

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relação solo-água-vegetação em uma toposseqüência localizada na Estação  
Ecológica de Assis, SP**

**Carlos Eduardo Pinto Juhász**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2005**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Carlos Eduardo Pinto Juhász**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Relação solo-água-vegetação em uma toposseqüência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. MIGUEL COOPER**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas**

**Piracicaba**  
**2005**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Juhász, Carlos Eduardo Pinto

Relação solo-água-vegetação em uma toposseqüência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP / Carlos Eduardo Pinto Juhász. - - Piracicaba, 2005.  
110 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Cerrado 2. Curva de retenção 3. Latossolos 4. Porosidade do solo 5. Relação solo-água-plantas 6. Umidade do solo I. Título

CDD 631.432

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

A Deus,  
incondicionalmente,

***OFEREÇO***

Aos meus pais, Péter e Maria Albertina,  
por todo o amor, sustento, sabedoria,  
fé, perseverança e ótima educação  
Á minha irmã, Ana Cristina,  
e aos momentos de Alegria

***DEDICO***

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Miguel Cooper pela confiança, cooperação, simpatia, paciência e orientação.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, cujo fascínio e beleza transmitiram paz, sossego, harmonia e criatividade.

Aos Professores Álvaro Pires da Silva, Pablo Vidal-Torrado e Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni, membros do Conselho de Pós-Graduação do Programa de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida nos primeiros seis meses de projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa concedida até o término da dissertação e pelo suporte financeiro em nome do Programa BIOTA.

Ao Prof. Titular Ricardo Ribeiro Rodrigues, coordenador do projeto temático ao qual este trabalho foi vinculado, pelo entusiasmo e aceitação do tema proposto.

À pesquisadora Dra. Giselda Durigan por permitir a execução do projeto no local escolhido. Aos funcionários e vigias da Floresta Estadual de Assis, em nome da Josy, pela estimável recepção. Especialmente, aos funcionários da Estação Ecológica de Caetetus, em nome da Dona Célia e do Cido, pelo auxílio em momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Sergio de Oliveira Moraes pelos esclarecimentos na definição dos princípios de funcionamento dos equipamentos utilizados.

Ao pesquisador Dr. Igo Fernando Lepsch, pela consideração e dicas em geomorfologia.

Aos alunos de graduação Patrícia Ribeiro Cursi (em destaque), Thalita Campos Oliveira, André Oppitz Ketzer, Rodrigo Chiara Olsen, Raul Shiso Toma, José Eduardo Soria e José Ricardo Reato por todo o apoio e colaboração nas atividades de campo e laboratório.

Aos funcionários Dorival Grisotto e Valter Novais pelo auxílio na execução do projeto em campo. Aos técnicos Luiz Silva, Luciano, Bete e Vladimir pela assistência às análises realizadas.

Aos colegas da pós-graduação Renata, Diléia, Jôse, Luciana, M. Lígia, Dolorice, Virgínia, Mara, Thiago, Felipe, Dani, Adilson, Gean, Aline, Júnior, Hector, Juliano, Márcio, Karina C., Norberto, Lílian, Karina M., Cláudia, Afrânio, Brivaldo, Hector A., Mirian, Liana pelo incentivo. Em especial a Débora Ishida e Herdjanía Lima pela companhia e dicas em material bibliográfico.

E a quem contribuiu, de alguma forma, para mais um sonho realizado.

“Amar é uma arte, tal como a ciência é uma arte e viver também é uma arte: se quisermos aprender a amar, [...] precisamos fazer da mesma forma quando queremos aprender uma outra arte qualquer: unir esforços para conjugar domínios teóricos e práticos [...] e [...] atingirmos a maestria e a melhoria permanente do nosso ato de amar. Somente com tal aprendizagem [...] seremos capazes de transformar informação em conhecimento e posteriormente, conhecimento em sabedoria”

(Prof. João Beauclair)

## SUMÁRIO

RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1 Revisão bibliográfica.....	17
2.1.1 Considerações gerais sobre o Cerrado.....	17
2.1.1.1 Quadro atual .....	17
2.1.1.2 Fragmentos sobre cerradão.....	18
2.1.1.3 Fatores abióticos (clima e solo).....	20
2.1.2 Relevo e morfologia do solo.....	22
2.1.3 Micromorfologia, estrutura e porosidade do solo.....	24
2.1.4 Comportamento da água no solo .....	25
2.1.5 Desenvolvimento das raízes no solo.....	26
2.1.6 Relações solo-água-vegetação.....	27
2.2 Material e métodos .....	29
2.2.1 Descrição detalhada do local de estudo.....	29
2.2.2 Caracterização morfológica da topossequência.....	31
2.2.3 Propriedades físicas e químicas do solo .....	33
2.2.3.1 Análise granulométrica.....	33
2.2.3.2 Densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total.....	34
2.2.3.3 Distribuição de poros no solo por análise de imagens.....	35
2.2.3.4 Análise química do solo .....	37
2.2.4 Propriedades físico-hídricas .....	38
2.2.4.1 Curvas de retenção de água no solo.....	38
2.2.4.2 Condutividade hidráulica saturada de campo.....	39
2.2.4.3 Monitoramento da umidade volumétrica do solo no campo .....	39
2.2.5 Análise de imagens de raízes nos perfis de solo.....	43
2.3 Resultados e discussão .....	45
2.3.1 Caracterização morfológica, física e química.....	45



2.3.2 Espaço poroso e microestrutura .....	55
2.3.3 Atributos físico-hídricos .....	66
2.3.3.1 Retenção de água no solo .....	66
2.3.3.2 Condutividade hidráulica saturada.....	69
2.3.3.3 Variação sazonal da umidade do solo .....	72
2.3.4 Distribuição das raízes nos perfis de solo .....	75
2.3.5 Relação solo-água-vegetação .....	83
3 CONCLUSÕES .....	87
REFERÊNCIAS.....	89
ANEXOS .....	101

## RESUMO

### **Relação solo-água-vegetação em uma toposseqüência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP**

O bioma Cerrado está cada vez mais fragmentado devido à ocupação agrícola e antrópica. Para a manutenção da biodiversidade, corredores de vegetação devem ser criados com o auxílio da revegetação e recuperação de áreas degradadas. Isto é facilitado pelo conhecimento da distribuição e dinâmica natural dos solos. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o funcionamento físico-hídrico dos solos distribuídos em uma toposseqüência sob vegetação nativa. A área de estudo foi localizada dentro de uma parcela permanente instalada na Estação Ecológica de Assis, SP, Brasil, com vegetação predominante de cerradão ou savana florestada. Para a caracterização do funcionamento físico-hídrico dos solos foram realizados inicialmente estudos morfológicos, a partir da técnica da análise estrutural e da descrição de perfis de solo dispostos em cinco posições-chave da encosta. Amostras deformadas de solo foram utilizadas em análises químicas, granulométricas e densidade de partículas. Amostras indeformadas coletadas em anéis cilíndricos definiram as curvas de retenção de água e a densidade do solo. Blocos de solo foram impregnados e polidos para análise de imagens, obtendo-se a distribuição de poros em número, forma e tamanho. Em poços perfurados em três setores da toposseqüência, foi determinada a condutividade hidráulica saturada de campo. O monitoramento da umidade do solo “in situ” foi obtido por sensores instalados nos principais horizontes das trincheiras, calibrados para cada horizonte, durante o período de novembro de 2003 a novembro de 2004. Foram também utilizados os dados de precipitação mais próximos. Fotografias digitais adquiridas nos perfis de solo determinaram a distribuição das raízes. Os solos foram classificados, de montante a jusante, em Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Gleissolo Háplico, com transição homogênea de cor e domínio de textura franco-arenosa. No horizonte de superfície da toposseqüência, pequeno número de poros complexos de diâmetro equivalente superior a 1000 $\mu$ m ocupou quase a área total da imagem, representando uma estrutura de empilhamento de grãos simples com porosidade maior que em profundidade. Este comportamento provocou uma menor retenção hídrica, apesar do maior teor de matéria orgânica, e oscilação da umidade do solo após cada evento chuvoso. Predominaram raízes aglomeradas ou ramificadas nesta camada. Em profundidade, as raízes são mais individuais. Nos Latossolos, maior número de poros complexos de diâmetro equivalente superior a 1000  $\mu$ m ocupa menor área em Bw do que em superfície. Isto indica a presença de aglomerados de microagregados em Bw que conferem maior retenção de água, maior número de microporos e menor oscilação da umidade do solo do que em superfície. No Gleissolo, o horizonte Btg2, mais profundo e mais argiloso, apresentou estrutura mais densa representada por uma porosidade expressiva de forma arredondada ou cavitária de diâmetro de 30 a 1000  $\mu$ m. Neste horizonte, foi obtida a maior retenção hídrica, drenagem imperfeita e menor condutividade hidráulica. Nos outros horizontes da toposseqüência a condutividade foi elevada. O relevo influenciou nas propriedades físico-hídricas e morfológicas dos solos que, por sua vez, determinaram o conteúdo de água limitante na estação seca e em períodos de estiagem. Este comportamento pode definir o padrão florístico de cerradão na parcela permanente.

Palavras-chave: Cerrado, Latossolo, vertente, água no solo, retenção de água, umidade do solo, porosidade, análise de imagens, distribuição de raízes

## ABSTRACT

### **Soil-water-vegetation relationships in a toposequence located in the Ecological Station of Assis, São Paulo, Brazil**

The “Cerrado” bioma is being fragmented due to the human and agricultural occupation. To maintain the biodiversity, ecological corridors must be created by the revegetation and the restoration of the degraded areas. It can only be ameliorated upon the knowledge of the soil’s natural dynamics and distribution. The aim of this work was to characterize the behavior of soil water flow and soil physical properties, distributed in a toposequence under native vegetation. The study area was in a permanent plot installed in the Assis Ecological Station, São Paulo, Brazil. The predominant vegetation is the closed “cerrado” or savanna woodland. The soil physical, hydraulic characterization depended on soil morphology. The morphological study was carried out by structural analysis and by description of soil profiles arranged in five key positions on the slope. Disturbed soil samples were taken for chemical, particle size and soil particle density analyses. Undisturbed samples collected in cylindrical cores were used to define the soil water retention and bulk density. Soil blocks were impregnated and polished for image analysis to obtain the distribution of pores in number, shape and size. In wells perforated in three sectors of the toposequence the field saturated hydraulic conductivity was determined. The soil moisture monitoring “in situ” was obtained by sensors installed in the main horizons of the pits and calibrated for each soil horizon, during the period of November 2003 to November 2004. The nearest rain volume data were collected too. Digital photos of the soil profiles were acquired for the determination of the root distribution. The soils were classified, from the top backslope down to the footslope, as Rhodic Haplustox, Typic Haplustox and Epiaquic Haplustult, with a homogeneous color transition and the predominance of a sandy loam texture. In the soil surface on the toposequence, a little number of complex pores with equivalent diameter over 1,000  $\mu\text{m}$  occupied almost the total pore area, characterizing the predominance of a structure formed by the packing of single grains. The porosity was higher than in the other horizons. This behavior caused lower water retention even with the highest organic matter content. On the surface, the oscillation of the soil moisture is closely related to each rain event. The roots were distributed in ramified or grouped roots in the surface layer and individually in the deeper horizons. In Oxisols, the presence of microaggregates in the B-horizon was characterized by a number of complex pores with equivalent diameter over 1,000  $\mu\text{m}$  larger than in the soil surface but in minor area than in the surface layer. This conferred higher water retention, larger number of micropores and lower oscillation of soil moisture than in soil surface. The structure of the deepest B-horizon of Epiaquic Haplustult was denser, featured by an expressive rounded or vugh porosity with diameters between 30 and 1,000  $\mu\text{m}$ . This conferred the largest content of clay, with the highest water retention, imperfect drainage and lowest hydraulic conductivity. The other soil horizons in the toposequence presented greater hydraulic conductivity. The landscape influences the physical, hydraulic and morphological soil properties in the toposequence. So the water content is limited in the dry season and partially in the humid season too, which can define the floristic pattern of the closed “cerrado” in this permanent plot.

Keywords: Cerrado, Oxisol, landscape, soil water, water retention, soil moisture, porosity, image analysis, root distribution

## 1 INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro é reconhecido como o tipo de savana com maior biodiversidade do planeta. Este bioma tem sido explorado de forma extensiva nas últimas quatro décadas. Hoje existem apenas poucos fragmentos remanescentes, cujo ambiente natural está sendo degradado.

Devido à crescente fragmentação do cerrado e a intensa exploração agrícola, há urgência extrema em estudos detalhados para prover um melhor entendimento de sua ecologia e, portanto, formar uma base de dados mais segura para fins de conservação e uso racional da terra (BAHIA FILHO, 1996; FURLEY; RATTER, 1988), com destaque em estudos de pedologia (KRONKA et al., 1998). Além disso, as áreas preservadas de cerrado estão sendo contaminadas e prejudicadas pela ação antrópica nas áreas vizinhas, tornando ainda mais urgentes os estudos do meio físico sob ambiente natural do cerrado. A região em estudo, a sudoeste do Estado de São Paulo, por exemplo, é considerada como prioritária à conservação dos fragmentos de cerrado.

A conexão entre os remanescentes de cerrado pode ser realizada com a implantação de corredores ecológicos, que necessitam de estudos de revegetação com espécies nativas e mapeamentos por imagem de satélite ou fotos aéreas para localizar os fragmentos. Porém, para se conseguir maior precisão nas transições entre as unidades estudadas, principalmente de classes de solo, é necessária a aplicação de estudos em toposseqüências no campo. Depois é realizada no escritório uma análise do relevo local e identificação de coberturas vegetais por fotointerpretação.

A ocupação do cerrado foi impulsionada por avanços tecnológicos em fertilidade do solo e em melhoramento genético de plantas, a fim de elevar a produtividade das culturas em solos com baixa disponibilidade de nutrientes. Para o correto uso e manejo destes solos, Resck (2002) destacou a necessidade de desenvolvimento de pesquisas sobre os mecanismos e processos que ocorrem nos ecossistemas sob cerrado, enfatizando a integração de estudos físicos do solo associados à disponibilidade de água no solo.

A escassez de informações sobre as relações entre o meio físico e biótico dos principais biomas que cobrem o Estado de São Paulo será amenizada com a implantação do banco de dados gerado a partir do projeto temático “Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes” do Programa BIOTA/FAPESP, ao qual este trabalho está vinculado.

O meio físico ou abiótico de um ecossistema é representado pelo solo, clima, relevo e água, principalmente. Como exemplo, o crescimento das plantas torna-se limitante tanto em excesso quanto em deficiência de água. Esses extremos são provocados pelas condições físicas do solo no qual a planta se desenvolve, o que exige o estudo da relação solo-água-planta.

Este trabalho, de caráter descritivo, pretende associar dados de conteúdo e retenção de água no solo a aspectos morfológicos e físicos do solo, tais como textura, estrutura e porosidade, em uma toposseqüência, ou seja, uma seqüência de solos ordenada em função do relevo.

O monitoramento detalhado da água no solo descrito neste trabalho poderá ser utilizado para estabelecer correlações entre a dinâmica da água no solo e os diversos temas estudados na mesma parcela permanente como, por exemplo, inventários florísticos, botânicos, químicos, microbiológicos, de incidência de radiação solar, de sensoriamento remoto, entre muitos outros.

Com as informações específicas obtidas neste trabalho e o banco de dados gerado a partir do projeto temático, ações regionais poderão ser desenvolvidas com a meta de instaurar e adequar a conservação, o manejo e a restauração da fauna e da flora e a recuperação de solos degradados. Tais processos dependem exclusivamente da situação atual e original do solo e da paisagem. Assim, destaca-se a importância de estudos em ambiente natural e sem a interferência do homem.

O principal objetivo deste trabalho foi caracterizar a morfologia e o funcionamento físico-hídrico de uma toposseqüência a partir da hipótese de que a morfologia e o funcionamento físico-hídrico do solo é determinante do tipo de vegetação na E. E. de Assis.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão bibliográfica**

#### **2.1.1 Considerações gerais sobre o Cerrado**

##### **2.1.1.1 Quadro atual**

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil em área ocupada, inferior apenas à Floresta Amazônica (ALHO; MARTINS, 1995). De acordo com os levantamentos mais completos, o domínio do Cerrado ocupa um pouco mais de dois milhões de km<sup>2</sup> (MACEDO, 1996) (24% do território nacional) equivalente ainda ao tamanho da Europa Ocidental (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). Predomina no Planalto Central brasileiro (região Centro-Oeste) e abrange também Estados das regiões Nordeste, Norte e Sudeste (ALHO; MARTINS, 1995).

Nas últimas décadas, o cerrado foi a alternativa mais viável para reduzir o desmatamento na Amazônia. A proposta de exploração mais intensa dessa região, ou por expansão agrícola, ou por plantios florestais para fixar carbono atmosférico (BRASÍLIA, 2002), foi subsidiada pelo governo federal (ALHO; MARTINS, 1995; RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997).

A biodiversidade do Cerrado é uma das mais ricas do planeta (BRASÍLIA, 2002). Porém, ela está se perdendo devido à exploração de carvão vegetal e lenha, com uso freqüente do fogo (DURIGAN; LEITÃO FILHO; RODRIGUES, 1994), ao extrativismo mineral que causa danos profundos à paisagem e à implantação de reservatórios e usinas hidroelétricas que inundam extensas áreas (VERDESIO, 1990).

Um dos maiores problemas que podem surgir com a intensificação do uso da terra é a escassez de água potável para a população e água doce para irrigação (RODRIGUES, 2002). No Brasil, qualquer mudança drástica no cerrado, principalmente quanto à contaminação e poluição hídrica, estará afetando as mais importantes bacias hidrográficas do país, que interceptam pelo menos 19% da área total do cerrado (RESCK, 2002). A conservação dos recursos hídricos para proteção de nascentes, rios e zonas de recarga de aquíferos freáticos é necessária (BRASÍLIA, 2002), pois o advento da agricultura desequilibrou o ambiente natural, gerando processos de erosão laminar e em voçorocas e redução da água subterrânea disponível (RODRIGUES, 2002).

Estima-se que cerca de 63% do bioma cerrado no Brasil ainda estejam cobertos por paisagens naturais, sendo que os 37% restantes já foram totalmente degradados (DIAS, 1990). No Estado de São Paulo, por exemplo, a redução das áreas de cerrado no período de 1962 a 1992 foi de aproximadamente 87% (KRONKA et al., 1998). Com a exploração agrícola intensa, é difícil estimar quanto da área original foi convertida em culturas e pastagens (FURLEY; RATTER, 1988). Para Dias (1990), 56% do cerrado brasileiro ocorrem em paisagens naturais manejadas como pastagem nativa, exploração de madeira e carvão vegetal e em reservas florestais e apenas 7% está em preservação. Além disso, a ocupação real do cerrado supera qualquer estimativa, por mais elevada que seja (VERDESIO, 1990), principalmente por que as paisagens naturais sofrem os efeitos da poluição, contaminação e erosão das regiões vizinhas “antropizadas” (DIAS, 1990).

A ocupação humana e a construção de estradas tornaram o bioma natural cada vez mais fragmentado, composto por “ilhas” inseridas em uma matriz de agroecossistemas (BRASÍLIA, 2002; FURLEY; RATTER, 1988). No Estado de São Paulo, a maioria (52,34%) dos fragmentos remanescentes é menor do que 0,10 km<sup>2</sup> e apenas 0,46% ultrapassa 4,00 km<sup>2</sup> (KRONKA et al., 1998). O processo de desfragmentação dos remanescentes florestais nativos deve ser incentivado por programas de governo e deve ser combinado a estudos sobre corredores ecológicos ou de biodiversidade (BRASÍLIA, 2002). A recomposição da paisagem natural pode ser feita com a formação de “ilhas de vegetação” (GUEDES et al., 1997) e a seleção de espécies nativas adaptadas às condições ambientais e de solo dos locais de revegetação (ROSA et al., 1997).

A legislação ambiental não considera como prioridade a conservação do bioma cerrado e suas fisionomias (KRONKA et al., 1998). Entretanto, áreas de alto potencial em biodiversidade foram identificadas como prioritárias para preservação, requerendo o estabelecimento de novas Unidades de Conservação (BRASÍLIA, 2002) cujo tipo deve ser o mais efetivo (DIAS, 1990).

#### **2.1.1.2 Fragmentos sobre cerradão**

O bioma cerrado é considerado uma vegetação típica de interflúvios bem-drenados ao lado de florestas de galeria que acompanham os cursos d'água (EITEN, 1990; RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). A vegetação do cerrado “sensu lato” é subdividida em um gradiente de formas fisionômicas (EITEN, 1990): campo limpo (forma campestre), campo sujo de cerrado, cerrado “sensu stricto” e cerradão (forma florestal) (ALHO; MARTINS, 1995).

No Estado de São Paulo, apenas 31% dos remanescentes corresponde à fisionomia de cerrado (KRONKA et al., 1998). Porém, esta fisionomia é mais freqüente (70%) em fragmentos considerados prioritários à conservação da biodiversidade do cerrado (DURIGAN et al., 2003), fortemente “antropizados”, ou seja, com apenas 0 a 15% de áreas sem vestígios de impacto antrópico (BRASÍLIA, 2002). Portanto, o cerrado pode ser considerado como a principal forma de cerrado original no Estado de São Paulo (EITEN, 1990).

O cerrado é definido ainda como savana por apresentar uma fitofisionomia ecológica homóloga às savanas da África e da Ásia (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991) e ser um bioma no qual árvores e arbustos coexistem com uma vegetação rasteira formada principalmente por gramíneas (ALHO; MARTINS, 1995). O cerrado, por exemplo, é classificado como savana florestada por Veloso; Rangel Filho e Lima (1991). Por outro lado, a composição florística do cerrado (“sensu stricto”) e cerrado são distintas das verdadeiras savanas africanas (AB’SABER, 1996), consideradas como um tipo de vegetação de grande escala determinado pelo clima, solos e composição de espécies (EITEN, 1990) em gradiente, de um lado a outro do continente africano, ao contrário da distribuição ao acaso das fisionomias de cerrado no Brasil (AB’SABER, 1996).

O cerrado é a fisionomia mais alta de cerrado “sensu lato”, com dossel arbóreo de altura, geralmente irregular, variando de 7 a 15 m, com árvores individuais chegando a 18-20 m. Estas espécies de plantas apenas sobrevivem em solos profundos (com mais de 3 m), relativamente férteis e nunca saturados próximo à superfície por longo tempo. Ocorre ainda um sub-bosque, raramente ausente, de arvoretas menores de 3 m de altura, arbustos e às vezes, bromélias grandes terrestres, “taquaras” e palmeiras de pequeno porte. A camada rasteira é esparsa quando o dossel arbóreo faz muita sombra. As árvores e arbustos de tronco grosso, mesmo com quantidade maior de raízes nas camadas mais superficiais do solo, absorvem água durante todo o ano, pois possuem raízes que atingem camadas mais profundas e mais úmidas de solo (EITEN, 1990).

A vegetação de cerrado não tolera geadas, a não ser em situação esporádica como ocorre na borda sul do domínio do cerrado brasileiro (EITEN, 1990), na região sudoeste de São Paulo, na qual a temperatura mínima atingida foi de 2°C negativos nos últimos 20 anos (DURIGAN et al., 1999) e na qual predomina a fisionomia de cerrado.

Conforme Veloso; Rangel Filho e Lima (1991), o cerrado é uma fisionomia de savana ou cerrado “restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional”.



### 2.1.1.3 Fatores abióticos (clima e solo)

A maioria dos trabalhos realizados na região fitogeográfica do Cerrado tem sido aplicada apenas ao uso e manejo dos solos para otimizar a produtividade das culturas nas áreas a serem exploradas, adaptando o solo original às condições de cultivo através da correção química e alteração de atributos físicos do solo. Porém, a introdução de novas técnicas de cultivo, tais como o plantio direto e o planejamento agrossilvipastoril, é indicada para recuperar e conservar os recursos hídricos e integrar as necessidades dos fatores homem, animal, planta e meio físico, segundo as imposições de clima e solo nesta região (COSTA et al., 2002; RESCK, 2002).

O clima característico do cerrado é do tipo tropical estacional. Aproximadamente em 86% das regiões do cerrado a precipitação média é de 1000 a 2000 mm por ano, distribuída em uma estação chuvosa (ALHO; MARTINS, 1995) e outra seca durante o inverno, dos meses de abril a setembro (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). A sazonalidade climática é uma característica típica da região onde predomina vegetação de cerrado (QUESADA et al., 2004) e as savanas mais úmidas do mundo (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). Em 67% do bioma cerrado, a estação seca prolonga-se por 5 ou 6 meses, com precipitação mensal inferior a 60 mm (ALHO; MARTINS, 1995).

A estação seca prolongada gera alterações sazonais na vegetação de cerrado e assim o componente herbáceo desidrata quase totalmente na metade da estação seca. Geralmente, essas plantas entram em dormência até a próxima estação úmida. Porém, mesmo na estação seca, a vegetação arbórea ainda mantém as suas atividades fisiológicas, pois tem acesso à água em camadas mais profundas (QUESADA et al., 2004) que representa cerca de 83% da água total usada pelas árvores neste período (OLIVEIRA et al., 2005). Como a absorção de água é em menor quantidade, as plantas podem perder parte de sua folhagem e caracterizar um sistema semidecíduo (EITEN, 1990).

O padrão de distribuição sazonal da umidade do solo, aliado à quantidade elevada de chuvas, favorece a agregação do solo, podendo ser considerado como fator de formação do solo (JENNY, 1941). As chuvas fortes e concentradas, por exemplo, carregam o cálcio para camadas mais profundas, limitando o crescimento de plantas ou culturas (ALHO; MARTINS, 1995), provocando acidificação do meio e redução no pH (FURLEY, 1999).

Os solos “tropicais”, ou seja, situados entre as latitudes dos trópicos, são distintos das outras regiões. Nos trópicos, são mais comuns solos altamente intemperizados, principalmente devido à estabilidade geológica da paisagem após longos períodos e também pela quantidade excessiva de chuvas. Os Latossolos e Argissolos correspondem a 50% da área tropical do planeta. O Latossolo, ordem exclusiva da região tropical, é caracterizado por um horizonte “oxídico” com domínio de caulinita e/ou gibbsita na fração argila (LATHWELL; GROVE, 1986).

Os solos sob cerrado são originários de rochas antigas, com idades que variam de 570 milhões a 4,7 bilhões de anos. Cerca de 46% de seus solos são profundos, bem drenados e possuem inclinações suaves, comumente menores que 3% (relevo plano) (ALHO; MARTINS, 1995). As quatro classes de solos predominantes nos cerrados são Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico, representando mais de 65% dos tipos de solo da região, totalizando cerca de 1.320.000 km<sup>2</sup> (BRASÍLIA, 2002). As subordens de Latossolos somadas são predominantes, ocupando 48,8% da área do cerrado, ou seja, 993.330 km<sup>2</sup>. Outras classes como Argissolos, Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos ocupam, respectivamente, 15, 15 e 2% do domínio dos cerrados (MACEDO, 1996).

Os fatores abióticos, como o solo, são utilizados como fatores de vulnerabilidade na definição de áreas prioritárias de conservação do Cerrado. A zona de maior potencial de biodiversidade está sobre Latossolos, principalmente os Vermelho-Amarelos (BRASÍLIA, 2002).

Aproximadamente 90% dos solos sob cerrado são distróficos, ou seja, são ácidos, de baixa fertilidade (baixa concentração de matéria orgânica, e nutrientes como cálcio, magnésio, fósforo e potássio), e alta concentração de ferro e alumínio (ALHO; MARTINS, 1995; COCHRANE, 1989; FURLEY; RATTER, 1988; LATHWELL; GROVE, 1986; LOPES; COX, 1977). A alta concentração de alumínio nos solos pode inibir a absorção de nutrientes como o fósforo, fixado por oxidróxidos de alumínio, diminuindo a disponibilidade do fósforo para as raízes, e até mesmo causar toxidez às plantas não adaptadas a estas condições (ALHO; MARTINS, 1995).

O gradiente de fisionomias do cerrado pode ser caracterizado pelo elevado teor de alumínio disponível, assim como pela profundidade do solo e o grau de armazenamento ou saturação de água na camada superficial ou subsuperficial (EITEN, 1990), pois o cerrado não tolera encharcamento (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997). Estudos na superfície do solo como o de Lopes e Cox (1977) são comuns sob cerrado. Porém, Resende; Carvalho Filho e Lani (1992) destacam a profundidade do solo como indicador do ambiente, água no solo e erosão.

A vegetação do cerrado apresenta adaptações com relação à variação sazonal de chuvas, solos ácidos, toxicidade por alumínio e também estruturas de proteção contra o fogo. Além disso, esta é uma vegetação relativamente antiga, com alto dinamismo espacial e temporal, que tem passado por diversas pressões devido às mudanças climáticas globais (FURLEY, 1999).

Entretanto, as condições químicas ou de fertilidade do solo também dependem do clima e são meras conseqüências do regime hídricas e da sazonalidade das chuvas (EITEN, 1990), o que sustenta a observação de Durigan et al. (1987) de que apenas as condições de fertilidade não são suficientes para diferenciar as fisionomias de cerrado.

A hipótese mais aceita sobre a origem do cerrado atualmente considera que a combinação da sazonalidade climática, do baixo nível nutricional dos solos e da ocorrência de fogo seja determinante da vegetação do cerrado. A variação destes fatores no espaço e no tempo seria o principal fator responsável pela ocorrência das diversas fisionomias (ALHO; MARTINS, 1995).

### **2.1.2 Relevo e morfologia do solo**

O relevo, como sinônimo de topografia, foi isolado como um fator de formação do solo por Jenny (1941). Isto foi ilustrado pelo estudo realizado por Milne<sup>1</sup> (1936, apud JENNY, 1941), o qual introduziu o conceito de “catena”, ou seja, uma seqüência de diferentes perfis de solo em função da declividade e drenagem, sob o mesmo material de origem e clima. Porém, é preferido o termo “toposseqüência” que, conforme Bocquier (1973), representa uma seqüência de diversos tipos de solos distribuídos de maneira regular e sistemática na paisagem em função da topografia, sobre material de origem homogêneo.

Nas últimas décadas, o estudo do solo na vertente por meio de toposseqüências tem apontado para a influência de mais fatores de formação (clima, material de origem, forma da vertente, percolação e infiltração de água no solo) atuando em conjunto no desenvolvimento das características e propriedades dos solos (ROCHA; CARVALHO, 2003). A diferenciação lateral dos solos na paisagem depende também de mecanismos pedogenéticos próprios relacionados à adição, perda, transformação e translocação de materiais no solo que podem até mesmo controlar a evolução do relevo e ocorrer independentemente do substrato rochoso (SANTOS, 2000).

---

<sup>1</sup> MILNE, G. **A provisional soil map of East Africa**. Amani, Tanganyika Territory: East African Agricultural Research Station, 1936.

A partir de Bocquier (1973), com destaque para Chauvel (1977), diversos métodos foram desenvolvidos para estudar a sucessão de perfis alinhados do topo até a base de uma encosta, permitindo identificar não só a distribuição de horizontes, mas também as relações entre eles (CASTRO et al., 2003). A análise estrutural, por exemplo, proposta por Boulet et al. (1982) determina a geometria horizontal e vertical dos horizontes ao longo de um transecto de solos com base num interflúvio. Esta metodologia pode ser aplicada em qualquer trabalho que dependa do solo, desde a física, agronomia, geomorfologia até a botânica e a genética (BOULET, 1988).

A partir da análise estrutural é possível compreender a influência da topografia sobre os atributos químicos, físico-hídricos (Degorski, 2003) morfológicos (SANTOS; SALCEDO; CANDEIAS, 2002) e micromorfológicos do solo (COOPER, 1999; OLIVEIRA, 1997).

