

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO / DOUTORADO EM GEOGRAFIA –**  
**ANÁLISE REGIONAL E AMBIENTAL**

**GÊNESE E EVOLUÇÃO DE SISTEMAS PEDOLÓGICOS**  
**EM UNIDADES DE PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE**  
**MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR**

**VANDERLEI LEOPOLD MAGALHÃES**

**MARINGÁ – PR**

**2013**

**VANDERLEI LEOPOLD MAGALHÃES**

**GÊNESE E EVOLUÇÃO DE SISTEMAS PEDOLÓGICOS  
EM UNIDADES DE PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE  
MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação – Doutorado em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental – do Departamento de Geografia, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Teresa de Nóbrega

**MARINGÁ – PR  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central – UEM, Maringá – PR., Brasil)

M188g Magalhães, Vanderlei Leopold  
Gênese e evolução de sistemas pedológicos em unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon-PR / Vanderlei Leopold Magalhães. -- Maringá, 2013.  
123 f. : il.

Orientador: Prof.a Dr.a Maria Teresa de Nóbrega.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá,  
Programa de Pós-Graduação em Geografia - Análise Regional e Ambiental, 2013.

1. Sistema pedológico. 2. Solos - Sistemas - Micromorfologia - Marechal Cândido Rondon - Paraná. 3. Condutividade hidráulica. 4. Transformações pedológicas. I. Nóbrega, Maria Teresa de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Análise Regional e Ambiental. III. Título.

CDD 22.ed. 631.498162

GÊNESE E EVOLUÇÃO DE SISTEMAS PEDOLÓGICOS EM UNIDADES DE  
PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR

Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de Maringá para obtenção do grau de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

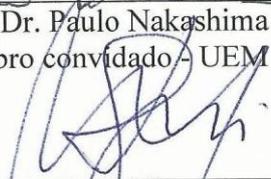
Aprovada em 30 de agosto 2013.

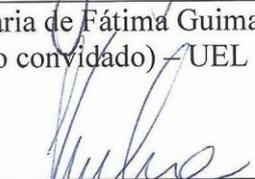
BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nóbrega  
Orientadora - UEM

  
Prof. Dr. Hélio Silveira  
Membro convidado - UEM

  
Prof. Dr. Paulo Nakashima  
Membro convidado - UEM

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maria de Fátima Guimarães  
(membro convidado) - UEL

  
Prof. Dr. José Edézio da Cunha  
Membro convidado - UNIOESTE

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Silda, e meu pai, Bira, que constantemente apoiaram-me neste período de quatro anos sem, talvez, entender dez por cento do escrito nestas pouco mais de cem páginas.

À Andréia, minha querida, que acompanhou de perto todas as etapas deste trabalho. Valeu pela ajuda no campo e na redação do texto!

Aos amigos Rodrigo e a Fran por proporcionarem momentos de descontração na pacata Medianeira.

Ao Odirlei, meu mano, e ao Sérgio, pela ajuda nas coletas de solo no campo.

Aos amigos, professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, Adelmo Lowe, pelos diálogos sobre química de solo; Carla Camara, pelos diálogos sobre física de solo; e Fernando Periotto pelo livro presenteado - *The Nature and Properties of Soils*.

A pedidos, ao Marcos, ao Fábio e à Fernanda, os amigos que nunca tiveram seus nomes “numa coisa assim”.

Ao Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais (GEA) do curso de Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Câmpus de Marechal Cândido Rondon, por disponibilizar os equipamentos utilizados nos trabalhos de campo e pelo livre acesso ao microscópio petrográfico.

Aos professores Marga Pontelli e Julio Paisani da Unioeste, Câmpus Francisco Beltrão, pelo acesso ao laboratório e microscópio petrográfico.

Ao professor Dr. Hélio Silveira, que emprestou os anéis volumétricos para a coleta de amostras de solo e contribuiu com importantes informações e sugestões ao longo desta pesquisa.

Aos professores Dr. Paulo Nakashima e Dr. Edvard Filho pelos conhecimentos transmitidos em suas disciplinas na pós-graduação.

Um agradecimento especial ao professor Dr. José Edézio da Cunha, um amigo que não mediu esforços para ajudar nos trabalhos de campo e na interpretação dos dados da Tese.

E em especial a pessoa que aprendi a chamar de Teresa, a amiga, a professora, a mentora, a pessoa que incentiva e tira o melhor das pessoas, Dr<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nóbrega.

## Gênese e evolução de sistemas pedológicos em unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon-PR

### RESUMO

Com o objetivo de comprovar a hipótese de que os sistemas pedológicos, dos compartimentos geomorfológicos, denominados Platô de Marechal, Margarida e Porto Mendes, do município de Marechal Cândido Rondon – Oeste do Paraná estariam em diferentes estágios de evolução, buscou-se, neste trabalho, compreender a gênese e as transformações pedológicas predominantes nestas três unidades de paisagens, consideradas as mais representativas do município. Para tanto, utilizou-se a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, para o reconhecimento da organização e funcionamento desses sistemas pedológicos, com sondagens e trincheiras nos principais setores topográficos das vertentes, para a caracterização macro e micromorfológica e físico-hídrica dos horizontes diagnósticos. A unidade do Platô de Marechal, constituída por Latossolo Vermelho Eutroférico no topo e por Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico a partir da média vertente, evidenciam transformações laterais que indicam a desconstrução do horizonte Bw em detrimento do avanço do B nítico sobre setores mais altos na vertente, o que demonstra um desequilíbrio pedomorfológico. A unidade de paisagem de Margarida, constituída pelo Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico, leva a inferir sobre uma possível transformação do horizonte Bw, em estruturas poliédricas, assumindo características de B nítico. Já na unidade de paisagem de Porto Mendes, foi possível identificar uma cobertura pedológica composta pelo Latossolo Vermelho Eutroférico, aparentemente em equilíbrio com as condições atuais. Os dados micromorfológicos, particularmente a organização das microestruturas e do sistema poral, também contribuíram para o entendimento do comportamento físico-hídrico dos sistemas pedológicos. Estes estudos permitiram concluir a ocorrência de vestígios de duas superfícies aplanadas (Pd1 e Pd0), a partir das quais foram modeladas as vertentes atuais, pelo entalhe da drenagem, e uma zona de pedimentos e/ou patamares escalonados e rampas que fazem a transição entre elas, o que permite identificar que as unidades de Porto Mendes e de Margarida estão conectadas pelos processos e produtos de elaboração desse pediplano beirário. O nível pediplanado Pd0, que baliza os topos das colinas da unidade de Porto Mendes, se estende na unidade de Margarida, ao longo dos vales, correspondendo a pedimentos, atualmente também entalhados, dos esporões topograficamente mais altos. Os esporões, por sua vez, aparecem com os topos, relativamente estreitos, escalonados (em degraus), até atingir a borda do Platô de Marechal. O escalonamento dos topos desses esporões foi originado, provavelmente, pela dissecação da rampa de ligação entre o Pd1 e o Pd2. Os desníveis em degraus ou patamares podem ter caráter estrutural e não apenas morfoclimático, já que se trata de um relevo evoluindo sobre rochas originadas de derrames vulcânicos. A alternância de níveis maciços mais espessos de basalto com níveis menos espessos ou vesiculares e amigdaloidais pode produzir esse escalonamento quando dissecado. Em síntese, as três unidades de paisagem possuem características próprias, geradas principalmente pela evolução geomorfológica regional, cuja evolução do modelado das vertentes durante o Quaternário, sob o efeito de alternâncias climáticas, gera também as condições para a gênese e evolução da cobertura pedológica a ela associada. Na atualidade, cada sistema pedológico mostra, além dos efeitos dessa história de evolução, transformações produzidas pelo uso e ocupação dessas vertentes pelo homem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema pedológico, micromorfologia, condutividade hidráulica, transformações pedológicas.

# Genesis and evolution of pedological systems in landscape units of the municipality of Marechal Cândido Rondon-PR

## ABSTRACT

In order to prove the hypothesis that pedological systems, geomorphological compartments, called Marechal, Margarida and Porto Mendes Plateau, from Marechal Cândido Rondon - West of Paraná were in different stages of evolution, in this study we aimed to understand the genesis and transformations in these three predominant soil landscape units, considered the most representative of the municipality. For this purpose, the methodology of Structural Analysis Coverage Pedologic was used for recognition of the organization and operation of these pedological systems, with polls and trenches in the main sectors of the topographical aspects, for macro and micromorphological and physical-hydric characterization of diagnostic horizons. The unit of Marechal Plateau, consisted by eutroferric red latosol on top and distroferric red latosolic nitosol from the average slope, side transformations evidence indicating the deconstruction of the Bw horizon over the advancing B nitic on the highest sectors on the slope, which shows a pedomorphologic imbalance. The landscape unit of Margarida is constituted by eutroferric red latosol leads to the inference of a possible transformation of the Bw horizon in polyhedral structures, assuming B nitic features. In the landscape unit of Porto Mendes it was possible to identify a podologic soil cover composed by eutroferric red latosol apparently in equilibrium to the current conditions. Micromorphological data, particularly the organization of microstructures and temporal system, also contributed to the understanding of the physical behavior of hydro-pedological systems. These results demonstrated the occurrence of traces of two flattened surfaces (Pd0 and Pd1), from which the current strands were modeled by drain slot, and a pediments zone and / or staggered heights and ramps that make the transition between them, which allows us to identify that the units of Porto Mendes and Margarida are connected by the processes and products of preparing this waterfront pediplain. The pediplained Pd0 level, which shot the hilltops drives from Porto Mendes, extends the unit of Margarida, along the valleys, corresponding to pediments, currently also carved, spurs topographically higher. The spurs, in turn, the tops appear relatively narrow spread (in steps) until it reaches the edge of the Marechal plateau. The stagger of these spurs tops originated probably in dissection ramp connection between Pd1 and Pd2. Disparities in steps or levels can be structural and not just morphoclimatic, since it is a relief to evolve over rocks originating from volcanic flows. The alternation of massive levels thicker basalt levels thinner or vesicular and amigdaloïdal can produce this staggering when dissected. In summary, the three landscape units have their own characteristics, mainly generated by regional geomorphological evolution, whose evolution modeling of the sections during the Quaternary, under the effect of climate alternations, also creates the conditions for the genesis and evolution of soil cover to it associated. Currently, each pedological system shows, besides the effects of this history of evolution, transformations produced by use and occupancy of these strands by man.

**KEYWORDS:** Pedological system, micromorphological, hydraulic conductivity, podological transformations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área com as unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon.....	35
Figura 2: Fluxograma metodológico da pesquisa.....	37
Figura 3: Equipamento utilizado para a coleta das amostras de solos em anéis volumétricos.....	40
Figura 4: Caixa utilizada para a coleta de amostra para a confecção de lâminas delgadas.....	40
Figura 5: Realização dos ensaios na mesa de tensão.....	43
Figura 6: Detalhe da disposição das Mesas de tensão, com colunas de água de 50 a 100 cm.....	43
Figura 7: Equipamento utilizado para medir a condutividade hidráulica.....	43
Figura 8: Mapa hipsométrico evidenciando o entalhamento do relevo da região Oeste do Paraná.....	48
Figura 9: Mapa com as subunidades morfoesculturais e unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon.....	49
Figura 10: Mapa hipsométrico 3D com destaque para as unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon.....	51
Figura 11: Mapa de declividade 3D do município de Marechal Cândido Rondon.....	51
Figura 12: Topossequência de solos da unidade de paisagem do Platô de Marechal.....	54
Figura 13: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solo da topossequência do Platô de Marechal.....	55
Figura 14: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.....	60
Figura 15: Topossequência de solos da unidade de paisagem de Margarida.....	62
Figura 16: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Margarida.....	64
Figura 17: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de Margarida.....	67
Figura 18: Topossequência de solos da unidade de paisagem de Porto Mendes.....	69
Figura 19: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.....	70
Figura 20: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.....	73
Figura 21: Fotomicrografias dos horizontes de solo da topossequência do Platô de Marechal.....	76
Figura 22: Fotomicrografias dos horizontes de solo da topossequência de Margarida.....	82

Figura 23: Fotomicrografias dos horizontes de solo da topossequência de Porto Mendes. ....	88
Figura 24: Relação da condutividade hidráulica com a densidade do solo da topossequência do Platô de Marechal. ....	93
Figura 25: Relação da condutividade hidráulica com a macro e a microporosidade dos solos da topossequência do Platô de Marechal. ....	94
Figura 26: Imagens binárias do sistema poral dos horizontes de solo do Platô de Marechal. .	96
Figura 27: Relação da condutividade hidráulica com a densidade do solo dos perfis de solos da topossequência de Margarida. ....	99
Figura 28: Relação da condutividade hidráulica com a macro e a microporosidade dos perfis de solos da topossequência de Margarida. ....	99
Figura 29: Imagens binárias do sistema poral dos horizontes de solo de Margarida. ....	100
Figura 30: Relação da condutividade hidráulica com a densidade dosolos dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes. ....	102
Figura 31: Relação da condutividade hidráulica com a macro e microporosidade dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes. ....	102
Figura 32: Imagens binárias do sistema poral dos horizontes de solo de Porto Mendes. ....	103
Figura 33: Perfil topográfico das três unidades de paisagem estudadas no município de Marechal Cândido Rondon. ....	109
Figura 34: Mapa hipsométrico de Marechal Cândido Rondon com destaque para transição entre pedimentos e pediplanos, evidenciado no perfil topográfico. ....	111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de condutividade hidráulica.....	44
Tabela 2: Características físicas dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal. .....	56
Tabela 3: Características químicas dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.....	58
Tabela 4: Características físicas dos perfis de solos da topossequência de Margarida. ....	64
Tabela 5: Características químicas dos perfis de solos da topossequência de Margarida. ....	66
Tabela 6: Características físicas dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes. ....	70
Tabela 7: Características químicas dos perfis de solos da topossequência do Porto Mendes. .	72
Tabela 8: Porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.....	92
Tabela 9: Porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica dos perfis de solos da topossequência de Margarida. ....	98
Tabela 10: Porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição micromorfológica dos horizontes de solo do sistema pedológico do Platô de Marechal.....	75
Quadro 2: Descrição micromorfológica dos horizontes de solo do sistema pedológico de Margarida.....	81
Quadro 3: Descrição micromorfológica dos horizontes de solo do sistema pedológico de Porto Mendes.....	87

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA</b> .....	15
2.1 A PAISAGEM COMO CATEGORIA NOS ESTUDOS MORFOPEDOLÓGICOS .....	15
2.2 A EVOLUÇÃO NOS ESTUDOS DE PEDOGÊNESE E MORFOGÊNESE .....	18
2.3 A DINÂMICA DA ÁGUA NAS COBERTURAS PEDOLÓGICAS .....	24
2.4 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS .....	29
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	35
3.1 TRABALHOS DE CAMPO .....	38
3.2 TRABALHOS DE GABINETE .....	40
3.3 TRABALHOS DE LABORATÓRIO .....	41
3.3.1 Análises físicas .....	41
3.3.2 Análises hídricas .....	43
3.3.3 Análises micromorfológicas .....	44
3.3.4 Análises químicas .....	45
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	47
4.1 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E LOCAL DOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS ESTUDADOS .....	47
4.2 AS TOPOSSEQUÊNCIAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS. ....	53
4.2.1 Topossequência de solos do compartimento do Platô de Marechal. ....	53
4.2.2 Topossequência de solos do compartimento de Margarida .....	61
4.2.3 Topossequência de solos do compartimento de Porto Mendes .....	68
4.3 MICROMORFOLOGIA DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS .....	74
4.3.1 Topossequência de solos do compartimento do Platô de Marechal .....	74
4.3.2 Topossequência de solos do compartimento de Margarida .....	80
4.3.3 Topossequência de solos do compartimento de Porto Mendes .....	86
4.4 AS TOPOSSEQUÊNCIAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS: COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO .....	91
4.4.1 Topossequência de solos do compartimento do Platô de Marechal .....	92
4.4.2 Topossequência de solos do compartimento de Margarida .....	97
4.4.3 Topossequência de solos do compartimento de Porto Mendes .....	101

<b>4.5 SÍNTESE DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS</b> .....	104
<b>5 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS</b> .....	107
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	114
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	117

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento integrado do meio físico, em particular dos solos, tanto das suas características como do seu funcionamento, tem sido indicado por muitos pesquisadores como fundamental para os estudos que buscam a compreensão da paisagem.

