0,3993	0,3675	0,2917	0,3598	0,3735	0,542	0,178	0,28	0,0091
	47	29		2,6316	1,5345	0,4169	0,3734	0,3417	0,2711	0,3516	0,3745	0,44	0,16	0,4	0,009
	65	11		2,6667	1,637	0,3861	0,4103	0,3872	0,3161	0,3827	0,3325	0,386	0,214	0,4	0,0076

F.2 – Resultados médios das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área (Figura IV.1) nas profundidades de amostragens dos 13 perfis estudados. (continuação)

Perfil	Prof. (cm)	Δz *(cm)	VIB (cm.h ⁻¹)	Densidade das Partículas (g cm ⁻³)	Densidade dos Solos (g cm ⁻³)	Porosidade Total (cm ³ cm ⁻³)	Umidade Volumétrica (cm ³ .cm ⁻³)					Granulometria (g/g)			Matéria Orgânica (g/g)
							0,0066 MPa	0,033 MPa	1,5 MPa	CC tab**	CC inf***	Areia	Silte	Argila	
P4-SBA2	11	23	1,7	2,6667	1,615	0,3944	0,2985	0,2545	0,1692	0,2745	0,2498	0,662	0,158	0,18	0,0145
	27	7		2,5974	1,563	0,3982	0,357	0,3248	0,2438	0,3219	0,3024	0,538	0,162	0,3	0,0107
	47	29		2,6316	1,433	0,4555	0,4394	0,4187	0,349	0,399	0,397	0,198	0,202	0,6	0,0112
	65	11		2,6316	1,521	0,422	0,4192	0,3949	0,3115	0,3841	0,353	0,24	0,3	0,46	0,0062
P24-SBA1	7,5	15	1,35	2,6316	1,5705	0,4032	0,3032	0,2657	0,1838	0,2811	0,2586	0,564	0,136	0,3	0,0174
	22,5	15		2,5974	1,4445	0,4439	0,2978	0,2614	0,1868	0,2808	0,259	0,54	0,16	0,3	0,0159
	47,5	32		2,6667	1,488	0,442	0,4073	0,3804	0,308	0,3737	0,3433	0,348	0,132	0,52	0,0105
	66	8		2,7027	1,499	0,4454	0,4185	0,4023	0,3455	0,3878	0,3597	0,324	0,136	0,54	0,0083
P24-SBA2	7,5	15	1,06	2,6316	1,536	0,4163	0,297	0,2561	0,1717	0,276	0,2699	0,564	0,156	0,28	0,0181
	22,5	15		2,7027	1,591	0,4113	0,3568	0,3325	0,2684	0,3328	0,2823	0,262	0,158	0,58	0,0091
	47,5	32		2,7397	1,4765	0,4611	0,4304	0,4122	0,3582	0,3986	0,341	0,278	0,202	0,52	0,0083
	66	8		2,6667	1,6145	0,3946	0,4069	0,3922	0,3431	0,3718	0,38	0,23	0,23	0,54	0,0055
P32-SBA1	11,5	23	1,52	2,611	1,2685	0,5142	0,2666	0,2319	0,1795	0,1999	0,297	0,436	0,084	0,48	0,0197
	26	7		2,642	1,298	0,5087	0,2512	0,2325	0,1856	0,2001	0,3445	0,252	0,088	0,66	0,0124
	36,5	13		2,6281	1,3545	0,4846	0,2854	0,2582	0,2028	0,2223	0,3655	0,23	0,07	0,7	0,0091
	55	27		2,649	1,4965	0,4351	0,3186	0,2981	0,2428	0,2571	0,3755	0,208	0,092	0,7	0,0093
P32-SBA2	11,5	23	1,54	2,656	1,298	0,5113	0,2599	0,2351	0,1764	0,2038	0,2795	0,514	0,106	0,38	0,0176
	26	7		2,649	1,3855	0,477	0,3327	0,3054	0,2471	0,2798	0,2815	0,292	0,088	0,62	0,0124
	36,5	13		2,6316	1,3805	0,4754	0,3198	0,2871	0,218	0,2698	0,3215	0,318	0,062	0,62	0,0131
	55	27		2,6846	1,4255	0,469	0,3683	0,3344	0,2591	0,3144	0,351	0,296	0,064	0,64	0,0079
P20-SBA1	8,5	10,5	0,34	2,5907	1,37	0,4712	0,3153	0,2819	0,1994	0,2422	0,2715	0,598	0,222	0,18	0,0191
	12,5	6,5		2,6144	1,373	0,4748	0,2789	0,2403	0,1622	0,2149	0,238	0,594	0,226	0,18	0,0188
	18,5	13		2,5806	1,377	0,4664	0,2556	0,2159	0,1387	0,1907	0,219	0,61	0,21	0,18	0,0136