A morfologia do solo estuda apenas os perfis de solo ou volumes de solo nos quais são reconhecidas as distinções entre horizontes, verticalmente, definindo a macromorfologia (BUOL; HOLE; McCracken, 1989). Porém, o solo é um corpo contínuo que não se apresenta apenas sob a forma de um perfil vertical. Este é um pequeno volume artificial de solo que não representa o todo e cujas dimensões são adaptadas às nossas condições de estudo (BOULAIN, 1982).

A partir da descrição convencional de perfis de solo individuais não é possível visualizar as transições entre unidades de mapeamento de solos. Assim, podem ocorrer incongruências entre a unidade de solo representada no mapa de acordo com o sistema de classificação convencional e a variabilidade contínua natural dos solos como observada “in situ” (TRIANTAFILIS et al., 2001). Então, para que o limite das unidades de mapeamento dos solos seja definido com maior precisão, é necessário o estudo de toposseqüências na região (FIORIO et al., 2003). Porém, em escalas muito pequenas, como em mapeamentos, a análise estrutural não é aplicável (BOULET, 1988). Por isso, as relações entre solo e relevo podem também ser obtidas utilizando técnicas de avaliação da variabilidade espacial (SOUZA, 2004).

As relações entre solo, relevo e vegetação são mais facilmente compreendidas quando mapas de vegetação e de solo são sobrepostos. A evolução ou desaparecimento de fragmentos de vegetação nativa, por exemplo, sob cerrado, é geralmente monitorada a partir da interpretação de imagens de satélite (DURIGAN et al., 2003) ou fotografias aéreas (DURIGAN et al., 1987). Considerando o solo como um componente do ecossistema (BUOL; HOLE; McCracken, 1989), as toposseqüências são importantes tanto no estudo do solo como da vegetação.

### 2.1.3 Micromorfologia, estrutura e porosidade do solo

A homogeneidade relativa descrita em horizontes de solo na escala da macromorfologia é substituída pela elevada heterogeneidade das partículas que compõem o solo quando se estuda a morfologia do solo por métodos microscópicos (BREWER, 1976).

A micromorfologia é a ferramenta que utiliza técnicas de microscopia e ultramicroscopia para identificar os constituintes do solo e determinar suas relações mútuas, no espaço e no tempo (STOOPS, 2003). Ao se utilizar a micromorfologia em combinação com outras análises de solo, há a possibilidade de se integrar e sintetizar processos e entender os efeitos da diversidade do solo, englobando vários níveis de organização do solo (MIEDEMA, 1997), desde a paisagem (solo e vegetação como um todo) até a microestrutura do solo (CASTRO et al., 2003).

É importante que se faça uma descrição detalhada do perfil de solo no campo inicialmente e observar cuidadosamente as feições específicas do solo (BUOL; HOLE; McCRACKEN, 1989), sejam naturais ou artificiais. Conseqüentemente, a micromorfologia é importante às investigações em manejo, classificação e gênese dos solos (STOOPS, 2003), pois as informações obtidas são complementares ao exame do perfil de solo ou da paisagem no campo (BULLOCK et al., 1985).

A estrutura do solo ou microestrutura pode ser conceituada como o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros em ambos materiais agregados ou não, e o tamanho, forma e arranjo de quaisquer agregados presentes (BULLOCK et al., 1985). A importância da estrutura ao crescimento das plantas é empírica quando se considera apenas a característica de agregados (LAWRENCE, 1977). Além da estrutura, Thurler (1989) considerou também a densidade de partículas e a textura do solo entre os diversos fatores de variação da porosidade e da distribuição do tamanho de macro e microporos. Geralmente, a textura do solo é relativamente estável enquanto a estrutura é facilmente degradada e modificada (SOUTHORN, 2002).

O espaço poroso, incluindo a sua distribuição por tamanho, influi efetivamente nos fenômenos como o armazenamento e movimento de água e gases, penetração de raízes, definindo a produtividade das culturas ou plantas em geral (LAWRENCE, 1977). Contudo, a estrutura do solo é difícil de ser definida ou quantificada (SOUTHORN, 2002). Por isso, a estimativa da distribuição do tamanho de poros é um importante parâmetro. Hoje, a análise de imagens é usada cada vez mais para determinar o tamanho dos poros e sua distribuição (STOOPS, 2003).

A caracterização do sistema poroso do solo por análise de imagens de lâminas delgadas pode fornecer informações detalhadas sobre as condições de estrutura do solo, ainda mais quando se conhecem as condições agronômicas, de clima e manejo, avaliando a vulnerabilidade física do solo. Portanto, o espaço poroso do solo pode ser considerado como um bom indicador da qualidade (física) do solo (PAGLIAI; VIGNOZZI, 2002).

Ringrose-Voase (1991) sugere ainda um sistema de classificação de poros em função da estrutura, no qual poros estruturais são formados por poros de empacotamento e fissuras e poros não-estruturais são cavidades, canais e vesículas, que podem ocorrer dentro ou através de diversas unidades.

A área dos componentes observados em uma lâmina delgada corresponde a proporções volumétricas dos componentes em uma massa heterogênea (como o solo), conforme atribuído a Delesse<sup>2</sup> (1848, apud BULLOCK; THOMASSON, 1979). Portanto, as imagens bidimensionais podem ser relacionadas às três dimensões (RINGROSE-VOASE; BULLOCK, 1984) e podem ser comparadas, por exemplo, a medidas volumétricas como conteúdo ou retenção de água no solo (BULLOCK; THOMASSON, 1979). Moran et al. (1988) definiu o termo “poróide” às redes de poros visualizadas em imagens bidimensionais, pois não representam a continuidade entre indivíduos de poros tridimensionais.

Salako e Kirchhof (2003) sugeriram que um sistema de macroporos mais contínuo é observado sob condições mínimas de cultivo, o que pode ser favorecido pelos bioporos contínuos criados pela vegetação perene, ou seja, a vegetação nativa interfere beneficemente no solo.

#### **2.1.4 Comportamento da água no solo**

O comportamento da água no solo é afetado pelo tamanho das partículas e o modo como elas estão arrançadas. A água é um dos fatores principais de formação do solo, interferindo nos processos de intemperismo e desenvolvimento dos perfis de solo. Muitas das propriedades físicas do solo, tais como estrutura, resistência, e expansão dependem das relações entre solo e água. Desta forma, a água afeta direta e indiretamente o crescimento de raízes (MARSHALL, 1959).

---

<sup>2</sup> DELESSE, A. Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches. *Annales des Mines*, Paris, v. 13, p. 379-388, 1848.

Por outro lado, o solo é o reservatório natural de água para as plantas. Porém, a sua estrutura é afetada pelo manejo contínuo, o que pode ser evitado pelo uso de práticas conservacionistas que aumentam a retenção de água no solo (KLEIN; LIBARDI, 1998).

A estrutura do solo, ou arranjo espacial das partículas sólidas, define um espaço poral cuja caracterização permite a percepção e a eventual previsão do comportamento hidrodinâmico do solo: suas propriedades de retenção e de circulação da água (CURMI, 1988).

Segundo Wall e Heiskanen (2003), a profundidade do solo e textura (além do teor de matéria orgânica) afetam significativamente a retenção de água. Em geral, a porosidade total é maior e mais água é retida (ou absorvida) na parte mais superficial do solo, diminuindo à medida que se desce no perfil. A retenção de água no solo, por exemplo, é necessária para se estimar o movimento da água pelo perfil de um solo (CHERTKOV, 2004; PAULETTO et al., 1988).

A dinâmica solo-floresta ou vice-versa estudada através do movimento de água pelo perfil de solo é fundamental, pois a disponibilidade de água no solo é um dos fatores mais importantes para o crescimento de plantas (GUEHL, 1984). Silva (2000) realça que a taxa de infiltração da água no solo pode ser aumentada pela macroporosidade, principalmente através da atividade biológica. Além disso, Jong van Lier (1994) conclui que a extração de água do solo pelo sistema radicular das plantas depende da retenção e infiltração da água no solo.

Com o auxílio da micromorfologia, por exemplo, é possível estabelecer uma relação entre a estrutura do solo e o tamanho e distribuição dos poros com a taxa de infiltração de água e a sua capacidade de retenção nos distintos horizontes do solo (MIEDEMA, 1997). Por outro lado, a retenção de água pode determinar a distribuição do tamanho de poros no solo, pois a força com que a água é retida no solo depende do diâmetro de poros (BULLOCK; THOMASSON, 1979).

### **2.1.5 Desenvolvimento das raízes no solo**

A qualidade física do solo afeta diretamente o desenvolvimento das raízes, como demonstrado por Dexter (2004), incluindo principalmente três fatores limitantes: resistência mecânica, aeração deficiente e restrição na disponibilidade da água (EAVIS, 1972). O desenvolvimento das raízes também é afetado indiretamente pela textura, agregação, estabilidade de agregados, distribuição de poros e densidade do solo (LETEY, 1985).

A quantificação e distribuição de raízes são importantes modelos para avaliar características do solo, planta e raízes, e entender a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (SAINJU; GOOD, 1993).

Conforme Jackson et al. (1996), a grande maioria (93 a 100%) da biomassa de raízes nos ecossistemas em todo o mundo está presente na camada superficial até 1 m de profundidade do solo. Por isso, estudos de distribuição de raízes não são comuns além de 2 m de profundidade.

Esta distribuição em profundidade foi obtida até em condições semidesérticas por Pavón e Briones (2000). Porém, em casos de extrema aridez, as raízes se concentraram mais profundamente, onde há maior facilidade em obtenção de água, o que influencia diretamente a distribuição da vegetação de acordo com as chuvas, onde neste caso o balanço hídrico separadamente não explica a diversidade da vegetação encontrada (SCHULZE et al., 1996).

Quanto ao cerrado, na estação seca, as plantas de caule fino da camada rasteira acabam morrendo quando possuem apenas raízes na camada mais superficial do solo, pois as raízes são somente superficiais (EITEN, 1990). Ainda no início da estação chuvosa, período de alta demanda de evapotranspiração, as raízes mais profundas possuem importância extrema no suprimento de água às plantas (OLIVEIRA et al., 2005).

As raízes, organismos vivos no solo, podem ser também consideradas como fator de formação de solos (JENNY, 1941). Isto pode ser evidenciado pela contribuição ao sistema contínuo de poros e à macroporosidade no solo devido à penetração das raízes, tanto em solos com boa aeração como em horizontes mais “adensados” (GLINSKI; LIPIEC, 1990).

### **2.1.6 Relações solo-água-vegetação**

Trabalhos que consideram apenas a relação solo-água ou solo-planta são mais frequentes. Porém, estudos que englobam aspectos de solo, água e vegetação são ainda escassos, mesmo em abrangência mundial.

Klijn e Witte (1999) abordam a contribuição da textura do solo e infiltração de água (fatores locais condicionantes) e disponibilidade de água, nutrientes, acidez e salinidade (fatores locais operacionais) na composição de espécies de plantas da vegetação. Um gradiente florístico relacionado às variações morfológicas, físicas e químicas do solo foi observado por Campos e Souza (2002). Zhang (2002) observou a influência do solo e do clima sobre a vegetação.



Clark; Palmer e Clark (1999) observaram na Costa Rica uma distribuição espacial não aleatória das espécies de florestas tropicais úmidas em relação às características edáficas (solo e topografia) do local. O mesmo foi obtido por Itoh et al. (2003) em uma parcela permanente de 0,52 km<sup>2</sup> na Malásia. Chen et al. (1997), utilizando a técnica da Análise de Correspondência, obteve alguns resultados semelhantes em Taiwan. Porém, em nenhum desses estudos foram considerados aspectos físico-hídricos do solo.

Guehl (1984) trata a importância de se conhecer o funcionamento hídrico do solo para o desenvolvimento das plantas, estudando a absorção de água pelas raízes a diversas profundidades do solo, em distintos sistemas de drenagem. Ter Steege et al. (1993) encontraram uma correlação alta entre tipos de solo e classes de drenagem e os padrões de distribuição das espécies em uma bacia hidrográfica de 4,8 km<sup>2</sup> na Guiana, com o uso da técnica da Análise de Correspondência. Sabatier et al. (1997), utilizando esta técnica, observaram que a riqueza e variedade das espécies de uma floresta úmida na Guiana Francesa estão relacionadas ao solo, topografia e drenagem. Dodd e Lauenroth (1997) estudaram ainda a influência da textura do solo e disponibilidade de água no solo sobre a estrutura da vegetação em região semi-árida dos Estados Unidos.

No Cerrado, Gomes et al. (2004) realizaram um levantamento físico, químico e mineralógico, mas não consideraram, por exemplo, a precipitação e a umidade do solo. A inclusão de dados sobre dinâmica da água no solo em estudos de relação solo-plantas sob cerrado foi sugerida por Ruggiero et al. (2002) e efetivada por Oliveira et al. (2005) e Quesada et al. (2004).

A correlação solo-vegetação expressa ainda em termos de geologia, geomorfologia e em recursos hídricos, principalmente, é fundamental à restauração de áreas degradadas, pois as características do solo às quais as espécies de plantas dos remanescentes florestais estão adaptadas devem ser muito próximas da área a ser restaurada e revegetada (RODRIGUES; GANDOLFI, 1998). Portanto, o estudo do solo em condições originais é fundamental tanto para a restauração de florestas ao seu habitat natural (KAGEYAMA; GANDARA, 2004) como também para recuperar as condições as mais próximas possíveis das originais de um solo já degradado (PHILLIPS; GARES; SLATTERY, 1999).

## 2.2 Material e métodos

O estudo foi realizado em uma toposseqüência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP, dentro de uma parcela permanente instalada como objeto de estudo do projeto temático “Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40ha de parcelas permanentes”, do Programa BIOTA/FAPESP (Processo FAPESP N° 99/09635-0). A coleta de amostras e dados em campo foi realizada no período de novembro de 2003 a março de 2005.

### 2.2.1 Descrição detalhada do local de estudo

A Estação Ecológica de Assis está situada no município de Assis, a oeste do Estado de São Paulo, Brasil, entre as coordenadas geográficas 22°33'65'' a 22°36'68''S e 50°23'00'' a 50°22'29''W (Figura 1), em altitudes de 520 a 590 m, com área total de 13,12 km<sup>2</sup>. Esta unidade de conservação foi implantada em 1992, com o intuito de preservar integralmente o ecossistema representativo da vegetação original da região (DURIGAN et al., 1999). Em 2002, a unidade foi ampliada (BRASIL, 2005a) e inserida na Floresta Estadual de Assis (BRASIL, 2005b) que possui área total de 44,80 km<sup>2</sup> (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

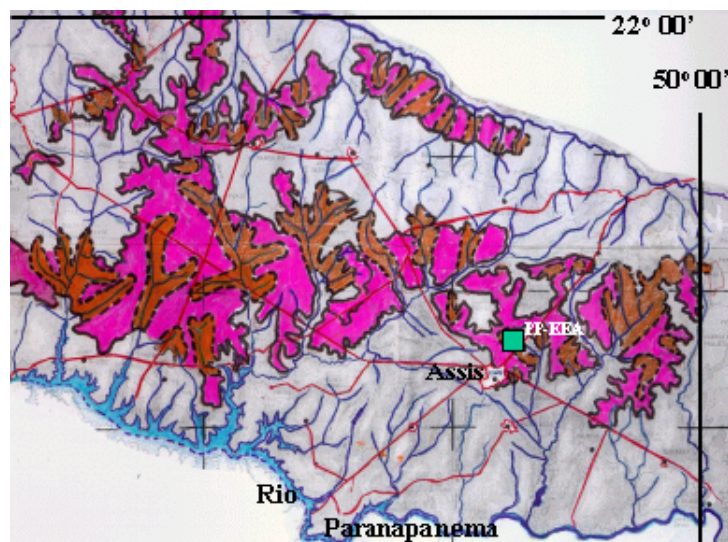


Figura 1 – Mapa da porção sudoeste do Estado de São Paulo indicando a localização geográfica da parcela permanente da Estação Ecológica de Assis (PP-EEA). Em vermelho, estão as áreas de domínio do Latossolo Vermelho típico de textura média e, em alaranjado, as regiões próximas a cursos d'água (RODRIGUES, 2005)

O clima regional se enquadra no sistema de Köppen como Cwa, transição para Cfa, ou seja, mesotérmico de inverno úmido, com temperaturas médias no inverno próximas a 17° em junho e julho e pouco superiores a 22°C nos meses de novembro a março. A precipitação média anual é de 1468 mm, não sendo menor que 40 mm em média no mês de agosto, o mais seco (BOLOGNA et al., 2003).

Na estação meteorológica automática instalada na sede da Floresta Estadual de Assis, as temperaturas apresentaram durante o período de estudo um padrão de variação comum para a região, entre 18 e 27°C na primavera-verão e de 8 a 23°C no outono (RODRIGUES, 2005).

Na Estação Ecológica foi delimitada uma parcela permanente de 320 x 320 m (10,24 ha), subdividida em 256 subparcelas de 20 x 20 m (Figura 2), por levantamento planialtimétrico. As altitudes na parcela variam de 545 e 565 m. As coordenadas do sistema Universal Transverse Mercator – UTM (SAD 69, Zona 22 S) são: X = 563944,111m e Y = 7501109,206m no canto superior esquerdo (ponto Z0); X = 564259,454m e Y = 7501163,604m no canto superior direito (ponto Z16); X = 563998,509m e Y = 7500793,863m no canto inferior esquerdo (ponto P0) e X = 564313,852m e Y = 7500848,262m no canto inferior direito (ponto P16).

A vegetação sobre a parcela permanente corresponde à fisionomia de cerrado “sensu lato” denominada de cerradão (DURIGAN et al., 1999) ou savana florestada, segundo a classificação de Veloso; Rangel Filho e Lima (1991). No local, o dossel arbóreo é fechado, ou seja, com projeção das copas cobrindo mais de 60% do solo (EITEN, 1990).

O município de Assis está situado no Planalto Ocidental do Estado de São Paulo. Nesta região, o material de origem é formado tanto por arenito do grupo Bauru (Cretáceo Superior) como por depósitos superficiais de textura média (do Cretáceo ao Pleistoceno) e depósitos coluviais recentes (do Pleistoceno ao Holoceno) (LEPSCH; BUOL; DANIELS, 1977).

Ao norte da quadrícula do município de Assis (onde está instalada a Estação Ecológica de Assis), prevalecem os bancos de arenitos de granulação fina a muito fina, róseo a castanho, alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos da formação Adamantina (grupo Bauru) e sedimentos aluvionares recentes de areias inconsolidadas de granulação variável e argilas fluviais. Os solos formados são geralmente de textura média a arenosa (BOLOGNA et al., 2003).

Sob o enfoque geomorfológico, a parcela permanente da E. E. de Assis foi implantada sobre um relevo “colinoso” de Colinas Amplas, de amplitudes inferiores a 50m e altitudes de 550 a 600m, sobre as quais ocorre espessa cobertura detrítica areno-argilosa (PIRES NETO, 2005).

A partir do mapa ultradetalhado de solos da parcela permanente (Figura 2), foi escolhida e demarcada uma topossequência representativa dos solos do local. Os principais tipos de solo encontrados foram Latossolos Vermelho, Vermelho-Amarelo e Amarelo e uma mancha de Gleissolo na porção noroeste da parcela (RODRIGUES, 2004).

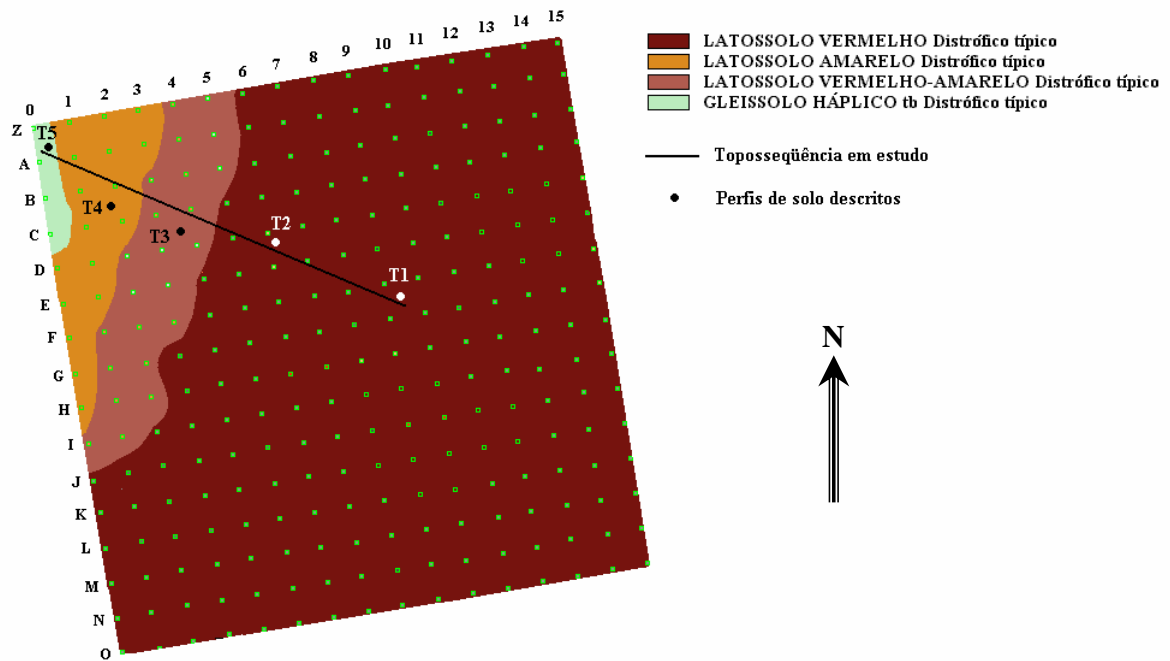


Figura 2 – Mapa de solos da parcela permanente da Estação Ecológica de Assis, SP, indicando a topossequência e perfis de solo descritos neste trabalho. Os pontos verdes representam os limites das subparcelas, definidas por letras (à esquerda) e números (acima). Adaptado de Rodrigues (2004)

### 2.2.2 Caracterização morfológica da topossequência

O método utilizado para caracterizar em detalhes a morfologia dos solos na encosta foi proposto por Boulet et al. (1982), denominado de análise estrutural. Foram executadas tradagens para determinar os pontos de interesse à abertura de perfis representativos de cada tipo de solo observado. Depois foram perfurados pontos intermediários de até 2 m de profundidade com trado para delimitar as transições dos horizontes de solo em toda a topossequência.

Para delimitar uma topossequência de montante à jusante na linha de maior declive da vertente, foram realizadas medições topográficas de altitude, com clinômetro e mira (régua graduada), e de distância, a cada 5 m, com trena.

Foram escolhidos cinco pontos representativos para abertura de trincheiras, até 1,5 m de profundidade: topo, terço superior, terço médio, terço inferior e sopé da encosta. Foram realizadas, segundo Lemos e Santos (2002), as descrições morfológicas completas em cada perfil de solo estudado (Anexo A) e a determinação da cor e textura nas amostras de tradagens. As unidades de solo foram classificadas até o quarto nível categórico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 1999).

Nos perfis de solo, amostras deformadas e indeformadas foram coletadas por horizonte para as respectivas análises (Tabela 1).

Tabela 1 – Profundidade (m) de coleta das amostras deformadas (para determinação da densidade de partículas e análises química e granulométrica) e amostras indeformadas em anéis volumétricos (para densidade do solo e curvas de retenção de água no solo) e em blocos (para análise de imagens e micromorfologia)

Perfil	Classificação*	Horizonte	Amostras Deformadas	Amostras indeformadas	
				Anéis	Blocos
T1	LVd	A	0,00-0,25	0,10	0,00-0,12
		AB	0,25-0,56	0,35	0,36-0,48
		Bw1	0,56-0,94	0,70	0,64-0,76
		Bw2	0,94-1,42	1,20	1,20-1,32
T2	LVd	A	0,00-0,14	0,06	0,00-0,12
		AB	0,14-0,32	0,20	0,17-0,29
		Bw1	0,32-0,86	0,50	0,50-0,62
		Bw2	0,86-1,42	1,10	1,10-1,22
T3	LVAd	A	0,00-0,20	0,10	0,00-0,12
		AB	0,20-0,60	0,40	0,30-0,42
		BA	0,60-0,87	0,65	0,65-0,77
		Bw	0,87-1,45	1,15	1,10-1,22
T4	LAd	A	0,00-0,20	0,10	0,00-0,12
		AB	0,20-0,66	0,40	0,35-0,47
		BA	0,66-0,93	0,78	0,70-0,82
		Bw	0,93-1,50	1,20	1,30-1,42
T5	GXbd	A	0,00-0,20	0,10	0,00-0,12
		AE	0,20-0,37	0,30	0,20-0,32
		E	0,37-0,80	0,50	0,49-0,61
		Eg	0,80-1,08	0,90	0,84-0,96
		Btg1	1,08-1,38	1,10	1,10-1,22
		Btg2	1,38-1,60	1,50	1,40-1,52

\* LVd – Latossolo Vermelho distrófico; LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; LAd – Latossolo Amarelo distrófico; GXbd – Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico

## 2.2.3 Propriedades físicas e químicas do solo

### 2.2.3.1 Análise granulométrica

Um lote de amostras deformadas de solo foi retirado em todos os horizontes de solo nas cinco trincheiras abertas (Tabela 1). Outro lote foi coletado a cada 0,2 m de profundidade em todas as tradagens realizadas na análise estrutural e em tradagens consecutivas de 10 m de distância (amostragem uniforme) na topossequência.

O método utilizado foi o do densímetro, de acordo com o padrão de rotina definido no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas – LSN, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, *campus* da Universidade de São Paulo – USP. As amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, obtendo terra fina seca ao ar (TFSA). Uma alíquota de 50 g de TFSA foi imersa em  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  de solução dispersante preparada com 10 g de hexametáfosfato de sódio mais 4 g de hidróxido de sódio para  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  de água destilada (CAMARGO et al., 1986). Após agitação mecânica de 16 h, a amostra mais o dispersante foram transferidos para uma proveta de  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ , completando este volume com água. Após agitação manual por 40 s, foram realizadas duas leituras com o hidrômetro (Soiltest, Inc.), uma após 40 s de decantação (silte + argila, em kg de TFSA /  $\text{m}^3$  de água) e a outra após 2 h de repouso (argila). As leituras foram corrigidas para a temperatura atual, subtraindo da leitura do “branco” ( $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  de dispersante em  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  de água). A areia total ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) foi obtida pela subtração de 50 g e silte + argila.

O fator de umidade, obtido a partir da secagem de 10 g de amostra em béquer de  $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 h, foi calculado pela razão entre o peso úmido (10 g) e o respectivo peso seco da amostra. Este fator foi multiplicado às leituras corrigidas do hidrômetro.

Os diâmetros das frações granulométricas, definidos pelo United States Department of Agriculture – USDA, são: menor ou igual a  $2 \mu\text{m}$  (argila), de 2 a  $50 \mu\text{m}$  (silte) e de 50 a  $2000 \mu\text{m}$  (areia). Da areia total, foram ainda determinadas areia grossa e areia fina em um conjunto de peneiras com malhas de diâmetro aproximado aos extremos de cada sub-fração: muito fina ( $50$  a  $100 \mu\text{m}$ ) e fina ( $100$  a  $250 \mu\text{m}$ ), compondo a areia fina; e média ( $250$  a  $500 \mu\text{m}$ ), grossa ( $500$  a  $1000 \mu\text{m}$ ) e muito grossa ( $1000$  a  $2000 \mu\text{m}$ ), compondo a areia grossa.

Embora este método não seja recomendado para laboratórios comerciais e universitários (GEE; OR, 2002), a sua escolha foi devido à necessidade de comparação e interação com o banco de dados obtido por este método para as 256 subparcelas do projeto temático.

Foi utilizado o software Surfer 7.0 (Golden Software, Inc.) na construção de gráficos de isolinhas pelo método da “krigagem” a partir das análises granulométricas obtidas nas sondagens da análise estrutural e na amostragem uniforme da topossequência.

### 2.2.3.2 Densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total

A partir das amostras deformadas, coletadas nos horizontes dos perfis de solo descritos (Tabela 1), foram utilizados 20 g de terra fina seca em estufa a 105°C por 24 h (TFSE) para determinar a densidade de partículas ( $D_p$ ) pelo método do balão volumétrico (KIEHL, 1979). À amostra, em um balão volumétrico de  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  aferido, foi adicionado  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  de álcool etílico 96°GL, agitando-se levemente. Deixou-se em repouso por 16 h, no mínimo. Por meio de uma bureta, completou-se o volume do balão com álcool etílico, vagarosamente. O cálculo foi feito a partir da equação:

$$D_p = \frac{P_s}{50 - (35 + L)} \quad (1)$$

Em que  $D_p$  = densidade de partículas ( $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $L$  = volume gasto de álcool etílico na bureta ( $10^{-6} \text{ m}^3$ ); e  $P_s$  = peso da amostra seca ( $10^{-6} \text{ Mg}$ ).

Amostras indeformadas de cada horizonte dos perfis de solo analisados (Tabela 1) foram coletadas em anéis volumétricos de  $10^{-4} \text{ m}^3$  em três repetições para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ), em  $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , obtida pela razão entre a massa de solo seco em estufa a 105°C por 24h e o volume interno do anel preenchido pela massa de solo correspondente (EMBRAPA, 1997).

A porosidade total (PT) em  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  foi estimada pela equação:

$$PT = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (2)$$

Em que  $D_s$  = densidade do solo e  $D_p$  = densidade de partículas.

### 2.2.3.3 Distribuição de poros no solo por análise de imagens

Amostras indeformadas para análise micromorfológica e de imagens foram coletadas nos horizontes descritos nas trincheiras (Tabela 1). O bloco de solo foi “esculpido” no formato da caixa de papel-cartão de 120 x 70 x 40 mm na qual foi inserido. Com uma faca, separou-se o bloco da parede da trincheira. As amostras foram identificadas com a profundidade e local de coleta, indicando a orientação em direção à superfície do solo (norte).

A impregnação foi realizada por resina de poliéster “cristal” segundo metodologia apresentada por Murphy (1986). Porém, como a resina é hidrofóbica (MERMUT, 1992), toda a água presente na amostra teve que ser retirada, após secagem ao ar por 15 dias e, em seguida, em estufa a 40°C com ventilação forçada por 48 h. A sua viscosidade foi reduzida por monômero de estireno (CASTRO et al., 2003). A proporção de duas partes de monômero para uma de resina (ambos distribuídos por Redelease<sup>®</sup>) mostrou-se mais satisfatória. Foi utilizado o pigmento fluorescente Uvitex OB (Ciba-Geigy<sup>®</sup>) (MURPHY; BULLOCK; TURNER, 1977), na proporção de 5 kg misturados a 1 m<sup>3</sup> de monômero, sobre o qual também foi adicionada a resina. O tempo de endurecimento da amostra (seis semanas) foi controlado por um catalisador (RINGROSE-VOASE, 1991), neste caso, peróxido orgânico (Butanox M50, distribuído por Redelease<sup>®</sup>) em 4 gotas por 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup> de solução.

Para aumentar a eficiência de impregnação e facilitar a penetração da resina no solo foi utilizado um sistema de vácuo conforme Castro et al. (2003), no qual as amostras foram acondicionadas em dessecadores ligados a uma bomba de vácuo. A solução de impregnação foi adicionada aos poucos às amostras até o nível do fluxo de penetração por capilaridade, para evitar o aprisionamento de ar. Após o primeiro preenchimento, o vácuo foi ligado, aguardando o tempo em que metade da quantidade de solução adicionada à amostra fosse absorvida, desligando a bomba e retirando o vácuo vagarosamente, repetindo-se para cada preenchimento até cobrir as amostras, mantendo-as sob vácuo por no mínimo 24 h (RINGROSE-VOASE, 1991).

Depois de endurecidos, os blocos impregnados foram cortados usando serra de diamante e uma das faces foi polida sobre camada abrasiva em disco rotatório, adicionando inicialmente carbureto de silício preto, de granulação mais grosseira (220mesh, com grãos de 53-62µm) e em seguida pelo carbureto de silício verde, mais fino (600mesh, grãos de 18-22µm), mantendo a amostra sempre úmida em contato com o material abrasivo.