Esta afirmativa pode ser compreendida porque as fases de equilíbrio e desequilíbrio pedomorfoclimáticos, ocorridos desde a última fase do Quaternário nas zonas tropicais, podem estar atreladas, direta e indiretamente, ao processo de desmatamento, seguido do uso e da ocupação dos solos.

É por isso que a compreensão das mudanças climáticas e dos processos de pedogênese e morfogênese, que atuam simultaneamente nos diferentes setores das vertentes de um determinado espaço geográfico, ajudam nas explicações sobre a pedogênese múltipla, as superposições de camadas por processos erosivos, as características reliquiais herdadas e adquiridas, ou seja, sobre os ciclos de estabilidade e instabilidade das paisagens.

Para tanto, é necessário considerar que a dinâmica dos processos naturais, somados aos da ação humana, sobretudo àqueles advindos do uso e da ocupação dos solos, podem interferir na dinâmica hídrica das coberturas pedológicas e, conseqüentemente, no processo de redistribuição de matéria (partículas mais finas como os siltes e as argilas), contribuindo para a evolução morfopedológica das vertentes.

Partindo de estudos anteriores que permitiram o conhecimento prévio das características geomorfológicas e pedológicas do município de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Estado do Paraná, e da delimitação deste espaço geográfico em unidades de paisagem com ênfase nas formas de relevo, foram escolhidos para esta pesquisa, entre os quatro compartimentos geomorfológicos do município, os três mais representativos em termos morfopedológicos: o topograficamente mais elevado (Platô de Marechal), onde está inserido o perímetro urbano e periurbano da cidade de Marechal Cândido Rondon, o intermediário (Margarida), onde se encontra o distrito de Margarida, e o mais rebaixado (Porto Mendes), onde está o distrito de Porto Mendes.

Nesses três compartimentos geomorfológicos, foram selecionadas vertentes representativas, em termos topográficos e pedológicos, para o estudo das topossequências, com a utilização da metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. Foram realizadas investigações por sondagens para o conhecimento prévio da cobertura pedológica, seguido da abertura de trincheiras nos setores topográficos mais representativos das vertentes, para a descrição macromorfológica e coleta de amostras para a obtenção dos dados físicos,

químicos, micromorfológicos e hídricos dos materiais, com o intuito de esclarecer o atual comportamento morfopedológico dessas coberturas pedológicas, tanto em termos de gênese como de dinâmica e evolução.

Cabe destacar que os estudos envolvendo técnicas de microscopia e de condutividade hidráulica em Latossolos e Nitossolos, nessa região, são recentes e pouco comuns e, por isso, o presente trabalho torna-se relevante por contribuir para o conhecimento da gênese e evolução desses solos e do seu comportamento físico-hídrico.

Considerando que as hipóteses desse estudo são as de que os sistemas pedológicos, constituídos por Latossolos Vermelhos Eutroféricos e/ou Nitossolos Vermelhos Eutroféricos, dos compartimentos geomorfológicos, denominados de Platô de Marechal, Margarida e Porto Mendes, do município de Marechal Cândido Rondon, podem estar em diferentes estágios de evolução, em razão das suas condições topográficas locais e regionais, definiu-se como objetivos desta pesquisa: i) analisar o comportamento físico-hídrico e físico-químico dos sistemas pedológicos; ii) caracterizar as organizações macro e micromorfológicas dos sistemas pedológicos e; iii) evidenciar o estágio de evolução pedogenética das três topossequências de solos das unidades de paisagem.

Para tanto, a presente pesquisa está estruturada, em outras cinco seções, além desta seção introdutória. A segunda seção apresenta a fundamentação teórico-metodológica, com destaque aos estudos que priorizam a paisagem como categoria, sobretudo aqueles que se utilizam da compartimentação do relevo para entender a morfopedologia. Na terceira seção, são apresentados, além da localização e caracterização da área de estudo, os procedimentos metodológicos e as técnicas utilizadas na pesquisa e que ajudaram na resolução do tema-problema. Na quarta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos em campo e em laboratório, sempre com o intuito de entender a evolução dos sistemas pedológicos em estudo. A quinta seção apresenta-se com a síntese e discussões sobre a gênese e evolução dos sistemas pedológicos. Por fim, na última seção são apresentadas as conclusões resultantes desta pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

### 2.1 A PAISAGEM COMO CATEGORIA NOS ESTUDOS MORFOPEDOLÓGICOS

Abordar a paisagem como sistema tem sido uma das melhores formas de compreensão do espaço geográfico. Conforme aponta Dollfus (1972), esta categoria de análise representa o aspecto visível do espaço, definido pelas formas da Terra, tanto em seus aspectos naturais como pelas consequências das ações humanas no ambiente.

Esta constatação é relevante porque as paisagens são constituídas pelo domínio natural, pelos elementos do clima, da hidrografia e do domínio vivo da biosfera, incluindo os seres humanos.

É por isso que o geógrafo, ao estudar uma determinada paisagem, procura estabelecer possíveis relações entre os seus elementos naturais e antrópicos, sempre com o intuito de contribuir com os conhecimentos dos processos que envolvem a sua formação, tanto em termos de gênese como de evolução espacial.

Foi com esta compreensão que Bertrand (1971) estabeleceu a proposta de classificação da paisagem do ponto de vista sistêmico, originalmente denominado de *Paysage et Géographie Phisique Globale*. Este modelo de análise da paisagem, pautado no tripé: suporte ecológico (representado pelo meio físico), exploração biológica e ação antrópica, destaca que:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1971, p.1).

Nesta obra, Bertrand (1971, p. 8-9) ainda propôs o sistema de classificação da paisagem em seis níveis temporo-espaciais, divididos em unidades superiores (zona, domínio e região) e unidades inferiores (geossistema, geofácies e o geotopo).

Conforme Nóbrega e Cunha (2012), a unidade de paisagem, que corresponde a um dado setor, identificado e delimitado em decorrência da sua homogeneidade interna na escala considerada, pode ser assumida como um sistema caracterizado por suas inter-relações internas e externas (conexões com outras unidades), configurando-se como um instrumento de mapeamento e como um meio de aplicação do conhecimento da paisagem, servindo de base para a avaliação da suscetibilidade da paisagem em face de vários tipos de uso.

A identificação das diferentes unidades de paisagem na área objeto de análise fornece, portanto, um cenário estruturado e dinâmico para a avaliação das vulnerabilidades e potencialidades. Mais que o cruzamento de atributos, como geralmente é realizado, a unidade de paisagem possibilita a apreensão dos fenômenos no interior de um sistema.

Para Bolós (1981) *apud* Guerra e Marçal (2006, p.97), a paisagem em sua abordagem sistêmica e complexa será sempre dinâmica e compreendida como o resultado das inter-relações entre os elementos físicos e biológicos que formam a natureza mais as intervenções da sociedade no tempo e no espaço em constante transformação. Dollfus (1972) também indica que um elemento importante a ser considerado na formação e evolução da paisagem é o fator tempo, uma vez que os elementos que compõem a paisagem são remodelados constantemente.

Amorim e Oliveira (2007, p. 179) enfatizam que a interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico permite a identificação dos atributos responsáveis pela dinâmica da paisagem, como também reconhecer as principais fragilidades ambientais de cada unidade, elemento essencial na gestão do território.

Neste contexto, pode-se concluir que a análise sistêmica na ciência geográfica nasceu do esforço de teorização do meio natural com as suas estruturas e seus mecanismos, mais ou menos modificados pelas ações humanas. O que também justifica a informação de Bertrand e Beroutchachvili (2002) de que esta construção só é possível a partir de dados de mensuração.

A obra “Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário”, de Aziz Nacib Ab’Saber (1969a), pode ser citada como a que melhor traduz o entendimento sobre a paisagem. O autor apresenta três níveis de detalhamento para o estudo da geomorfologia: o primeiro nível seria a compartimentação topográfica regional; o segundo nível, a análise da estrutura superficial da paisagem e; por fim, o terceiro nível refere-se à fisiologia da paisagem, a qual envolve os processos morfoclimáticos e pedogenéticos, somados à atuação do homem.

Vários autores, como Tricart (1977) e Ross (2007), indicam que o ponto de partida para o estudo da paisagem é a compartimentação geomorfológica.

No Brasil, apesar das influências nem sempre serem bem absorvidas, percebe-se uma tendência, cada dia mais acentuada, para a cartografia geomorfológica, principalmente pela influência da obra de Jean Tricart (1977). Segundo Ross (2007), a cartografia que é ao mesmo tempo instrumento de análise e de síntese da pesquisa geomorfológica, é um dos caminhos mais claramente definidos para a pesquisa empírica no campo da geomorfologia.

Para Ross (1992), as unidades de paisagens se individualizam pelo relevo, clima, cobertura vegetal, solos ou até mesmo pelo arranjo estrutural e o tipo de litologia ou exclusivamente por um desses elementos. Monteiro (2000) afirma que as unidades de paisagem apresentam fronteiras de complexa delimitação, que ocupam um determinado espaço e certo período de tempo, cuja existência é condicionada pelo funcionamento de seus elementos.

Na visão de Nóbrega e Cunha (2012), o relevo é evocado, por muitos autores, como um elemento significativo na delimitação das unidades de paisagem, porque além de ser de fácil percepção visual, é um dos responsáveis pela estruturação da paisagem, em virtude de seu papel na distribuição e organização de elementos, tais como a rede hidrográfica e os solos, dentre outros.

De acordo com Suertegaray (2002), o relevo, como constituinte da paisagem geográfica, deve ser entendido como um recurso natural imprescindível para uma gestão ambiental adequada. Resende *et al.* (1995) reforçam que o relevo está intimamente ligado ao fator tempo na gênese dos solos. Na paisagem brasileira, na qual os processos de pedogênese são imensamente ativos, o relevo tem um papel decisivo como controlador do tempo de exposição das rochas aos agentes bioclimáticos. Os autores consideram que as partes mais velhas, ou melhor, as expostas há mais tempo ao intemperismo, são justamente as grandes superfícies aplainadas, comuns no território brasileiro, e onde, por sua vez, ocorrem os solos mais velhos.

Se a esculturação da paisagem geomorfológica resulta da ação de processos relacionados ao intemperismo e a morfogênese, cujo grau de atuação varia de lugar para lugar em função das características geográficas, sobretudo climáticas, e geológicas, o mesmo raciocínio pode-se esperar para a evolução das encostas. Estudos em diferentes contextos geográficos, por vezes, atribuem a evolução das encostas à ação de processos pedogeoquímicos (QUEIROZ NETO, 2000), mas na maioria dos casos reconhecem a ação de processos morfogenéticos como preponderantes (BIGARELLA *et al.*, 2003).

Lepsch (2002) afirma que a velocidade com que o solo se forma depende do tipo do material original, uma vez que, sob condições idênticas de clima, organismos e topografia, certos solos se formam mais rapidamente que outros.

A composição mineralógica do material parental determina, portanto, a eficácia das forças de intemperismo. O tempo necessário para que um solo se desenvolva está bastante

relacionado com esta constituição e a menor ou maior facilidade de alteração química varia de mineral para mineral.

Deste modo, percebe-se que a distribuição espacial dos tipos de solo está diretamente relacionada com o arranjo espacial do relevo em seus vários níveis de escala, desde a regional à escala individual de vertente. O relevo, além de ser um dos fatores de formação do solo, possui um importante significado no contexto das pesquisas pedológicas, que é alavancada pela interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, possibilitando uma leitura extensiva do relevo, como um meio de reconhecer os tipos de solo ocorrentes numa determinada superfície.

Por isso, com base no tratamento dado para a paisagem, por diversos autores, procura-se apresentar uma síntese da estruturação da paisagem e, com o objetivo de promover a integração prevista, subsidiada pelos compartimentos geomorfológicos, busca-se a compreensão da paisagem em sua integridade.

É por esta razão que, nesta pesquisa, tem-se o relevo como ponto de partida para o entendimento da paisagem, pois a partir da caracterização de suas formas, é possível dimensionar unidades elementares (vertentes) para fins analíticos.

Estas vertentes possibilitam o entendimento, por exemplo, de processos de pedogênese e morfogênese, como tem sido evidenciado nos estudos realizados com a aplicação da metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica (BOULET *et al.*, 1982a,b,c), como será demonstrado no próximo item.

## 2.2 A EVOLUÇÃO NOS ESTUDOS DE PEDOGÊNESE E MORFOGÊNESE

A ciência do solo é relativamente recente, datada do século XIX, quando o pesquisador Dokuchaev elaborou seus pilares. Segundo Queiroz Neto (1995), para entender a evolução da ciência do solo é importante resgatar os trabalhos pioneiros, desenvolvidos na Rússia por Dokuchaev, geólogo que foi buscar na física, química, biologia e mineralogia o suporte para a compreensão dos estudos dos solos.

É por isso que os solos, até então vistos como restos de decomposição das rochas e que, conseqüentemente, apresentavam grande relação com o corpo rochoso de origem, passaram a ser entendidos como corpos dinâmicos, com características e propriedades próprias, cuja relação com o material originário dependeria de todos os aspectos relacionados

à sua formação, refletindo os fatores a ela relacionados e o modo como interagem (ESPINDOLA, 2008, p.61).

Na compreensão de Lepsch (2002), entende-se por fatores de formação dos solos aqueles que, de alguma forma, são capazes de atuar de maneira significativa na pedogênese. Já os processos de formação dos solos podem ser entendidos como o modo de atuação desses fatores, representados pelo material de origem, tempo, relevo (topografia), clima e organismos. Estes fatores refletem muito bem a relação da pedosfera com as outras esferas planetárias (geosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera) e, podem ser divididas em fatores ativos, passivos e controladores.

Entendem-se como fatores ativos de formação dos solos aqueles que, de alguma forma, atuam sobre o material de origem fornecendo ou exportando matéria, além de gerar energia. São aqueles fatores que ativamente atuam na pedogênese. Clima e organismos são os melhores exemplos de fatores ativos. Os fatores passivos, por sua vez, são aqueles que não fornecem ou exportam matéria, ou ainda, não geram energia, como por exemplo, o material de origem e o tempo.

Os processos de pedogênese ou de formação dos solos a partir dos detritos do intemperismo sofrem interferências tanto da atmosfera como dos seres vivos (animais ou plantas). Essa intervenção é responsável pela formação da matéria orgânica que origina os processos bioquímicos mais complexos, considerados fundamentais na formação dos solos (POPP, 2010, p. 67).

Por sua vez, a morfogênese compreende o conjunto de processos que originam as formas do relevo. Pode-se, desta maneira, contrapor morfogênese a pedogênese, pois, em locais onde os processos morfogenéticos atuam mais intensamente, a pedogênese é inibida ou retardada como, por exemplo, nas regiões semiáridas (DERRUAU, 1986)

Desta maneira, tem-se o solo como o resultante da ação conjunta dos agentes intempéricos sobre os restos minerais depositados e enriquecidos de detritos orgânicos. A sua formação tem início no momento em que as rochas entram em contato com o meio ambiente e começam a sofrer transformações. Com a intensidade que é função do meio, a rocha e seus minerais são submetidos a ação dos agentes do intemperismo, em que os fragmentos providos de tais rochas vão ficando cada vez menores e se acumulando nas encostas, baixadas ou mesmo sobre o próprio material de origem (LEPSCH, 2011, p.75-77). Dessa maneira, é sobre este material geológico que se desenvolve o solo, resultante da ação de forças pedogenéticas. O que deve ser ressaltado é que, para a ciência do solo, a importância do intemperismo

decorre não apenas de sua ação destruidora, mas principalmente de sua ação criadora, formadora do solo.