F.2 – Resultados médios das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área (Figura IV.1) nas profundidades de amostragens dos 13 perfis estudados. (continuação)

Perfil	Prof. (cm)	Δz *(cm)	VIB (cm.h ⁻¹)	Densidade das Partículas (g cm ⁻³)	Densidade dos Solos (g cm ⁻³)	Porosidade Total (cm ³ cm ⁻³)	Umidade Volumétrica (cm ³ .cm ⁻³)					Granulometria (g/g)			Matéria Orgânica (g/g)
							0,0066 MPa	0,033 MPa	1,5 MPa	CC tab**	CC inf***	Areia	Silte	Argila	
P20-SBA2	8,5	10,5	2,03	2,574	1,308	0,4918	0,3209	0,2875	0,2016	0,26	0,229	0,602	0,218	0,18	0,0222
	12,5	6,5		2,594	1,412	0,4557	0,3074	0,2712	0,1876	0,2477	0,2425	0,624	0,196	0,18	0,0184
	18,5	13		2,611	1,422	0,4554	0,304	0,2712	0,1947	0,243	0,2155	0,604	0,196	0,2	0,016
P6-SBA1	11	23	0,56	2,611	1,6185	0,3801	0,2153	0,1989	0,1395	0,166	0,2205	0,584	0,216	0,2	0,0102
	27	7		2,6212	1,5845	0,3955	0,2447	0,238	0,195	0,1938	0,3565	0,522	0,178	0,3	0,0067
	40	20		2,7435	1,5085	0,4502	0,2601	0,2526	0,2149	0,1935	0,3775	0,338	0,142	0,52	0,0048
	60	20		2,6596	1,6165	0,3922	0,2589	0,2533	0,2216	0,2026	0,337	0,348	0,132	0,52	0,0041
P6-SBA2	11	23	0,55	2,5974	1,606	0,3817	0,2251	0,2047	0,1469	0,1757	0,2515	0,58	0,2	0,22	0,0117
	27	7		2,6455	1,4895	0,437	0,2642	0,2455	0,1958	0,2027	0,343	0,374	0,166	0,46	0,0074
	40	20		2,6596	1,5355	0,4227	0,2638	0,2492	0,2057	0,2008	0,36	0,376	0,144	0,48	0,006
	60	20		2,6596	1,619	0,3913	0,2484	0,2365	0,1952	0,1849	0,3345	0,444	0,076	0,48	0,0036
P21-SBA1	6,5	13	0,57	2,5641	1,521	0,4068	0,3272	0,2843	0,1975	0,311	0,2832	0,492	0,328	0,18	0,0224
	21,5	17		2,5974	1,6875	0,3503	0,297	0,2546	0,1672	0,2876	0,272	0,5	0,3	0,2	0,0143
	41	20		2,5974	1,439	0,446	0,4476	0,4264	0,3406	0,4186	0,327	0,38	0,36	0,26	0,01
	60	20		2,5974	1,4165	0,4546	0,4687	0,4515	0,3793	0,4335	0,432	0,188	0,292	0,52	0,009
P21-SBA2	6,5	13	0,75	2,5641	1,1955	0,5338	0,4034	0,3595	0,2831	0,364	0,394	0,28	0,42	0,3	0,0233
	21,5	17		2,5316	1,376	0,4565	0,363	0,3268	0,2391	0,3351	0,322	0,284	0,416	0,3	0,0141
	41	20		2,6316	1,5325	0,4177	0,3727	0,338	0,2602	0,3462	0,3925	0,278	0,422	0,3	0,0091
	60	20		2,6316	1,2705	0,5172	0,4618	0,4419	0,371	0,4128	0,468	0,13	0,27	0,6	0,0086
P15-SBA1	11	22	7,16	2,6667	1,441	0,4596	0,1472	0,0876	0,0401	0,1462	0,166	0,8	0,12	0,08	0,0055
	26	8		2,6667	1,4545	0,4546	0,1506	0,0892	0,0394	0,156	0,1575	0,814	0,106	0,08	0,0043
	44	27		2,6667	1,4555	0,4542	0,137	0,0714	0,0236	0,1535	0,1595	0,832	0,108	0,06	0,0022
	63,5	13		2,7027	1,554	0,425	0,2528	0,2164	0,1571	0,2423	0,2155	0,624	0,116	0,26	0,0059