Sob luz ultravioleta e em ambiente escuro, o espaço poroso (mais claro) foi destacado da matriz do solo (mais escura) pelo pigmento fluorescente utilizado. Os poros foram quantificados a partir de imagens adquiridas sobre a face polida dos blocos de solo, com resultado semelhante ao obtido a partir de lâminas delgadas de solo, como sugerido por Mermut (1992).

O procedimento de análise das imagens foi realizado no Laboratório de Microscopia do LSN, ESALQ, USP. Foram utilizadas 14 repetições por horizonte de solo, ou seja, 14 imagens (fotomicrografias) aleatórias de 12x15mm (180mm<sup>2</sup>) adquiridas por uma câmera digital em cores (Sony<sup>®</sup>, modelo DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), conectada a uma lupa com polarizador (Zeiss<sup>®</sup>). As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10x, igualando um pixel a 156,25 μm<sup>2</sup>. A identificação dos poros na imagem foi feita pela delimitação da limiarização (“thresholding”) de tons de cinza para cada conjunto de imagens. A porosidade total (μm<sup>2</sup>. μm<sup>-2</sup>) foi estimada pelo número de pixels correspondente à área dos poróides (Moran et al., 1988), ou seja, os poros visualizados em duas dimensões. Uma vez feita a aquisição, a imagem foi binarizada e os poróides individualizados utilizando-se macros desenvolvidas no programa Noesis<sup>®</sup> Visilog 5.4.

O processo de classificação e quantificação dos poróides foi otimizado por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft<sup>®</sup> Excel. A forma (Tabela 2) e a área dos poróides foram determinadas, em cada bloco impregnado de solo, de acordo com dois índices de forma (Eq. 3 e 4), do mesmo modo como utilizado por Cooper (1999).

O primeiro índice (I<sub>1</sub>) (Eq. 3), mais simples, separa adequadamente poros arredondados de alongados (HALLAIRE; CONTEIPAS, 1993).

$$I_1 = \frac{P^2}{4 \pi A} \quad (3)$$

Em que P é o perímetro do poróide (μm) e A é a área ocupada pelo poróide (μm<sup>2</sup>).

O segundo índice de forma (I<sub>2</sub>), para a classificação adequada entre poróides alongados e complexos, é assim definido:

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_i) i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F) j} \quad (4)$$

Em que  $m$  = número de direções  $i$  nas quais é calculado o número de interceptos  $N_i$ , ( $i = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  e  $135^\circ$ ) e  $n$  = número de direções  $j$  nas quais são calculados os diâmetros de Féret  $D_F$ , ( $j = 0^\circ$  e  $90^\circ$ ).

Tabela 2 – Definição das classes de forma dos poróides

Forma do Poróide	Índices de forma	
	$I_1$	$I_2$
Arredondado	$I_1 \leq 5$	
Alongado	$5 < I_1 \leq 25$	$\leq 2,2$
Complexo	$I_1 > 5$	$> 2,2$

As classes de diâmetro foram definidas a partir do diâmetro equivalente (Deq), segundo Pagliai; La Marca e Lucamante (1983) para os poróides arredondados e complexos (Eq. 5). Para os poróides alongados foi definida a largura (L) (Eq. 6) de acordo com Pagliai et al. (1984).

$$Deq = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (5)$$

Em que Deq = diâmetro equivalente do poróide ( $\mu\text{m}$ ) e A = área do poróide ( $\mu\text{m}^2$ )

$$L = \frac{1}{4} \cdot \left( P \pm \sqrt{P^2 - 16 \cdot A} \right) \quad (6)$$

Em que L = largura ( $\mu\text{m}$ ), P = perímetro ( $\mu\text{m}$ ) e A = área ( $\mu\text{m}^2$ ) do poróide.

#### 2.2.3.4 Análise química do solo

As análises foram realizadas a partir de TFSA das amostras deformadas coletadas nos horizontes dos perfis descritos (Tabela 1) nos Laboratórios de Fertilidade e Análise Química de Solos do LSN, ESALQ, USP.

A determinação de pH foi realizada a partir da medida da atividade de íons  $H^+$  na solução do solo com o uso de pH-metro. O pH em  $CaCl_2$   $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  (acidez ativa) foi obtido após a homogeneização de terra em solução de  $CaCl_2$   $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  na proporção de 1:2,5 (solo:líquido) (QUAGGIO; RAIJ, 2001) por cinco minutos em agitador mecânico a 220 rpm. Da mesma forma, foram obtidos o pH em  $H_2O$  e o pH em  $KCl$   $1 \text{ mol.L}^{-1}$  (EMBRAPA, 1997).

A acidez trocável (íons de  $Al^{+3}$  trocável) foi obtida por titulação com solução de  $KCl$   $1 \text{ mol.L}^{-1}$  (CANTARELLA et al., 2001) e a acidez potencial ou “total” ( $H + Al$ ) a partir do pH do solo em solução tampão SMP (QUAGGIO; RAIJ, 2001).

Os teores de Ca, Mg, K e P disponíveis foram determinados a partir da extração com resina trocadora de íons. A leitura de Ca e Mg foi obtida por espectrofotometria de absorção atômica, a de K por fotometria de chama e a de P em colorímetro (Klett-Summerson<sup>®</sup>) (RAIJ; QUAGGIO, 2001).

Os íons livres de Fe foram complexados por solução extratora de DTPA. O teor total foi obtido em espectrofotômetro de absorção atômica (ABREU; ABREU; ANDRADE, 2001).

A matéria orgânica (MO) foi obtida por oxidação, reduzindo os íons Cr(III) do dicromato de potássio, com leitura pelo método colorimétrico (CANTARELLA; QUAGGIO; RAIJ, 2001).

O índice  $\Delta pH$  foi obtido por pH em  $KCl$  - pH em  $H_2O$  (MEKARU; UEHARA, 1972).

Os parâmetros CTC total (T), CTC efetiva (t), saturação por alumínio (m), soma de bases ou cátions trocáveis (S) e saturação por bases (V) foram calculados segundo recomendações da EMBRAPA (1997).

## **2.2.4 Propriedades físico-hídricas**

### **2.2.4.1 Curvas de retenção de água no solo**

Amostras indeformadas foram coletadas em três repetições por horizonte de solo (Tabela 1) para a obtenção de curvas características de retenção de água no solo. A umidade gravimétrica da amostra foi obtida para cada potencial aplicado a partir do peso correspondente ao conteúdo de água da amostra dividido pelo peso seco de solo. A umidade volumétrica foi obtida pela multiplicação da umidade gravimétrica pelo valor da densidade do solo (item 2.2.3.2) correspondente à amostra utilizada.

As amostras foram submetidas a baixos potenciais matriciais (1, 3, 5, 8 e 10 kPa) determinados com o uso de painéis preenchidas com areia de granulometria conhecida e constante. Os potenciais médios (33 e 100 kPa) foram atingidos por painéis de pressão adaptadas, nas quais as amostras foram colocadas sobre placas porosas de até 100 kPa. Os altos potenciais (500 e 1500 kPa) foram determinados em câmaras de alta pressão de Richards, sobre placas porosas que suportam 1500 kPa. O método é detalhado por Klute (1986).

O ajuste das curvas de retenção foi feito para o modelo de Van Genuchten (1980) a partir do programa SWRC versão 2.00 (DOURADO NETO et al., 2000).

#### **2.2.4.2 Condutividade hidráulica saturada de campo**

A condutividade hidráulica saturada de campo (Kfs) foi obtida com o permeâmetro de Guelph, modelo IAC (VIEIRA, 1995/1998). O princípio de funcionamento deste aparelho é baseado no princípio de Mariotte (LIBARDI, 1995).

O cálculo utilizado, mais adequado, foi a partir da equação de carga hidráulica única, proposta por Elrick; Reynolds e Tan (1989).

Neste trabalho, foram escolhidos três pontos, ou seja, poços perfurados nos locais mais representativos da toposequência: topo, terço médio e sopé da encosta. Em cada ponto foram utilizadas duas cargas hidráulicas (de 3 e 6 cm), aplicadas em três profundidades, em três repetições por carga hidráulica.

#### **2.2.4.3 Monitoramento da umidade volumétrica do solo no campo**

O monitoramento contínuo *in situ* da umidade do solo foi realizado a partir dos sensores denominados Water Content Reflectometer – WCR (modelo CS615-L, Campbell Scientific Inc.), instalados nos principais horizontes de cada perfil de solo (Figura 3 e Tabela 3). Este equipamento ainda pouco utilizado em estudos sob florestas nativas no Brasil e em clima tropical tem sua eficiência comprovada em relação ao TDR convencional por Seyfried e Murdock (2001).

O sensor utilizado consiste em um reflectômetro no domínio do tempo (sem usar um testador de cabos como no TDR) constituído por duas hastes metálicas conectadas a um circuito eletrônico configurado como um multivibrador (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1996) estável.

Um multivibrador, segundo Juhász<sup>3</sup> (informação verbal), consiste em um dispositivo eletrônico cuja tensão de saída muda do máximo para o mínimo sem tensões intermediárias instantaneamente, isto é, em um tempo desprezível. Esta mudança de estado – pulso – percorre uma haste metálica do sensor (guia de ondas). Este pulso leva mais ou menos tempo, dependendo da constante dielétrica (variável de acordo com o conteúdo de água) do meio no qual a haste está inserida, para se refletir na outra haste ou guia de ondas. Este tempo de retardo é medido como período e calibrado para unidades de medida de umidade do solo. O pulso do sinal refletido é reinjetado no primeiro guia de ondas e, assim, o circuito permanece em oscilação. Como a frequência desta oscilação depende do tempo de retardo, a medida pode ser obtida em frequência, ou seja, o inverso do período.

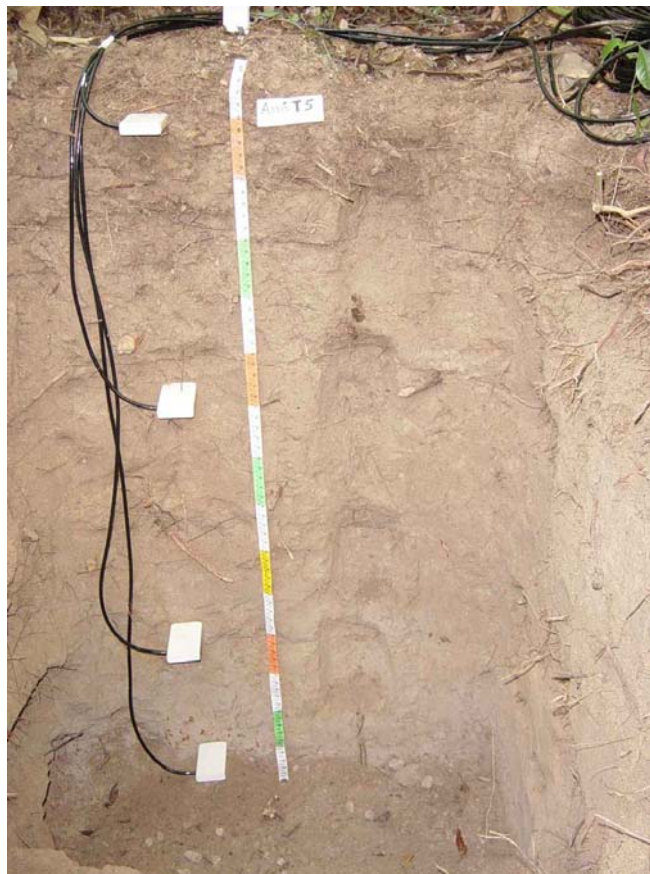


Figura 3 – Foto representativa dos sensores nas profundidades de instalação (perfil T5)

---

<sup>3</sup> JUHÁSZ, P.K. Peter Koppány Juhász ME.

Tabela 3 – Profundidade de instalação dos sensores de umidade do solo (WCR) e de coleta de amostras deformadas para calibração dos sensores

<b>Perfil*</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade dos sensores</b>
		---- m ----
<b>T1</b>	A	0,10
<b>(LVd)</b>	Bw2	1,10
<b>T2</b>	A	0,06
<b>(LVd)</b>	Bw1	0,60
	Bw2	1,20
<b>T3</b>	A	0,10
<b>(LVAd)</b>	AB	0,50
	Bw	1,20
<b>T4</b>	A	0,10
<b>(LAd)</b>	AB	0,60
	Bw	1,20
<b>T5**</b>	A	0,10
<b>(GXbd)</b>	E	0,60
	Eg/Btg1	1,10
	Btg2	1,50

\* LVd – Latossolo Vermelho distrófico; LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; LAd – Latossolo Amarelo distrófico; GXbd – Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico

\*\* Perfil visualizado na Figura 3

Todos os sensores foram conectados por cabos axiais a um multiplexador (modelo AM416, Campbell Scientific, Inc.), que multiplica o número de canais a serem lidos pelo “data logger”, onde cada canal é lido individualmente diretamente pelo “data logger” (CR10X, Campbell Scientific Inc.). Os sensores obtiveram os dados a cada 20 minutos, armazenados no “data logger”. O sistema foi mantido em funcionamento por bateria de 12 V carregada por painel solar. A coleta desses registros no campo ocorreu a cada 20 dias com o uso de teclado de comandos (CR10KD, Campbell Scientific, Inc.) conectado a um módulo de armazenamento (SM4M, Campbell Scientific, Inc.), adquirindo os dados no período de um ano (novembro de 2003 a novembro de 2004).

Os dados foram calibrados a partir da coleta de amostras deformadas nas profundidades de instalação dos sensores WCR. O procedimento para a confecção da curva (Figura 4) e equação de calibração do WCR consistiu em saturar TFSA em tubos de PVC e drenar em cinco períodos consecutivos de 15 minutos, 1 dia, 2 dias, 4 dias e 6 dias. Para cada período de drenagem foram obtidos a umidade volumétrica em laboratório e o período em milissegundos (ms), medido em três repetições com o WCR. A equação de calibração (Eq. 7) foi obtida a partir do ajuste da curva construída a partir da umidade volumétrica do solo e do período da onda de saída do WCR em cada tempo de drenagem. Procedimento semelhante foi descrito por Kim e Benson (2002).

A equação de calibração de todas profundidades de instalação foi obtida por regressão:

$$U_v = 0,8298 - \frac{0,6135}{\tau} \quad (7)$$

Em que  $U_v$  = umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ); e  $\tau$  = período (ms) obtido pelo sensor WCR.

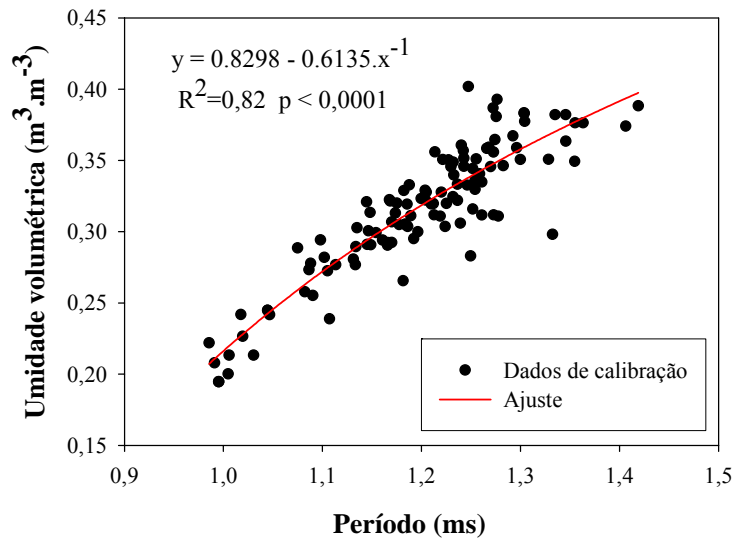


Figura 4 – Curva de calibração para os sensores instalados na Estação Ecológica de Assis

Dados de precipitação foram coletados em uma estação meteorológica automática (Campbell Scientific, Inc.) instalada na sede da Floresta Estadual de Assis, situada a cerca de um a dois quilômetros do local de estudo. Estes dados foram registrados de 15 em 15 minutos e armazenados em “data logger”. Com isso foi possível estabelecer a quantidade de entrada de água no sistema continuamente durante o período estudado.

### 2.2.5 Análise de imagens de raízes nos perfis de solo

A quantificação de raízes sobre os distintos solos observados na topossequência se baseou na metodologia proposta por Jorge (1996). Após a abertura da trincheira, o perfil, previamente escarificado para realçar as raízes, foi pintado com “spray” de esmalte sintético de cor branca e de secagem rápida. Em seguida, o perfil foi lavado, retirando o excesso de tinta para favorecer o contraste entre solo e raízes. Um sistema reticulado de 1,00 x 1,00 m foi montado no perfil com malha de 0,20 x 0,20 m (Figura 5), onde cada quadrícula representou uma fotografia, processada pela análise de imagens, utilizando o mesmo procedimento realizado na análise de imagens para distribuição de poros (item 2.2.3.3), com pequenas modificações.

As raízes foram classificadas por forma e tamanho. Neste caso, foram também utilizados os índices de forma  $I_1$  (Eq. 3), com outros limites (Tabela 4), e  $I_2$  (Eq. 4). Os valores dos limites de  $I_1$  foram alterados a partir de observações nas imagens binarizadas das raízes, de resolução de 500 x 500 pixels. O índice  $I_1$  foi utilizado na determinação de raízes com formas arredondadas e alongadas. O índice  $I_2$  foi utilizado na classificação de raízes complexas (Tabela 4).

Os limites utilizados para o índice  $I_1$  podem ainda ser comparados aos utilizados por Hallaire e Curmi (1994) na determinação da forma dos poros. Esses autores definiram  $I_1 \leq 2$  para canais (poros arredondados em corte transversal),  $I_1$  entre 2 e 5 para fissuras pequenas e curtas e  $I_1$  maior que 5 para fissuras. Desta forma, as raízes arredondadas (Tabela 4) podem ser comparadas a poros arredondados. As raízes individuais são alongadas (Tabela 4), semelhantes a fissuras. Portanto, as raízes individuais pequenas podem ser comparadas a fissuras pequenas e curtas e as raízes individuais maiores se assemelham a fissuras ( $I_1 > 5$ ).

As raízes complexas (Tabela 4) representam raízes ramificadas e aglomeradas ou emaranhadas, ou seja, que apresentam um formato irregular ou complexo.

A classe de forma arredondada ( $I_1 < 2$ ), foi utilizada para identificar raízes porventura em corte transversal e para a eliminação de resíduos de pintura no perfil de solo, de forma que dentro desta classe foram rejeitados os valores obtidos para diâmetros equivalentes menores do que 1,4 mm (6 pixels).

As classes de diâmetro foram escolhidas arbitrariamente, buscando distribuir o máximo possível de classes correspondentes aos tamanhos das raízes observadas. Foram contabilizados os valores totais de raízes por camada de solo de 1,00x 0,20m.



Tabela 4 – Definição das classes de forma para as raízes

Formas das raízes	Índices de forma	
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>
Arredondadas	$I_1 \leq 2$	
Alongadas	$2 < I_1 \leq 5$	$\leq 2,2$
Complexas	$I_1 > 5$	$> 2,2$



Figura 5 – Exposição das raízes e preparo dos perfis de solo para aquisição de fotografias digitais por quadrícula de 0,20 x 0,20 m

É importante salientar que todas as trincheiras abertas e tradagens efetuadas em campo foram preenchidas com o solo original, logo após o término das atividades, tentando preservar ao máximo as condições originais do local.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Caracterização morfológica, física e química

A paisagem da área de influência da parcela permanente da Estação Ecológica de Assis se caracteriza por um relevo de Colinas amplas de aplainamento inferior (unidade Caa), com o predomínio de Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo de textura arenosa ou média. Também coexiste uma Planície de inundação (unidade Pi), mais restrita, na qual predominam solos hidromórficos, incluindo o Gleissolo Háptico (PIRES NETO, 2005).

O objeto de estudo deste trabalho foi uma toposseqüência representativa dos solos da parcela permanente e localizada na linha de maior declive. A declividade média encontrada foi de  $0,06 \text{ m.m}^{-1}$  (6%), o que caracteriza um relevo local suave ondulado (LEMOS; SANTOS, 2002).

Na vertente, foram definidas quatro classes de solo, de montante a jusante: Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) – perfis T1 e T2; Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd) – perfil T3; Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) – perfil T4; e Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico (GXbd) – perfil T5, que abrange apenas 5% da toposseqüência (Figura 6). Estas classes foram aferidas ao mapa ultradetalhado de solos da parcela permanente (Figura 2), à descrição morfológica de campo (Tabela 5 e Anexo A) e à geomorfologia regional.

A transição entre os perfis de solo na toposseqüência é muito homogênea. Na Figura 6 está representada a mudança gradual de cor entre os perfis de Latossolo até o Gleissolo. Esta transição está diretamente relacionada à topografia, o que definiria uma topocromosseqüência. No topo e terço superior da vertente, as cores são avermelhadas, definindo a subordem de Latossolos Vermelhos (perfis T1 e T2). Do terço médio ao inferior da vertente, as cores vão se tornando cada vez mais amarelas, caracterizando as mudanças de Latossolo Vermelho-Amarelo no perfil T3 para Latossolo Amarelo em T4. A partir da tradagem S7 (Figura 6), próxima ao sopé da toposseqüência, predominam tons acinzentados até o Gleissolo (perfil T5).

As alterações de cor do solo podem fornecer indícios sobre as condições de drenagem, conforme Richardson e Daniels (1993). No topo da toposseqüência, predominam cores de alto croma que indicam condições de oxidação e boa drenagem. À medida que o croma reduz, podem ocorrer mais ciclos de redução alternados à oxidação. Já as cores acinzentadas, de croma muito baixo, e a presença de mosqueados e nódulos (Tabela 5) evidenciam condições de má drenagem.

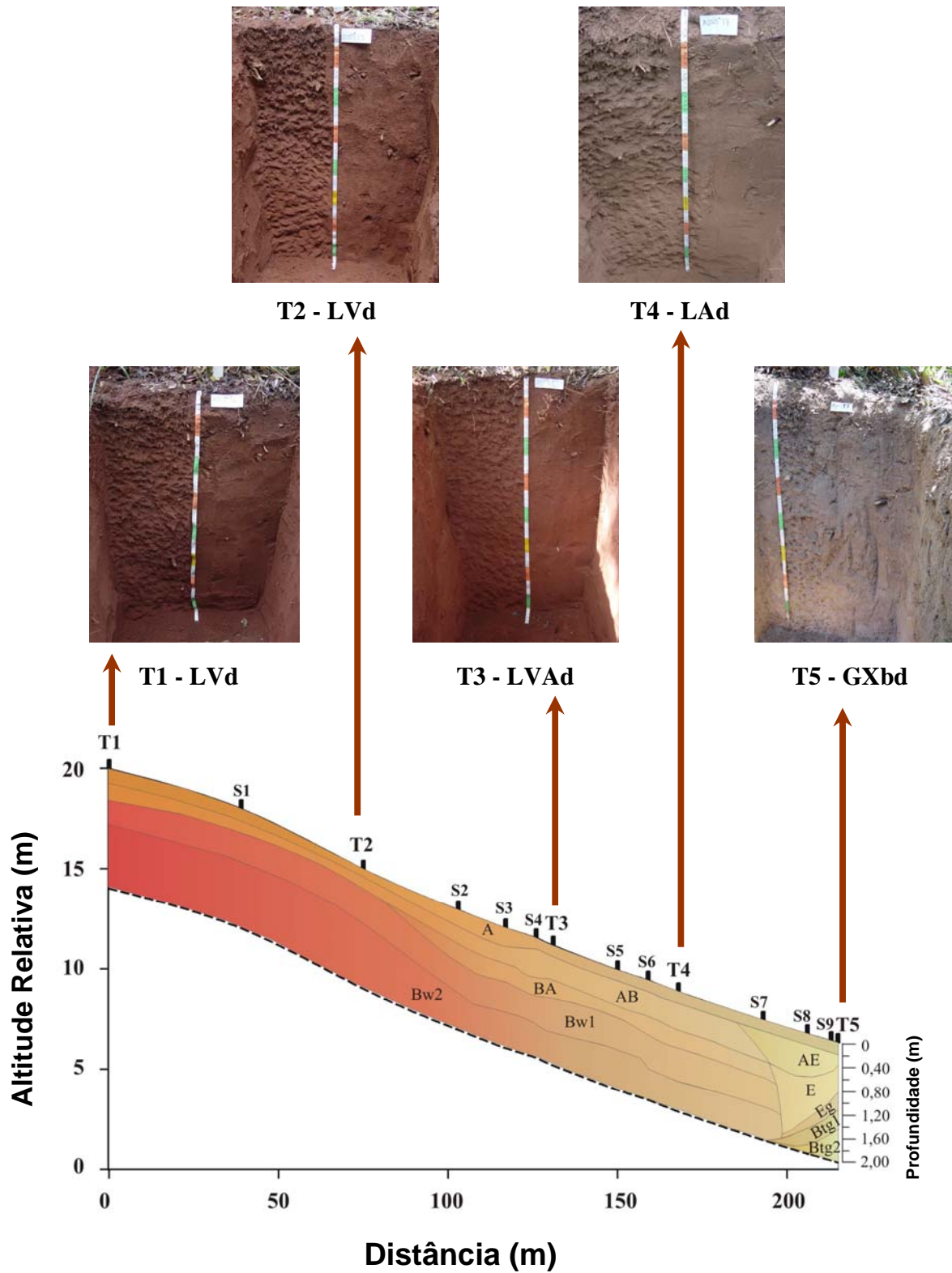


Figura 6 – Distribuição dos horizontes na topossequência indicando os perfis de solo descritos (fotografias). T = perfil (trincheira); S = tradagem intermediária

Tabela 5 – Descrição morfológica resumida dos perfis de solo estudados

Horizonte	Profundidade	Cor Úmida*	Estrutura	Textura
	---- m ----	(escala de Munsell)		
<b>Perfil T1 – Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd)</b>				
A	0,00 - 0,25	5YR 4/4	Fraca pequena e média grumosa	Areia franca
AB	0,25 - 0,56	5YR 4/4	Fraca pequena a média blocos subangulares	Franco-arenosa
Bw1	0,56 - 0,94	2,5YR 4/6	Forte muito pequena granular	Franco-arenosa
Bw2	0,94 - 1,42+	2,5YR 4/6	Forte muito pequena granular	Franco-arenosa
<b>Perfil T2 – Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd)</b>				
A	0,00 - 0,14	5YR 4/5	Fraca pequena e média grumosa	Franco-arenosa
AB	0,14 - 0,32	5YR 4/4	Fraca pequena a média blocos subangulares	Franco-arenosa
Bw1	0,32 - 0,86	2,5YR 4/6	Forte muito pequena granular	Franco-arenosa
Bw2	0,86 - 1,42+	2,5YR 4/6	Forte muito pequena granular	Franco-arenosa
<b>Perfil T3 – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (LVAd)</b>				
A	0,00 - 0,20	5YR 4/4	Fraca pequena grumosa	Franco-arenosa
AB	0,20 - 0,60	5YR 4/4	Fraca pequena a média blocos subangulares	Franco-arenosa
BA	0,60 - 0,87	5YR 4/6	Fraca pequena a média blocos subangulares e forte muito pequena granular	Franco-arenosa
Bw	0,87 - 1,45+	5YR 4,5/6	Forte muito pequena granular	Franco-arenosa
<b>Perfil T4 – Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd)</b>				
A	0,00 - 0,20	7,5YR 5/4	Fraca pequena e média granular	Areia franca
AB	0,20 - 0,66	7,5YR 5/4	Fraca pequena e média blocos subangulares	Franco-arenosa
BA	0,66 - 0,93	7,5YR 4/6	Fraca pequena e média blocos subangulares e forte muito pequena granular	Franco-arenosa
Bw	0,93 - 1,50+	7,5YR 5/6	Forte muito pequena granular	Franco-arenosa
<b>Perfil T5 – Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico (GXbd)</b>				
A	0,00 - 0,20	10YR 5/2	Fraca pequena grumosa	Areia franca
AE	0,20 - 0,37	10YR 5/3	Fraca pequena e média blocos subangulares	Areia franca
E	0,37 - 0,80	10YR 5/3	Fraca média a grande blocos subangulares	Areia franca
Eg	0,80 - 1,08	10YR 5/3 M: 7,5YR 5/8, 7,5YR 6/6 e 5YR 5/8	Fraca média blocos subangulares	Franco-arenosa
Btg1	1,08 - 1,38	10YR 6/2 M: 7,5YR 5/8, 7,5YR 6/6 e 5YR 5/8	Moderada pequena a média blocos subangulares	Franco-arenosa
Btg2	1,38 - 1,60+	10YR 7/1 M: 10YR 6/6 e 7,5YR 6/6 N: 2,5YR 4/6	Moderada a forte pequena e média blocos subangulares	Franco-argilo-arenosa

\* M: mosqueados; N: nódulos.

As condições de oxidação predominantes nos Latossolos (T1 a T4) aceleraram o processo de intemperismo, tornando estes solos altamente evoluídos. Em contraste, no sopé da vertente, o Gleissolo (T5) é menos evoluído, formado em um ambiente de oxi-redução estabelecido em geral pela saturação periódica de água no solo (má drenagem) conforme Breemen e Buurman (1998).

Os Latossolos (T1 a T4) são solos profundos e apresentam uma grande homogeneidade lateral e vertical entre os horizontes de solo (Figura 6), principalmente quanto à textura (Tabela 5 e Figura 7). A classe textural predominante é a franco-arenosa (Tabela 5), já aferida aos resultados da análise granulométrica (Figura 8). Pode-se observar na Figura 8 que ocorre um incremento de argila de A para Bw pouco expressivo, mas comum em Latossolos.

Dos Latossolos para o Gleissolo, ocorre uma mudança lateral abrupta entre os horizontes que coincide com uma quebra no relevo (de suave ondulado para plano) a partir da tradagem S7 e com um incremento em argila quase abrupto à profundidade de 1,5 m aproximadamente no perfil de Gleissolo (T5) (Figura 7).

Analisando a Figura 8, pode-se observar que a mudança textural só é abrupta entre o horizonte glei mais profundo (Btg2), de classe textural franco-argilo-arenosa e o horizonte precedente (Btg1), de textura franco-arenosa (Tabela 5 e Figura 8). A relação textural obtida entre os teores médios de argila dos horizontes superficiais e dos horizontes diagnósticos (Btg1 e Btg2) designou o caráter argissólico (EMBRAPA, 1999) ao perfil T5. A profundidade na qual foi descrito o horizonte glei, a partir de 0,80m está de acordo com EMBRAPA (1999, p. 89) e representa um grau de hidromorfismo profundo. Assim, o perfil T5 provavelmente está situado na zona de transição dos Latossolos para o Gleissolo Háptico na parcela permanente (Figura 2). Isto pode explicar o contraste entre a classificação do perfil T5, Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico, e a classificação utilizada no mapa ultradetalhado de solos da parcela permanente, Gleissolo Háptico Tb distrófico típico (Figura 2).

As mudanças de estrutura (Tabela 5) observadas na toposseqüência estão diretamente relacionadas às mudanças de textura (Figura 8). O pequeno incremento em textura entre A e Bw nos Latossolos, por exemplo, indica mudança de estrutura grumosa e mais arenosa em A para granular muito pequena e forte em Bw, constituída por microagregados formados por argila.

Na toposseqüência inteira, o horizonte de superfície (A) apresentou estrutura grumosa pequena a média e fraca, com exceção ao perfil T4 (LAd) no qual a estrutura foi descrita como granular pequena e média de grau fraco.