Por sua vez, o relevo atua como agente controlador da pedogênese, ao regular a velocidade e a direção do escoamento das águas da chuva (LEPSCH, 2011, p.81). Apesar de não atuar diretamente, ele pode definir menores ou maiores graus de desenvolvimento do perfil de solo. De modo geral, relevos acidentados facilitam a erosão em detrimento da pedogênese, favorecendo então a formação de um solo menos desenvolvido, que guarda relação estreita com o material originário. Em relevos suaves e planos, a boa infiltração e a boa drenagem favorecem tanto a alteração dos minerais como a remoção dos produtos solubilizados, levando a taxas elevadas de pedogênese e, conseqüentemente, gerando solos mais profundos e intemperizados.

Enquanto o processo de intemperismo envolve, sobretudo, mudanças químicas e mineralógicas, a pedogênese envolve, basicamente, uma reorganização estrutural do material já intemperizado (TOLEDO *et al.*, 2008, p.141), com grande participação dos organismos e das substâncias por eles geradas.

Assim, é possível concluir que os solos primeiro se formam e depois passam por processos de mudanças (TOLEDO *et al.*, 2008, p.141). Portanto, da combinação dos fatores de formação dos solos, aliada aos diversos processos do intemperismo e da pedogênese, resultam os diferentes tipos de solos existentes na paisagem.

Fundamentado nas interferências dos processos pedogenéticos e morfogenéticos na explicação da gênese e evolução das paisagens, Tricart (1977) criou o modelo de classificação integrada da paisagem, denominado de ecodinâmica, no qual destacou os meios estáveis, meios *intergrades* e os meios fortemente instáveis, viabilizando a possibilidade de avaliar as condições de estabilidade dos ecossistemas, nos quais estes meios tenham aplicações práticas.

Ao estudar a paisagem na perspectiva sistêmica, Tricart (1977) destaca que, ao considerar a Terra como um sistema vivo, é necessário o desenvolvimento de pesquisas analíticas juntamente com estudos integrados, pois são estes que ajudam na compreensão da ecodinâmica do ambiente em termos de aplicabilidade.

Conforme preceitos de Felds (1957), os sistemas geomorfológicos, inicialmente, são passivos, porque as atividades antrópicas promovem as principais e mais rápidas mudanças nas formas de relevo, o que significa que estas formas tendem a ter uma nova condição de estabilização do sistema natural. Christofolletti (1999) e Rodriguez *et al.* (2004) corroboram

com esta afirmação, alegando que a modificação de uma das variáveis externas usualmente provoca reajustes de todo o sistema.

Este sistema geomorfológico pode ser analisado a partir do estudo das formas das vertentes. Segundo Gregory (1992), a vertente é considerada um sistema-processo-resposta, resultante da inter-relação entre as formas, os materiais e os processos que configuram seus elementos. Comporta-se como um sistema em cascata, pois é nela que ocorrem as transferências de energias e de matérias, comandadas principalmente pelas forças gravitacionais, hidráulicas e químicas.

Conforme Bigarella *et al.* (1965), a análise da morfologia das vertentes consiste em um importante instrumento de reconhecimento da sequência de eventos operantes no desenvolvimento da paisagem, pois é através dos estudos das diversas formas e de seus depósitos correspondentes que se pode concluir quais as condições ambientais que prevalecem durante esta análise e, ainda, sobre os processos atuantes no desenvolvimento da paisagem.

A transferência de água, sedimentos e elementos químicos ocorrem por meio dos vários fluxos que variam no tempo e no espaço, ao longo do sistema vertente, superficial e subsuperficialmente, podendo resultar em diferenciações e descontinuidades de processos, tanto em termos de formas das vertentes como de classes de solos dispostos em cada segmento topográfico.

Os processos pedogenéticos de adição, remoção, translocação e transformações de caráter físico, químico e biológico que originam o *solum* e seus respectivos horizontes, com variações em um mesmo tipo de material de origem, são decorrentes de fatores ambientais. Os fatores ambientais, isolados e/ou combinados, são resultantes da atuação dos processos de pedogênese (laterização, podzolição, calcificação, gleização e salinização), decorrentes especialmente da ação diferenciada do clima (RUELLAN; DOSSO, 1993).

A partir do exposto, pode-se considerar que estudar o solo, na perspectiva de Ruellan (1988), significa observar, medir, representar e interpretar as organizações morfológicas e, ainda, reconhecer e analisar os constituintes, bem como determinar e medir as propriedades desses constituintes e das estruturas que organizam a própria cobertura pedológica.

Considerando que as técnicas e metodologias de estudo usadas em regiões de climas temperados pouco serviram para os meios tropicais, entre os anos 1960 e 1980, novas técnicas de campo e laboratório, promovidas pela metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica sistematizada por Boulet *et al.* (1982a,b,c), possibilitaram melhorar o

conhecimento das diferenciações morfológicas, vertical e lateralmente, ao longo das vertentes, como mostram os estudos que se utilizam da análise bidimensional (topossequências).

De acordo com Boulet, Chauvel e Lucas (1990), os solos encontram-se organizados em camadas que apresentam filiações genéticas. Quando o sistema está em equilíbrio com o meio, as camadas se organizam de forma concordante com a superfície. Quando o sistema apresenta instabilidades internas, a organização inicial sofre transformações para a adaptação das novas condições, gerando camadas discordantes que se propagam à custa das primeiras. Essa nova organização é denominada de sistema de transformação, onde uma cobertura inicial transforma-se em outra diferente sendo discordante sobre os horizontes do solo e avançando lateralmente ao longo da vertente (BOULET, 1988).

Atualmente, em razão dos estudos mencionados, sabe-se que o solo encontra-se organizado e hierarquizado em níveis que vão da microestrutura ao entendimento dos sistemas pedológicos na paisagem com interpretações que ajudam a explicar as relações entre os processos de morfogênese e de pedogênese.

Segundo Baize (1986), a forma sistematizada de compreender a distribuição e a variação dos solos na paisagem, denominada de cobertura pedológica pelos franceses, na década de 1960, permitiu avanços, principalmente, no campo da cartografia e das pesquisas relacionadas à pedogênese, sobretudo aqueles que utilizaram a escala das bacias hidrográficas para entender a morfopedologia. Para o autor, a utilização da expressão cobertura pedológica representa melhor a realidade do conceito de solo, visto que “cobertura” indica certa extensão geográfica, ou seja, uma continuidade espacial, enquanto o adjetivo “pedológica” define claramente o objeto estudado.

A metodologia proposta por Boulet *et al.* (1982a,b,c) parte da escolha de certo número de unidades de modelado – bacias de primeira ordem ou interflúvios elementares –, que sejam representativos da região principalmente em termos topográficos, geológicos e hidrológicos. Nesta unidade de paisagem, são efetuados estudos em topossequência assinalando as linhas de maior declividade das vertentes. As topossequências consistem na análise dos solos por trincheiras ao longo de uma vertente, em três pontos diferentes: topo, meia encosta e sopé. Além desses pontos, são intercalados vários outros, juntamente com algumas sondagens, cujo número e intervalo entre uma e outra são determinados pelas variações da cobertura pedológica.

Num segundo momento, com outras topossequências transversais e paralelas efetuadas na unidade, juntamente com trincheiras abertas em pontos privilegiados (além do topo, meia

encosta e sopé), observam-se as transições verticais e laterais entre horizontes ao longo de uma vertente. Reconstitui-se dessa maneira, segundo os autores, a distribuição tridimensional das organizações pedológicas (BOULET *et al.*, 1982b,c).

É nesse contexto teórico-metodológico que os autores destacam que esse corpo contínuo, organizado e estruturado, denominado cobertura pedológica, apresenta sucessivos e prováveis reajustamentos da pedogênese aos processos morfogenéticos.

Segundo Castro (1989) e Oliveira (1997), as mudanças na cobertura pedológica, podem ocorrer naturalmente, devido à alteração de elementos da natureza ou pela ação antrópica, pelos diferentes tipos de uso agrícola e urbano. Quando isso ocorre, uma cobertura pedológica pode se transformar em outra bem distinta, até atingir o equilíbrio com as características atuais do ambiente, o que significa a ocorrência de interferências na evolução da paisagem.

Destacam-se assim algumas pesquisas realizadas no Brasil com o intuito de entender a influência do relevo, do tempo e do material de origem na variação espacial dos solos.

Em solos arenosos, Salomão (1994), por exemplo, utilizando como base as características geológicas, geomorfológicas e dos solos, efetuou seus estudos sobre o platô de Bauru (SP) delimitando-o em três compartimentos morfopedológicos, tendo como objetivo conhecer o comportamento e o funcionamento das coberturas pedológicas desta região. Em síntese, o autor indica que no relevo de colinas amplas, onde a rede de drenagem é pouco entalhada, predominam os Latossolos com características físicas que condicionam o fluxo hídrico nos padrões verticais, enquanto no relevo de colinas médias e convexas, a rede de drenagem apresenta-se mais densa e entalhada, presumindo a evolução dos podzólicos sobre a cobertura latossólica do topo. Nos setores de média-alta e média vertente, os podzólicos mantêm um fluxo hídrico mais lateral.

Buscando compreender a gênese e a dinâmica de sistemas pedológicos, Castro (1989) estudou as transformações pedológicas em horizontes B latossólicos e B texturais, em Marília (SP), e Santos (2000) pesquisou a pedogênese no topo do platô de Bauru (SP), detalhando as transformações pedológicas na bacia do córrego da Ponte.

Em solos com textura argilosa, destaca-se o trabalho de Fernandes Barros (1996) desenvolvido na cidade de Londrina, Estado do Paraná, onde foram estudados dois sistemas pedológicos, envolvendo discussão sobre a alteração do basalto na formação de coberturas latossólicas. O trabalho destaca que nas partes mais altas da paisagem, em que o relevo é de baixa declividade, os topos são extensos e com predomínio da baixa densidade de drenagem,

são encontrados os Latossolos e, nos sopés das vertentes, há presença de couraças pisolíticas, sobre a rocha. Evidencia ainda que, quando a rede de drenagem torna-se mais densa e entalhada, com vertentes mais curtas e de maior declividade, ocorrem coberturas com sistemas de transformação lateral dos Latossolos Roxo para as Terras Roxas Estruturadas.

Kertzman (1996), ao estudar o efeito da compactação sobre a estrutura e comportamento do Latossolo Roxo, no município de Guaira (SP), a partir de dados morfológicos e micromorfológicos, indicou que essa classe de solo, além de muito homogênea, apresenta estrutura microagregada, fortemente desenvolvida. Também ressalta que o uso intensivo desses solos, mesmo com a adoção do plantio direto, como técnica de manejo, provocou a compactação de uma camada superficial de 40 cm de espessura, com uma porosidade até 20% menor se comparado aos demais horizontes não compactados. Vale lembrar que esta compactação reduziu as taxas de infiltração da água nesses 40 cm superficiais.

Nestes trabalhos apresentados, o conhecimento da pedogênese é visto como passo importante para a compreensão do padrão da distribuição dos diversos solos na paisagem. As particularidades apresentadas no manual de classificação de solos brasileiros (EMBRAPA, 2006) reforçam que o alto grau de intemperismo é o principal processo pedogenético do horizonte B latossólico dos Latossolos, enquanto a translocação de argila do horizonte A para o horizonte B, com cerosidade muito evidente nos agregados estruturais bem desenvolvidos, reflete a gênese do horizonte B nítico dos Nitossolos.

Considerando que grande parte dessas pesquisas vem indicando a necessidade de compreensão da dinâmica da água nas coberturas pedológicas para melhor entendimento dos processos morfopedogenéticos, será apresentado, a seguir, o item de dinâmica da água nas coberturas pedológicas.

### 2.3 A DINÂMICA DA ÁGUA NAS COBERTURAS PEDOLÓGICAS

Para entender a dinâmica da água nos solos, faz-se necessário conhecer algumas das suas características macromorfológicas, em particular, sua textura e estrutura, responsáveis pela organização do sistema poroso.

Tem-se definido por diversos pesquisadores que os solos são constituídos quimicamente de componentes minerais ou inorgânicos, matéria orgânica, água, ar e organismos do solo. Os componentes minerais, resultantes da atuação do intemperismo sob o

material de origem, são responsáveis pela estrutura e fertilidade dos solos. A matéria orgânica, adicionada aos solos pela decomposição de resíduos vegetais e animais, interfere nas propriedades físicas, químicas e biológicas, melhorando características como agregação, porosidade, fertilidade e atividade microbiana nos solos, entre outras. Dessa maneira, os solos devem apresentar porosidade suficiente para a infiltração de água das chuvas e passagem de ar, favorecendo as trocas gasosas (macroporos), e para retenção de água (microporos).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a porosidade deve ser compreendida como a proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço, ocupado pela massa de solo. O que se conclui é que o tamanho e a disposição dos espaços porosos têm influência direta na velocidade da infiltração da água nos solos e que esse movimento da água é realizado pelas forças de gravidade e capilaridade. A força de gravidade promove o movimento da água nos grandes poros em solos saturados, enquanto a força de capilaridade ocorre nos solos não saturados (REICHARDT, 1990).

Assim, o tamanho e arranjo natural do espaço poroso dependem do tamanho e organização das partículas sólidas (argila, silte e areia) que formam a sua estrutura. Entre as partículas maiores de diferentes diâmetros, como é o caso da fração areia (porosidade textural) ou entre os agregados (porosidade estrutural), predominam poros grandes, denominados macroporos e entre as partículas menores, como é o caso das frações argila e silte, predominam poros pequenos, denominados microporos.

Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979). Kiehl (1979) classifica como macro e microporos os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm, enquanto Richards (1965) utiliza diâmetro igual a 0,05 mm como limite de separação entre macro e microporos.

A proporção de água e de ar existentes nos poros dos solos depende das condições meteorológicas naturais (precipitação e temperatura) e dos fatores antrópicos, entre eles, o tipo de sistema agrícola, que pode promover a reorganização das frações minerais, como é o caso da compactação mecânica que reduz o espaço poroso.

De acordo com Reichardt (1990, p. 32), a porosidade total dos solos está relacionada de maneira inversa à densidade do solo, ou seja, à medida que esta densidade aumenta, a porosidade total diminui. Segundo Kiehl (1979), a densidade do solo, em profundidade, tende a aumentar porque pressões exercidas pelas camadas superiores provocam a compactação do

solo, reduzindo a sua porosidade total. Kiehl (1979) acrescenta que um solo em condições ideais para o desenvolvimento vegetal deve apresentar 1/3 da porosidade total formada por macroporos e os 2/3 restantes por microporos.

Como mostra Reichardt (1990, p.31) em solos Nitossólicos no Estado de São Paulo, a densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ ), para um solo fofo, é de 1,18, num solo normal é de 1,40 e num solo compactado é de 1,52. A relação desses dados de densidades com os de porosidade total indicam, respectivamente 55,5% para o solo fofo, 47,20% para o solo normal e 42,60% para o solo compactado.

A textura do solo, segundo Klar (1984), também é uma característica importante para os estudos de interação entre solo-água-plantas-atmosfera porque ao contribuir na organização do espaço poroso interfere na capacidade de infiltração, na evaporação, no suprimento de nutrientes, na quantidade de solo transportado pelo escoamento superficial e na perda de nutrientes.