F.2 – Resultados médios das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área (Figura IV.1) nas profundidades de amostragens dos 13 perfis estudados. (continuação)

Perfil	Prof. (cm)	Δz *(cm)	VIB (cm.h ⁻¹)	Densidade das Partículas (g cm ⁻³)	Densidade dos Solos (g cm ⁻³)	Porosidade Total (cm ³ cm ⁻³)	Umidade Volumétrica (cm ³ .cm ⁻³)					Granulometria (g/g)			Matéria Orgânica (g/g)
							0,0066 MPa	0,033 MPa	1,5 MPa	CC tab**	CC inf***	Areia	Silte	Argila	
P15-SBA2	11	22	7,32	2,6667	1,449	0,4566	0,1618	0,1118	0,0548	0,1648	0,159	0,794	0,126	0,08	0,0057
	26	8		2,6667	1,49	0,4413	0,1644	0,1077	0,0557	0,178	0,1924	0,796	0,124	0,08	0,0059
	44	27		2,7027	1,4215	0,474	0,1467	0,0915	0,0438	0,1557	0,192	0,804	0,096	0,1	0,0034
	63,5	13		2,7027	1,461	0,4594	0,2625	0,2383	0,1811	0,242	0,263	0,804	0,136	0,06	0,0028
P36-SBA1	5	10	7,62	2,6667	1,5424	0,4216	0,1975	0,132	0,0839	0,156	0,2226	0,76	0,12	0,12	0,0064
	20	20		2,6667	1,627	0,3899	0,2525	0,1772	0,1207	0,2597	0,2218	0,736	0,144	0,12	0,0047
	39	18		2,6667	1,7232	0,3538	0,2239	0,1692	0,1155	0,2227	0,2399	0,67	0,15	0,18	0,005
	59	22		2,7027	1,6584	0,3864	0,3108	0,2789	0,2323	0,2832	0,2981	0,554	0,126	0,32	0,006
P36-SBA2	5	10	7,94	2,6667	1,4867	0,4425	0,201	0,1305	0,0894	0,17	0,1962	0,76	0,14	0,1	0,0076
	20	20		2,6667	1,6614	0,377	0,2174	0,1556	0,1034	0,2051	0,1902	0,786	0,114	0,1	0,005
	39	18		2,7027	1,7237	0,3622	0,2501	0,1973	0,1415	0,2356	0,2202	0,754	0,146	0,1	0,0034
	59	22		2,7027	1,588	0,4124	0,3815	0,3645	0,3248	0,3598	0,272	0,576	0,144	0,28	0,0067
P27-SBA1	10	20	0,52	2,594	1,321	0,4908	0,3267	0,2904	0,2144	0,2524	0,2765	0,68	0,02	0,3	0,0245
	25	10		2,5806	1,4565	0,4356	0,2842	0,2475	0,1785	0,2178	0,238	0,496	0,164	0,34	0,0145
	37	40		2,6144	1,442	0,4484	0,3176	0,2948	0,2517	0,2536	0,245	0,492	0,168	0,34	0,01
P27-SBA2*****	10	x	2,83	2,594	1,351	0,4792	0,304	0,2712	0,2003	0,248	0,2535	0,522	0,218	0,26	0,0217
PE-SBA1*****	11	x	3,3	2,6667	1,4815	0,4444	0,1846	0,1428	0,0689	0,1889	0,188	0,558	0,302	0,14	0,011
	27	x		2,5974	1,5395	0,4073	0,1803	0,1461	0,0772	0,1877	0,1635	0,546	0,294	0,16	0,0072
	47	x		2,6316	1,5605	0,407	0,289	0,2629	0,1899	0,2667	0,2725	0,644	0,116	0,24	0,0076
	65	x		2,6316	1,5275	0,4196	0,3045	0,2829	0,2246	0,2654	0,298	0,456	0,144	0,4	0,0055
PE-SBA2*****	0-11	x	1,53	2,6316	1,3800	0,4756	0,2079	0,1717	0,0946	0,1960	0,2700	0,6960	0,1440	0,1600	0,0112
	0-27	x		2,6316	1,5325	0,4177	0,2171	0,1945	0,1310	0,1897	0,2515	0,4700	0,2300	0,3000	0,0055
	0-47	x		2,6667	1,6310	0,3884	0,2279	0,2017	0,1329	0,1951	0,1915	0,6200	0,1200	0,2600	0,0034
	0-65	x		2,6667	1,7020	0,3618	0,2499	0,2226	0,1376	0,2130	0,1340	0,6960	0,1640	0,1400	0,0017