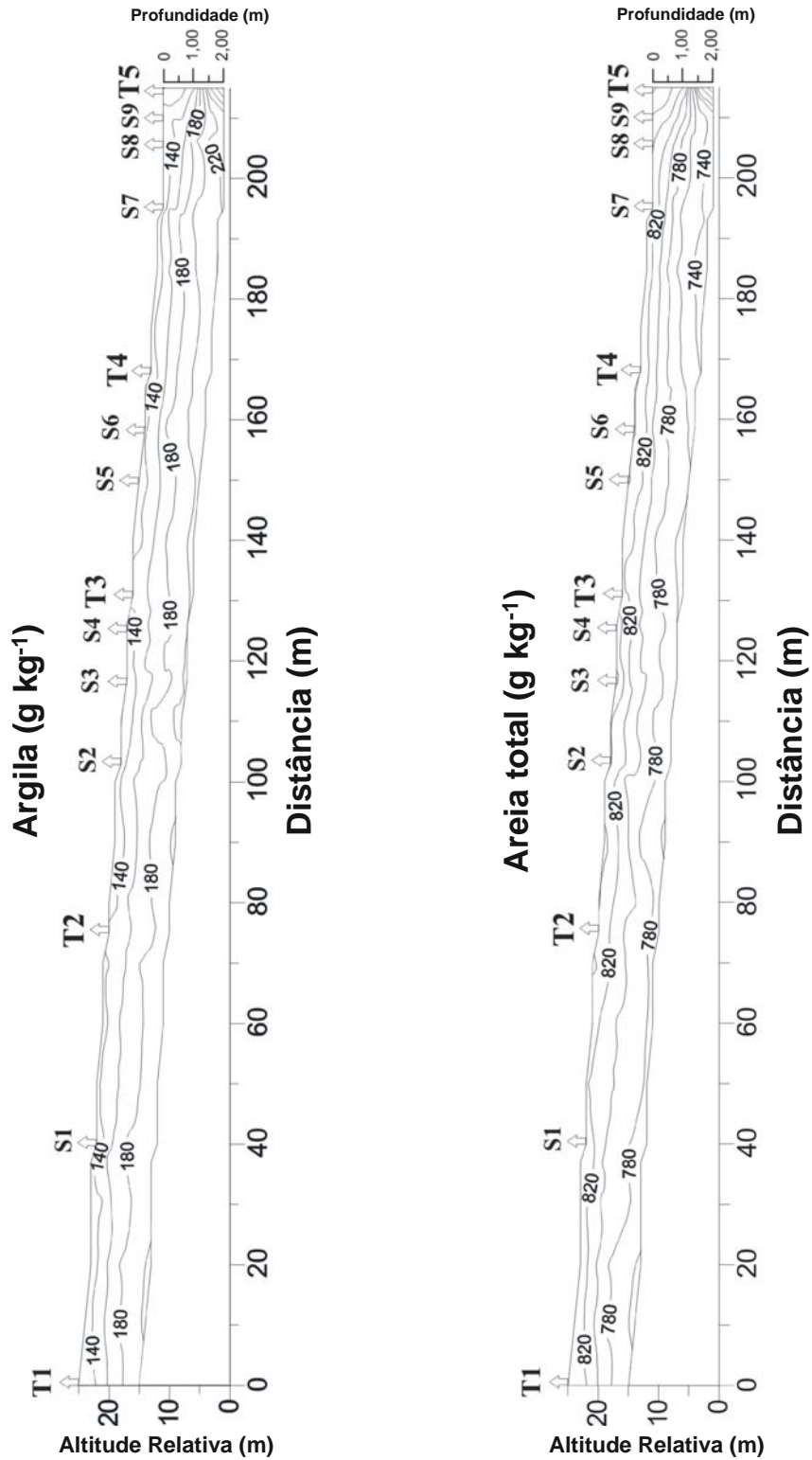


Figura 7 – Gráficos de isolinhas de argila e areia total para todos os pontos amostrados. T indica trincheiras (perfis) e S indica tradagens de análise estrutural. A amostragem uniforme corresponde a tradagens realizadas em intervalos aproximados de 10 m de distância

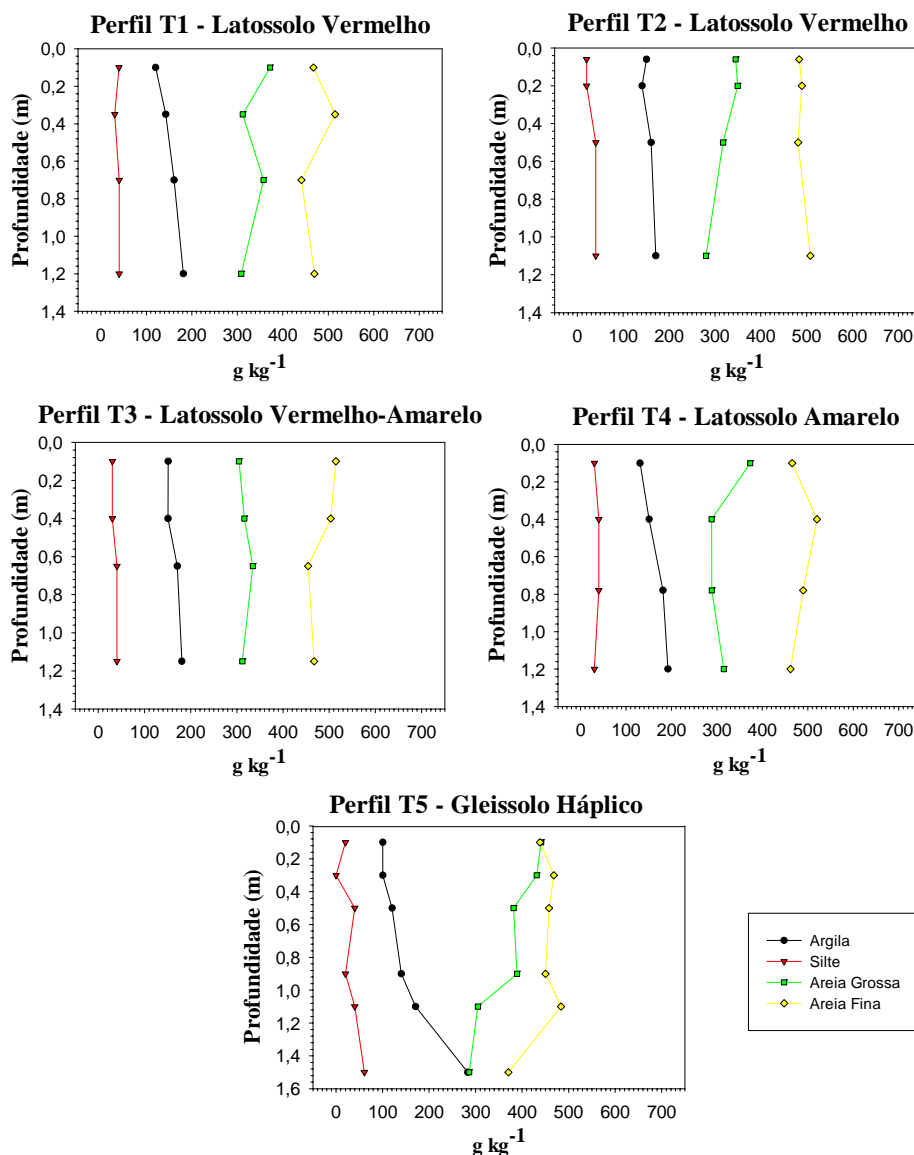


Figura 8 – Distribuição em profundidade das frações argila (< 0,002 mm), silte (0,002 a 0,05 mm), areia fina (0,05 a 0,2 mm) e areia grossa (0,2 a 2 mm) dos cinco perfis descritos

Para os Latossolos, com distribuição vertical homogênea dos horizontes, a identificação dos horizontes de transição em campo somente foi possível a partir do tipo de estrutura, com mais ou menos feições semelhantes ao horizonte Bw.

Deve-se destacar que o horizonte Bw apresenta uma macroestrutura em blocos subangulares médios e fracos, como apresentado na descrição morfológica completa dos perfis (Anexo A), que se desfaz em estrutura granular muito pequena e forte (Tabela 5).

O horizonte de transição AB em T1 e T2 (LVd), apresentou estrutura em blocos subangulares pequenos a médios e fracos (Tabela 5), semelhante à macroestrutura do Bw, mas não à sua estrutura primária, granular muito pequena e forte. Do mesmo modo, em T3 (LVAd) e T4 (LAd) o horizonte AB preserva a mesma estrutura. Entretanto, aparece outro horizonte de transição, BA (Figura 6), que apresenta estrutura semelhante ao horizonte Bw (granular muito pequena e forte) misturada aos blocos subangulares que caracterizam o horizonte AB. Portanto, o horizonte BA é mais semelhante ao horizonte Bw do que os horizontes A ou AB.

Na transição entre o Bw dos Latossolos e o Btg do Gleissolo (T5), ocorre uma mudança abrupta na estrutura, de granular em Bw a blocos subangulares de grau moderado a forte em Btg. Dentro do perfil de Gleissolo (T5), ocorre uma mudança em grau e tamanho de estrutura do horizonte eluvial (E) para o B textural (Btg), de blocos subangulares médios e fracos a pequenos e médios moderados a fortes (Tabela 5). Portanto, na toposseqüência ocorre um gradiente estrutural tanto lateral, entre unidades de solo (Latossolo para Gleissolo), quanto vertical, dentro do perfil de Gleissolo (T5).

A densidade do solo é afetada diretamente pelo arranjo estrutural das partículas sólidas do solo no espaço poroso. Na Tabela 6 estão apresentados os valores de densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total. Existe uma certa homogeneidade destes atributos no domínio dos Latossolos (de T1 a T4), com algumas mudanças no Gleissolo Háptico (T5).

A densidade de partículas apresentou valores semelhantes em toda a toposseqüência (Tabela 6) como esperado, pois este atributo não depende da estrutura do solo, mas somente da constituição das partículas sólidas do solo.

Em toda a toposseqüência, valores menores de densidade foram obtidos nos horizontes superficiais (Tabela 6), o que pode ser correlacionado à estrutura grumosa ou granular fraca e, conseqüentemente, mais porosa. Este valor também depende do elevado teor de matéria orgânica em superfície (Anexo B), que tem a capacidade de aumentar a estabilidade de agregados, conforme Le Bissonais (1999). Por isso, embora a textura seja mais arenosa do que os horizontes mais profundos (Figura 8), e a estrutura seja de grau fraco, a densidade do solo ainda é menor.

Nos Latossolos (perfis T1 a T4), apesar de apresentar estrutura granular forte formada por microagregados formados por argila, a elevada densidade do solo em profundidade pode ser devido à grande quantidade de areia (quartzo) nestes horizontes.



No perfil T5 (Gleissolo), foram obtidos os maiores valores de densidade do solo da toposseqüência nos horizontes Btg1 e Btg2 (Tabela 6). Estes dois horizontes possuem em comum uma estrutura em blocos subangulares de grau moderado a forte (Tabela 5), ou seja, mais densa. Além disso, a textura é mais argilosa que os horizontes subjacentes (Figura 8), sendo que o horizonte Btg1 é denso e ao mesmo tempo de textura franco-arenosa, com grãos de quartzo presentes, obtendo-se o valor máximo de densidade do solo na toposseqüência.

Tabela 6 – Valores de densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e porosidade total (PT) estimada, para todos os horizontes dos perfis descritos

<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Dp</b>	<b>Ds</b>	<b>PT</b>
	---- m ----	---- Mg.m <sup>-3</sup> ----		---- m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ----
<b>Perfil T1 - Latossolo Vermelho distófico típico</b>				
A	0,00 - 0,25	2,67	1,26	0,53
AB	0,25 - 0,56	2,74	1,46	0,47
Bw1	0,56 - 0,94	2,78	1,46	0,48
Bw2	0,94 - 1,42+	2,67	1,46	0,45
<b>Perfil T2 - Latossolo Vermelho distófico típico</b>				
A	0,00 - 0,14	2,60	1,16	0,55
AB	0,14 - 0,32	2,70	1,40	0,48
Bw1	0,32 - 0,86	2,60	1,52	0,42
Bw2	0,86 - 1,42+	2,50	1,50	0,40
<b>Perfil T3 - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico</b>				
A	0,00 - 0,20	2,94	1,21	0,59
AB	0,20 - 0,60	2,63	1,41	0,46
BA	0,60 - 0,87	2,63	1,46	0,45
Bw	0,87 - 1,45+	2,70	1,47	0,45
<b>Perfil T4 - Latossolo Amarelo distrófico típico</b>				
A	0,00 - 0,20	2,74	1,29	0,53
AB	0,20 - 0,66	2,53	1,44	0,43
BA	0,66 - 0,93	2,74	1,43	0,48
Bw	0,93 - 1,50+	2,82	1,44	0,49
<b>Perfil T5 - Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico</b>				
A	0,00 - 0,20	2,63	1,25	0,52
AE	0,20 - 0,37	2,78	1,55	0,44
E	0,37 - 0,80	2,67	1,51	0,43
Eg	0,80 - 1,08	2,74	1,51	0,45
Btg1	1,08 - 1,38	2,74	1,62	0,41
Btg2	1,38 - 1,60+	2,67	1,56	0,41

A porosidade total estimada foi maior no horizonte A em todos os horizontes (Tabela 6), estando ligada ao elevado teor de matéria orgânica (Anexo B). Por esta estimativa, a porosidade não se altera muito entre os horizontes dos mesmos perfis e entre as unidades de solo. Porém, é preciso levar em conta a distinção entre macro e microporosidade. Neste caso, as duas classes de tamanho estão sendo consideradas. Portanto, ao se analisar as curvas de retenção de água e a distribuição da porosidade por análise de imagens, a distribuição da porosidade ficará mais nítida.

Do ponto de vista da fertilidade química (Anexo B), todos os solos da toposseqüência são considerado deficientes nutricionalmente. A partir dos elevados teores de Al, baixos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) e baixa saturação por bases (V), incluindo Ca, Mg e K, os solos são caracterizados como distróficos e considerados típicos sob vegetação de cerrado (COCHRANE, 1989; FURLEY; RATTER, 1988; LOPES; COX, 1977). O valor baixo de pH em H<sub>2</sub>O (< 5,0) determina um nível elevado de acidez, segundo Lopes e Cox (1977). O teor de P é baixo (pouco disponível) em profundidade nos perfis de solo, o que pode ser devido à fixação por Al<sup>+3</sup>. Além disso, não é maior em superfície, embora o teor de matéria orgânica seja elevado.

O índice  $\Delta$ pH fornece informações sobre a carga líquida da superfície dos colóides no solo (MEKARU; UEHARA, 1972). Um valor negativo indica que a carga líquida é negativa e pode ocorrer maior adsorção de cátions. Isto influencia a CTC, correlacionada ao pH ou acidez do solo. O valor negativo de  $\Delta$ pH no horizonte A, com exceção em T5, associado aos maiores valores de CTC, pode estar sendo influenciado pelo teor de matéria orgânica em superfície (LATHWELL; GROVE, 1986), que possui alto potencial em acidificar o solo, conforme a maior acidez potencial (H + Al) observada no horizonte A (Anexo B). Porém, a CTC maior em superfície evidencia também a importância da matéria orgânica como habilitadora do solo à retenção de nutrientes às plantas.

Segundo Embrapa (1999, p. 92), valores de  $\Delta$ pH positivos ou nulos sugerem uma maior mobilidade de argila no horizonte B. Nos perfis T1 a T4 (Latosolos), os valores muito negativos no horizonte A estão intimamente ligados aos maiores valores de matéria orgânica e de CTC total, como proposto por Mekarú e Uehara (1972). Em T5 (Gleissolo), o  $\Delta$ pH positivo nos horizontes A, AE e E sugere uma mobilidade maior de argila, que poderia estar influenciando na formação do horizonte Btg, de textura mais fina (argilosa). O  $\Delta$ pH positivo é mais encontrado em solos de caráter ácrico, conforme Prado (2001), quase atingido nos solos da toposseqüência.

A cor do solo, além de indicar diferentes fases do processo de oxidação ou condições de drenagem em uma vertente, pode ser relacionada diretamente aos compostos químicos presentes no solo. Os teores de Fe e matéria orgânica interferem juntos na cor do solo, em profundidade (Tabela 5), como na topossequência estudada.

Em geral, a distribuição total dos íons livres de Fe é menor no perfil T5 (Gleissolo) em relação aos Latossolos (Anexo B). Nos perfis de Latossolo Vermelho do topo e terço superior da vertente (T1 e T2), pode haver predomínio de hematita (óxido de Fe) como agente pigmentante, conforme sugerido por Richardson e Daniels (1993). À jusante, outros compostos imóveis de Fe de baixa solubilidade como a goethita começam a predominar em relação à hematita, tornando as cores cada vez mais amarelas, se não mascaradas pela matéria orgânica (SCHWERTMANN, 1993). No perfil de T3 (LVAd), mesmo com conteúdo de hematita alto, a proporção de goethita pode ser elevada o suficiente para tornar a cor do solo vermelho-amarela. Em T4, perfil de Latossolo Amarelo, já deve predominar o Fe na forma de goethita (oxidróxido) como agente de pigmentação mais ativo.

Os horizontes A e E, em T5, possuem cores mais acinzentadas provavelmente devido a quantidades insuficiente de agentes pigmentantes, sendo a cor dominante a dos próprios grãos minerais que compõem os horizontes (RABENHORST; PARIKH, 2000), evidenciado pela menor proporção de íons livres de Fe no perfil T5. Isto pode ainda indicar perda de Fe, redução de Fe(III) a Fe(II) (BREEMEN; BUURMAN, 1998) ou substituição do  $Fe^{+3}$  por  $Al^{+3}$  (SCHWERTMANN, 1993), devido a um pequeno incremento no teor de  $Al^{+3}$  observado no horizonte Btg2 (T5), que possui o menor teor de Fe na topossequência. Sob condições anaeróbicas, geralmente induzidas por drenagem insuficiente, as partículas de Fe(III) se reduzem a Fe(II) e tornam-se solúveis, levando à mobilização do Fe (solúvel) e conseqüente segregação de óxidos de Fe e formação de algumas zonas de depleção (claras) e outras de enriquecimento (avermelhadas) (RABENHORST; PARIKH, 2000), representadas por mosqueados e nódulos (concreções) nos horizontes glei (BREEMEN; BUURMAN, 1998), como em T5 (Tabela 5).

Nos horizontes superficiais, as cores mais escuras são devido à influência da matéria orgânica e atividade biológica (RABENHORST; PARIKH, 2000), como no horizonte A da topossequência. À medida que o teor de matéria orgânica decresce, em profundidade (Anexo B), a cor se torna menos acinzentada (maior croma) nos perfis T1 a T4 (Latossolos) e mais clara (maior valor) e menos intensa (menor croma), em T5 (Gleissolo) (Tabela 5).

### 2.3.2 Espaço poroso e microestrutura

A caracterização detalhada do espaço poroso do solo é de fundamental importância para o entendimento do funcionamento físico-hídrico do solo e para o desenvolvimento das plantas.

A constituição física do solo expressa pela forma, tamanho e arranjo (fábrica) dos poros e das partículas sólidas constitui a estrutura do solo, incluindo desde as partículas primárias até os conjuntos formados por estas partículas (BREWER, 1976).

A análise de imagens realizada contabiliza apenas macro e mesoporos. Conforme a classificação de Bullock et al. (1985), os mesoporos possuem diâmetros entre 50 a 500  $\mu\text{m}$  e os macroporos, de 500 a 5000  $\mu\text{m}$ . Quaisquer microporos que tenham sido contabilizados são desprezíveis. Porém, a análise é realizada em uma imagem bidimensional, com a representação do espaço poroso desconsiderando aspectos tridimensionais de continuidade entre poros, surgindo a definição de poróide por Moran et al. (1988), corretamente utilizada para o espaço poroso contabilizado em função da área, e não do volume.

A distribuição da porosidade total, calculada a partir da densidade de partículas e do solo (Tabela 6), foi similar à porosidade total calculada por análise de imagens (Figura 9).

Em todas as amostras de superfície (horizonte A) foi constatada maior porosidade total (Figura 9), diretamente relacionada ao maior teor de matéria orgânica (Anexo B), indicando que maior atividade biológica favorece a formação de macroporos.

Em geral, houve um decréscimo na porosidade total em profundidade (Figura 9). No Latossolo Vermelho (T1 e T2), esta redução foi uniforme do horizonte A para o Bw, com variações desprezíveis em T3 (LVAd) e T4 (LAd). Porém, a porosidade do horizonte Bw dos Latossolos se destaca da porosidade em Btg2, do Gleissolo. Os principais fatores que influem nesta distribuição são a estrutura densa, incremento em argila (Figura 8) e aumento na densidade do solo (Tabela 6) no horizonte Btg2 do perfil T5 (Gleissolo).

No perfil de Gleissolo, o horizonte A apresentou a maior porosidade total (Figura 9), ligada ao alto teor de areia (Figura 8) e matéria orgânica (Anexo B). No horizonte Eg houve elevação na área ocupada de poros em relação aos horizontes sub e sobrejacente, principalmente à estrutura predominante de grãos de areia simples, evidenciada pelo valor máximo de areia (Figura 8) obtido em toda a topossequência.

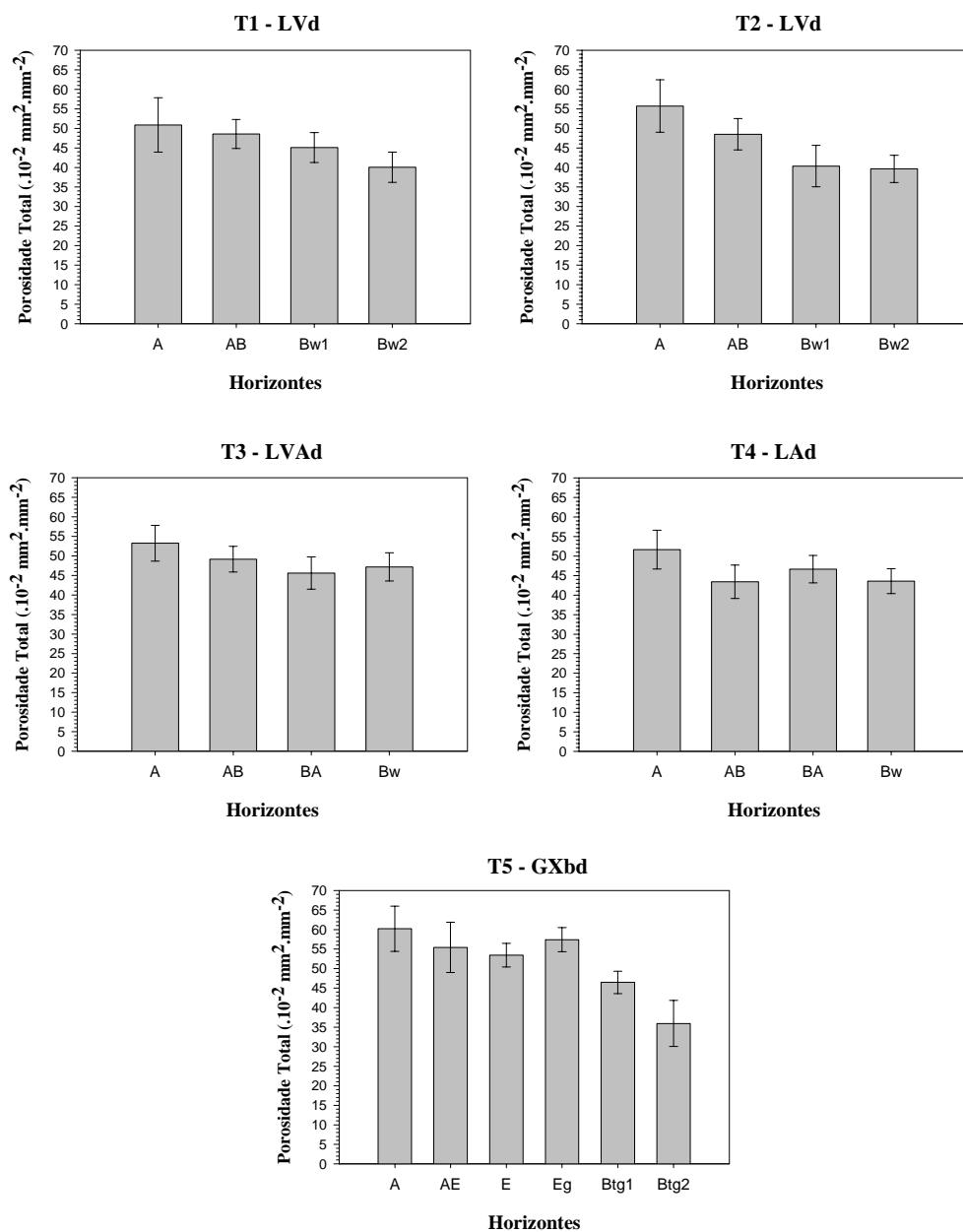


Figura 9 – Porosidade total dos cinco perfis descritos (média e desvio padrão)

As Figuras 10 a 15 fornecem informações sobre o número de poróides (em escala logarítmica para melhor visualização dos resultados) em função da classe de diâmetro equivalente (ou largura) e forma (arredondado, alongado e complexo). A condução e a retenção de água no solo dependem da forma dos poróides e conseqüentemente da estrutura.

Os poróides complexos podem ser definidos como estruturais, pois definem as unidades estruturais do solo, conforme Ringrose-Voase (1991). Por exemplo, a microestrutura de Bw, denominada de aglomerados de microagregados por Cooper (1999), é composta por poros complexos, mamelonares e policôncavos. No horizonte A os poróides complexos representam a unidade estrutural de empilhamento de grãos simples.

De acordo com Ringrose-Voase e Bullock (1984), os poros de empilhamento, em geral, resultam do empacotamento de grãos simples e/ou agregados. As funções principais deste tipo de poros no solo são tornar a infiltração de água mais rápida em detrimento do seu armazenamento e facilitar a penetração de raízes. Entretanto, no caso do presente estudo, a retenção de água é prejudicada devido à área muito grande ocupada por estes poróides.

Como o procedimento de determinação da classe de diâmetro foi o mesmo para poróides arredondados e complexos (Eq. 5), o diâmetro equivalente de um poróide complexo deve ser considerado o mesmo de um poróide arredondado. Por exemplo, o poróide complexo que representa a estrutura do horizonte Bw, do tipo mamelonar e policôncavo, intercalando os aglomerados de microagregados, possui um diâmetro equivalente ao de um poróide arredondado e vazio de mesma classe de diâmetro, que é calculada em função da área do poróide.

Em todos os horizontes estudados na topossequência dominam os poróides complexos de diâmetros equivalentes maiores do que 1000  $\mu\text{m}$  (Figuras 10 a 15). Para as classes de solo estudadas, este tipo de poróide (quanto à forma, área e diâmetro) representa poros de empilhamento simples e composto (BREWER, 1976) ou complexo (BULLOCK et al., 1985). Os poros de empilhamento simples predominam em solos de textura arenosa onde são formados pelo empilhamento dos grãos de areia. Nos horizontes superficiais dos solos estudados, estes são bastante expressivos, de acordo com as imagens das Figuras 10 a 15. Os poros de empilhamento composto são formados pelo empilhamento de agregados. Quando no horizonte ocorre uma mistura de grãos e agregados, o tipo de poro formado por esta combinação é denominado de empilhamento complexo (BULLOCK et al., 1985), predominante nos horizontes Bw dos Latossolos observados na topossequência (imagens das Figuras 10 a 13).

Um indivíduo de poróide complexo, como representado em todas as imagens dos horizontes da topossequência (Figuras 10 a 15), é formado pelo empilhamento de grãos simples e/ou aglomerado de microagregados. Então, pode-se inferir que quanto menor a área ocupada pelos indivíduos e maior a sua quantidade, menor será a conectividade entre os poróides.