Entende-se que as características físicas do solo são as responsáveis por permitir o fluxo da água através dos poros. Para Karmann (2008, p. 122), a capacidade dos materiais de conduzir água é chamada de permeabilidade e depende do tamanho dos poros e da conexão entre eles. O autor também argumenta que existe uma relação entre a diminuição da permeabilidade com o arranjo do espaço poral. Tem-se como exemplo que no solo composto por frações mais finas (silte e argila) a porosidade total pode ficar entre 50 e 80%, porém a permeabilidade se mantém baixa a muito baixa.

Conforme Reichardt (1990, p. 61), a condutividade hidráulica ( $K$ ) ocupa papel de destaque, pois reflete a capacidade do solo em conduzir água. Quanto maior for o valor de  $K$ , maior tende a ser a facilidade com que a água se movimenta no solo e o valor máximo de  $K$  ocorre quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).

O autor acrescenta que a condutividade hidráulica pode ser definida como o volume de água que atravessa por unidade de tempo uma determinada área do solo impulsionada por uma diferença de potencial. Isso permite concluir que a condutividade é um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido, a água, é transportada através do meio poroso, o solo, e que depende tanto das propriedades do solo como das propriedades da água. Dentre as propriedades do solo, pode-se destacar a distribuição de tamanho e forma de suas partículas, a superfície específica, a porosidade, ou seja, todas as propriedades que têm reflexo na geometria porosa do solo.

Para Reichardt (1990), o conhecimento da condutividade hidráulica é de fundamental importância para a determinação do fluxo de água nos solos e, do ponto de vista prático, para a elaboração de projetos de irrigação e drenagem, bem como para a quantificação da erosão e lixiviação de substâncias químicas. Na prática, como a água do solo se move relativamente devagar, é comum utilizar unidades de tempo para sua representação, por exemplo, cm/h ou mm/h. Assim, se um solo permite a passagem de 5 mm/h, significa que em 1 m<sup>2</sup> de solo fluíram 5 litros de água no período de 1 hora.

Cooper (1999) ressalta que a macroporosidade e parte da mesoporosidade contribuem para a rápida movimentação da água no solo. Segundo o autor, a macro e mesoporosidade têm, geralmente, uma origem estrutural e/ou biológica e estão sujeitas a uma forte heterogeneidade ao longo do perfil, o que pode explicar as variabilidades observadas das condutividades hidráulicas ao longo do perfil de um solo.

Cunha (2002) descreve que o comportamento da água nas coberturas pedológicas envolve relações e mecanismos complexos determinados de um lado pelas propriedades físicas da água e pelos fenômenos de interface água/partícula sólida e água/fase gasosa, responsáveis pela circulação e retenção de água e, de outro lado, pelas propriedades físicas e mecânicas dos solos que controlam os movimentos e a distribuição e, portanto, o seu comportamento no interior do solo e ao longo da vertente.

A aeração ou permeabilidade do solo sofre modificações com diferentes condições de umidade e de práticas culturais. O preparo do solo é uma atividade que interfere diretamente na estrutura do solo, podendo melhorar suas propriedades físicas, incluindo a aeração. No entanto, um manejo inadequado pode acarretar tanto a reorganização da estrutura como a redução do seu espaço poroso (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Silveira (1998) acrescenta que as alterações (morfológicas, físicas, químicas e hídricas) provocadas pelos usos e manejos intensivos e inadequados, além de desestabilizarem a estrutura do solo, causam variações no sistema poroso e na dinâmica e disponibilidade da água nos solos.

Souza *et al.* (2004) constataram que o uso intensivo no Latossolo Vermelho Eutroférico, no nordeste do Estado de São Paulo, com o cultivo da cana-de-açúcar, o preparo superficial excessivo e a queima dos resíduos, modificou significativamente os atributos físicos deste tipo de solo. A principal alteração foi a diminuição do volume de macroporos.

Tavares-Filho *et al.* (2006), observaram que a maior compactação, juntamente com a maior quantidade de matéria orgânica existente, proporcionou ao solo uma menor

macroporosidade e, com isso, o solo interagiu mais com a água infiltrada, fazendo com que a água tivesse uma menor velocidade e, conseqüentemente, valores de difusividade e condutividade hidráulica menores.

É com esta compreensão que Salomão (1999), Cooper (1999), Santos (2000) e Cunha (2002) destacam como importante os estudos sobre o comportamento hídrico das coberturas pedológicas, principalmente porque auxiliam no entendimento integrado do meio físico e, em especial, nas relações entre os solos e as vertentes, as formas de uso e manejo e a sua dinâmica.

Vidal-Torrado, Lepsch e Castro (2005, p. 177), ao discutirem o funcionamento hídrico do solo e suas relações com as formas de relevo, embasados em trabalhos realizados nas cidades de Bauru-SP (SALOMÃO, 1999), Marília-SP (CASTRO, 1989) e São Pedro-SP (OLIVEIRA *et al.*, 1998), afirmam que, independentemente dos tipos de solo, a topografia condiciona a direção e a intensidade dos fluxos hídricos, sendo motor dos processos de pedogênese e de morfogênese. Áreas de relevo mais suavizado e com materiais mais permeáveis facilitam a infiltração da água da chuva, superando as taxas de escoamento superficial. Com isso, os processos pedogenéticos atuam de forma mais efetiva e profunda, alterando o material de origem e decompondo, mais facilmente, os elementos químicos solúveis. Porém, em áreas com relevo dissecado grande parte das águas de chuva é perdida por escoamentos superficiais, favorecendo a erosão e retardando a pedogênese, podendo resultar em solos menos desenvolvidos.

Estudos sobre o comportamento hídrico das coberturas pedológicas que buscam entender os processos de pedogênese e morfogênese, na vertente (topossequências) e na paisagem (bacia hidrográfica), devem priorizar o uso de técnicas que permitam avaliar a distribuição e redistribuição das matérias (siltes e argilas) nos diferentes segmentos topográficos das vertentes, como é o caso da micromorfologia.

De acordo com Ruellan e Dosso (1993), Kertzman (1996), Castro (1989), Castro (2002), Filizola e Gomes (2006), a micromorfologia é uma dessas técnicas, considerada eficiente tanto nos estudos de gênese e dinâmica do solo como nos de avaliação e no monitoramento das diversas práticas agrícolas. Com o auxílio das técnicas de processamento e análise digital de imagem, a micromorfologia é capaz de fornecer resultados de porosidade e permeabilidade com precisão, além de possibilitar a visualização das alterações estruturais causadas pelo adensamento e compactação.

A micromorfologia, de acordo com Filizola e Gomes (2006), corresponde a uma escala de observação da cobertura pedológica, indispensável para o entendimento da sua organização e funcionamento. O uso adequado da micromorfologia passa pelo conhecimento detalhado da distribuição dos horizontes pedológicos, tanto no perfil como na paisagem. Desse modo, a observação micromorfológica é considerada um *zoom* na organização da cobertura pedológica.

Nesse sentido, características específicas dos horizontes diagnósticos têm sido estudadas e detectadas pelo uso da micromorfologia, tais como: a presença de argilãs ou cutãs de iluviação em horizontes argissolos ou B textural, conforme trabalhos elaborados por Castro (1989), Santos (2000) e Cunha (2002).

Também pode ser destacada a estrutura microgranular, ausência ou traços de minerais primários facilmente decomponíveis, tais como a ausência de argilãs de iluviação, microagregados arredondados típicos de horizontes Bw de Latossolos (CASTRO, 1989; KERTZMAN, 1996; ESPINDOLA, 2008).

## 2.4 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

A falta de aplicação correta das práticas de manejo dos solos, além de dificultarem a sua conservação, promovem problemas socioambientais nas escalas local e regional, tais como os relacionados a compactação e a erosão dos solos.

O manejo do solo é um dos principais fatores que governam a sua qualidade física, tendo em vista que ele influencia diretamente a estrutura do solo, causando modificações no espaço poroso e na habilidade do solo em reter, transmitir e infiltrar água, resistir aos estresses causados pelas máquinas e processos erosivos, bem como em prover as plantas com água, oxigênio, nutrientes e crescimento radicular (DEXTER, 1988).

Uma das propriedades físicas importantes para o manejo do solo é sua resistência à penetração, uma vez que essa propriedade apresenta-se relacionada a diversos atributos do solo indicadores do grau de compactação. O estudo desta resistência é de fundamental importância para a escolha do sistema de preparo mais adequado ao crescimento e desenvolvimento das culturas, pois indicam o grau de compactação, a densidade do solo, a porosidade e conteúdo de água, em solos cultivados.

É consenso entre os pesquisadores (DERPSCH *et al.*, 1990; De MARIA *et al.*, 1999; TAVARES FILHO *et al.*, 2006) que os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, o

desrespeito às condições mais favoráveis para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas para essas operações podem levar a modificações na estrutura do solo, causando-lhe maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas e, conseqüentemente, reduzir sua produtividade.

Essas modificações estruturais poderão ser diferentes de acordo com o tipo de preparo efetuado no solo. Acredita-se que os sistemas ditos convencionais causem as maiores modificações estruturais (LEPSCH, 2002, p.166; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005), deixando-os mais suscetíveis aos processos de erosão. Contrariamente, o sistema de plantio direto, amplamente adotado no Paraná, tem contribuído para a preservação ambiental e a sustentabilidade da produção agrícola. Os principais benefícios do sistema são a manutenção da cobertura do solo – resultado do não revolvimento –, a preservação ou aumento do teor de matéria orgânica e a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (REICHARDT, 1990, p.137).

Pode-se considerar que o sistema de plantio direto, desde que manejado segundo seus princípios básicos (mínimo revolvimento, permanência da palhada e rotação de culturas), constitui-se em uma tecnologia capaz de atender pelo menos dois requisitos considerados importantes para a conservação do solo e para a produção agrícola: maior armazenamento de água e desenvolvimento do sistema radicular.

Em relação ao armazenamento de água, pode-se considerar que a manutenção da cobertura do solo, proporcionada por este método, diminui as perdas de água por evaporação e por escoamento superficial, em virtude do aumento da capacidade de infiltração de água associada à proteção da superfície do solo contra o impacto da gota de chuva, o que evita a formação de crostas superficiais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Do mesmo modo, o aumento do teor de matéria orgânica do solo, associado à menor intensidade de revolvimento, melhora substancialmente a estrutura do solo, favorecendo o desenvolvimento radicular da planta e, assim, aumenta o tamanho do reservatório de água disponível durante os períodos de estresse hídrico. As melhorias na estrutura do solo, proporcionadas pelo plantio direto, aumentam a infiltração e retenção de água do solo, favorecendo ainda os fluxos ascendentes de água das camadas mais profundas até as camadas mais superficiais, onde se encontra a maior parte do sistema radicular das plantas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Por outro lado, o plantio direto, desenvolvido com a finalidade de eliminar a mobilização superficial das frações dos solos e mantê-los cobertos com restos culturais, tem provocado certa compactação superficial, caracterizada pelo aumento da densidade do solo e redução de sua porosidade total (De MARIA *et al.*, 1999), a qual poderá restringir o desenvolvimento radicular das culturas.

Algumas pesquisas indicam que a utilização do sistema de plantio direto por longo prazo tem levantado questionamentos sobre os possíveis impactos negativos da compactação causada pelo tráfego de máquinas e ação de implementos, ainda que o aumento de matéria orgânica possa contribuir para a atenuação da compactação do solo.

No sistema de plantio direto, o solo é revolvido de forma localizada na linha de semeadura, formando um sulco de largura e profundidade suficientes para a adequada colocação da semente e fertilizantes. O processo de compactação é tido como resultado do efeito cumulativo do tráfego de máquinas e da ausência de revolvimento. A utilização de maquinários na agricultura é entendida como um das principais responsáveis pela compactação devido à movimentação no preparo, plantio, adubação, pulverização e colheita. É evidente que a ocorrência e a intensidade da compactação dependem da sequência de culturas, do sistema de manejo e da umidade do solo por ocasião do tráfego (BOIZARD *et al.*, 2002).

Veiga *et al.* (2007) propõem alternativas que possam amenizar a compactação superficial neste método de plantio. Os autores reforçam que, ao contrário do preparo convencional, a mobilização do solo no sistema de plantio direto restringe-se às linhas de semeadura, cuja intensidade depende do mecanismo utilizado para abertura do sulco. O uso de sulcadores pode reduzir a compactação superficial neste sistema, devido à mobilização causada pelos mecanismos de corte do solo para abertura de sulcos pelas semeadoras.

Nesse sentido, a compactação do solo envolve aspectos físicos, químicos e biológicos, tendo ainda correlação com os fatores do ambiente (clima), práticas de manejo e os tipos de cultura. O processo em si, envolve a alteração da densidade do solo, ou seja, um aumento da massa que diminui a quantidade de vazios, a porosidade. Quanto mais compactado for o solo, maior será o valor da densidade global e menor será a relação de vazios (REICHARDT, 1990, p.30).

Ressalta-se que a compactação não só reduz o volume de poros, mas modifica também sua geometria. Isso afeta funções ecológicas importantes do solo, como as propriedades hidráulicas em fase gasosa de transporte ou o crescimento da raiz.

Para entender o processo de compactação, é necessário ter em mente que o solo é formado por três fases: sólida, líquida e gasosa, composta respectivamente por material mineral e orgânico, água e ar. Decorrente da pressão exercida, o rearranjo das partículas tende a maximizar as fases sólidas e líquidas e, em contrapartida, minimizar os espaços destinados à fase gasosa (REICHARDT, 1990). Os solos argilosos mostram-se mais suscetíveis a compactação devido a predominância de partículas finas de argila.

A compactação é definida como sendo um processo pelo qual ocorre o rearranjo dos agregados devido à diminuição dos espaços entre e dentro destes, fazendo com que as partículas fiquem mais próximas, aumentando a densidade do solo.

De modo geral, o manejo inadequado dos solos cultivados provoca resistência à penetração e aumento na sua densidade, bem como diminuição da porosidade e do conteúdo de água disponível às plantas. Em síntese, a densidade do solo apresenta relação direta com a resistência do solo à penetração das raízes (REICHARDT, 1990), enquanto o conteúdo de água no solo influencia inversamente na resistência (TORMENA *et al.*, 1998a).

Vários estudos demonstram que, em plantio direto, a compactação dos solos ocorre mais próxima da superfície e altera as propriedades físicas (TAVARES FILHO *et al.*, 2006). A compactação acarreta modificações das estruturas e redução na qualidade física do solo para o crescimento das plantas em virtude da indisponibilidade de água (TORMENA *et al.*, 1998b), o que afeta indiretamente a disponibilidade de nutrientes. Nessas situações, também ocorre aumento da resistência do solo à penetração de raízes, redução no volume total de poros e alteração da distribuição do tamanho de poros do solo (KLEIN; LIBARDI, 2002), com conseqüente redução da porosidade abaixo do mínimo necessário para a difusão de oxigênio até as raízes (XU *et al.*, 1992).

Nos levantamentos em área de lavouras, localizada no município de Maringá - PR, Betioli Júnior *et al.* (2012) avaliaram a qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico, sob plantio após 30 anos de sua implantação, utilizando o grau de compactação e o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) – indicador da qualidade física dos solos, por integrar numa só medida os efeitos do potencial da água no solo, da resistência mecânica à penetração das raízes e da porosidade do solo adequada à difusão de oxigênio às raízes. Em síntese, destacaram que houve redução do IHO com o aumento da densidade do solo. Os maiores valores do IHO foram verificados na posição de amostragem relativa à linha da cultura, que resultou em IHO condizente com a qualidade física desse solo sob sistema de plantio direto de longo tempo.