*Faixas de profundidade utilizadas no cálculo das médias das variáveis no perfil (Equação II.6)

**CCtab – Capacidade de Campo no tabuleiro

***CCinf – Capacidade de Campo no infiltrômetro

**** SBA1 – sub-área 1 (Figura IV.1)

***** SBA2-sub-área 2 (Figura IV.1)

***** Os dados do perfil P27, sub-área2, não foram utilizados na classificação físico-hídrica dos solos, com exceção do valor de seu VIB (2,83cm/h). A média entre esse último e o valor da VIB da sub-área 1 do P27 (0,52cm/h), correspondeu a VIB média do solo do Perfil P27.

***** Os dados do perfil PE não foram utilizados na classificação físico-hídrica.

APÊNDICE G – Classificação físico-hídrica das classes de solos não predominantes nas unidades de mapeamento da bacia de Santa Maria e Cambiocó, nas profundidades padrão e de superfície.

G.1 – Classificação físico-hídrica correspondente à classe de solo secundária nas unidades de mapeamento pedológico

Unidade de mapeamento	Prof. (cm)	PT	CC	PMP	A	W	VIB (cm/h)	Classe Físico-Hídrica	Ordem Físico-Hídrica
		%							
CXbe1 (P20)*	0-30****	46,91	23,20	18,03	23,71	5,17	1,180	C _w R	VIR
	0-30	46,91	23,20	18,03	23,71	5,17		C _w	VI
CXbe2 (P20)	0-30	46,91	23,20	18,03	23,71	5,17	1,180	C _w R	VIR
	0-30	46,91	23,20	18,03	23,71	5,17		C _w	VI
CXve1 (P15, P36)	0-70	42,26	21,11	11,49	21,15	9,62	7,508	B _w	II
	0-30	42,75	18,39	7,55	24,36	10,84		B _w	II
CXve2 (P20)	0-30	46,91	23,20	18,03	23,71	5,17	1,180	C _w R	VIR
	0-30	46,91	23,20	18,03	23,71	5,17		C _w	VI
CXve3 (P4, P24, P32)	0-70	44,29	31,19	25,34	13,10	5,85	1,243	C _{wa}	IX
	0-30	44,06	26,77	19,82	17,29	6,95		B _{aw}	VIII
PVAd P22	0-60**	45,35	29,41	21,58	15,94	7,83	2,193	B _{aw} R	IVR
	0-30	46,87	28,22	18,90	18,65	9,32		B _{aw}	IV
PVAe (P5, P22)	0-50***	46,13	24,94	16,42	21,19	8,52	2,039	B _w R	IIR
	0-30	47,30	25,05	14,88	22,25	10,17		B _w	II
RLve (P5, P22)	0-50***	46,13	24,94	16,42	21,19	8,52	2,039	B _w R	IIR
	0-30	47,30	25,05	14,88	22,25	10,17		B _w	II
GXve (P6)	0-70	40,34	18,76	18,62	21,58	0,14	0,550	C _w	VI
	0-30	38,91	17,72	15,54	21,19	2,18		C _w	VI

* Perfil representativo da classe de solo secundária na unidade de mapeamento correspondente

** Transição para rocha a 60cm de profundidade

*** Transição para rocha a 50cm de profundidade

**** Rocha a 30cm de profundidade

G.2 – Classificação físico-hídrica correspondente à classe de solo terciária nas unidades de mapeamento pedológico*

Unidade de mapeamento	Prof. (cm)	PT	CC	PMP	A	W	VIB (cm/h)	Classe Físico-Hídrica	Ordem Físico-Hídrica
		%							
CXve1 (P15)**	0-70	45,63	17,26	6,48	28,37	10,78	7,238	B _w	II
	0-30	45,54	15,86	4,75	29,68	11,11		B _w	II
CXve3 (P27)	0-70	45,87	24,81	23,06	21,06	1,75	1,675	C _w ⁻	VI
	0-30	47,24	24,08	20,24	23,16	3,84		C _w ⁻	VI
PVAd (P27)	0-70	45,87	24,81	23,06	21,06	1,75	1,675	C _w ⁻	VI
	0-30	47,24	24,08	20,24	23,16	3,84		C _w ⁻	VI

*As unidades de mapeamento que não apareceram nesta tabela não apresentaram, nas suas respectivas associações, classes de solos terciárias.

** Perfil representativo da classe de solo terciária na unidade de mapeamento correspondente.