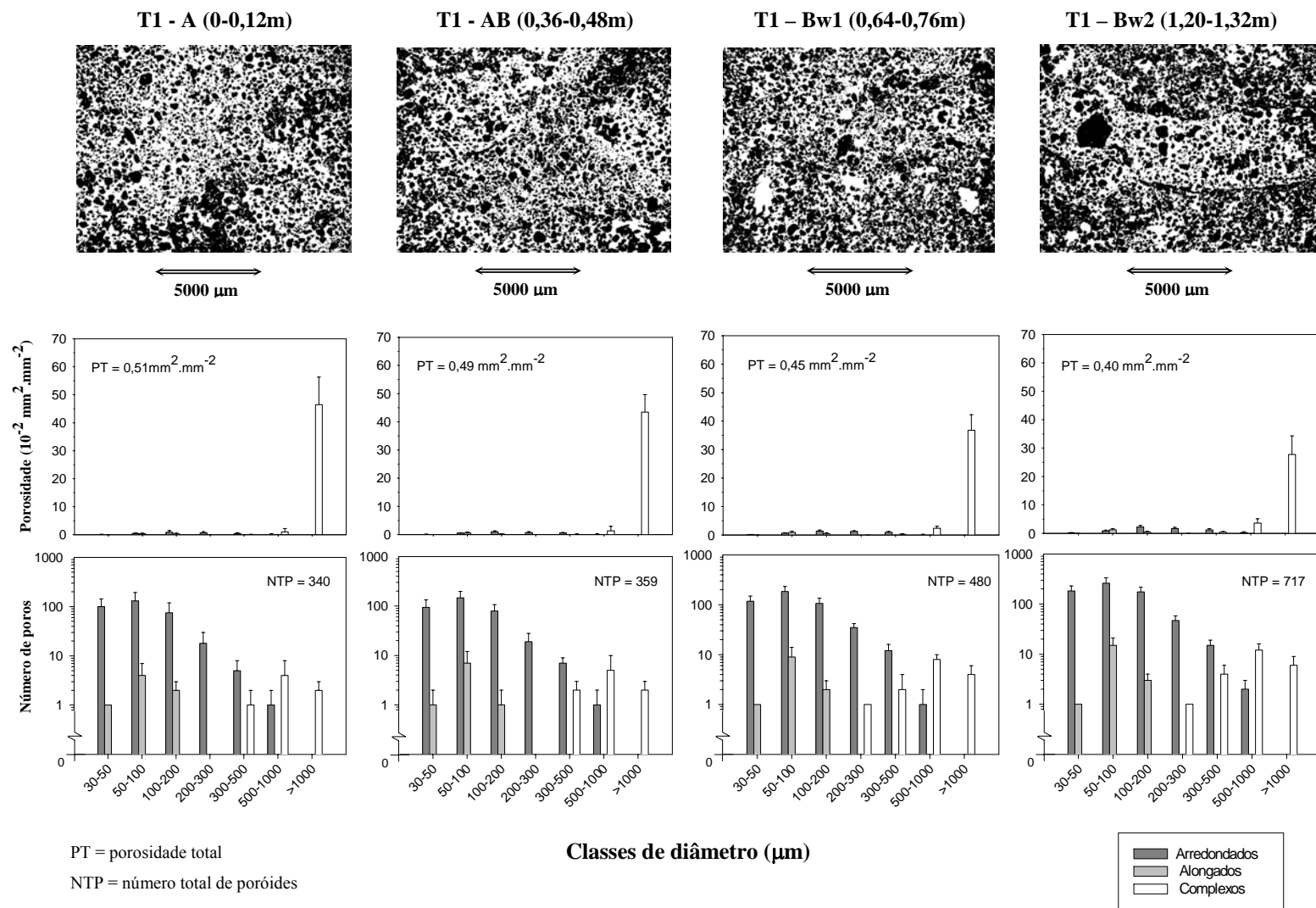


Figura 10 – Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto) e distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro (média e desvio padrão). Latossolo Vermelho distrófico típico (T1), horizontes A a Bw2

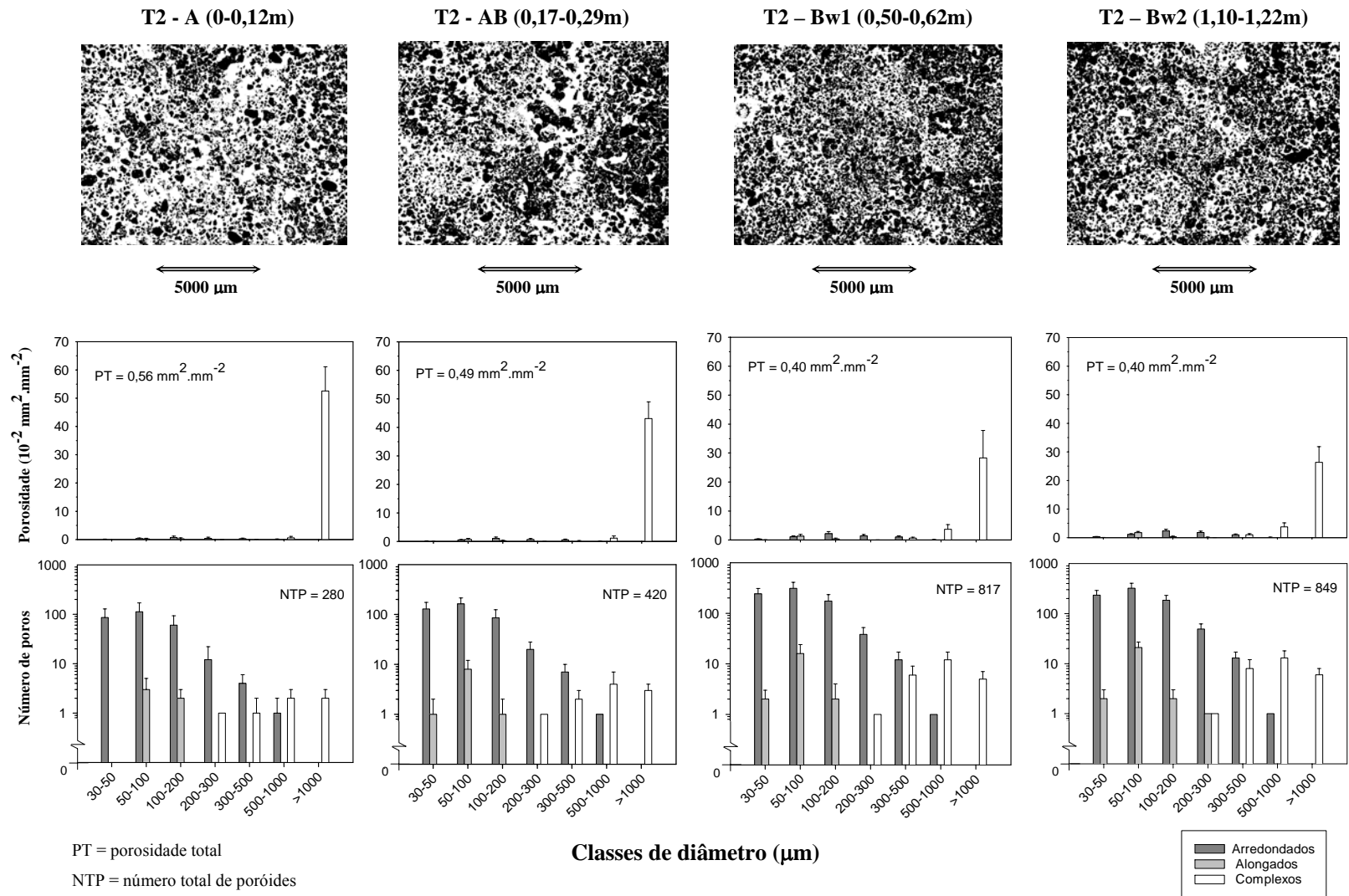


Figura 11 – Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto) e distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro (média e desvio padrão). Latossolo Vermelho distrófico típico (T2), horizontes A a Bw2



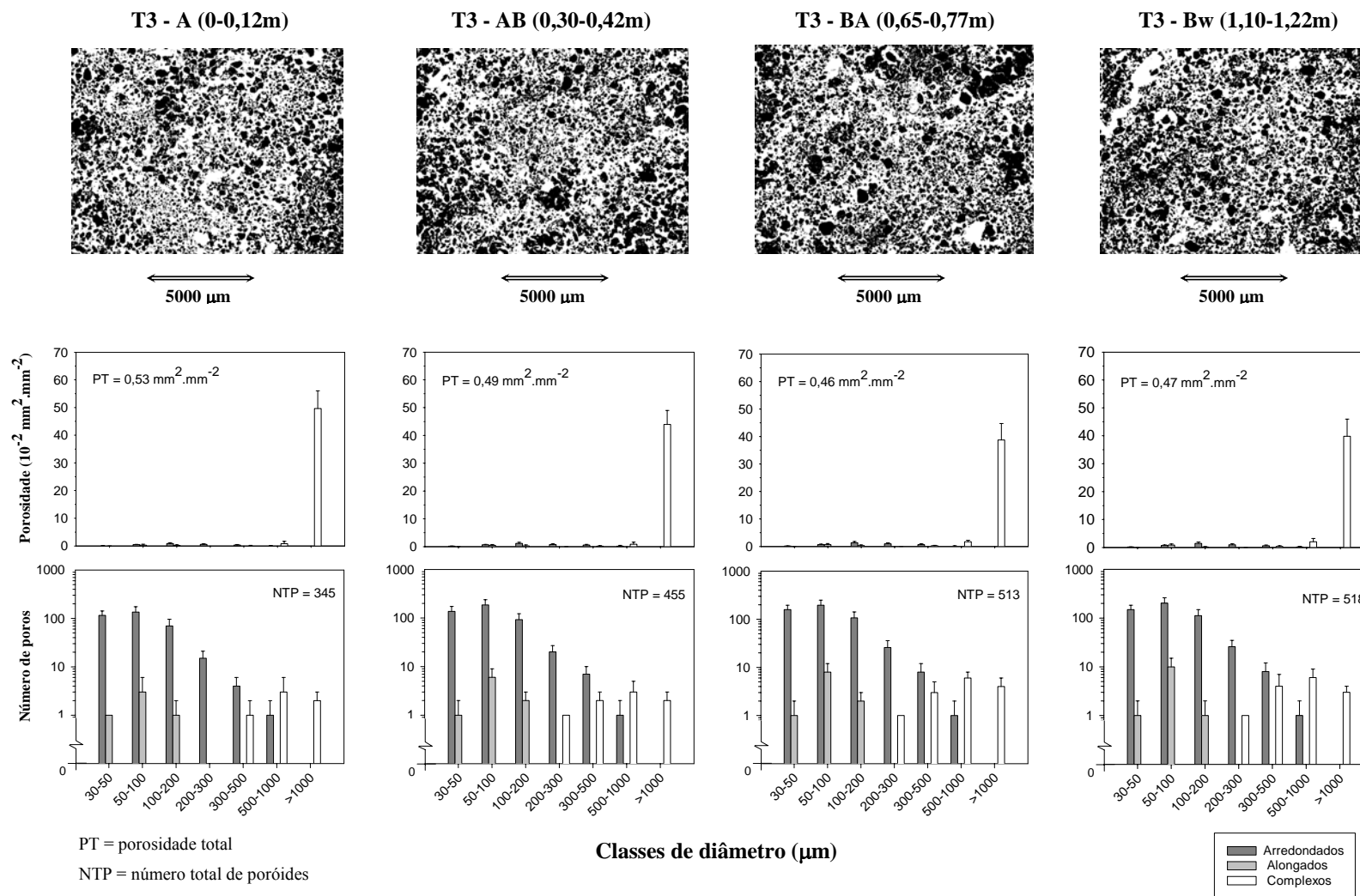


Figura 12 – Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto) e distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro (média e desvio padrão). Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (T3), horizontes A a Bw

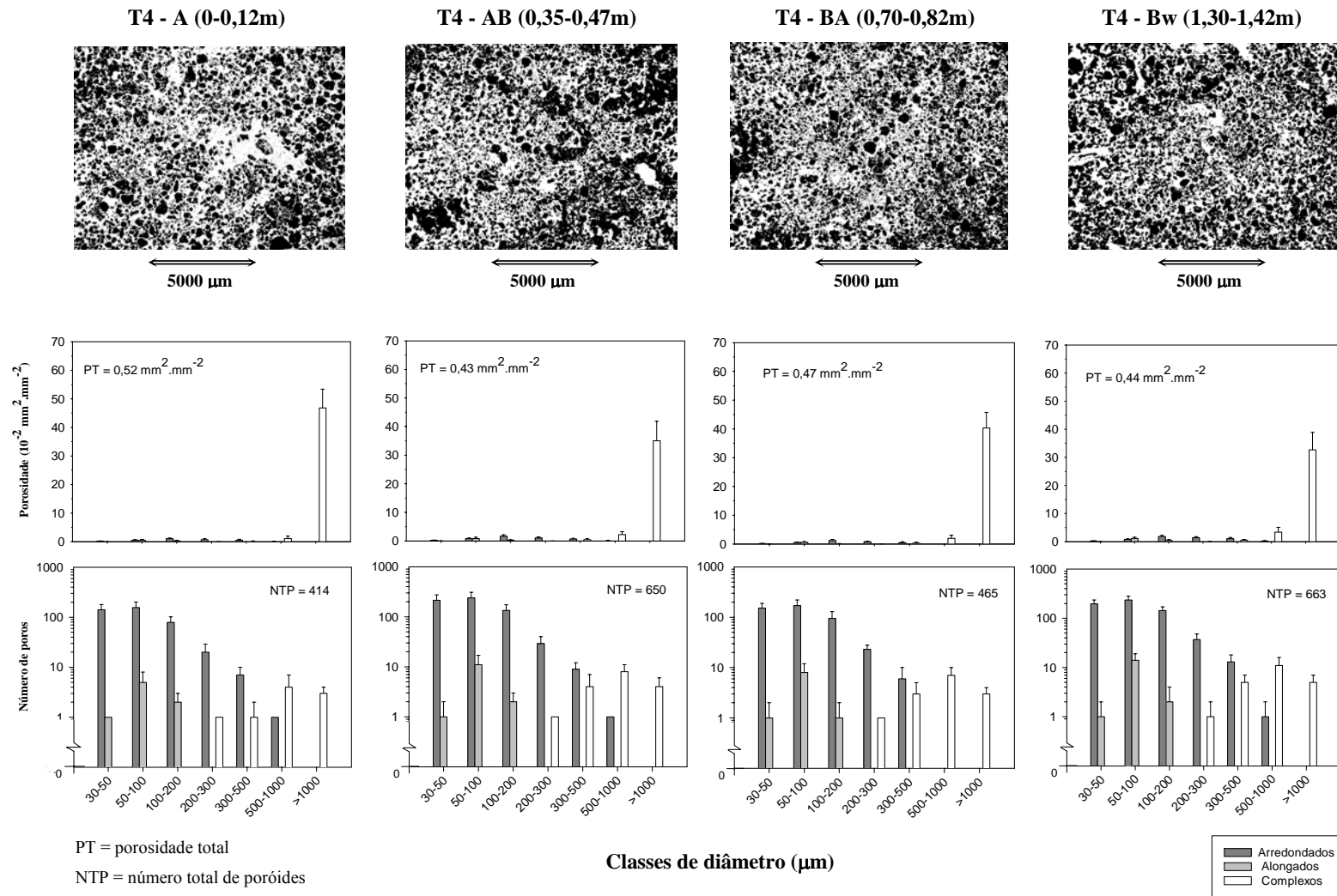


Figura 13 – Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto) e distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro (média e desvio padrão). Latossolo Amarelo distrófico típico (T4), horizontes A a Bw

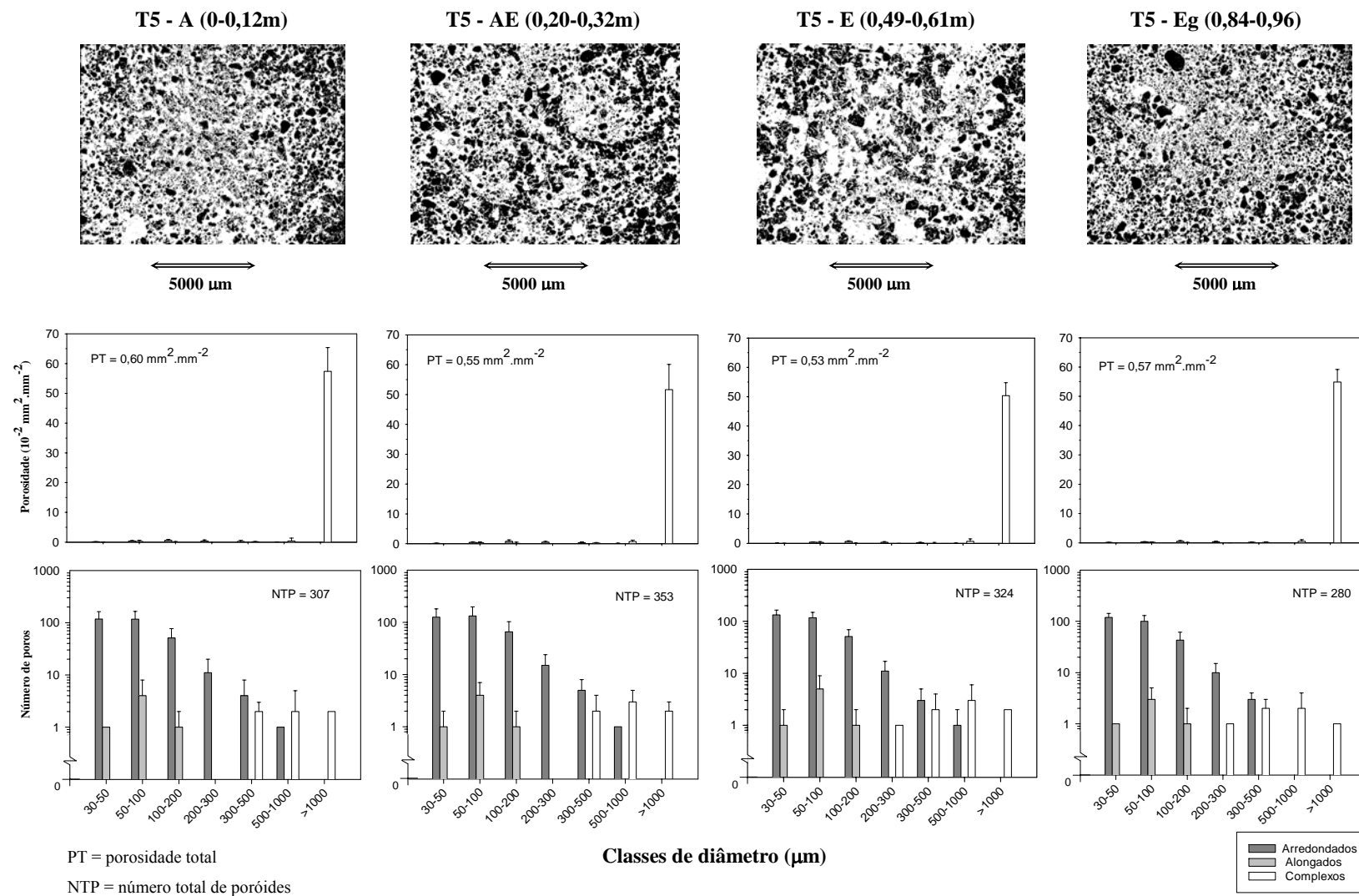


Figura 14 – Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto) e distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro (média e desvio padrão). Gleissolo Háplico Tb distrófico argissólico (T5), horizontes A a E

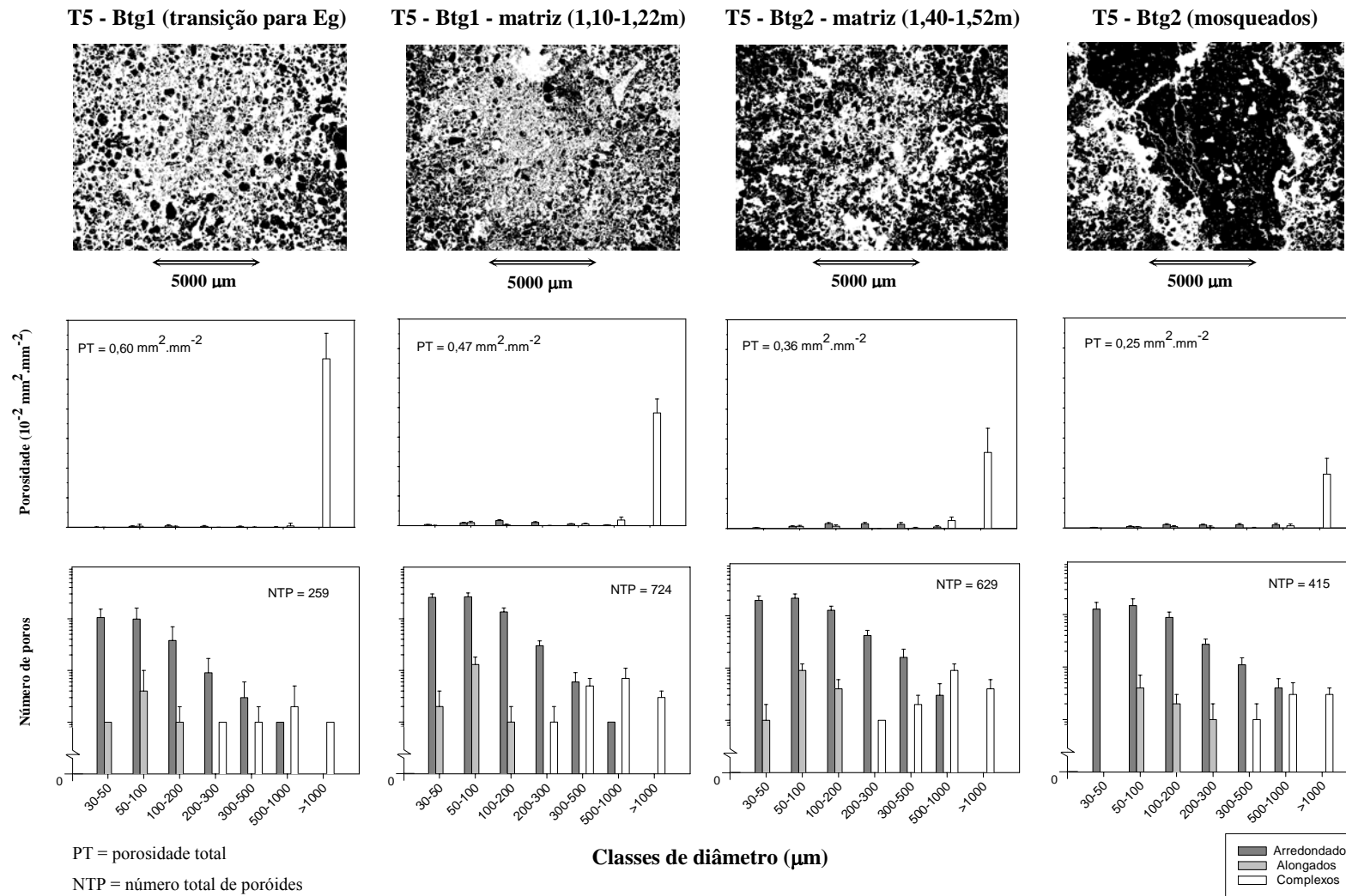


Figura 15 – Imagens binarizadas (porosidade em branco e fase sólida em preto) e distribuição do número de poros e porosidade total em classes de diâmetro (média e desvio padrão). Gleissolo Háptico Tb distrófico argissólico (T5), horizontes Btg1 (transição para Eg e matriz) e Btg2 (matriz e mosqueados)

A tendência geral em todos os perfis de solo é o aumento no número total de poros (NTP) (Figuras 10 a 15) em profundidade, alcançando os maiores valores nos perfis de Latossolo Vermelho (T1 e T2), no topo e terço superior da vertente. O aumento em número é distribuído principalmente para os poróides complexos maiores que 300  $\mu\text{m}$ , arredondados entre 30 a 500  $\mu\text{m}$  e alongados de 50 a 100  $\mu\text{m}$ . Porém, os poros alongados e arredondados ocupam área desprezível e pouco contribuem para a porosidade total dos horizontes de solo analisados nesta topossequência. Outra tendência é em relação à área ocupada pela porosidade total. Enquanto a área ocupada pelos poróides complexos maiores que 1000  $\mu\text{m}$  diminui, acompanhando a distribuição da porosidade total, a área ocupada pelos outros tipos de poróides aumenta em profundidade, principalmente os poróides complexos de diâmetro equivalente de 500 a 1000  $\mu\text{m}$ .

Observa-se no horizonte A, em todos os solos, menor número de poróides complexos maiores que 1000  $\mu\text{m}$  que ocupa maior área em relação aos outros horizontes (Figuras 10 a 15). Isto pode exprimir o predomínio de uma microestrutura de “microagregados intergranulares” (BULLOCK et al., 1985), como observado nas imagens das Figuras 10 a 15. A conectividade dos espaços vazios intergranulares é alta, causada pela textura mais arenosa e elevado teor de matéria orgânica que confere ao solo maior estabilidade de agregados.

Em geral, nos horizontes mais profundos o maior número de poróides complexos de diâmetro equivalente  $> 1000 \mu\text{m}$  ocupa menor área em relação à superfície e poróides complexos de 500 a 1000  $\mu\text{m}$  ocupam área mais expressiva do que em superfície (Figuras 10 a 15). Isto sugere uma microestrutura complexa (BULLOCK et al., 1985), formada por mais de um tipo de estrutura. Em Bw (T1 a T4), predomina a microestrutura de aglomerados de microagregados, representada por poros de empilhamento complexo ou poróides complexos (Figuras 10 a 13). Neste caso, os microagregados aglomeram mais entre si e entre os grãos simples presentes, interceptando mais os espaços vazios, o que pode diminuir a conectividade interagregados aparente na imagem 2-D.

No perfil T5, Gleissolo Háptico, a porosidade total decresce uniformemente de A para Btg2, com exceção do horizonte Eg, com porosidade elevada em relação ao perfil (Figuras 14 e 15). A ausência de poróides arredondados de diâmetro equivalente de 500 a 1000  $\mu\text{m}$  no horizonte Eg, na escala observada, evidencia o predomínio de poros de empilhamento de grãos simples sem espaços vazios interceptados (Figura 14) e uma menor agregação do que em E, definindo o caráter glei no horizonte Eg (imagens da figura 14).

A transição de Eg para Btg1 (perfil T5) já é mais abrupta que nos outros horizontes (Figura 15), representada pela redução de porosidade e aumento substancial no número de poróides arredondados de diâmetro equivalente menor que 500  $\mu\text{m}$ , alongados de 50 a 100  $\mu\text{m}$  e principalmente complexos de 200 a 1000  $\mu\text{m}$ . Isto reflete diretamente uma mudança na estrutura que define o horizonte Btg1. A microestrutura torna-se mais densa, pois mais poróides complexos maiores que 1000  $\mu\text{m}$  ocupam área menor do que em Eg e os poróides complexos de 300 a 1000  $\mu\text{m}$  estão em maior número e área em relação a Eg. A transição de Eg para Btg1, na amostra estudada, foi promovida pela penetração de raízes de Eg em Btg1.

No perfil de Gleissolo (T5), ambos os horizontes Btg1 e Btg2 são mais densos do que os outros horizontes do perfil. Porém, o horizonte Btg2 apresenta material argiloso “cimentando” ou entremeando os grãos de areia, enquanto a microestrutura de Btg1 é complexa, com zonas mais adensadas misturadas a outras de empilhamento complexo (imagens da Figura 15). A estrutura de Btg2 é refletida na sua distribuição de poros. O número de poróides arredondados de diâmetro de 500 a 1000  $\mu\text{m}$  foi o máximo atingido na topossequência e o número de poróides de 200 a 500  $\mu\text{m}$  foi grande em comparação com os outros horizontes do perfil. Isto representa cavidades bem delimitadas e pouco interconectadas, podendo afetar o desenvolvimento das raízes das plantas.

Na transição da microestrutura predominante em Btg2 para os mosqueados (Figura 15), nota-se que poróides alongados de 200 a 300  $\mu\text{m}$  aparecem, tanto na transição quanto dentro dos mosqueados, nos quais a microestrutura é denominada “trincada” por Bullock et al. (1985). Estes poróides são significativos no movimento de água no solo, mas ocupam área desprezível.

A partir da análise de imagens, é possível ainda determinar o grau de pedalidade da microestrutura, proposto por Bullock et al. (1985), definido como forte para unidades (de material sólido) envolvidas totalmente por espaços vazios; moderado, para unidades conectadas a outras em menos de um terço de seu diâmetro; e fraco para unidades conectadas em um a dois terços do seu diâmetro. Nos perfis de solo estudados, os graus de pedalidade encontrados foram: forte, na maioria dos horizontes, caracterizado por microestruturas intergranulares em geral; moderado, na microestrutura mais densa predominante em Btg2 (T5); e fraco, dentro dos mosqueados em Btg2 (T5), devido a pequenas cavidades (poróides arredondados) (Figura 15).

A distribuição da porosidade realizada em classes de diâmetro (em função da área) na análise de imagens permite comparações com outros dados de diâmetro de poros, assim como os obtidos pela curva de retenção de água no solo (BULLOCK; THOMASSON, 1979).

### 2.3.3 Atributos físico-hídricos

#### 2.3.3.1 Retenção de água no solo

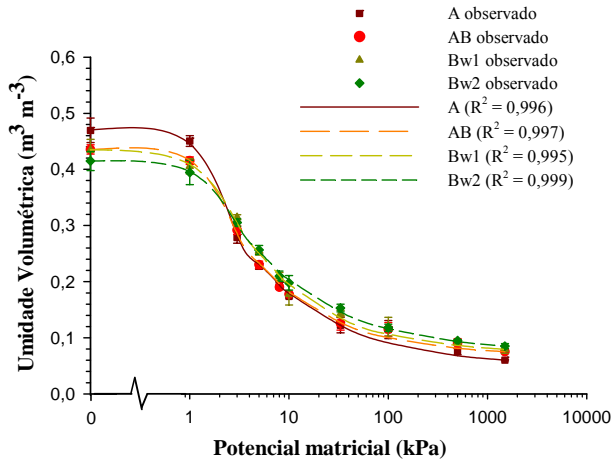
A caracterização físico-hídrica do solo é realizada basicamente pela curva de retenção de água no solo (Figuras 16 e 17). A partir dela, são estimados importantes parâmetros de qualidade física do solo (DEXTER, 2004) como macro e microporosidade e condutividade hidráulica. A textura, estrutura e conseqüentemente a porosidade alteram a retenção de água no solo.

O diâmetro de poros pode ser obtido a partir do potencial mátrico (ou sucção), de acordo com Marshall (1959), considerando o diâmetro de poros igual a 0,15 dividido pelo potencial mátrico. Isto é possível porque a força com que a água é retida em um poro depende do seu diâmetro (BULLOCK; THOMASSON, 1979). Com esta informação, pode-se estimar a macro e microporosidade do solo. Considerando a classificação de tamanho de poros de Bullock et al. (1985), os microporos possuem diâmetro menor do que 50  $\mu\text{m}$ , ou seja, relacionado ao potencial matricial de 6 kPa. Os poros acima de 50  $\mu\text{m}$  de diâmetro são denominados meso e macroporos.

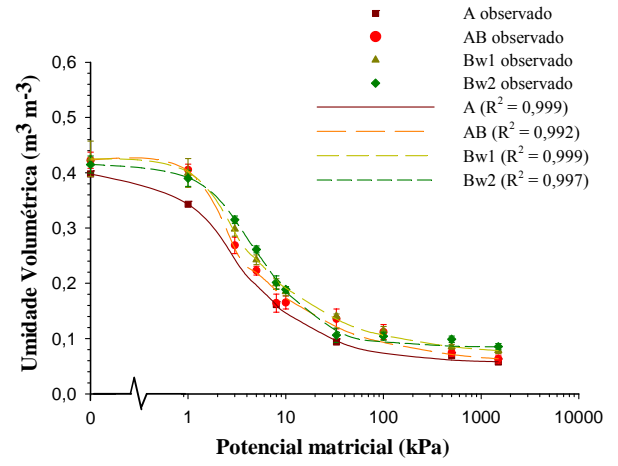
A porosidade total, incluindo macro, meso e microporos, pode ser estimada tanto pela umidade de saturação (potencial matricial nulo) (Figuras 16 e 17) quanto a partir de dados de densidade (Tabela 6). Estes valores podem ainda ser comparados à porosidade total visualizada na análise de imagens (Figura 9), que quantifica apenas meso e macroporos.

Nos horizontes de superfície em toda a toposseqüência, a inclinação das curvas em relação ao eixo do potencial matricial (Figuras 16 e 17) é maior, ou seja, a água é drenada rapidamente e é pouco retida. Este comportamento está diretamente ligado à elevada macroporosidade, formada por poróides complexos de diâmetro equivalente maior que 1000  $\mu\text{m}$  (Figuras 10 a 15), que representa uma microestrutura de empilhamento de grãos simples.

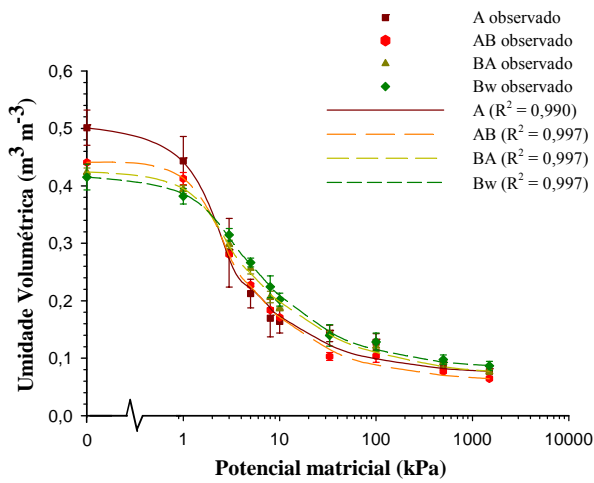
Nos Latossolos (T1 a T4), os horizontes Bw apresentam menor porosidade total (umidade de saturação) e drenam até atingir o ponto de murcha permanente (1500 kPa), cuja umidade atingida é próxima ao do horizonte A (Figura 16). Isto ocorre pelos microagregados aglomerados que formam o horizonte Bw, reduzindo o número de macroporos em relação ao horizonte A, cuja microestrutura é composta por grãos simples. Porém, a inclinação da curva do horizonte Bw em relação ao eixo do potencial matricial é menor do que no horizonte A. Isto ocorre devido à maior quantidade de microporos, que provocam um pequeno incremento de retenção de água em Bw.