Soares *et al.* (2005, p. 1012), ao pesquisar um Latossolo Vermelho sob plantio de cítrus, no município de Bariri, Estado de São Paulo, identificaram que nos setores mais afetados pela ação antrópica, em subsuperfície, observam-se alterações na quantidade e na forma dos poros, com a fissuração de agregados, surgimento de blocos subangulares e porosidade com geometria modificada, quando comparada com as camadas mais profundas. Os autores colocam ainda que, numa área com vários trajetos de compactação, o afofamento dos primeiros dez centímetros não resolve o problema da infiltração da água, já que abaixo dessa linha a faixa compactada impede o escoamento natural da água.

Para Tavares-Filho *et al.* (2006) um método que pode ajudar na redução da compactação e, por conseguinte, aumentar a entrada e permanência da água em solos agrícolas é o processo da escarificação, pois foi constatado que a condutividade hidráulica do solo escarificado foi 1,67 vezes maior que a do solo sob plantio direto, indicando que, após a escarificação, ocorreu uma elevação de  $1,45 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  ( $52 \text{ mm h}^{-1}$ ) na condutividade hidráulica, em relação ao solo sob plantio direto há 20 anos. Os autores ainda ressaltam que esse aumento foi reduzido para  $0,48 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  ( $17 \text{ mm h}^{-1}$ ) apenas um ano após a realização da escarificação, demonstrando assim que, nesses casos, a reconsolidação do solo é rápida.

Em muitos casos, o método indicado para auxiliar na redução do problema da compactação é a subsolagem, a qual consiste em uma operação que objetiva tornar o solo mais solto, sem inverter as camadas, como ocorre no caso da aração. Esta prática elimina os efeitos nocivos da compactação ou do adensamento de camadas do solo, que ocorrem, geralmente, numa profundidade de até quarenta centímetros. O nome de subsolagem é dado quando o revolvimento do solo atinge uma profundidade maior que 30 cm, e a operação que atinge profundidades menores, é denominado escarificação, como possivelmente é o caso verificado no estudo de Soares *et al.* (2005).

Para Melo *et al.* (2007), é fato conhecido que o sistema de plantio direto, desde que bem conduzido, contribui para reduzir as perdas de água por escoamento superficial. No entanto, no Paraná é comum a ocorrência de chuvas cuja intensidade ultrapassa a capacidade de infiltração de água do solo. Desse modo, o terraceamento continua sendo uma medida de fundamental importância para minimizar as perdas de água por escoamento superficial e, assim, aumentar a infiltração e o volume de água armazenado no solo. A água retida nos terraços infiltra no solo e se redistribui no interior do mesmo, ficando disponível às plantas. Havendo o uso do sistema de plantio direto de forma adequada, mantendo a palha na superfície do solo e adotando o uso de terraços nas rampas declivosas e longas, se consegue

um melhor aproveitamento da capacidade de filtro do solo, da proteção dos mananciais hídricos e da manutenção das cabeceiras de drenagem.

Os apontamentos teóricos realizados neste capítulo, assim como a metodologia a ser exposta no próximo capítulo, servirão como base para a discussão e análise dos sistemas pedológicos selecionados para esta pesquisa.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O município de Marechal Cândido Rondon, com área de 748 km<sup>2</sup>, localiza-se no Terceiro Planalto Paranaense, eixo central da bacia sedimentar do Paraná, mais precisamente no extremo Oeste do Estado do Paraná, entre os paralelos de 24°26' e 24°46' latitude Sul e 53°57' e 54°20' longitude Oeste. Sobre a área do município dominam setores de três subunidades morfoesculturais: Planalto de Cascavel, Planalto de São Francisco e Planalto de Foz do Iguaçu (MINEROPAR, 2006), os quais têm limites que se aproximam das quatro grandes unidades de paisagem identificadas por Moresco (2007) no território municipal (Figura 1).

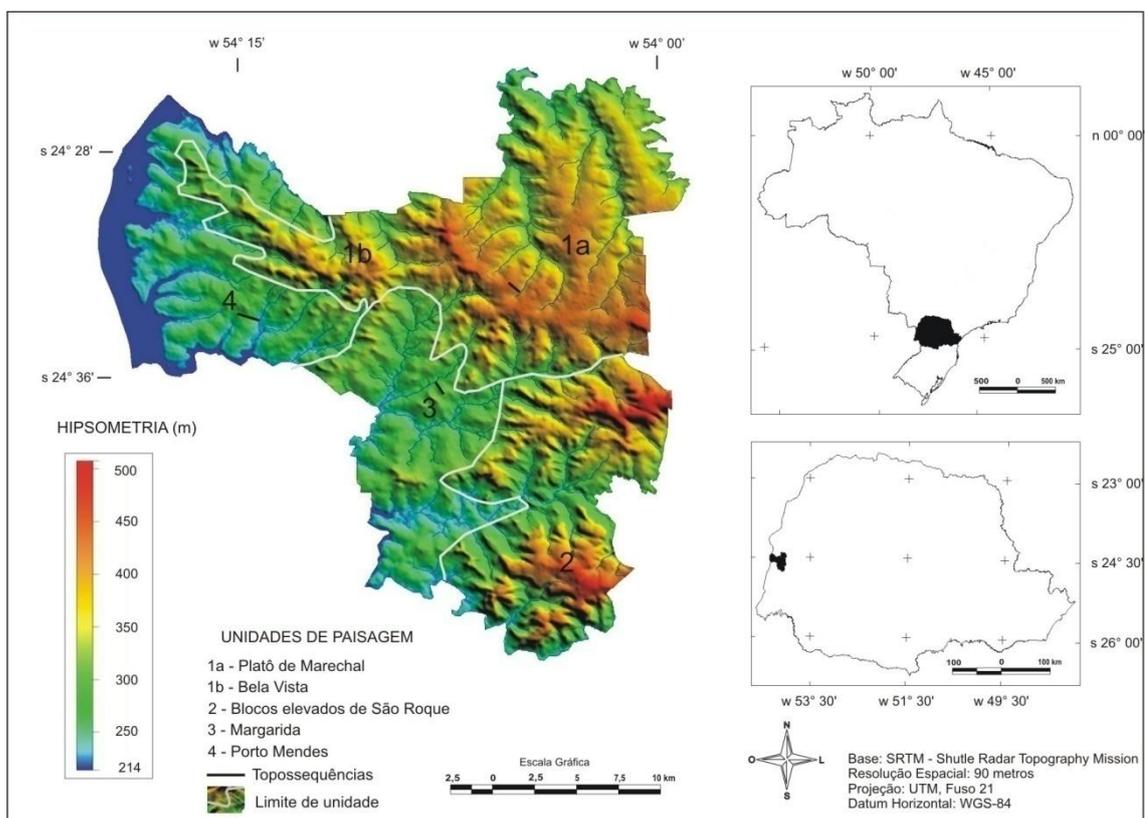


Figura 1: Localização da área com as unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon.

Predominam, na área, as rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, que dão origem a solos de textura argilosa a muito argilosa, classificados pela Embrapa (2006) de Latossolos Vermelhos férricos (nas áreas de alta e média alta vertente), Nitossolos Vermelhos férricos (nas áreas de média a média baixa vertente) e Gleissolos (nas áreas de fundo de vale).

A rede de drenagem de padrão dendrítico subparalelo, composta pelo rio Guaçu (setor Norte), parte do córrego Arroio Fundo (ao centro) e rio Marreco (setor Sul), pertencentes à bacia hidrográfica do Paraná III, modela as formas de relevo do tipo patamares e colinas subtabulares, denominados regionalmente de morros, cerros ou pequenas colinas, entre as cotas altimétricas de 215 a 491 metros.

O município, assim como grande parte da região Oeste do Estado, está submetido a um clima de tipo Cfa de zona subtropical úmida, que segundo a classificação de Köppen, é caracterizado por estações de verão e inverno bem definidas, precipitações pluviométricas distribuídas durante o ano, com média anual de 1840 mm (IAPAR, 1994) e temperaturas médias dos meses mais quentes superiores a 22 °C, e as dos meses mais frios inferiores a 18 °C, com geadas pouco frequentes (ITCF, 1987). Associada a essa condição climática, dominava originalmente, na área, a Floresta Estacional Semidecidual.

A ocupação e colonização dessa área promoveram uma grande devastação da vegetação florestal original na década de 1950, a qual continuou pelas décadas seguintes sempre com o objetivo de aumentar a área de cultivo. De acordo com Moresco (2007), a cobertura de mata, incluindo reservas legais e mata ciliar, somam no início do século XXI apenas 3,6% de toda a extensão territorial do município.

Como observado por Moresco (2007), o território municipal de Marechal Cândido Rondon é caracterizado por quatro grandes unidades de paisagem. Duas topograficamente mais baixas, denominadas de Porto Mendes e Margarida e duas mais elevadas, denominadas de Platô de Marechal e São Roque/Baitaca (Figura 1).

A autora identificou, de forma descritiva e qualitativa, em cada uma dessas unidades de paisagem, as suas vertentes características e os sistemas pedológicos dominantes. Em três desses compartimentos de paisagem, topograficamente dispostos de forma escalonada, os sistemas pedológicos são constituídos principalmente por Latossolo Vermelho férrico – Nitossolo Vermelho férrico. Em função da forma e do comprimento das vertentes nos compartimentos, ora é o Latossolo que predomina sobre o Nitossolo, ora é o Nitossolo que predomina em extensão em relação ao Latossolo.

A partir do estudo de Moresco (2007), esta pesquisa se concentrou no levantamento e estudo detalhado de topossequências de solos nos compartimentos do Platô de Marechal, de Margarida e de Porto Mendes, a fim de evidenciar a gênese e evolução dos sistemas pedológicos aí encontrados, nas escalas macro e microscópicas, como sugerem Ruellan e Dosso (1993), com destaque para os trabalhos de campo para a caracterização

macromorfológica dos horizontes dos perfis de solos e análises laboratoriais para a obtenção de dados físicos, químicos, hídricos e micromorfológicos, conforme pode ser evidenciado no roteiro metodológico da figura 2.

Para tanto, foram utilizadas as orientações teórico-metodológicas da análise estrutural da cobertura pedológica, proposta por Boulet *et al.* (1982a,b,c), principalmente a bidimensional (BOULET *et al.*, 1982a) e as orientações teóricas e metodológicas de Bertrand (1971) e Tricart (1977) sobre a análise sistêmica.

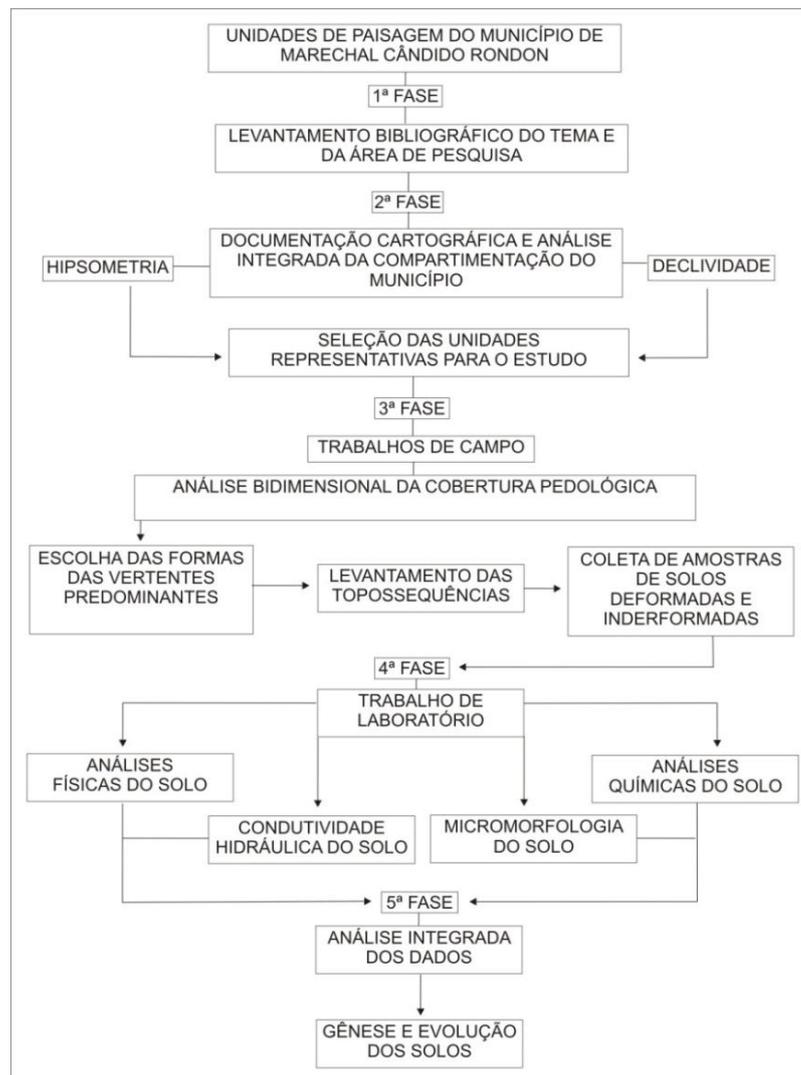


Figura 2: Fluxograma metodológico da pesquisa.

Esta metodologia proporciona o conhecimento das variações verticais e laterais dos materiais existentes, tanto dos horizontes pedológicos como em suas transições ao longo das vertentes, ou seja, o entendimento da sua geometria, indicada como importante para a

compreensão da gênese, da evolução e do funcionamento da cobertura pedológica em uma dada unidade de paisagem.

O estudo em topossequências consiste da análise em horizontes de solos nas trincheiras dispostas ao longo de uma vertente, normalmente no topo, na meia encosta e no sopé. Dependendo das condições topográficas e das variações laterais notadas, outras trincheiras podem ser intercaladas. Objetiva-se, assim, por meio de observações feitas nos perfis verticais, reduzir ao máximo a incerteza introduzida por interpolações de uma trincheira a outra, sendo possível desenhar, sob o corte topográfico, a distribuição dos diferentes volumes de solo observados.

### 3.1 TRABALHOS DE CAMPO

#### **- Critérios de escolha das vertentes e dos eixos topográficos**

Para a realização dos trabalhos de campo, foram selecionadas as formas de vertentes predominantes na área de cada unidade de paisagem para que assim pudessem ser compreendidas as relações dessas formas de relevo, tanto em termos de distribuição dos solos como de tipo de uso e ocupação agrícola. Nessas vertentes, foram escolhidos eixos topográficos (transectos) capazes de evidenciar a organização da cobertura pedológica com as suas variações verticais e laterais. Para tanto, foram realizados levantamentos de uma topossequência de solos por unidade de paisagem, levando em consideração as características morfopedológicas mais representativas.

#### **- Levantamento topográfico**

Nesse procedimento, foi utilizado o clinômetro de bolso, o metro e a trena, como indicam Boulet *et al.* (1982a), na análise bidimensional da cobertura pedológica. De posse dos dados colhidos em campo, desenharam-se os perfis topográficos longitudinais.

#### **- Levantamento pedológico**

Nesta etapa, também foram utilizados os pressupostos teóricos e metodológicos de Boulet *et al.* (1982a). Ao longo das topossequências, foram efetuadas coletas de amostras (a cada 10 cm de profundidade) com o uso do trado holandês, organizadas em pedocomparadores. Nessas amostras, foram realizadas a descrição das características de cor, textura e consistência, conforme sugestões de Lemos e Santos (2005).

A partir das sondagens, foi possível indicar a abertura das trincheiras em pontos representativos da topossequência para a descrição morfológica e coleta de solo nos horizontes diagnósticos.

De posse das características morfológicas dos solos, verificadas nas amostras das sondagens e nas trincheiras, realizou-se a representação esquemática da distribuição, vertical e lateral, dos solos existentes nas topossequências dos três compartimentos de paisagem estudados. Esta etapa permitiu o conhecimento prévio das organizações, verticais e laterais, da cobertura pedológica.

#### **- Descrição morfológica e coleta de amostras de solo**

Esta etapa foi realizada nas três topossequências de solos. Na topossequência do Platô de Marechal, foram abertas duas trincheiras: topo e baixa vertente. Na topossequência de Porto Mendes também foram abertas duas trincheiras: topo e média-baixa vertente. Já na topossequência de Margarida, por conta da forma da vertente, foram abertas quatro trincheiras: topo, média, média-baixa e sopé da vertente.

Nos perfis de solos dessas trincheiras, foi realizada a descrição macromorfológica (cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, atividade biológica, feições pedológicas e transição entre os horizontes) dos horizontes de acordo com Lemos e Santos (2005). Além da descrição, foram coletadas amostras de solos, no centro de horizonte, para a realização de análises físicas e químicas, e coleta de amostras indeformadas para análises da condutividade hidráulica, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e micromorfológicas dos horizontes pedológicos.

As amostras indeformadas para os ensaios da condutividade hidráulica e quantificação da porosidade foram coletadas em anéis de aço inox cravados verticalmente, no centro dos horizontes, com o auxílio de um peso de três quilos (Figura 3). A fim de evitar erros na coleta, que poderiam não condizer com a realidade, foram coletadas três amostras para cada horizonte. O anel de aço inox possui as seguintes medidas: Altura de 5 cm; Diâmetro de 6,12 cm; Volume de  $147,009 \text{ cm}^3$  e área de  $154,966 \text{ cm}^2$ .

As amostras indeformadas para confecção das lâminas delgadas foram coletadas em caixas de papel cartão (10x6x5 cm) nos horizontes, sempre com a indicação da orientação (seta) em relação ao topo do perfil (Figura 4).



Figura 3: Equipamento utilizado para a coleta das amostras de solos em anéis volumétricos.

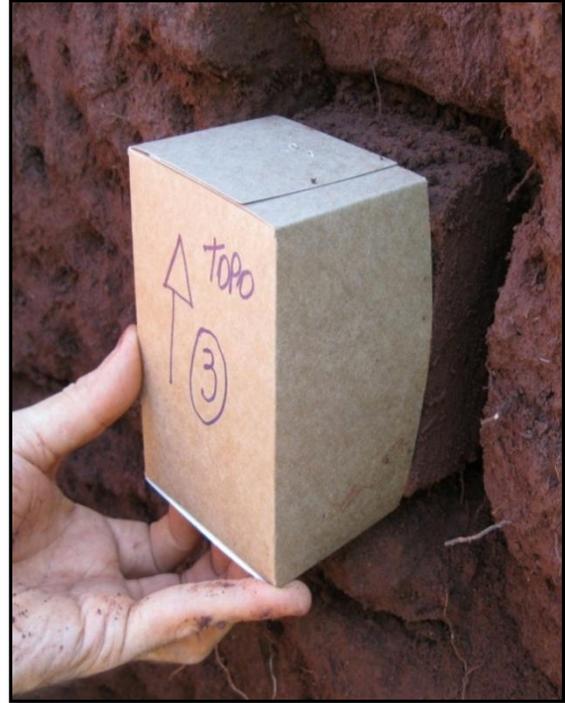


Figura 4: Caixa utilizada para a coleta de amostra para a confecção de lâminas delgadas.

### 3.2 TRABALHOS DE GABINETE

#### - Produção do material cartográfico

Os mapas apresentados foram desenvolvidos nos *softwares* de Geoprocessamento, Spring 5.1.8, Global Mapper 11<sup>®</sup>, e Envi 4.3<sup>®</sup>. Os dados vetoriais e matriciais foram transportados de um programa para o outro, buscando a melhor qualidade de representação das informações. Na base de dados do Spring, foram gerados os vetores para hidrografia e o mapa de localização do município de Marechal Cândido Rondon, que contou com a importação da base hipsométrica do Global Mapper, elaborada com imagem SRTM - Shuttle Radar Topography Mission – com resolução espacial de 90 metros. O mapa hipsométrico do Oeste do Estado do Paraná, assim como o modelo 3D do município, foi desenvolvido no Global Mapper.

No *software* Envi, as imagens SRTM, com resolução espacial de 90 metros, foram ajustadas para 30 metros, e serviram de base para a elaboração da carta de declividade do terreno, de acordo com as classes da Embrapa (2006). Essa carta foi importada no Global Mapper e, a partir dela, foi gerado um modelo 3D para representar as declividades do município na escala 1:250.000.

Para finalização e edição dos mapas e desenhos das topossequências de solos foi utilizado o *software* CorelDraw® 12.

### 3.3 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

As análises de solos foram realizadas em diferentes laboratórios. As químicas foram desenvolvidas no Laboratório de Química do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em Marechal Cândido Rondon. No Laboratório de Física do Solo, dessa mesma instituição, foram efetuadas as análises de granulometria, argila natural, densidades dos solos e de partículas, porosidade do solo e condutividade hidráulica. Os equipamentos necessários para a leitura da condutividade hidráulica foram cedidos pelo Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM) - PR.

#### 3.3.1 Análises físicas

##### - **Granulometria**

Para este ensaio, foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997). Para a dispersão das frações, utilizou-se 50 mL da solução NaOH 1N em 50 gramas de terra fina seca ao ar (TFSA). O material, depois de agitado por 25 minutos, com agitador horizontal de 200 rpm, foi transferido para uma proveta de 1000 mL, passando por peneira de malha 0,053 mm para separação da fração areia. O material da proveta foi agitado manualmente por 40 segundos e deixado em repouso por 2 horas para, em seguida, fazer a leitura com o densímetro e a determinação da temperatura, para quantificação da fração argila. A fração areia após 24 horas na estufa (105 °C) foi pesada, enquanto o silte foi obtido por diferença.

##### - **Argila dispersa em água**

Para esta análise, também foi utilizado o densímetro de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997). Neste procedimento, o método sugere somente água destilada para separação das frações. O teor da argila dispersa em água, em relação ao teor de argila total, serviu para determinar o grau de floculação e o de dispersão dos materiais.

### - Relação silte/argila

É calculada dividindo-se os teores de silte pela de argila, resultantes da análise granulométrica, e serve como base para avaliar o estágio de intemperismo presente em solos de região tropical. Em solos argilosos quando apresenta, na maior parte do horizonte B, valor inferior a 0,6, indica alto grau de intemperismo.

### - Densidade do solo

O cilindro com solo foi levado para a estufa por 24 horas e, posteriormente, pesado para a obtenção do peso da amostra seca. Descontado o peso do cilindro, efetuou-se o cálculo de densidade de acordo com a fórmula:

$$D_s = \frac{\text{Peso da amostra seca}}{\text{Volume do anel}}$$

### - Densidade de partículas

Foram utilizados 20 gramas de solo destorroado e seco em estufa a 105°C por 24 horas. Em balões volumétricos de 50 mL, foram transferidos o solo e 25 mL de álcool etílico. Depois de agitado manualmente, o material ficou em repouso por três horas para, então, ser completado com álcool etílico e ter calculada a densidade de partículas, expressa em g cm<sup>-3</sup>, utilizando-se da fórmula:

$$D_p = \frac{\text{Peso da amostra seca}}{50 - \text{volume de álcool gasto}}$$

### - Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Para a análise da porosidade, foram utilizados cilindros de 5 cm de altura e 6,12 cm de diâmetro, com volume de 147,009 cm<sup>3</sup>.

As amostras saturadas e pesadas foram levadas a mesa de tensão (Figura 5), por 12 horas, com a coluna de água de 100 cm, para obter uma tensão de 0,01 MPa (Figura 6). Nesta primeira etapa, foi definida a macroporosidade e, após 72 horas do material na estufa, definiu-se a microporosidade. A porosidade total foi obtida somando os valores de macroporosidade e microporosidade.



Figura 5: Realização dos ensaios na mesa de tensão.



Figura 6: Detalhe da disposição das Mesas de tensão, com colunas de água de 50 a 100 cm.

### 3.3.2 Análises hídricas

#### - Condutividade hidráulica

Para esse ensaio, foram utilizados os cilindros de aço inox adaptando o método da EMBRAPA (1997). O cilindro com volume de  $147,009 \text{ cm}^3$  teve, em sua base, um tecido (voal), ajustado com uma borracha, para impedir que até as menores partículas de solo saíssem do cilindro. Para a preparação da amostra, um anel do mesmo diâmetro foi colado com silicone na parte superior da amostra. Este anel de 2,5 cm de altura tinha uma perfuração nos 2 cm de altura, onde estava inserido um tubo para retirar o excesso de água que ultrapassasse essa coluna.

As amostras foram saturadas em água, por capilaridade, por um período de 12 horas. No equipamento, por gotejamento, a coluna de 2 cm de água foi mantida constante e a água que passou pelo volume de solo foi medida a cada hora, totalizando oito leituras (Figura 7).



Figura 7: Equipamento utilizado para medir a condutividade hidráulica.

Para calcular a condutividade hidráulica (média), foram utilizadas as três últimas leituras, através da fórmula:  $K_o = Q \times L / A \times H \times t$ , onde:

$K_o$  = condutividade hidráulica do solo saturado em mm/h;  
 $Q$  = volume de água em mL percolado na amostra;  
 $L$  = comprimento (altura) da amostra, em cm;  
 $H$  = é a altura do bloco de solo e da coluna de água;  
 $A$  = área do cilindro de solo em  $cm^2$ ;  
 $t$  = tempo em horas.

Para efeito de interpretação dos resultados da condutividade hidráulica, foram utilizadas as classes de condutividade hidráulica (Tabela 1) definida pela Embrapa (1997).

Tabela 1: Classes de condutividade hidráulica.

<b>Classe</b>	<b>mm h<sup>-1</sup></b>
Muito lenta	< 1
Lenta	1 – 5
Moderadamente lenta	5 – 20
Moderada	20 - 60
Moderadamente rápida	60 - 125
Rápida	125 - 250
Muito rápida	250 >

### 3.3.3 Análises micromorfológicas

A impregnação e confecção das lâminas delgadas de solos foram realizadas pelo Laboratório de Geociências da Universidade de Campinas (UNICAMP).

As observações micromorfológicas destas lâminas foram realizadas com o emprego de lupa e de microscópio óptico do tipo petrográfico, com objetiva 2,5 e 4X, com luz natural e nicóis cruzados (luz polarizada), no laboratório do Grupo de Estudos Multidisciplinar do Ambiente (GEA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em Marechal Cândido Rondon. Nesta fase, foram identificados os componentes do solo (lâmina) denominados de micromassa (fração granulométrica  $<2\mu m$ ), material grosseiro (grãos minerais compreendidos entre 2 e  $2000\mu m$  de diâmetro) e poros (espaços desprovidos de matéria sólida com diâmetros compreendidos principalmente entre 30 e  $500\mu m$ ).

Os parâmetros de identificação e de classificação dos atributos e das organizações dos componentes obedeceram às recomendações de Bullock *et al.* (1985).

As fotos obtidas com o microscópio óptico ainda foram submetidas ao sistema de classificação de imagens do *software* ArcGis<sup>®</sup> 10.1, com o objetivo de gerar imagens que evidenciassem a geometria dos poros, sua forma e conexão.

### 3.3.4 Análises químicas

Os dados obtidos seguiram as técnicas de análises do IAPAR (PAVAN, 1992).

#### - **Determinação do Fósforo e do Potássio**

O fósforo foi determinado em 5cm<sup>3</sup> de TFSA e 50 mL da solução Mehlich-1, agitados durante 5 minutos e colocados em descanso por 12 horas, para posterior quantificação em espectrofotômetro ( $\lambda = 360$  nm).

Para a análise do potássio, foram transferidos 10 gramas do solo para um erlenmeyer de 125 mL, adicionados 50 mL da solução de Mehlich-1. Depois de agitado por 5 minutos, ficou em repouso por 12 h. A determinação do K foi feita no fotômetro de chama, após ajuste do aparelho com a solução padrão de K.

#### - **Determinação do pH**

O pH do solo foi determinado em solução cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) e em água destilada. Na análise, foi utilizado 8 cm<sup>3</sup> de TFSA e 20 mL da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01M. A amostra foi submetida ao agitador magnético durante 15 minutos para homogeneizar a solução. O potenciômetro foi calibrado com as soluções tampão pH 7,0 e 4,0. A determinação do pH H<sub>2</sub>O seguiu o mesmo roteiro, mas nesse caso foi usado 20 mL de água destilada. Para efeito de classificação, adotou-se as orientações da Embrapa (2006).

#### - **Determinação da acidez trocável (Al) em KCl**

A determinação da acidez trocável foi realizada através do método titrimétrico. Foram utilizados 10 cm<sup>3</sup> de terra e 100 mL de KCl 1N. Depois de agitado, o material ficou em repouso por 12 horas. Em seguida, foi retirada uma alíquota de 25 mL do filtrado, transferido para outro erlenmeyer para a titulação com solução padronizada de NaOH 1N e adição de 3 gotas de fenolftaleína. O ponto final da titulação é indicado pelo aparecimento de uma coloração rósea.

**- Determinação da acidez potencial (H + Al)**

Para esta análise, foi utilizada a amostra do pH em  $\text{CaCl}_2$  com a adição de 4 mL da solução tampão SMP. Depois de agitado por 20 minutos, o material ficou em repouso por 12 horas. Foi agitado novamente por 10 minutos para, em seguida, proceder a leitura do pH com potenciômetro.

**- Determinação de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$** 

Para este procedimento, foram transferidos  $10\text{cm}^3$  de TFSA para um erlenmeyer de 125 mL, adicionado 100 mL de KCl 1N. Depois de agitado por 15 minutos, a amostra ficou em repouso por 12 horas. Após a retirada uma alíquota de 0,1mL da solução sobrenadante, foi adicionada 4,9 mL da solução de lantânio (La) 0,1%. As determinações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), utilizando as soluções padrões de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  que contém La e KCl nas mesmas concentrações do extrato.

**- Determinação de carbono: Walkley-Black**

A determinação da acidez trocável foi realizada através do método titrimétrico. O carbono orgânico foi determinado por oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1N em meio ácido.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na apresentação e discussão dos resultados, será abordada, inicialmente, a posição que o município de Marechal Cândido Rondon ocupa no quadro geomorfológico do Oeste do Estado do Paraná e a sua relação com as unidades de paisagem selecionadas para esta pesquisa. Na sequência, serão apresentados os resultados obtidos com os levantamentos de campo e análises laboratoriais físicas e químicas para as topossequências de cada uma das três unidades de paisagem. Essa etapa privilegia os dados de organização da cobertura pedológica ao longo das vertentes, da macromorfologia e de características texturais e do complexo sortivo dos solos, complementados, na sequência, com a apresentação das observações de caráter micromorfológico, realizadas sobre as lâminas delgadas. Os dados físico-hídricos, que permitem compreender o funcionamento hídrico da cobertura pedológica ao longo da topossequência e, portanto, da vertente, serão apresentados no item seguinte.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL E LOCAL DOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS ESTUDADOS

O território do Estado do Paraná apresenta um complexo de ambientes físicos com particularidades climáticas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas e geológicas sob o qual se organiza diferentes tipos e intensidades de usos antrópicos.

A região Oeste do Estado do Paraná está inserida geomorfologicamente no Terceiro Planalto Paranaense, também chamado de Planalto de Guarapuava, que é a mais extensa das unidades de relevo do Estado, constituída por rochas ígneas eruptivas, principalmente basaltos, apenas recobertos por rochas sedimentares areníticas (Formação Caiuá) na sua porção Noroeste.