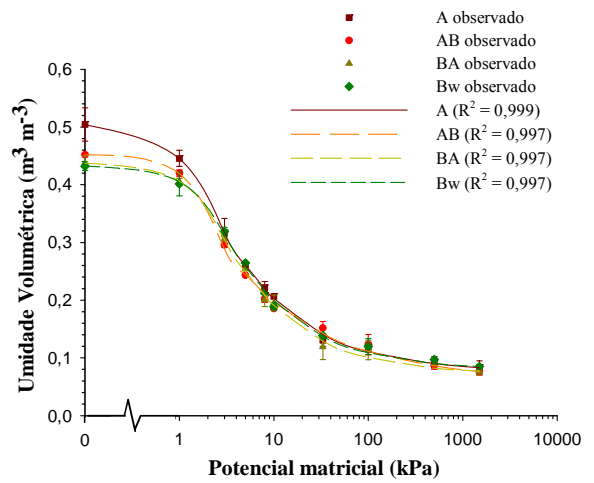
Perfil T1 - LVd



Perfil T2 - LVd



Perfil T3 - LVAd



Perfil T4 - LAd

Figura 16 – Curvas de retenção dos horizontes dos Latossolos (T1 a T4) com valores observados (média e desvio padrão) e ajustados de umidade volumétrica do solo



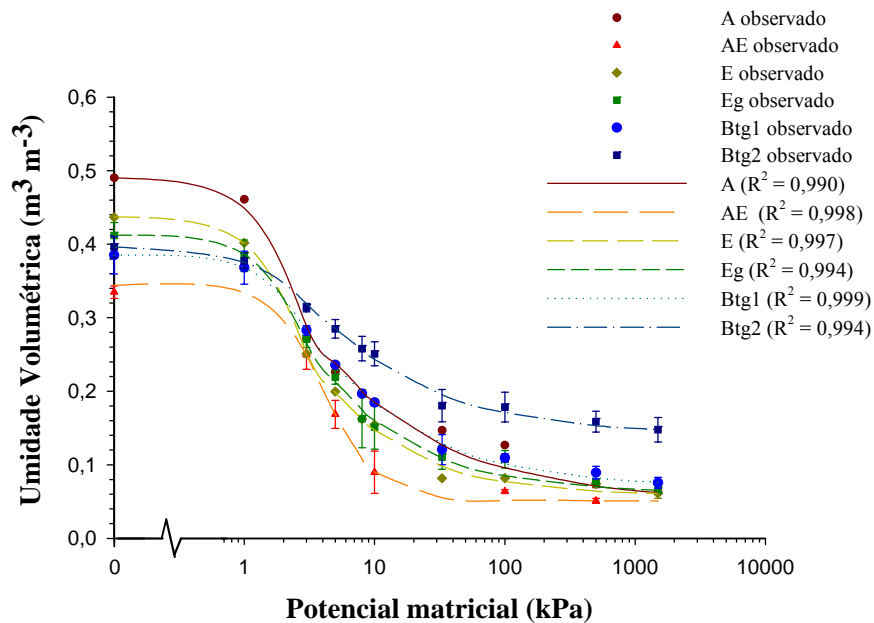


Figura 17 – Curvas de retenção dos horizontes do Gleissolo Háplico (Perfil T5) com valores observados (média e desvio padrão) e ajustados de umidade volumétrica do solo

O funcionamento físico-hídrico distinto no perfil T5 reproduz as mudanças de grau e tipo de estrutura ao longo do perfil, de grumosa fraca em A e blocos subangulares fracos em AE, E e Eg a blocos subangulares de grau moderado em Btg1 a forte em Btg2 (Tabela 5).

A elevada retenção de água em Btg2 (Figura 17) é provocada pelo incremento em argila (Figura 8) e a microestrutura mais densa constituída de argila envolvendo e interconectando os grãos de areia. A macroporosidade determinada por esta microestrutura possui  $0,06 \text{ mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$  de poróides arredondados (cavidades) de 30 a 1000  $\mu\text{m}$  (Figura 15). Estes poros apresentam menor conectividade do que os poros de empilhamento dos outros horizontes do perfil, o que também favorece a maior retenção de água. A menor inclinação da curva de Btg2 em relação ao potencial matricial (Figura 17) indica que a drenagem neste horizonte é lenta.

Tanto para os horizontes Bw1 e Bw2 no perfil T2 (LVd) quanto para os horizontes Btg1 e Btg2 no perfil T5 (GXbd), a porosidade total estimada por dados de densidade foi semelhante (Tabela 6), assim como a umidade de saturação atingida nas curvas de retenção (Figuras 16 e 17). A porosidade total, entretanto, representa a somatória de macro e microporos. Nos horizontes Bw (T2) macroporos dominam sobre microporos, enquanto que nos horizontes Btg (T5) o domínio é de micro sobre macroporos, o que confere uma maior retenção nestes horizontes (Btg1 e Btg2).

### 2.3.3.2 Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica é afetada por componentes do solo tais como o espaço poroso e o conteúdo de matéria orgânica (GLINSKI; LIPIEC, 1990).

Na topossequência, foi avaliada a condutividade hidráulica saturada de campo (Kfs) nas posições de topo, representando o LVd (perfis T1 e T2), terço médio representando tanto o LVAd (T3) como o LAd (T4) e sopé (perfil T5) (Figura 18).

Segundo Reynolds e Elrick (1986), os valores de Kfs entre  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup> representam meios porosos de alta permeabilidade enquanto que na ordem de  $10^{-6}$  a permeabilidade é intermediária. Portanto, todas as camadas analisadas possuem permeabilidade alta, com exceção do horizonte Btg2 (T5) que é caracterizado como de permeabilidade intermediária (Figura 18).

Em geral, nos Latossolos (topo e terço médio da topossequência) a condutividade hidráulica aumenta em profundidade, enquanto no perfil de Gleissolo a condutividade é reduzida.

Em Latossolos, a estrutura granular muito pequena e forte do horizonte Bw possui condutividade hidráulica maior do que a estrutura em blocos subangulares de grau fraco no horizonte AB ou do que a estrutura grumosa ou granular de grau fraco do horizonte A (Tabela 5).

Em superfície (horizonte A) o teor de matéria orgânica é maior, com estrutura grumosa e textura mais arenosa, o que tornaria a condutividade hidráulica maior do que em Bw. Porém, a porosidade complexa dominante em ambos os horizontes se distingue em quantidade e área ocupada. Em Bw, o maior número de poróides ocupa uma menor área do que em A. Como em Bw a estrutura é definida como granular muito pequena, este tamanho corresponde a agregados menores do que 1 mm (1000  $\mu$ m). Como a classe de diâmetro dos poróides complexos é maior do que 1000  $\mu$ m (Figuras 10 a 13), portanto, esta classe está englobando os microagregados, ou seja, nas imagens podem ser visualizados os limites dos agregados que compõem a estrutura granular forte de Bw. Já no horizonte A, com macroestrutura grumosa pequena a média, ou no AB, em blocos subangulares pequenos a médios, os poróides complexos de diâmetro maior que 1000  $\mu$ m (Figuras 10 a 13), mesmo em maior área e menor número, indicam uma maior conectividade dentro da macroestrutura, com pouca coesão ou adesão, representadas pelo grau fraco descrito em campo. Porém, uma unidade de macroestrutura no caso de grumosa, em A, está na faixa de 1 a 10 mm, enquanto que uma unidade de blocos subangulares em AB está entre 5 a 50 mm. Portanto, o poróide não capta os limites entre as unidades estruturais, enquanto em Bw isto é possível.

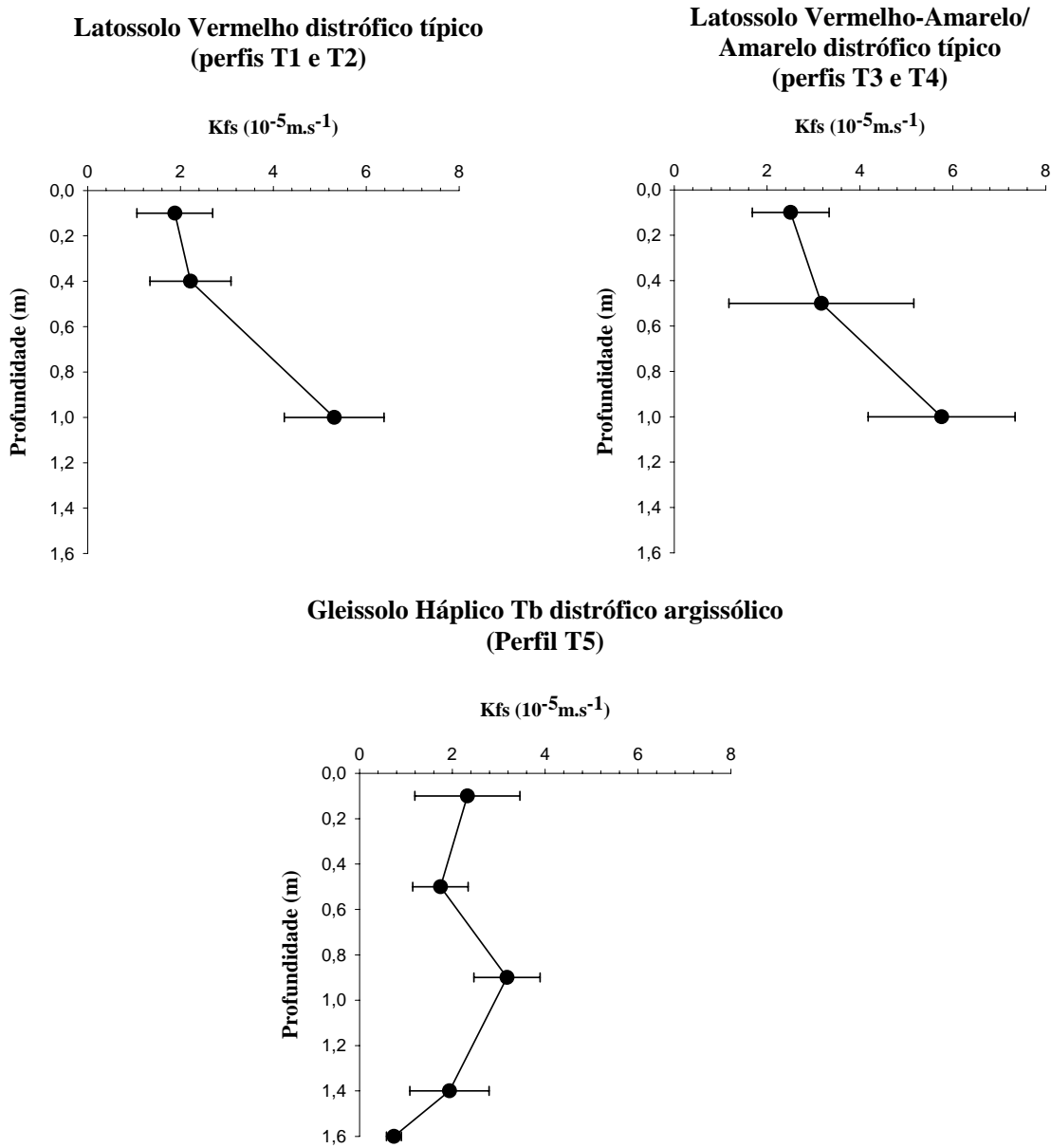


Figura 18 – Condutividade hidráulica saturada de campo (Kfs) média nos principais horizontes de solo no terço superior (perfis T1 e T2), terço médio (perfis T3 e T4) e sopé (perfil T5) da vertente (média e desvio padrão)

Portanto, a condutividade hidráulica nos Latossolos é definida pela macroestrutura em A e AB e pela estrutura granular muito pequena de grau forte que se pode avaliar no campo. Desta forma, os agregados em Bw formam maior quantidade de poros do que as unidades de macroestrutura em A e AB, obtendo-se maior condutividade hidráulica em Bw, mais permeável.

A maior condutividade hidráulica no horizonte Bw dos Latossolos (perfis T1 a T4) pode ainda ocorrer devido à presença de espaços formados por raízes em decomposição. Glinski e Lipiec (1990) informam que a proporção de raízes mortas e canais formados após a morte de raízes resulta em maior condutividade hidráulica saturada. Esta explicação é plausível, pois há uma feição vestigial desta formação no centro da imagem binária do horizonte Bw2 no perfil T1 (Figura 10), denominada de pedotúbulo. Na imagem, esta feição está preenchida por material sólido adjacente, mas preserva o formato original do canal que provavelmente foi aberto por uma raiz, que pode ser observado por uma menor agregação dentro do pedotúbulo. Isto pode ocorrer com frequência, já que a estrutura e porosidade deste horizonte são favoráveis à penetração de raízes e a permeabilidade é alta.

No Gleissolo, a maior condutividade hidráulica saturada ( $K_{fs}$ ) em Eg (Figura 18) pode ser explicada mais facilmente pela porosidade total obtida a partir da análise de imagens, pois a macroestrutura é a mesma em todos os horizontes de subsuperfície, em blocos subangulares (pequenos a médios). No horizonte Eg, só há apenas um poro complexo de diâmetro equivalente maior do que 1000  $\mu\text{m}$  representando a área quase total da imagem (Figura 14), podendo indicar maior conectividade do que no horizonte E, com porosidade total menor e distribuída em dois poros complexos de diâmetro equivalente maior do que 1000  $\mu\text{m}$  (sem variância ou DP próximo a zero) ocupando área expressiva. Isto pode indicar uma menor conectividade entre os espaços vazios que constituem o poróide complexo em E, cuja condutividade é menor do que em Eg. No horizonte Btg2 a macroestrutura em blocos subangulares é de grau forte e a textura é mais argilosa (Tabela 5). Além disso, a retenção de água neste horizonte é bem maior do que nos horizontes mais superficiais (Figura 17). Como a inclinação da curva também é menor em relação ao potencial matricial, o movimento da água neste horizonte é mais lento. Isto é evidenciado pela porosidade distribuída em complexa de diâmetro equivalente maior que 1000  $\mu\text{m}$  e arredondada de 30 a 500  $\mu\text{m}$  (Figura 15), representando poros menos conectados em maior proporção do que nos outros horizontes.

A condutividade hidráulica saturada de todas as camadas analisadas não restringe o desenvolvimento de raízes. Isto porque os valores obtidos de condutividade hidráulica estão dentro da faixa na qual as raízes são capazes de absorver água, definida entre  $7,0 \cdot 10^{-7}$  a  $7,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  por Glinski e Lipiec (1990).

### 2.3.3.3 Variação sazonal da umidade do solo

O conteúdo de água no solo representa a capacidade do solo em fornecer água para as plantas. A principal fonte de água no solo é a chuva. Porém, uma parcela da água proveniente da chuva é interceptada pelo dossel das árvores, principalmente em florestas nativas, não atingindo a superfície do solo.

Os dados de volume de chuva (mm) (Figura 19) obtidos para cada coleta de 15 minutos exibem um clima estacional, com uma estação seca definida em alguns meses do ano, neste caso, atípico, de final de julho a final de setembro, quando normalmente o início ocorre em abril.

O comportamento físico-hídrico e a retenção de água nos solos (Figuras 16 a 18) são influenciados tanto pela textura e estrutura dos solos quanto pelos eventos pluviométricos (Figura 19). Em superfície (horizonte A), nos cinco perfis estudados, a oscilação de umidade no solo é muito freqüente com os picos de umidade seguindo imediatamente cada evento pluviométrico. Esta é a primeira camada a receber a água da chuva que atinge o solo. A porosidade total elevada e bastante interconectada nesta camada (Figuras 9 a 15) e a condutividade hidráulica também elevada (Figura 18), permitem uma condução intensa da água em profundidade. Além disso, a retenção de água é baixa (Figuras 16 e 17) e a curva de retenção mais inclinada indica drenagem acentuada e infiltração de água elevada em relação aos demais horizontes do perfil. Desta forma, a permanência de água no horizonte A é curta, levando de 3 a 12 dias consecutivos para atingir o valor inicial de umidade do período pré-evento chuvoso. Portanto, a baixa retenção de água na superfície do solo acarreta valores baixos de umidade volumétrica (próximos a  $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) (Figura 19) nesta camada e que podem estar relacionados a tensões elevadas, muito perto do ponto de murcha permanente (1500 kPa) (Figuras 16 e 17), assim como mencionado por Eiten (1990), sob vegetação de cerrado.

O fluxo da água em toda a toposequência é vertical. Isto é evidenciado pelas oscilações freqüentes da umidade durante o ano, mas que sempre se mantém em níveis baixos de umidade próximos ao ponto de murcha permanente, inclusive na estação chuvosa. A limitação de água comum tanto na estação seca do ano quanto durante as estações chuvosas foi observada também sob cerrado por Lathwell e Grove (1986). Este comportamento foi encontrado também por Quesada et al. (2004) em estudo sob cerrado, de modo que nos meses mais secos do ano ou um certo tempo após os eventos chuvosos, o conteúdo de água em superfície não diminuiu mais.

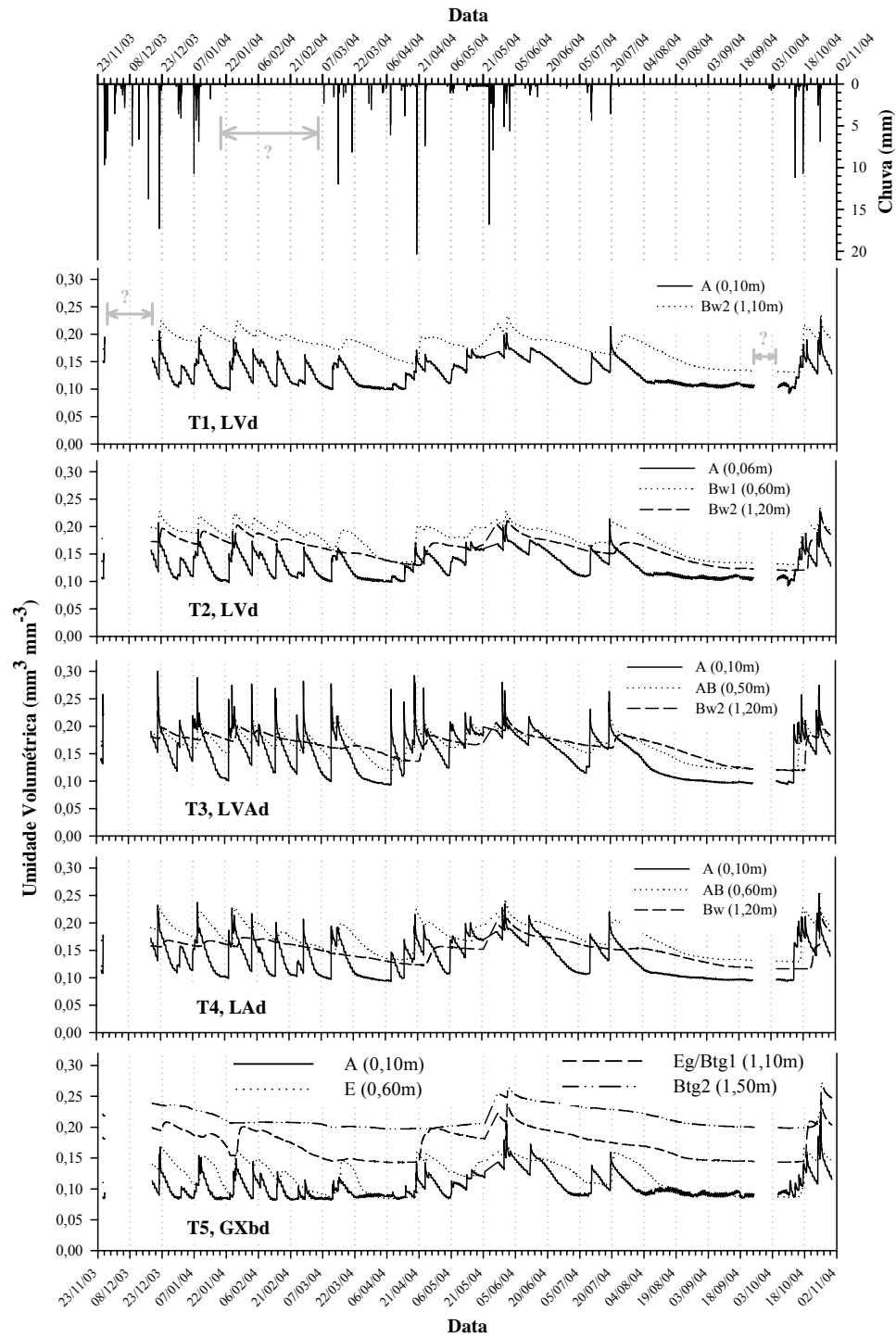


Figura 19 – Efeito das chuvas sobre a umidade do solo em diversos horizontes da topossequência estudada. Umidade volumétrica (mm<sup>3</sup>.mm<sup>-3</sup>) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 15 minutos. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Nos Latossolos (T1 a T4), em subsuperfície, o efeito das chuvas na umidade no solo é deslocado no tempo, ou seja, após eventos pluviométricos de volume menor que 4mm a umidade do solo continua decrescendo e de 4 a 10 mm podem ocorrer picos de elevação pequenos e rápidos (Figura 19). Somente quando o volume medido de chuva é maior que 10mm a umidade dos solos, em toda a topossequência, é capaz de aumentar atingindo a faixa de capacidade de campo, entre 10 e 33 kPa (Figuras 16 e 17). Os valores mínimos de umidade foram atingidos tanto no mês de abril (início da época seca) após um período de estiagem quanto nos meses de setembro a outubro (final da época seca). Porém, o mesmo ocorre em alguns períodos da estação chuvosa, representando períodos de estiagem.

A estrutura granular muito pequena e forte no Bw (T1 a T4) apresenta condutividade hidráulica tão alta quanto a estrutura grumosa ou granular de superfície (Figura 18 e Tabela 5). Este comportamento afeta o comportamento físico-hídrico do horizonte Bw que é muito semelhante ao horizonte A (Figura 19). As flutuações nos valores de umidade do solo em relação aos eventos chuvosos não são tão imediatas como no horizonte A, pois o pequeno incremento de argila em relação à superfície (Figura 8) já é suficiente para que a água fique mais retida a tensões maiores (Figura 16), devido à maior adesão da água às partículas coloidais (argila) e também pelo tempo que demora a água em chegar nos horizontes mais profundos.

Em T5 foram observados os menores valores de umidade nos horizontes A e E (Figura 19), devido à distribuição do tamanho de partículas mais grosseira no solo (arenosa) que compõe uma microestrutura de empilhamento de grãos simples e constitui uma porosidade interagregados bastante interconectada (Figura 14). Além disso, nestes horizontes a retenção é menor do que nos outros horizontes do perfil (Figura 17). Nos horizontes Btg, a estrutura é mais adensada (com maior expressão no Btg2) e o teor de argila é elevado sendo maior em Btg2 do que em Btg1 (Figura 8). A mudança da estrutura para blocos subangulares fortes em Btg2 (Tabela 5) confere maior retenção de água (Figura 17), maior umidade no solo em relação aos outros horizontes (Figura 19), e o menor valor de condutividade hidráulica (Figura 18). No horizonte Btg2, ocorre a menor flutuação na umidade do solo durante o ano. O valor mínimo atingido (Figura 19) é dependente da umidade residual (mínima) obtida na curva de retenção de água (Figura 17).

No ano monitorado, não foi observada saturação por água no horizonte Btg2 (T5), indicando que as condições de hidromorfia provavelmente ocorreram em um período pretérito ou se estabilizaram (RICHARDSON; DANIELS, 1993). O tempo necessário para se formar um horizonte glei bem desenvolvido provavelmente varia de anos a décadas (BREEMEN; BUURMAN, 1998). Deste modo não se pode afirmar que a flutuação do lençol freático tenha atingido este nível de profundidade no solo recentemente, o que torna a altura do lençol freático um elemento mais explicativo (teórico) do que indicativo de redução (CAMPOS et al., 2003).

Como mencionado por Pires Neto (2005), o sopé da vertente na parcela permanente está associado a um canal de primeira ordem. Como não há superficialmente nenhum curso d'água no local, isto pode ser evidência de um canal de água de menor grandeza desaparecido, comum em cerrados (AB'SABER, 1996). Pela evidência do desenvolvimento de zonas de oxidação representadas por mosqueados vermelhos (Tabela 5), o processo de gleização pode ter se estabilizado.

#### **2.3.4 Distribuição das raízes nos perfis de solo**

Para se obter a relação solo-água-vegetação, foi realizada a distribuição das raízes nos perfis de solo. As raízes exercem a função de suprir as necessidades de água e nutrientes das plantas. A porosidade ótima para as plantas é geralmente considerada em  $0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ . Na maioria dos horizontes da topossequência a porosidade total atingiu valores próximos ou até maiores que este (Tabela 6 e Figura 9).

De acordo com a descrição de campo (Anexo A), as raízes são mais abundantes em superfície do que em camadas mais profundas. Isto é confirmado pela análise da Figura 20.

Nas Figuras 21 a 25, apresenta-se a distribuição das raízes em classes de diâmetro. Foram consideradas neste estudo raízes arredondadas como aquelas que representam cortes transversais de raízes, que ocuparam área desprezível. As raízes alongadas representaram as individuais e as complexas compreendem raízes ramificadas e aglomeradas ou emaranhadas. Percebe-se que em todos os perfis estudados, a proporção de raízes aglomeradas é maior em superfície e decresce em profundidade e às vezes estão ausentes no horizonte mais profundo. Isto pode indicar que as raízes tornam-se mais esparsas em profundidade, ou seja, as raízes vão penetrando em locais diferentes para poder absorver o máximo de água individualmente.



No Latossolo Vermelho (T1 e T2) e Latossolo Amarelo (T4) predominam as raízes complexas maiores do que 20 mm nos horizontes A e AB (Figuras 21, 22 e 24), englobando raízes ramificadas e aglomeradas. Esta configuração das raízes pode indicar que a porosidade está sendo ocupada o máximo possível pelas raízes, para que o contato entre o solo e a raiz seja eficiente e a absorção de água nestes horizontes seja adequada. Isto é evidenciado no horizonte A, devido à baixa retenção de água (Figura 16) e à baixa permanência de água observada pela flutuação intensa de umidade (Figura 19). As raízes em Bw (T4), Bw1 e Bw2 (T1 e T2) tendem a se individualizar, como observado pelas raízes alongadas de diâmetros de 0,4 a 1,6mm (Figuras 21, 22 e 24) que dominam nestes horizontes. Esta faixa de diâmetro corresponde ao tamanho dos agregados presentes em Bw, granular muito pequena, com diâmetro em torno de 1,0 mm, facilitando a penetração das raízes. No Latossolo Vermelho-Amarelo (T3), as raízes complexas deixam de predominar em AB e Bw e a proporção é maior das raízes alongadas ou individuais (Figura 23). Neste caso, as raízes começam a seguir vias diferentes de penetração no solo, individualmente, provavelmente devido à maior interceptação dos poros ou aos microagregados mais aglomerados como observado para o horizonte Bw (T3) na Figura 12.

No perfil T5 (Gleissolo), a maior porosidade e textura mais arenosa influíram na maior área ocupada por raízes (Figura 25). A distribuição dos horizontes A, AE e E é semelhante a A e AB em Latossolos. Entretanto, o horizonte Btg2, mesmo retendo mais água durante o ano (Figura 17) apresenta a menor área ocupada por raízes, principalmente devido à estrutura mais densa.

Como a água se torna escassa em superfície por mais tempo (Figura 19), é preciso que as plantas possuam raízes mais profundas para suprir as necessidades hídricas. Eiten (1990) observou para cerrado que as raízes superficiais, predominantes, absorvem a maior quantidade da água do solo. Entretanto, a planta não absorve toda a água que poderia na época seca, apresentando adaptações ao déficit hídrico e nutricional (FURLEY, 1999).

Em geral, as raízes penetram a um diâmetro de poros maior que 60  $\mu\text{m}$ , sendo mais eficiente quando há um sistema contínuo de poros (GLINSKI; LIPIEC, 1990), como observado na maioria dos horizontes da topossequência (Figuras 10 a 15). Segundo Lilienfein et al. (2001), 40% do total de raízes em solos sob Cerrado ocupam os primeiros 0,30 m de profundidade, semelhante ao observado neste trabalho (Figura 20). Esta absorção intensa de água pelas raízes das plantas na superfície do solo pode estar interferindo também na maior oscilação da umidade do solo após cada evento chuvoso em relação aos horizontes subjacentes (Figura 19).

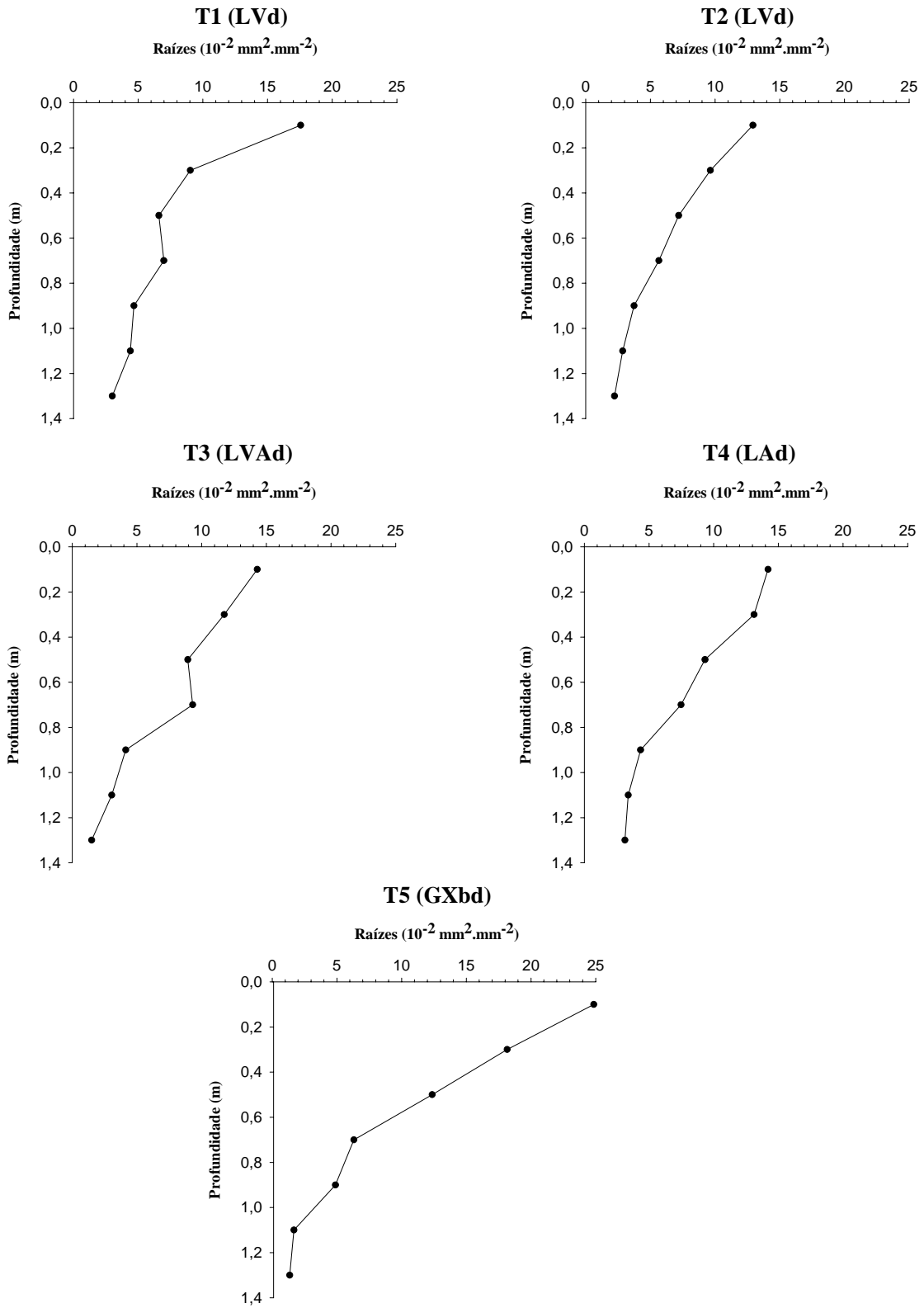


Figura 20 – Distribuição da área ocupada pelas raízes nos perfis de solo

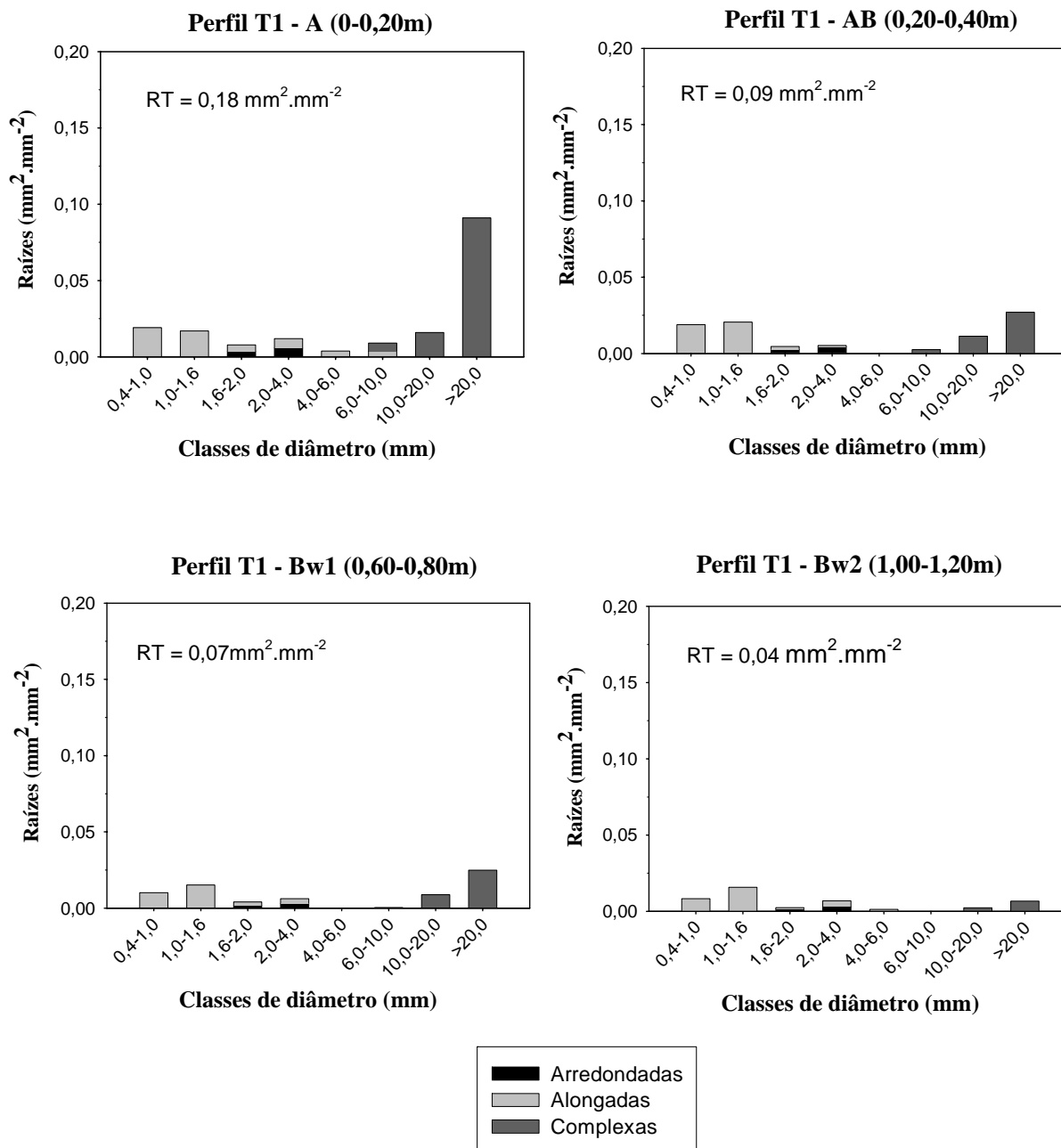


Figura 21 – Classes de diâmetro de raízes alongadas e arredondadas grandes e médias e complexas – raízes ramificadas ou aglomeradas, no Latossolo Vermelho (T1). RT = área total ocupada pelas raízes