Ao longo do tempo, o substrato geológico tem sido entalhado por uma rede de drenagem, configurando vales e se organizando em bacias hidrográficas de diferentes ordens, desde a mais abrangente, como a bacia do Paraná, que se estende fora dos limites nacionais, até as bacias dos seus tributários, com grande significado regional, como a do Iguaçu e do Piquiri; e outras, de ordem inferior, que têm maior importância num contexto local, como a bacia do rio São Francisco Verdadeiro e a do Guaçu, cujos rios são afluentes do rio Paraná, margem esquerda, e delimitam o município de Marechal Cândido Rondon, ao sul e ao norte, respectivamente (Figura 8).

A análise do relevo indica que esse planalto arenítico-basáltico é suavemente inclinado para o Oeste, passando de altitudes de 1240 metros nos limites com o Segundo Planalto, para

cotas próximas a 250 metros nas margens do rio Paraná. Esta configuração do relevo reflete diretamente na rede de drenagem, com rios afluentes do rio Paraná, que correm diretamente para Oeste.

Neste planalto, que corresponde a uma unidade morfoescultural, como indica o Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2006), são distinguidas diversas subunidades morfoesculturais produzidas pelo entalhe da drenagem, diferenciadas entre si, seja pelo grau de dissecação do relevo, seja por hipsometria ou, ainda, variações de ordem geológica (litológica ou estrutural).

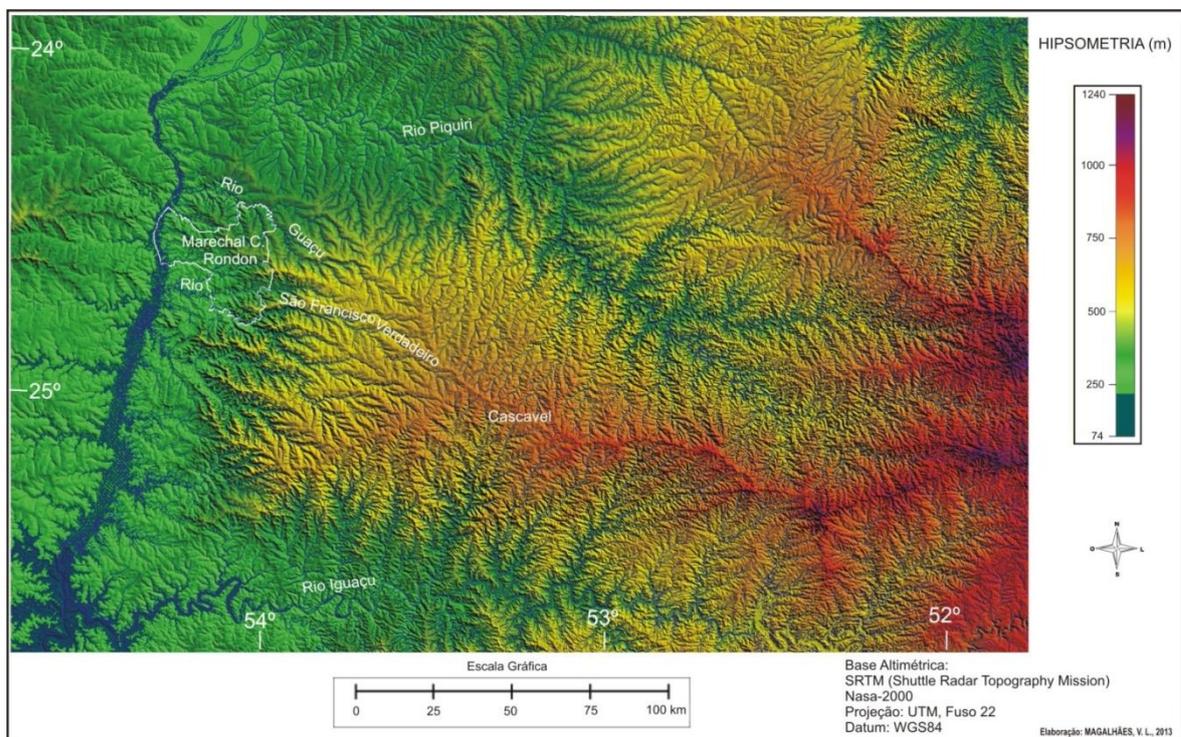


Figura 8: Mapa hipsométrico evidenciando o entalhe do relevo da região Oeste do Paraná.

Na região Oeste do Estado do Paraná, destaca-se, em seu interior, o interflúvio entre os rios Piquiri, ao Norte; Iguaçu, ao Sul e; na face Oeste, os tributários de ordens mais baixas e/ou diretos do rio Paraná, margem esquerda. A sede municipal de Cascavel está instalada sobre esse interflúvio e se encontra numa condição topográfica mais elevada regionalmente, tornando essa área um dispensor dos três sistemas hidrográficos (Piquiri, Iguaçu e Paraná). Os rios São Francisco Verdadeiro, São Francisco Falso Braço Norte e Guaçu são os melhores exemplos de rios que tem suas nascentes nas proximidades de Cascavel e deságuam no rio Paraná (Figura 8). O município de Marechal Cândido Rondon, como pode ser observado na

figura 8, ocupa um setor da face oeste desse interflúvio, entalhado pelos tributários do rio Paraná, margem esquerda, principalmente pela drenagem do rio São Francisco Verdadeiro.

Em virtude da localização nesse espaço regional, o território municipal de Marechal Cândido Rondon, de acordo com a Carta Geomorfológica de Guaíra (MINEROPAR, 2006), engloba parcialmente três subunidades morfoesculturais: Planalto de Cascavel, Planalto de São Francisco, Planalto de Foz do Iguaçu (Figura 9).

A subunidade morfoescultural Planalto de Cascavel estende-se pelo setor Nordeste do município, onde se encontra o sítio urbano de Marechal Cândido Rondon, e constitui-se no prolongamento do grande divisor onde está instalada a cidade de Cascavel. Domina, nesse planalto, um relevo de dissecação média, caracterizado por colinas com topos alongados e aplainados, vertentes convexas, com declividades em geral menores que 12%, e vales em “V”. A unidade de paisagem Platô de Marechal definida por Moresco (2007) está inserida nesta subunidade (Figura 9).

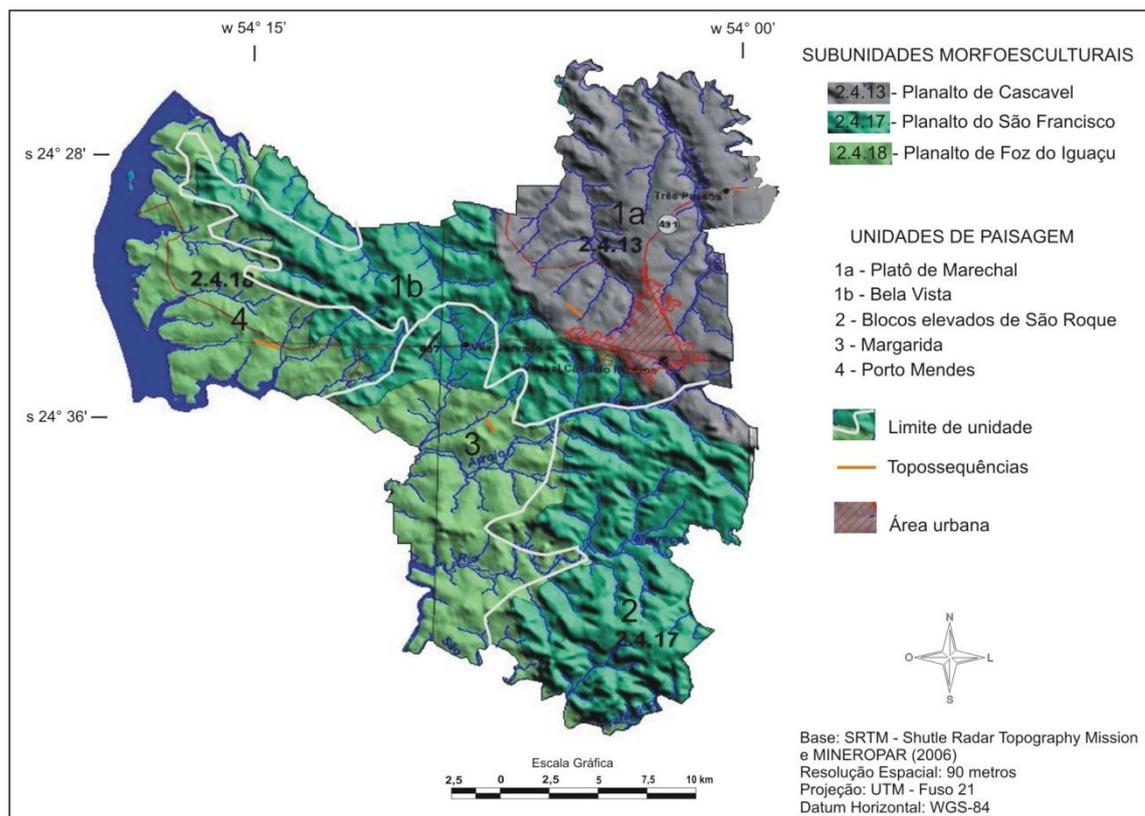


Figura 9: Mapa com as subunidades morfoesculturais e unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon.

O Planalto de Cascavel termina dando lugar a uma zona de borda entalhada pelos tributários diretos do rio Paraná e do rio São Francisco, que modelam vertentes com declividades mais variadas e acentuadas apresentando, muitas vezes, segmentos escarpados

junto ao topo, e vales mais profundos. Essa zona de borda entalhada corresponde à face oeste do grande interflúvio, identificada como a subunidade morfoescultural Planalto do São Francisco. De acordo com a Carta Geomorfológica (MINEROPAR, 2006), o setor Noroeste e Sudeste do município estão localizados sobre essa subunidade.

Em uma situação topograficamente mais baixa em relação às outras duas subunidades, aparece um setor do Planalto de Foz do Iguaçu, que envolve o Planalto de São Francisco e se estende até as margens do Lago de Itaipu. Corresponde, portanto, a uma faixa ao longo do limite Oeste e Sudoeste do município. Essa subunidade apresenta dissecação baixa e a classe de declividade predominante é menor que 6%. As formas de relevo predominantes são colinas amplas e médias com topos aplainados, vertentes convexas e vales em “V” aberto. As unidades de paisagem de Margarida e de Porto Mendes estão localizadas nesta subunidade morfoescultural. Entretanto, cabe ressaltar que na escala local (do município) aparecem diferenças significativas entre essas duas unidades de paisagem: Margarida situa-se em uma posição topográfica mais elevada e é morfologicamente caracterizada por colinas médias, apresentando eventualmente topos mais estreitos; Porto Mendes se caracteriza pelas colinas amplas e topograficamente mais baixas.

Assim, como reflexo dessa organização regional, o relevo do município de Marechal Cândido Rondon, em sua maior extensão, apresenta-se como ondulado, embora ocorram escarpas nas encostas mais elevadas, como é o caso dos Distritos de Bela Vista, Novo Horizonte, Novo Três Passos e São Roque. Já as formas de relevo, denominadas planas e suave onduladas, são encontradas na área da cidade de Marechal Cândido Rondon e nos Distritos de Margarida, Iguiporã, Bom Jardim e Porto Mendes.

O reconhecimento dessas unidades de paisagem e a sua posição em relação aos compartimentos geomorfológicos em escala regional é necessário para o entendimento das formas de vertentes e das suas relações com a gênese e evolução das suas coberturas pedológicas, objeto principal da presente pesquisa.

O **compartimento do Platô de Marechal** está localizado no setor Nordeste do município, entre as cotas altimétricas de 360 a 460 metros (Figura 10). Os esporões mais elevados mantêm o eixo SE-NO e N-S. É caracterizado por vertentes convexo-retilíneas e vales estreitos na forma de “V”, com rupturas de declives na passagem do topo para a alta vertente e acentuada declividade (8 a 20%) no terço inferior (Figura 11). Saindo do platô em direção aos compartimentos de Porto Mendes e Margarida, as formas das vertentes variam em extensão e em declividade.

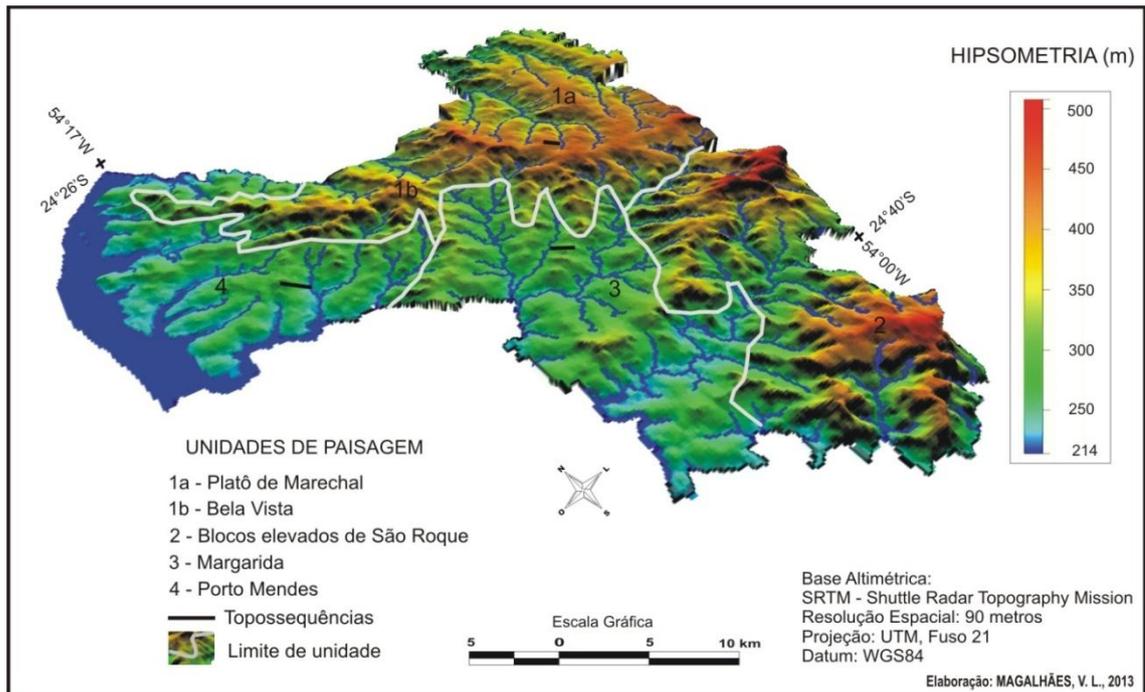


Figura 10: Mapa hipsométrico 3D com destaque para as unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon. Fonte: Adaptado de Moresco (2007).