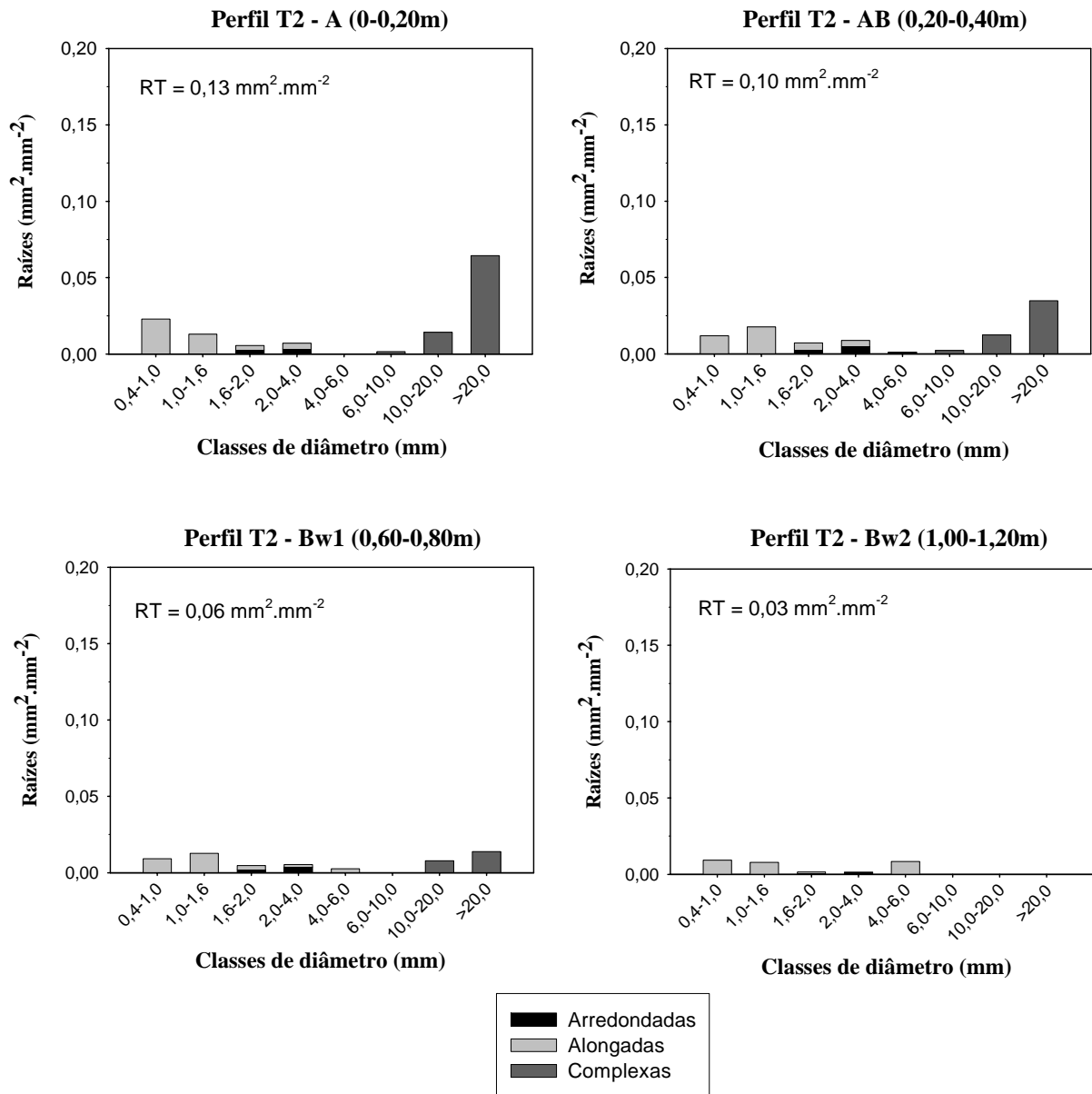


Figura 22 – Classes de diâmetro de raízes alongadas e arredondadas grandes e médias e complexas – raízes ramificadas ou aglomeradas, no Latossolo Vermelho (T2). RT = área total ocupada pelas raízes

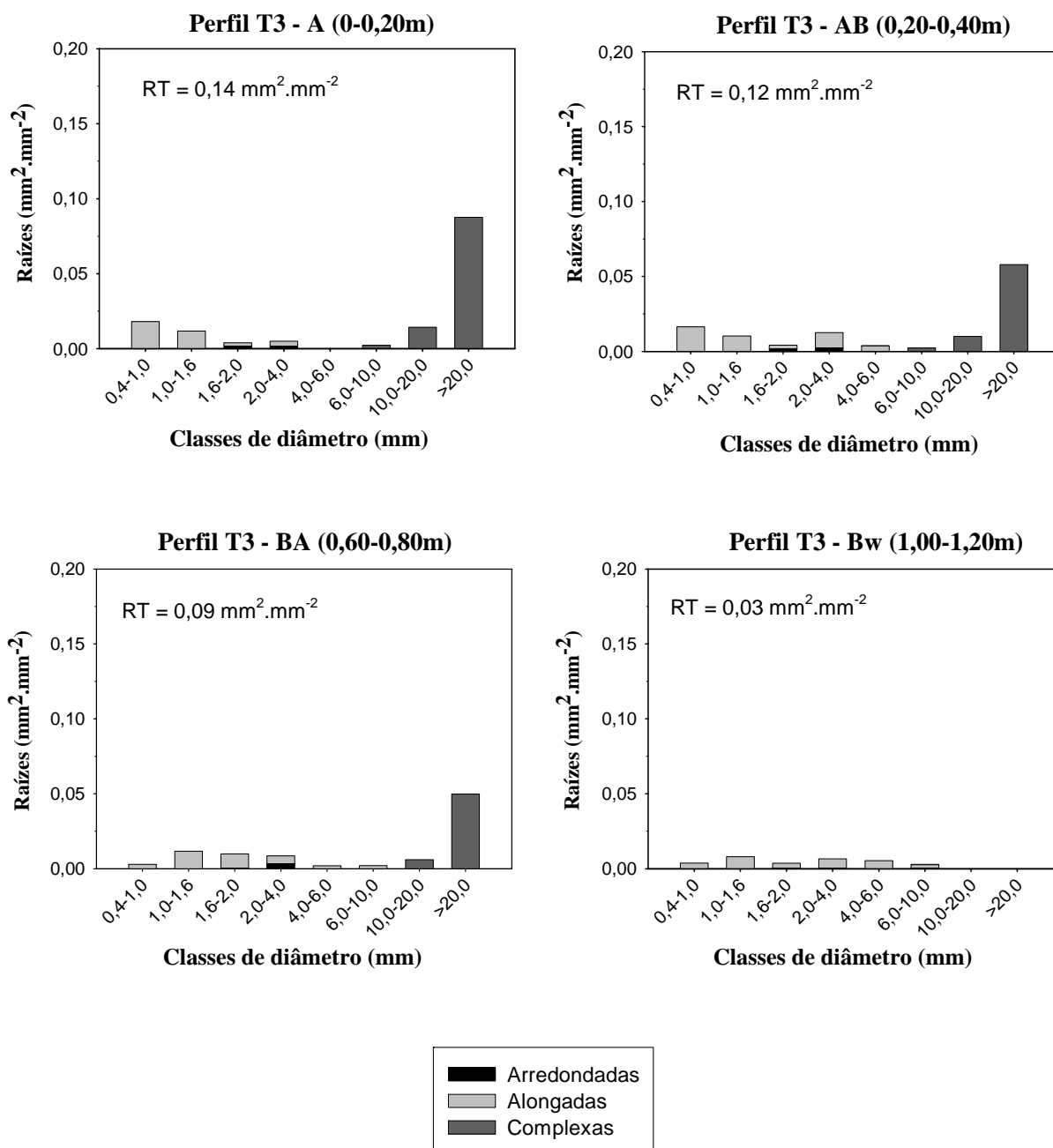


Figura 23 – Classes de diâmetro de raízes alongadas e arredondadas grandes e médias e complexas – raízes ramificadas ou aglomeradas, no Latossolo Vermelho-Amarelo (T3). RT = área total ocupada pelas raízes

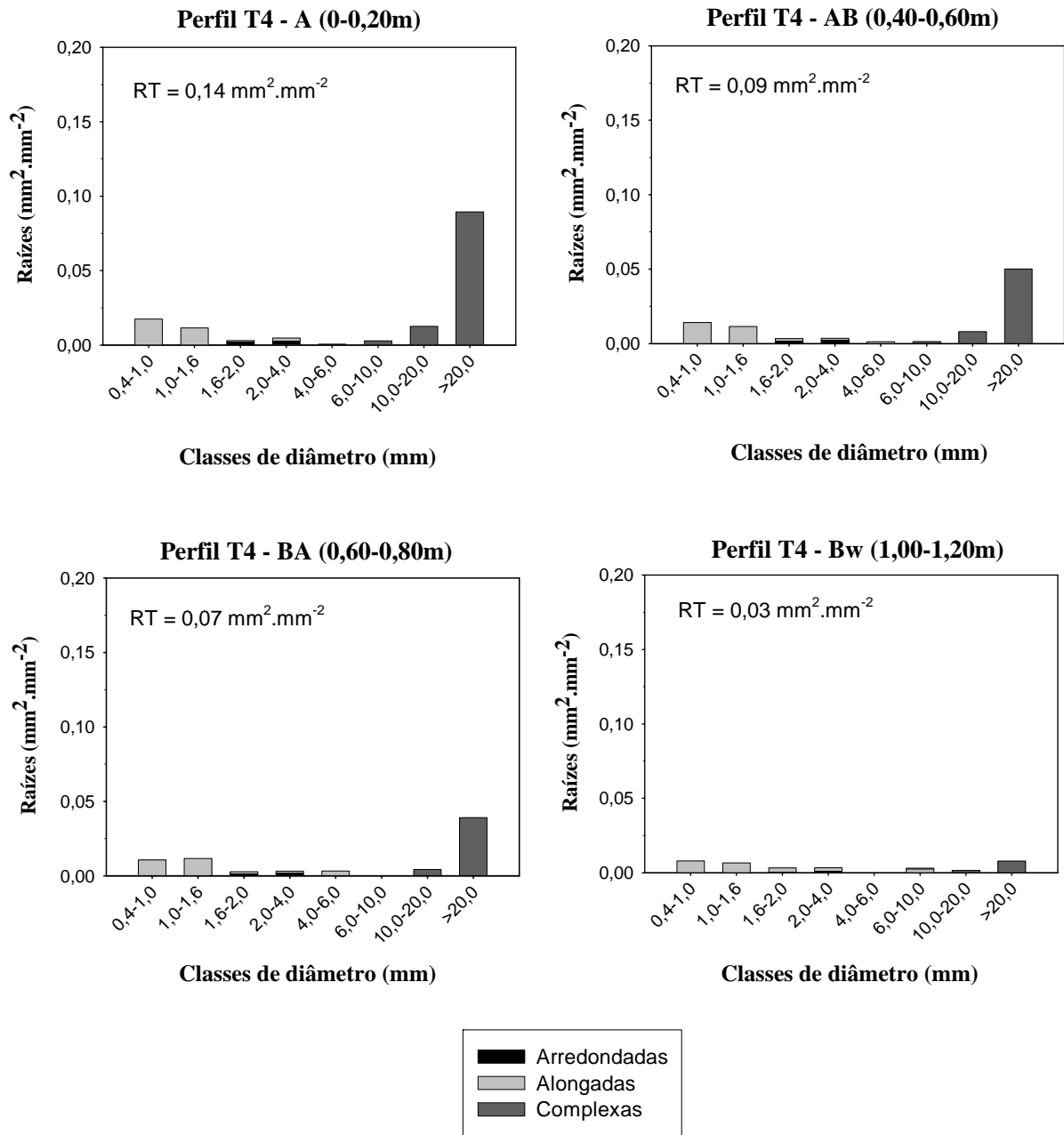


Figura 24 – Classes de diâmetro de raízes alongadas e arredondadas grandes e médias e complexas – raízes ramificadas ou aglomeradas, no Latossolo Amarelo (T4). RT = área total ocupada pelas raízes

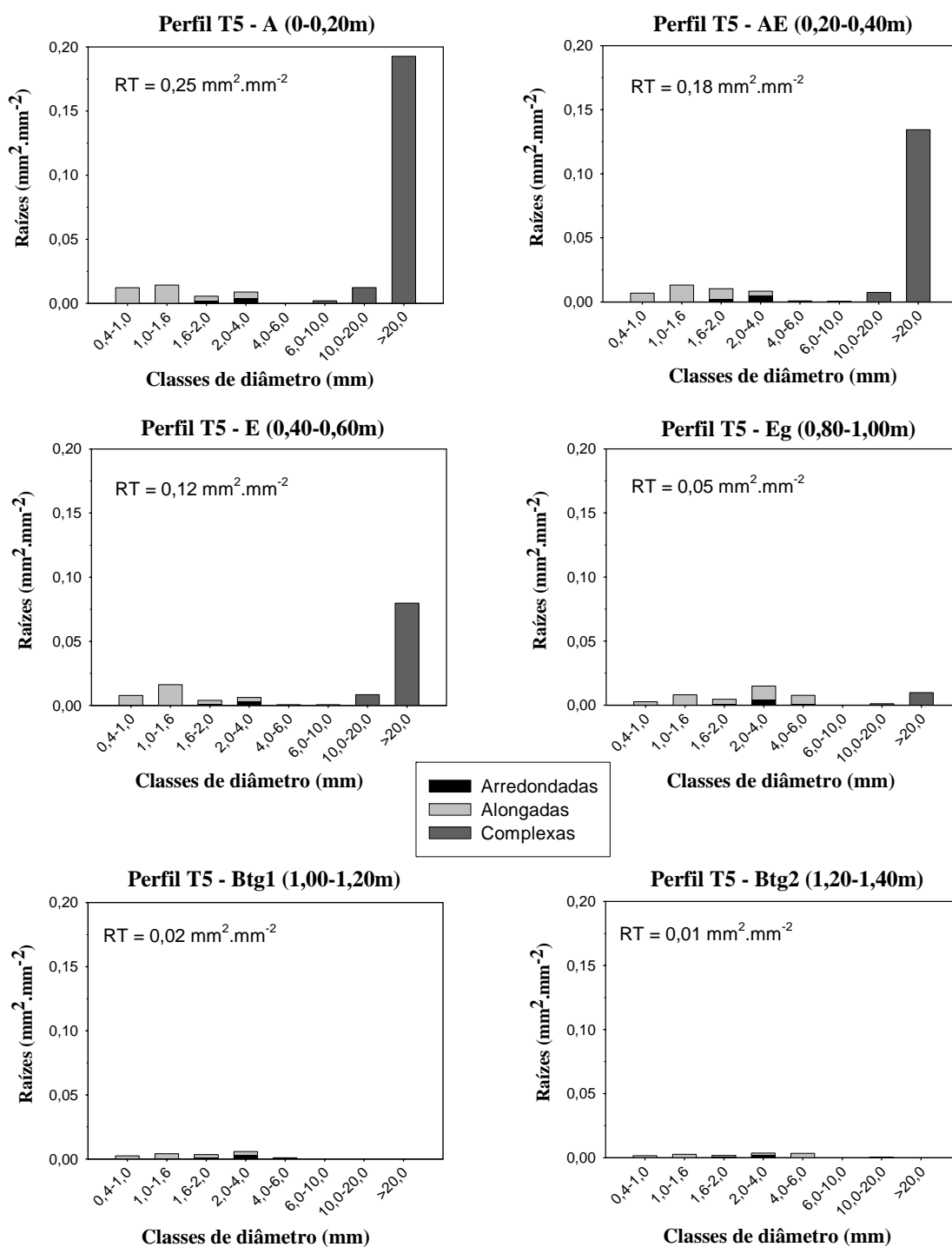


Figura 25 – Classes de diâmetro de raízes alongadas e arredondadas grandes e médias e complexas – raízes ramificadas ou aglomeradas, no Gleissolo Háplico (T5). RT = área total ocupada pelas raízes

### 2.3.5 Relação solo-água-vegetação

A distribuição dos solos na topossequência estudada (Figura 6) é bastante homogênea, predominando solos profundos e bem drenados do terço superior ao inferior da vertente (T1 a T4), com exceção do sopé onde existe um perfil com drenagem imperfeita em profundidade (T5). Conseqüentemente, alguns atributos físicos, químicos e físico-hídricos do solo e a distribuição de raízes, às mesmas profundidades, mostram uma inter-relação alta entre os perfis T1 a T4, com maiores diferenças em relação ao perfil T5.

Na topossequência, as condições de oxidação determinaram o gradiente de cor observado entre as unidades de solo que a compõem (Figura 6), principalmente nos Latossolos (T1 a T4), do topo ao terço inferior da vertente. A partir do ponto em que o relevo muda de suave ondulado para plano, entre os perfis T4 e T5, condições de hidromorfia começaram a ser observadas incluindo o Gleissolo (T5). As mudanças texturais e estruturais observadas dos Latossolos (T1 a T4) ao Gleissolo (T5) definiram o comportamento físico-hídrico dos solos.

Em toda a topossequência, no horizonte A (superficial), a textura varia de areia franca a franco-arenosa e a macroestrutura é grumosa de T1 a T5 e granular em T4 (Tabela 5). A macroporosidade é elevada (Figura 9), formada por macroporos complexos intergranulares, representando uma microestrutura de empilhamento de grãos simples (Figuras 10 a 15). A retenção de água é baixa (Figuras 16 e 17) e a condutividade hidráulica é elevada (Figura 18). Com isso, ocorre alta oscilação de umidade do solo intimamente ligada a cada evento chuvoso (Figura 19).

Nos Latossolos (T1 a T4), o horizonte Bw, de textura franco-arenosa, possui estrutura típica formada por blocos subangulares fracos que se desfazem em estrutura granular muito pequena e forte (Tabela 5 e Anexo A). A microestrutura é formada por aglomerados de microagregados que compõem uma porosidade menor do que em superfície, mas ainda bastante interconectada (Figuras 9 a 13). Isto provoca uma baixa retenção de água (Figura 16) e elevada condutividade hidráulica (Figura 18), assim como em superfície. Entretanto, há mais microporos, que auxiliam na manutenção de água no solo por mais tempo do que em superfície, de forma que o conteúdo mínimo de água no solo ocorre apenas nos meses de abril (início da época seca) e outubro (fim da época seca) (Figura 19).



No Gleissolo (T5), ocorre uma mudança quase abrupta em textura e estrutura do horizonte E para o Btg. A textura muda de areia franca (E) até franco-argilo-arenosa (Btg2). O horizonte E possui estrutura em blocos subangulares fracos (Tabela 5) e microestrutura em grãos simples que formam elevada porosidade complexa de empilhamento (Figura 14), cujo comportamento físico-hídrico é semelhante ao do horizonte A. Já os horizontes Btg1 e Btg2 possuem estrutura em blocos subangulares moderados a fortes (Tabela 5) e microestrutura mais densa, ainda com poróides complexos. Porém, a macroporosidade em Btg2 é menor (Figura 9), com proporção maior de poróides arredondados ou cavidades (Figura 15). A microestrutura mais densa e menor macroporosidade conferem aos horizontes Btg elevada retenção de água (Figura 17), maior em Btg2 devido à textura mais argilosa e maior número de microporos e cavidades. Além disso, a condutividade hidráulica é bastante reduzida (Figura 18), pois os poros estão menos interconectados. Ambas a alta retenção de água e a baixa condutividade hidráulica resultam em uma manutenção de conteúdo de água maior no solo, acompanhando a distribuição das chuvas assim como em Bw (Latosolos), mas praticamente sem oscilação entre os eventos chuvosos, principalmente em Btg2 (Figura 19).

As raízes exercem papel fundamental para as plantas, mas também têm influência sobre o solo e seu comportamento físico-hídrico. Em superfície, principalmente, a menor densidade do solo pode ser provocada pelo maior número de raízes (Figura 20) além do maior conteúdo de matéria orgânica (Anexo B), conforme mencionado por Brady e Weil (2002, p. 139). A estrutura se constitui como grumosa ou granular (Tabela 5) também devido à maior concentração de raízes, pois favorecem a estabilidade de agregados (GLINSKI; LIPIEC, 1990), assim como a matéria orgânica. As raízes podem ainda ser consideradas como fator de formação do solo como proposto por Jenny (1941), pois a penetração das raízes forma macroporos e contribui para um sistema contínuo de poros no solo, facilitando o movimento de água (GLINSKI; LIPIEC, 1990). Como evidência, na Figura 15 a imagem representativa da transição entre o horizonte Btg1 e Eg (perfil T5) é formada por material trazido do horizonte Eg para o Btg1 pela penetração de raízes. Assim, o horizonte Btg1 está sendo alterado, ou seja, se tornando mais poroso, devido à penetração de raízes. O consumo maior de água pelas raízes das plantas, como sugerido por Lilienfein et al. (1999), pode também promover a maior oscilação de umidade do solo em superfície (Figura 19). A morte de raízes e ainda a vegetação como um todo contribui efetivamente para o fornecimento de matéria orgânica ao solo, com elevado teor também em superfície (Anexo B).

O espaço poroso do solo é mais importante para o movimento da água no solo do que para a penetração de raízes (GLINSKI; LIPIEC, 1990). Desta forma, a restrição de água para a planta é considerada, de acordo com Eavis (1972), como fator que afeta diretamente o crescimento das raízes. Já a distribuição de poros, textura, densidade e agregação do solo são fatores que afetam apenas indiretamente o desenvolvimento das raízes (LETEY, 1985). Além disso, poros de grande dimensão, ou seja, macroporos com diâmetro maior que 50  $\mu\text{m}$  ou canais de origem biológica, podem oferecer condições adequadas à penetração das raízes. Porém, se o contato entre a raiz e o solo for deficiente ou distante, a capacidade de absorção de água pelas raízes é prejudicada (GLINSKI; LIPIEC, 1990). Nos solos estudados, por exemplo, nos horizontes superficiais, onde a porosidade é maior (Tabela 6 e Figura 9), predominam raízes complexas (aglomeradas, emaranhadas ou ramificadas) (Figuras 21 a 25). Esta distribuição pode evidenciar uma maior exploração das raízes no solo desta camada, buscando manter o contato solo-raiz o mais próximo possível. A textura do solo pouco argilosa pode também ser um fator definidor da vegetação local, por exemplo, de cerrado, assim como detectada por Ruggiero et al. (2002).

A vegetação de cerrado é caracterizada normalmente por se desenvolver em solos com déficit nutricional, elevada acidez e toxicidade por alumínio (FURLEY; RATTER, 1988). Porém, a presença deste tipo de vegetação, assim como de suas fisionomias, é explicada apenas em parte pelos parâmetros físicos e químicos do solo (RUGGIERO et al., 2002). Por exemplo, Durigan et al. (1987) não encontrou diferenças significativas em parâmetros de fertilidade do solo entre duas fisionomias de cerrado, observadas dentro do mesmo remanescente, no qual o presente estudo foi realizado. De acordo com Eiten (1990), a deficiência nutricional é promovida pelo clima tropical úmido. Portanto, as propriedades químicas não deveriam ser consideradas os fatores principais de sustentação do cerrado. Por esses motivos, Ruggiero et al. (2002) questionou a possibilidade da dinâmica da água no solo ser um fator importante na definição do tipo de vegetação existente.

O período relativamente extenso de baixa permanência de água para as plantas na estação seca do ano, principalmente em superfície (Figura 19), sugere que a vegetação esgote toda a água disponível na camada superficial (QUESADA et al., 2004). Portanto, este comportamento exige que as espécies de plantas apresentem algum tipo de adaptação para suportar essa condição de déficit hídrico, como sugerido por Eiten (1990); Furley (1999) e Quesada et al. (2004). Oliveira et al. (2005) sugeriu que a zona de maior suprimento de água na época seca deve ser as camadas mais profundas do solo, apesar da menor densidade de raízes, como observado na Figura 20.

Na toposseqüência estudada, os horizontes glei (perfil T5) aparecem em profundidade (abaixo de 0,80 m da superfície) e estão superpostos por horizontes bem arenosos que tem um comportamento físico-hídrico semelhante aos Latossolos de montante. Segundo Ruggiero et al. (2002), as mudanças mais significativas nas fisionomias de cerrado ocorrem em superfície. Assim, o comportamento físico-hídrico do Gleissolo nos horizontes mais superficiais explica o fato de que sobre este solo não ocorreram fisionomias diferentes de vegetação, predominando ainda o cerradão ou savana florestada (RODRIGUES, 2004, 2005) e a ausência de formações ciliares (JACOMINE, 2004) na parcela permanente. Em campo, foi visualizada na borda inferior da parcela permanente, em cotas menores de altitude, uma fisionomia de transição entre cerradão e cerrado “sensu stricto”, assim como apresentada por Medeiros (2005).

São necessários ainda estudos mais detalhados em mineralogia para determinar a distribuição de goethita/hematita e sua influência na cor dos solos observados e a pedogênese na toposseqüência, a partir da confirmação do material de origem dos Latossolos e do Gleissolo, que pode ser proveniente de um material mais recente como depósitos fluviais.

Novos estudos de correlação específicos entre as diversas classes de solo e respectivas formações florestais foram recomendados por Jacomine (2004). Esta carência em conhecimentos sobre as relações solo-vegetação será suprida em boa parte com a interação entre trabalhos de diversas áreas do conhecimento, incluindo a dinâmica de água no solo, formando uma base de dados capaz de promover a compreensão dos processos geradores e mantenedores da biodiversidade em um dos principais biomas do Estado de São Paulo e do Brasil, o Cerrado.

### 3 CONCLUSÕES

1. A influência do relevo nos processos de formação do solo foi caracterizada pela morfologia, mostrando o domínio de solos profundos e bem drenados, do topo ao terço inferior da vertente, enquanto que no sopé os solos possuem drenagem impedida em profundidade e cores mais acinzentadas e presença de mosqueados e nódulos, característicos de gleização.
2. O maior número de poróides complexos ocupando menor área representa uma menor conectividade entre os agregados e grãos simples que formam a microestrutura, indicando microagregados mais aglomerados em Bw (Latosolos) e, em Btg (Gleissolo), maior adensamento aliado ao maior número de poróides arredondados ou cavidades ocupando maior área em relação aos outros horizontes.
3. O aumento no teor de argila e as mudanças em estrutura e porosidade no perfil de Gleissolo Háplico provocaram maior retenção hídrica e menor condutividade hidráulica no horizonte mais profundo deste solo.
4. A umidade do solo em superfície oscilou a cada evento chuvoso, retornando ao valor inicial após três a doze dias consecutivos.
5. Na época chuvosa (outubro a abril), a recarga de água nos Latossolos em subsuperfície é efetivada principalmente após eventos chuvosos de volume maior que 10mm, enquanto que na época seca (abril a outubro), os eventos de volume menor que 5 mm também exercem influência.
6. Em superfície, a elevada oscilação de umidade do solo provocada pela baixa retenção de água, seguida de elevada porosidade total dominada por poros complexos que compõem uma estrutura de empilhamento de grãos simples, e alto conteúdo de matéria orgânica que reduz a densidade do solo, favorecem o desenvolvimento das raízes.
7. Em todos os solos da topossequência, o número de raízes aglomeradas ou ramificadas diminui expressivamente das camadas superficiais às mais profundas.
8. A dinâmica da água no solo caracterizada pelas mudanças sazonais de umidade do solo é um dos mais importantes fatores definidores da vegetação de cerrado.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A. de; ABREU, M.A. de; ANDRADE, J.C. de. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 16, p. 240-250.
- AB'SABER, A. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, 1996. p. 1-18.
- ALHO, C.J.R.; MARTINS, E.S. (Ed.). **De grão em grão, o cerrado perde espaço** (Cerrado - impactos do processo de ocupação). Brasília: WWF; PRÓ-CER, 1995. (Documento para discussão). Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/cerrado/dominio/>>. Acesso em: 9 fev. 2005.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Prioridades de pesquisa em solos na região de Cerrados. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, 1996. p. 423-428.
- BOCQUIER, G. **Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation byogéodynamique**. Paris: ORSTOM, 1973. 350 p. (Mémoires ORSTOM, 62).
- BOLOGNA, I.A.; PRADO, H. do; MENK, J.R.F.; JOAQUIM, A.C.; LEPSCH, I.F. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadricula de Assis. II. Memorial descritivo**. Campinas: IAC, 2003. 54 p. (Boletim Científico, 8. Série Pesquisa APTA).
- BOULAINÉ, J. Remarques sur quelques notions élémentaires de la pédologie. 1. Pédon, Profil et Sol. 2. Les Horizons. 3. La variabilité latérale des sols. **Cahiers ORSTOM Séries Pédologie**, Paris, v. 19, n. 1, p. 19-41, 1982.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.; FREITAS, S.S. (Coord.). **Responsabilidade social da ciência do solo: e os simpósios Microbiologia do solo: só simbioses? e A importância do conhecimento da cobertura pedológica: a análise estrutural**. Campinas: SBCS, 1988. p. 79-90.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.-X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: I – Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahiers ORSTOM Séries Pédologie**, Paris, v. 19, n. 4, p. 309-321, 1982.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 13th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, Pearson Education, 2002. 960 p.

BRASIL. São Paulo. **Legislação ambiental estadual**. Decreto n.47.097, de 18 de setembro de 2002. Amplia a Estação Ecológica de Assis, localizada no Município de Assis, criada pelo Decreto nº 35.697, de 21 de setembro de 1992, objetivando o desenvolvimento de atividades científicas e educacionais e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.milare.adv.br/legis02.htm>>. Acesso em: 31 jul. 2005a.

BRASIL. São Paulo. **Legislação ambiental estadual**. Decreto n.47.098, de 18 de setembro de 2002. Transforma a Estação Experimental de Assis, localizada no Município de Assis, em Floresta Estadual de Assis, nos termos do artigo 17, da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, objetivando o desenvolvimento de atividades científicas, econômicas, sociais e recreacionais, e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.milare.adv.br/legis02.htm>>. Acesso em: 31 jul. 2005b.

BRASÍLIA (Distrito Federal). Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Biodiversidade brasileira**: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: Projeto de Conservação e de Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – Equipe PROBIO, 2002. 404 p. (Biodiversidade, 5).

BREEMEN, N. van; BUURMAN, P. **Soil formation**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1998. 376 p.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. Huntington: Robert E. Krieger Publ., 1976. 482 p.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. **Soil Genesis and Classification**. 3rd ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 446 p.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985. 153 p.

BULLOCK, P.; THOMASSON, A.J. Rothamsted studies of soil structure. II. Measurement and characterization of macroporosity by image analysis and comparison with data from water retention measurements. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 30, p. 391-413, 1979.

CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

CAMPBELL SCIENTIFIC. **CS615 Water Content Reflectometer instruction manual**: version 8221-07; revision 10/96. Logan, 1996. 11 p.

CAMPOS, C.E.B.; LANI, J.L.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Indicadores de campo para solos hidromórficos na região de Viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1057-1066, 2003.

CAMPOS, J.B.; SOUZA, M.C. de. Arboreous vegetation of an alluvial riparian forest and their soil relations: Porto Rico island, Parana River, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 137-149, June 2002.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 9, p.173-180.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C. de. Determinação de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis em extrato de cloreto de potássio. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 13, p. 213-224.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 107-164, 2003.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale a saisons contrastées**. Paris: ORSTOM, 1977. 532 p. (Travaux et Documents de l'ORSTOM, 62).

CHEN, Z.S.; HSIEH, C.F.; JIANG, F.Y.; HSIEH, T.H.; SUN, I.F. Relations of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 132, p. 229-241, 1997.

CHERTKOV, V.Y. A physically based model for the water retention curve of clay pastes. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 286, p. 203-226, 2004.

CLARK, D.B.; PALMER M.W.; CLARK, D.A. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. **Ecology**, Brooklyn, v. 80, n. 8, p. 2662-2675, Dec.1999.

COCHRANE, T.T. Chemical properties of native savanna and forest soils in central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 139-141, 1989.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e B textural sobre diabásio**. 1999. 127 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

COSTA, L.M.; NACIF, P.G.S.; COSTA, O.V.; OLSZEWSKI, N. Manejo dos solos da região dos Cerrados. In: ARAÚJO, Q.R. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 201-218.

CURMI, P. Relação entre o espaço poral do solo e seu funcionamento hídrico. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.; FREITAS, S.S. (Coord.). **Responsabilidade social da ciência do solo: e os simpósios Microbiologia do solo: só simbioses? e A importância do conhecimento da cobertura pedológica: a análise estrutural**. Campinas: SBCS, 1988. p. 447-454.

DEGORSKI, M. Local variability of soil properties of forest stands along the north-south climatic transect in Europe. **Polish Journal of Ecology**, Dziekanów Leśny, v. 51, n. 4, p. 461-469, 2003.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

DIAS, B.F.S. Conservação da natureza no Cerrado brasileiro. In: PINTO, M.N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. UnB, 1990. cap. 21, p. 583-640.

DODD, M.B.; LAUENROTH, W.K. The influence of soil texture on the soil water dynamics and vegetation structure of a shortgrass steppe ecosystem. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 133, p. 13-28, 1997.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 191-192, 2000.

DURIGAN, G.; LEITÃO FILHO, H.F.; RODRIGUES, R.R. Phytosociology and structure of a frequently burnt cerrado vegetation in SE – Brazil. **Flora**, Jena, v. 189, p. 153-160, 1994.

DURIGAN, G.; BACIC, M.C.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. de. Inventário florístico do cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. **Hoehnea**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 149-172, 1999.

DURIGAN, G.; SARAIVA, I.R.; GURGEL GARRIDO, L.M.A.; GARRIDO, M.A.O.; PECHE FILHO, A. Fitossociologia e evolução da densidade da vegetação do cerrado, Assis, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 59-78, mar. 1987.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F. de; FRANCO, G.A.D.C.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J.A. The vegetation of priority areas for cerrado conservation in São Paulo state, Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 60, n. 2, p. 217-241, 2003.

EAVIS, B.W. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 36, p. 613-622, 1972.

EITEN, G. Vegetação do cerrado. In: PINTO, M.N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. UnB, 1990. cap. 1, p. 9-65.

ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D.; TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. **Ground Water Monitoring Review**, Worthington, v. 9, p. 184-193, 1989.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (EMBRAPA. CNPS. Documentos, 1).



EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; FORMAGGIO, A.R.; EIPHANIO, J.C.N. Geoprocessamento e toposequências na determinação de levantamentos de solos em diferentes escalas. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 15, n. 2, p. 111-209, jul./dez. 2003.

FURLEY, P.A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 8, p. 223-241, 1999.

FURLEY, P.A.; RATTER, J.A. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 97-108, 1988.

GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 3rd ed. Madison: SSSA, 2002. pt. 4: Physical methods, p. 255-293. (SSSA. Book Series, 5).

GLINSKI, J.; LIPIEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. Boca Raton: CRC Press, 1990. 250 p.

GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 137-153, jan./fev. 2004.

GUEDES, M.C.; CAMPELLO, E.F.; MELO, A.V.; GRIFFITH, J.J. Seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas por meio da formação de ilhas de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos voluntários...** Viçosa: SOBRADE; UFV, 1997. p. 276-282.

GUEHL, J.M. Dynamique de l'eau dans le sol em forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. **Annales des Sciences Forestieres**, Nancy, v. 41, n. 2, p. 195-236, 1984.

HALLAIRE, V.; COINTEPAS, J.P. Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'image. **Agronomie**, Paris, v. 13, p. 155-164, 1993.

HALLAIRE, V.; CURMI, P. Image analysis of pore space morphology in soil sections, in relation to water movement. In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. (Ed.). **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 559-567. (Developments in Soil Science, 22).

INSTITUTO FLORESTAL. **Estação Experimental e Ecológica de Assis**. Disponível em: <[http://www.iflorestsp.br/dfee/e\\_exp\\_as.htm](http://www.iflorestsp.br/dfee/e_exp_as.htm)>. Acesso em: 22 fev. 2005.

ITOH, A.; YAMAKURA, T.; OHKUBO, T.; KANZAKI, M.; PALMIOTTO, P.A.; LaFRANKIE, J.V.; ASHTON, P.S.; LEE, H.S. Importance of topography and soil texture in the spatial distribution of two sympatric dipterocarp trees in a Bornean rainforest. **Ecological Research**, Tokyo, v. 18, n. 3, p. 307-320, May 2003.

JACKSON, R.B.; CANADELL, J.; EHLERINGER, J.R.; MOONEY, H.A.; SALA, O.E.; SCHULZE, E.D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**, Berlin, v. 108, p. 389-411, 1996.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2004. p. 27-31.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York; London: McGraw Hill Book Company, 1941. 281p.

JONG VAN LIER, Q. de. **Extração da água do solo por plantas: desenvolvimento e validação de um modelo**. 1994. 96 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

JORGE, L.A.C. **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS®**. São Carlos: EMBRAPA, 1996. 52 p. (Circular Técnica, 1/96).

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.(Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2004. p. 249-269.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KIM, K.C.; BENSON, C.H. **Water content reflectometer calibrations for final cover soils**. Madison: University of Wisconsin, Geo Engineering Program, 2002. 111 p. (Geo Engineering Report, 2-12)

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Armazenamento de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Campinas: SBCS; Fortaleza: UFC, 1998. p. 163-164.

KLIJN, F.; WITTE, J.P.M. Eco-hydrology: groundwater flow and site factors in plant ecology. **Hydrogeology Journal**, Reston, v. 7, p. 65-77, 1999.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: SSSA, 1986. pt. 1: Physical and mineralogical methods, cap. 26, p. 635-662. (SSSA. Agronomy, 9).

KRONKA, F.L.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; PAVÃO, M.; GUILLAUMON, J.R.; CAVALLI, A.C.; GIANOTTI, E.; YWANE, M.S.S.-I.; LIMA, L.M.P.R.; MONTES, J. DEL CALI, I.H.; HAACK, P.G. **Áreas de domínio do cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1998. 84 p.

LATHWELL, D.J.; GROVE, T.L. Soil-plant relationships in the tropics. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 1-16, 1986.

LAWRENCE, G.P. Measurement of pore sizes in fine-textured soils: a review of existing techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 527-540, 1977.

LE BISSONNAIS, Y. Soil characteristics and aggregate stability. In: AGASSI, M. (Ed.). **Soil erosion, conservation and rehabilitation**. New York: Marcel Dekker, 1996. cap. 3, p. 41-60.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83 p.

LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W.; DANIELS, R.B. Soil-landscape relationships in the occidental plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 1, p. 104-109, 1977.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1995. 497 p.

LILIENTFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M.A.; LIMA, S.C.; VILELA, L.; ZECH, W. Annual course of matric potential in differently used savanna Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1778-1785, 1999.

LILIENTFEIN, J.; WILCKE, W.; ZIMMERMANN, R.; GERSTBERGER, P.; ARAÚJO, G.M.; ZECH, W. Nutrient storage in soil and biomass of native Brazilian Cerrado. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 164, p. 487-495, 2001.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 4, p. 742-747, 1977.

MACEDO, J. Os solos da região dos cerrados. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, 1996. p. 135-155.

MARSHALL, T.J. **Relations between water and soil**. Farnham Royal: CAB, 1959. 91 p. (Technical Communication, 50).

MEDEIROS, D.A. **Métodos de amostragem no levantamento da diversidade arbórea do cerrado da Estação Ecológica de Assis**. 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. . **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 36, p. 296-300, 1972.

MERMUT, A.R. **Introduction to soil micromorphology**. Saskatoon: University of Saskatchewan, Department of Soil Science, 1992. 115 p.

MIEDEMA, R. Application of micromorphology of relevance to agronomy. **Advances in Agronomy**, New York, v. 59, p. 119-169, 1997.

MORAN, C.J.; KOPPI, A.J.; MURPHY, B.W.; McBRATNEY, A.B. Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments. **Soil and Use Management**, Wallingford, v. 4, n. 3, p. 96-102, Sept. 1988.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted: A.B. Academic Publ., 1986. 149p.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 498-508, 1977.

OLIVEIRA, D. **Estudo macro e micromorfológico de uma toposseqüência na bacia do Córrego do Retiro em São Pedro-SP**. 1997. 143 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, R.S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E.A.; PINTO, F.; KLINK, C.A.; NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, Oxford, v. 19, p. 574–581, 2005.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. The pore system as an indicator of soil quality. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p.71-82. (Advances in GeoEcology, 35)

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 391-403, 1983.

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G.; GENOVESE, L. Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 4, p. 433-444, 1984.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 189-195, 1988.

PAVÓN, N.P.; BRIONES, O. Root distribution, standing crop biomass and belowground productivity in a semidesert in Mexico. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 146, p. 131–136, 2000.

PHILLIPS, J.D.; GARES, P.A.; SLATTERY, M.C. Agricultural soil redistribution and landscape complexity. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 197-211, Apr. 1999.

PIRES NETO, A.G. **A identificação de terrenos semelhantes aos existentes nas parcelas permanentes dos Parques Estaduais: Carlos Botelho e Ilha do Cardoso, e das Estações Ecológicas: Caetetus e Assis, por meio de mapeamento geomorfológico**. Piracicaba: ESALQ; Guarulhos: Universidade de Guarulhos, Laboratório de Geociências, 2005. 95 p. (Relatório Final).

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento**. 2.ed. Piracicaba: O autor, 2001. 220 p. + 1 CD-ROM

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 10, p. 173-180.

QUESADA, C.A.; MIRANDA, A.C.; HODNETT, M.G.; SANTOS, A.J.B.; MIRANDA, H.S.; BREYER, L.M. Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. **Ecological Applications**, Washington, v. 14, n. 4, p. 33-41, 2004. Supplement.

RABENHORST, M.C.; PARIKH, S. Propensity of soils to develop redoximorphic color changes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 5, p. 1904-1910, 2000.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. cap. 11, p. 189-199.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, p.223-230, 1997.

RESCK, D.V.S. Perspectivas do uso e manejo dos solos no Cerrado. In: ARAÚJO, Q.R. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 218-237.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 32-67.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, Worthington, v. 6, p. 84-95, 1986.

RICHARDSON, J.J.; DANIELS, R.B. Stratigraphic and hydraulic influences on soil color development. In: BIGHAM, J.M.; CIOLKOSZ, E.J. (Ed.). **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p. 109-125. (SSSA. Special Publication, 31).

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, p. 777-813, 1991.

RINGROSE-VOASE, A.J.; BULLOCK, P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 35, p. 673-684, 1984.

ROCHA, L.C.; CARVALHO, V.L.M. Gênese e evolução dos solos na bacia do Córrego do Quebra, Gouveia - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, R.R. **Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40ha de parcelas permanentes**. Piracicaba: ESALQ, 2003. (Relatório Científico II). Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/parcelas/relatorio2.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2004.

RODRIGUES, R.R. **Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40ha de parcelas permanentes**. Piracicaba: ESALQ, 2004. (Relatório Científico III). Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/parcelas/rel2004.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2005.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 203-215.

RODRIGUES, S.C. Impacts of human activity on landscapes in central Brazil: a case study in the Araguari watershed. **Australian Geographical Studies**, Adelaide, v. 40, n. 2, p. 167-178, 2002.

ROSA, E.C. da; MALHEIROS, R.; SANTOS, A.C.; SOUZA, H.A. de; BARBOSA, A.S. Revegetação com espécies nativas do Cerrado no Parque Ecológico de Goiânia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos voluntários...** Viçosa: SOBRADE; UFV, 1997. p. 507-510.

RUGGIERO, P.G.C.; BATALHA, M.A.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T. Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 160, p. 1-16, 2002.

SABATIER, D.; GRIMALDI, M.; PRÉVOST, M.-F.; GUILLAUME, J.; GODRON, M.; DOSSO, M.; CURMI, P. The influence of soil cover organization on the floristic and structural heterogeneity of a Guianan rain forest. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 131, p. 81-108, 1997.

SAINJU, U.M.; GOOD, R.E. Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pineland forests. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 150, p. 87-97, 1993.

SALAKO, F.K.; KIRCHHOF, G. Field hydraulic properties of an Alfisol under various fallow systems in southwestern Nigeria. **Soil Use and Management**, Wallingford, v. 19, n. 4, p. 340-346, Dec. 2003.

SANTOS, A.C.; SALCEDO, I.H.; CANDEIAS, A.L.B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, Presidente Prudente, n. 54, p. 86-94, 2002.

SANTOS, L.J.C. Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 4, p. 131-138, 2000.

SCHULZE, E.-D.; MOONEY, H.A.; SALA, O.E.; JOBBAGY, E.; BUCHMANN, N.; BAUER, G.; CANADELL, J.; JACKSON, R.B.; LORETI, J.; OESTERHELD, M.; EHLERINGER, J.R.. Rooting depth, water availability, and vegetation cover along an aridity gradient in Patagonia. **Oecologia**, Berlin, v. 108, p. 503-511, 1996.

SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In: BIGHAM, J.M.; CIOLKOSZ, E.J. (Ed.). **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p. 51-69. (SSSA. Special Publication, 31)

SEYFRIED, M.S.; MURDOCK, M.D. Response of a new soil water sensor to variable soil, water content, and temperature. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 28-34, 2001.

SILVA, E.B. da. **Movimento de solutos e caracterização hidráulica de um solo por meio do permeâmetro a disco**. 2000. 107 p. Tese (Doutorado em Física do Solo) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SOUTHORN, N.J. The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p.71-82. (Advances in GeoEcology, 35)

SOUZA, Z.M. de. **Variabilidade espacial e atributos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo**. 2004. 141 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2004.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 184 p. + 1 CD-ROM

TER STEEGE, H.; JETTEN, V.G.; POLAK, A.M.; WERGER, M.J.A. Tropical rain-forest types and soil factors in a watershed area in Guyana. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v. 4, n. 5, p. 705-716, Oct. 1993.

THURLER, A.M. **Estimativa da macro e da microporosidade através da granulometria e densidades de partículas e do solo**. 1989. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

TRIAANTAFILIS, J.; WARD, W.T.; ODEH, I.O.A.; MCBRATNEY, A.B. Creation and interpolation of continuous soil layer classes in the lower Namoi valley. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 2, p. 403-413, Mar./Apr. 2001.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE; Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VERDESIO, J.J. As perspectivas ambientais do Cerrado brasileiro. In: PINTO, M.N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. UnB, 1990. cap. 20, p. 561-581.

VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 47-50, p. 32-33, 1995/1998.

WALL, A.; HEISKANEN, J. Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 186, p. 21-32, 2003.

ZHANG, J.T. A study on relations of vegetation, climate and soils in Shanxi province, China. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 162, n. 1, p. 23-31, Sept. 2002.



**ANEXOS**

**Anexo A - Descrição geral e morfológica completa dos perfis de solo estudados****PERFIL – T1**

## DESCRIZAÇÃO GERAL

DATA - 01/11/2003

CLASSIFICAÇÃO – **LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico** A moderado textura arenosa/média fase cerradão tropical subperenifólio relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - **LVd**

LOCALIZAÇÃO E COORDENADAS - Descrito e coletado em trincheira na subparcela F9 do BiotaPP/EEA, nas coordenadas UTM (SAD69) X = 564146,956 e Y = 7501017,977.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Trincheira situada em terço superior de encosta, com cerca de 4,5% de declive e sob serapilheira.

ALTITUDE – 558 m

LITOLOGIA – Arenitos finos a muito finos com lentes de siltitos arenosos e argilitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Adamantina grupo Bauru

PERÍODO - Pleistoceno

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de intemperismo de arenito da formação Adamantina

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

REGIONAL - Suave ondulado

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM – Acentuada

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerradão ou savana florestada

USO ATUAL - Reserva de vegetação nativa

CLIMA - Cwa da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR – P. R. Cursi, C. E. P. Juhász e M. Cooper.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-25 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); areia franca; fraca média e pequena grumosa; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- AB 25-56 cm; bruno avermelhado (5YR 4,5/4, úmido); franco arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- Bw1 56-94 cm; vermelho (2,5YR 4/7, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e difusa.
- Bw2 94-142+ cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.

RAÍZES – Abundantes finas e médias no A; freqüentes finas e médias no AB; comuns finas e algumas grandes em Bw1; poucas finas e uma grande no Bw2.

OBSERVAÇÕES –Atividade biológica visível em A, AB e Bw1.

## PERFIL – T2

### DESCRIÇÃO GERAL

DATA - 01/11/2003

CLASSIFICAÇÃO – **LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico A** moderado textura média fase cerradão tropical subperenifólio relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - **LVd**

LOCALIZAÇÃO E COORDENADAS - Descrito e coletado em trincheira na subparcela D6 do BiotaPP/EEA, nas coordenadas UTM (SAD69) X = 564078,333 e Y = 7501049,097.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Trincheira situada em terço médio de encosta, com cerca de 7% de declive e sob serapilheira.

ALTITUDE – 554 m

LITOLOGIA – Arenitos finos a muito finos com lentes de siltitos arenosos e argilitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Adamantina grupo Bauru

PERÍODO - Pleistoceno

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de intemperismo de arenito da formação Adamantina

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

REGIONAL - Suave ondulado

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM – Acentuada

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerradão ou savana florestada

USO ATUAL - Reserva de vegetação nativa

CLIMA - Cwa da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR – P. R. Cursi, C. E. P. Juhász e M. Cooper.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-14 cm; vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); franco arenosa; fraca média e pequena grumosa; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- AB 14-32 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); franco arenosa; fraca média a pequena blocos subangulares; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bw1 32-86 cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e difusa.
- Bw2 86-142+ cm; vermelho (2,5YR 4,5/6, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.

RAÍZES – Freqüentes finas, médias e uma grande no A e finas e médias em AB; comuns finas e médias em Bw1; poucas finas no Bw2.

OBSERVAÇÕES –Atividade biológica visível em A, AB e Bw1.

## **PERFIL – T3**

### DESCRIÇÃO GERAL

DATA - 01/11/2003

CLASSIFICAÇÃO – **LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico típico A moderado** textura média fase cerradão tropical subperenifólio relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - **LVAd**

LOCALIZAÇÃO E COORDENADAS - Descrito e coletado em trincheira na subparcela C3 do BiotaPP/EEA, nas coodenadas UTM (SAD69) X = 564022,752 e Y = 7501053,706.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Trincheira situada em terço médio de encosta, com cerca de 7% de declive e sob serapilheira.

ALTITUDE – 551 m

LITOLOGIA – Arenitos finos a muito finos com lentes de siltitos arenosos e argilitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Adamantina grupo Bauru

PERÍODO - Pleistoceno

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de intemperismo de arenito da formação Adamantina

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

REGIONAL - Suave ondulado

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM – Acentuada

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerradão ou savana florestada

USO ATUAL - Reserva de vegetação nativa

CLIMA - Cwa da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR – P. R. Cursi, C. E. P. Juhász e M. Cooper.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); franco arenosa; fraca pequena grumosa; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- AB 20-60 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); franco arenosa; fraca pequena a média blocos subangulares; solta, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- BA 60-87 cm; vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); franco arenosa; fraca média a pequena blocos subangulares e forte muito pequena granular; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e difusa.
- Bw 87-145+ cm; vermelho amarelado (5YR 4,5/6, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso.

RAÍZES – Abundantes finas, médias e duas grandes no A; frequentes finas, médias e uma grande no AB; comuns finas e médias em BA; poucas finas no Bw.

OBSERVAÇÕES –Atividade biológica comum em A e BA.

### PERFIL – T4

### DESCRIÇÃO GERAL

DATA - 01/11/2003

CLASSIFICAÇÃO – **LATOSSOLO AMARELO distrófico típico** A moderado textura arenosa/média fase cerradão tropical subperenifólio relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - **LAd**

LOCALIZAÇÃO E COORDENADAS - Descrito e coletado em trincheira na subparcela B1 do BiotPP/EEA, nas coodenadas UTM (SAD69) X = 563977,042 e Y = 7501068,656.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Trincheira situada em terço inferior de encosta, com cerca de 7,5% de declive e sob serapilheira.

ALTITUDE – 548 m

LITOLOGIA – Arenitos finos a muito finos com lentes de siltitos arenosos e argilitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Adamantina grupo Bauru

PERÍODO - Pleistoceno

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de intemperismo de arenito da formação Adamantina

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

REGIONAL - Suave ondulado

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM – Acentuada

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerradão ou savana florestada

USO ATUAL - Reserva de vegetação nativa

CLIMA - Cwa da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR – P. R. Cursi, C. E. P. Juhász e M. Cooper.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); areia franca; fraca média e pequena granular; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- AB 20-66 cm; bruno (7,5YR 5/4, úmido); franco arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- BA 66-93 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); franco arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares e forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e difusa.

Bw 93-150+ cm; bruno forte (7,5YR 5/6, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.

RAÍZES – Abundantes médias, finas e grandes no A; freqüentes médias e finas no AB; comuns finas e médias em BA; poucas finas no Bw.

OBSERVAÇÕES –Atividade biológica comum em A, AB e BA.

## **PERFIL – T5**

### DESCRIÇÃO GERAL

DATA - 31/10/2003

CLASSIFICAÇÃO – **GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico argissólico** A moderado textura arenosa/média fase cerradão tropical subperenifólio relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - **GXbd**

LOCALIZAÇÃO E COORDENADAS - Descrito e coletado em trincheira na subparcela Z0 do BiotáPP/EEA, nas coordenadas UTM (SAD69) X = 563952,934 e Y = 7501095,709.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Trincheira situada em sopé de encosta, com cerca de 2,5% de declive e sob cobertura de serapilheira.

ALTITUDE – 545 m

LITOLOGIA – Sedimentos quaternários

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – sedimentos sobre formação Adamantina grupo Bauru

PERÍODO - Holoceno

MATERIAL ORIGINÁRIO - Sedimentos aluviais e coluviais

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Plano

REGIONAL - Suave ondulado

EROSÃO - Não aparente



DRENAGEM – Imperfeita a Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerradão ou savana florestada

USO ATUAL - Reserva de vegetação nativa

CLIMA - Cwa da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR – P. R. Cursi, C. E. P. Juhász e M. Cooper.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm; bruno acinzentado (10YR 5/2, úmido); areia franca; fraca pequena grumosa e grãos simples; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- AE 20-37 cm; bruno (10YR 5/3, úmido); areia franca; fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em grãos simples; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- E 37-80 cm; bruno (10YR 5/3, úmido) com bandas mais claras; areia franca; fraca média e grande blocos subangulares que se desfaz em grãos simples; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- Eg 80-108 cm; bruno (10YR 5/3, úmido); franco arenosa; fraca média blocos subangulares e grãos simples; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- Btg1 108-138 cm; cinzento brunado claro (10YR 6/2, úmido); franco arenosa; moderada a fraca média a pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e abrupta.
- Btg2 138-160+ cm; cinza claro (10YR 7/1, úmido); franco argilo arenosa; maciça que se desfaz em moderada média e pequena blocos subangulares; duro, firme, plástico e pegajoso.

RAÍZES – Abundantes finas, médias e grandes em A e AE; freqüentes médias e finas em E; comuns finas e médias em Eg; poucas finas em Btg; raras finas em Btg2.

OBSERVAÇÕES –Atividade biológica comum em A e AE; presença de mosqueados de cores bruno forte (7,5YR 5/8), amarelo avermelhado (7,5YR 6/6) e vermelho amarelado (5YR 5/8) em 10 % da matriz de Eg e em 30 a 40 % da matriz do Btg1; presença de mosqueados de cor amarelo avermelhado (7,5YR 6/6; 10YR 6/6) e nódulos de cor vermelho (2,5YR 4/6) em 30 a 40 % da matriz do Btg2.

Anexo B – Análise química dos horizontes dos perfis de solo estudados

Perfil*	Horizonte	Profundidade	pH CaCl <sub>2</sub>	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	ΔpH	SB	CTCe (t)	CTC (T)	V	m	H + Al	Al <sup>3+</sup>	Ca	Mg	K	P	Fe	MO		
		--- m ---															mol.m <sup>-3</sup>	%	mol.m <sup>-3</sup>	g.m <sup>-3</sup>	kg.m <sup>-3</sup>
<b>T1</b> <b>(LVd)</b>	A	0,00-0,25	3,7	4,12	4,84	-0,72	2,2	11,8	36,3	5,9	81,7	34,2	9,6	1,0	1,0	0,2	3,4	59,6	17,7		
	AB	0,25-0,56	3,8	4,17	4,15	0,02	2,2	12,3	29,8	7,2	82,4	27,7	10,1	1,0	1,0	0,2	2,0	24,4	13,0		
	Bw1	0,56-0,94	3,8	4,16	4,30	-0,14	2,1	11,2	24,5	8,5	81,4	22,4	9,1	1,0	1,0	0,1	1,4	11,4	11,2		
	Bw2	0,94-1,42+	3,9	4,17	4,47	-0,30	2,1	11,4	24,5	8,5	81,8	22,4	9,3	1,0	1,0	0,1	1,0	9,2	10,2		
<b>T2</b> <b>(LVd)</b>	A	0,00-0,14	3,6	4,06	4,78	-0,72	2,1	15,4	60,0	3,5	86,5	57,9	13,3	1,0	1,0	0,1	1,4	140,6	20,5		
	AB	0,14-0,32	3,6	4,06	4,22	-0,16	2,2	13,8	40,1	5,4	84,4	38,0	11,6	1,0	1,0	0,2	4,4	58,0	14,9		
	Bw1	0,32-0,86	3,7	4,17	4,61	-0,44	2,2	11,6	27,1	7,9	81,4	24,9	9,4	1,0	1,0	0,2	2,4	25,2	12,1		
	Bw2	0,86-1,42+	3,9	4,20	4,54	-0,34	2,2	12,8	24,6	8,8	83,1	22,4	10,6	1,0	1,0	0,2	1,7	11,6	8,4		
<b>T3</b> <b>(LVAd)</b>	A	0,00-0,20	3,6	3,99	4,30	-0,31	8,1	21,3	60,2	13,4	62,0	52,1	13,2	7,0	1,0	0,1	1,4	74,8	18,6		
	AB	0,20-0,60	3,7	4,21	4,19	0,02	2,1	12,0	32,8	6,3	82,7	30,8	9,9	1,0	1,0	0,1	3,7	27,4	13,0		
	BA	0,60-0,87	3,8	4,23	4,40	-0,17	2,1	10,9	27,0	7,7	80,9	24,9	8,8	1,0	1,0	0,1	14,3	15,2	10,2		
	Bw	0,87-1,45+	3,9	4,23	4,54	-0,31	2,1	10,0	24,5	8,5	79,2	22,4	7,9	1,0	1,0	0,1	1,0	8,4	9,3		
<b>T4</b> <b>(LAd)</b>	A	0,00-0,20	3,6	4,03	4,46	-0,43	2,1	13,6	40,1	5,2	84,7	38,0	11,5	1,0	1,0	0,1	1,0	67,0	17,7		
	AB	0,20-0,66	3,7	4,02	3,91	0,11	3,2	13,9	30,8	10,2	77,2	27,7	10,7	1,0	2,0	0,2	4,1	35,6	13,0		
	BA	0,66-0,93	3,7	4,15	4,18	-0,03	2,2	11,5	27,1	7,9	81,2	24,9	9,3	1,0	1,0	0,2	2,4	18,2	11,2		
	Bw	0,93-1,50+	3,9	4,22	4,89	-0,67	2,2	12,9	24,6	8,8	83,3	22,4	10,7	1,0	1,0	0,2	0,7	8,6	10,2		
<b>T5</b> <b>(GXbd)</b>	A	0,00-0,20	3,8	4,26	4,23	0,03	3,2	13,2	45,4	6,9	76,0	42,2	10,0	1,0	2,0	0,2	0,7	25,6	18,6		
	AE	0,20-0,37	3,8	4,14	4,07	0,07	3,2	13,1	37,3	8,4	75,9	34,2	9,9	1,0	2,0	0,2	5,4	28,8	13,0		
	E	0,37-0,80	3,8	4,13	4,06	0,07	2,2	11,3	24,6	8,8	80,9	22,4	9,1	1,0	1,0	0,2	4,1	24,2	10,2		
	Eg	0,80-1,08	3,8	4,06	4,16	-0,10	2,1	10,4	22,3	9,3	80,0	20,2	8,3	1,0	1,0	0,1	1,7	21,2	9,3		
	Btg1	1,08-1,38	3,7	4,05	4,29	-0,24	2,1	12,2	24,5	8,5	83,0	22,4	10,1	1,0	1,0	0,1	1,4	14,2	9,3		
	Btg2	1,38-1,60+	3,8	4,1	4,69	-0,61	2,1	14,9	29,8	7,0	86,0	27,7	12,8	1,0	1,0	0,1	1,7	6,6	8,4		

\* LVd – Latossolo Vermelho distrófico; LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; LAd – Latossolo Amarelo distrófico; GXbd – Gleissolo Háplico Tb distrófico argissólico.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)