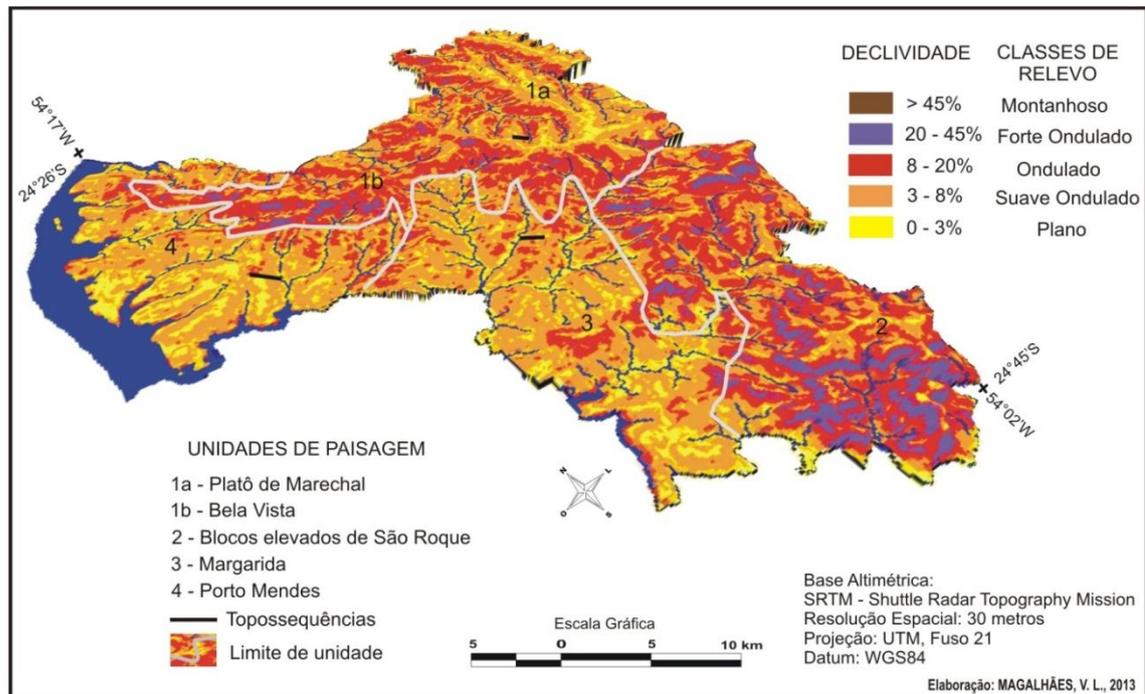


Figura 11: Mapa de declividade 3D do município de Marechal Cândido Rondon.

É nesta unidade de paisagem de maior densidade demográfica que está a sede do município, os distritos de Novo Três Passos e Novo Horizonte e, ainda, a vila de Bela Vista que aparece como uma subunidade (Figura 9 e 10). A malha urbana da cidade de Marechal Cândido Rondon está situada sob um topo plano de altitudes que variam de 414 a 430 metros.

Nas cotas mais baixas, estão as áreas destinadas a culturas temporárias, que servem de limite entre as áreas urbana e rural. Essas formas de relevo são esculpidas pelas sangas Andorinha, Borboleta, Araponga, Sucurá e Matilde Cuê (Sul do sítio urbano), pelo córrego Guará (Nordeste do sítio urbano), pelo lageado Bonito (Noroeste do sítio urbano) e pelo principal curso d'água que margeia a cidade, o córrego Guavirá.

O **compartimento de Margarida**, localizado ao Sul da sede do município de Marechal Cândido Rondon, apresenta vales abertos com fundos planos. As vertentes são longas com formato convexo-retilíneo e ruptura côncava acentuada na base (Figura 10). Nos topos mais estreitos e arredondados dos divisores da drenagem principal, a altitude não passa de 380 metros e, ao longo dos esporões mais largos e achatados, em torno de 290 metros de altitude. Nos vales caracteristicamente abertos e de fundo chato, as altitudes variam entre 230 e 270 metros. A forma de relevo predominantemente é a suave ondulada, e destaca-se nos fundos de vale a forma plana (Figura 11).

Os cursos d'água de primeira ordem da unidade de Margarida, na sua maioria, não ultrapassam mil metros, entre a nascente e a foz. O uso do solo evidencia uma paisagem de pasto e culturas temporárias (milho, trigo, soja, mandioca). Na maioria das propriedades, conforme Magalhães (2008), também ocorre a criação de suínos, gado leiteiro e aves. Esta última tem crescido rapidamente devido ao apoio do frigorífico de aves instalado no município. Para o autor, a piscicultura foi considerada uma atividade importante na década de 1985 a 1995, mas atualmente existem poucos tanques em funcionamento; no geral, estão secos e abandonados. Conforme Magalhães *et al.* (2006), estas áreas de fundo de vale, utilizadas na atualidade pelas pastagens, são consideradas problemáticas ambientalmente, sobretudo no que se refere à gênese e à evolução de processos erosivos.

O **compartimento de Porto Mendes** está localizado a Oeste da sede do município, margeando o lago de Itaipu – rio Paraná. Este compartimento apresenta características semelhantes ao compartimento de Margarida, mas está em um nível topográfico mais baixo, com cotas altimétricas que variam de 215 metros (nas proximidades do lago) a 320 metros (em direção à sede do município) – (Figura 10). A forma de relevo plana aparece em todos os divisores de água da drenagem principal que ligam ao rio Paraná, e, em menor proporção, também aparece nos fundos de vale, os quais são mais estreitos que os de Margarida. Nos demais setores das vertentes, predomina a forma de relevo suave ondulada (Figura 11).

Essas formas do relevo modelam vertentes extensas, normalmente com topos planos que passam para formas suavemente convexo-retilíneas até próximo aos fundos de vale.

Nessas vertentes, o uso do solo é destinado para as atividades agrícolas, como a soja, o milho e o plantio de fumo.

## 4.2 AS TOPOSSEQUÊNCIAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS.

### 4.2.1 Topossequência de solos do compartimento do Platô de Marechal.

A topossequência do Platô de Marechal está localizada numa das cabeceiras de drenagem dos canais que confluem com o principal curso d'água do sítio urbano, o córrego Guavirá. Esta topossequência apresenta 790 metros de extensão e 45 metros de desnível topográfico, com predomínio da forma convexa (Figura 12). Em toda a sua extensão, a vertente é ocupada por culturas temporárias.

A cobertura pedológica é texturalmente muito argilosa ao longo de toda a topossequência, exibindo, entretanto, variações de estrutura, grau de compactação e, em alguns casos, de cor. Com base na variação dessas características morfológicas, foram identificados e delimitados os diferentes volumes que compõem a cobertura pedológica. Como mostra a figura 12, a topossequência apresenta dois conjuntos distintos de volumes (horizontes). O primeiro, com 320 metros de extensão e que se estende do topo até a média vertente (sondagens 1 a 3 e Trincheira 1), é constituído por quatro volumes. O segundo, de 470 metros de extensão, que se estende da média vertente até o fundo do vale (sondagens 3 a 6 e trincheira 2), é constituído por seis volumes.

O conjunto de montante está organizado pela sequência vertical de horizontes Ap, AB, Bw1 e Bw2 (Figura 12). Em sua extensão, o horizonte Ap tem, em média, 17 cm de espessura. Este material é predominantemente de cor bruno-avermelhado-escura (2.5YR 3/4) e textura muito argilosa, conforme evidenciado pelos dados granulométricos (Figura 13 e Tabela 2). A estrutura fraca deste horizonte Ap é constituída de grânulos grandes de até 1 cm de diâmetro, com predomínio de poros pequenos ( $> 1$  mm). A consistência é solta quando o solo está seco, muito friável quando úmido e plástico e pegajoso, molhado.

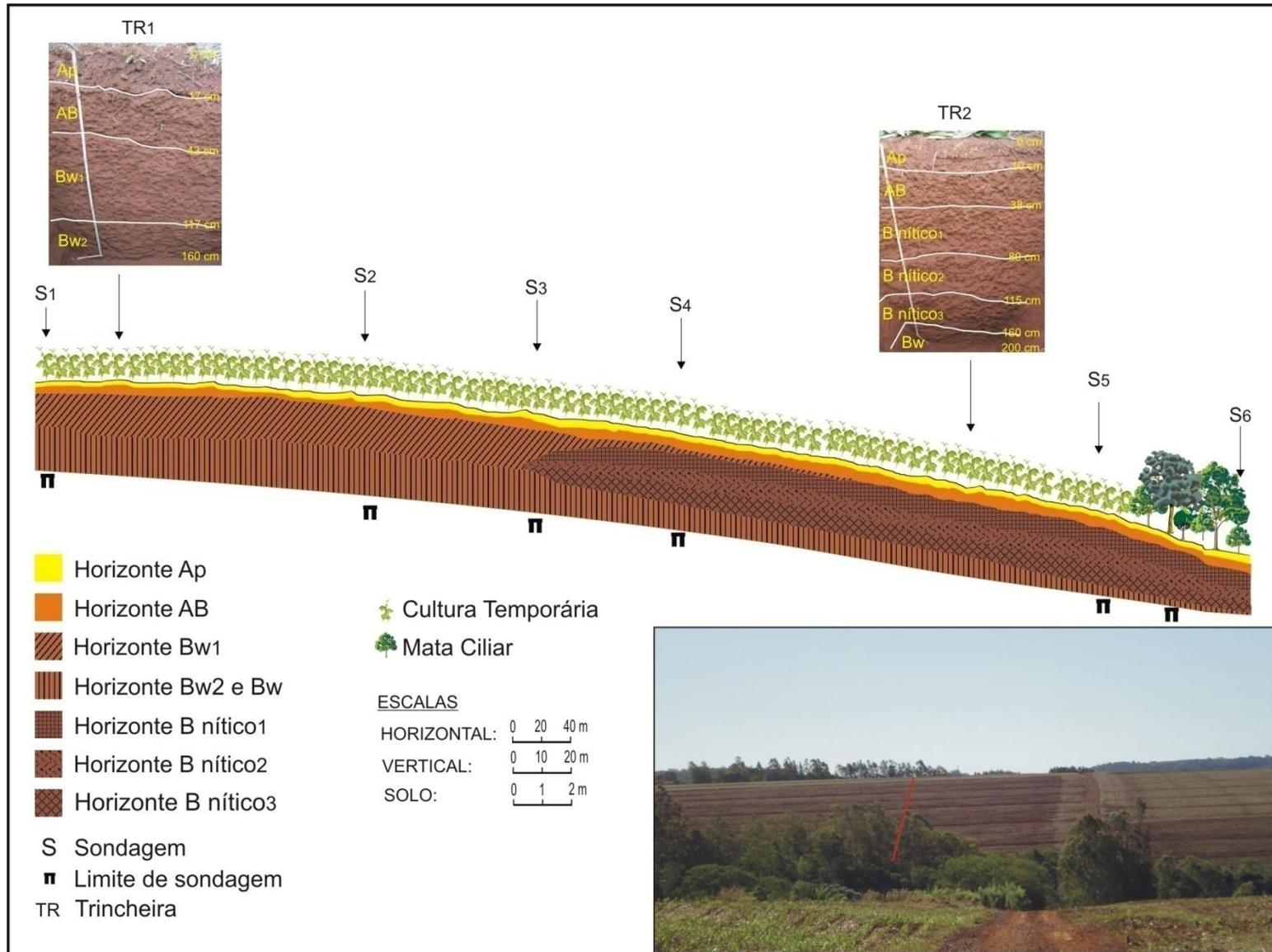


Figura 12: Toposequência de solos da unidade de paisagem do Platô de Marechal.

Já o horizonte AB de 26 cm de espessura, embora apresente as mesmas características de textura e porosidade, tem diferenças na sua estrutura. Passa a ter forma de blocos subangulares grandes, de até 5 cm de diâmetro, com forte grau de desenvolvimento, apresentando consistência do solo muito dura, quando seco; muito firme, úmido e; plástico e pegajoso, molhado. Quando pressionados entre os dedos, estes blocos apresentam formas mais arredondadas e de menor diâmetro (até 3 cm). Esta maior resistência do material pode ser explicada pela evidente compactação verificada no campo e pela densidade do solo determinada no laboratório.

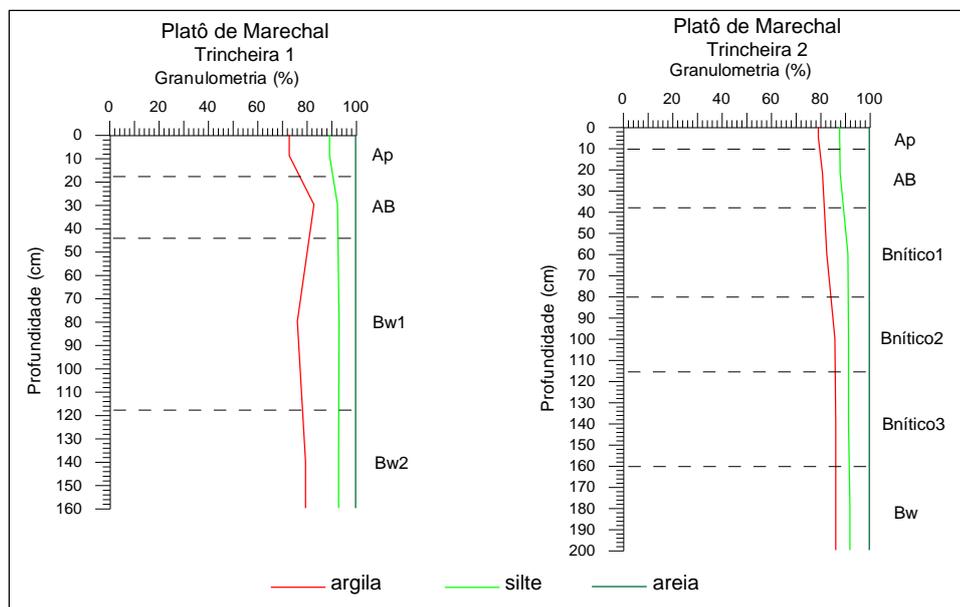


Figura 13: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solo da toposequência do Platô de Marechal.

O horizonte subsuperficial de 117 cm de espessura, que corresponde a um Bw, foi subdividido em Bw1 e Bw2. O Bw1 de 74 cm de espessura tem cor vermelho-escuro-acinzentada (10R 3/4) e textura argilosa. Sua estrutura é moderada, caracterizada por blocos subangulares, de até 3 cm de diâmetro, com poros em grande quantidade, porém muito pequenos. Predomina uma consistência dura (de moderada resistência a pressão) quando seco; firme, quando umedecido e; plástico e ligeiramente pegajoso com a amostra molhada. Este material, quando quebrado, se desfaz em blocos menores, indicando consistência ligeiramente dura e friável por esboroar-se quando úmido. O horizonte Bw2 tem como principal diferença a organização estrutural do material. Embora mantenha a sua forma de blocos, estes são menores e de menor resistência, consistência ligeiramente dura, chegando à condição de macia, por apresentar grãos individuais quando exercida a pressão, e muito friável por

esboroa-se com leve pressão. Essa sequência de horizontes e as suas características morfológicas permitem classificar esse conjunto como um Latossolo Vermelho e, ainda, considerando que a sua rocha de origem é o basalto e que gera solos com alto teor em óxidos de ferro (> 18%), distingui-lo com o atributo férrico, como foi realizado por Bhering *et al.* (2007), quando da atualização do Mapa de Solos do Estado do Paraná.

Tabela 2: Características físicas dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.

Trincheira Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	Granulometria (%)			Argila Natural (%)	Grau Floculação (%)	Grau Dispersão (%)	Densidade Partículas g cm <sup>-3</sup>	Relação silte/argila
		Argila	Silte	areia					
1- Ap	00-17	73,08	16,38	10,54	49,72	32	68	2,72	0,2
1- AB	17-43	83,08	9,54	7,38	43,08	48	52	2,73	0,1
1- Bw1	43-117	76,40	16,90	6,7	14,74	81	19	2,77	0,2
1- Bw2	117-160+	79,72	13,38	6,9	14,74	82	18	2,77	0,2
2- Ap	00-10	79,36	8,62	12,02	51,38	35	65	2,75	0,1
2- AB	10-38	81,02	7,14	11,84	3,08	96	4	2,70	0,1
2- B nítico1	38-80	82,72	8,60	8,68	18,08	78	22	2,74	0,1
2- B nítico2	80-115	86,04	5,54	8,42	13,08	85	15	2,75	0,1
2- B nítico3	115-160	86,40	5,16	8,44	3,08	96	4	2,80	0,1
2- Bw	160-200+	86,40	5,72	7,88	19,36	78	22	2,80	0,1

Os horizontes Ap, AB e a parte do Bw se estendem ao longo de toda a topossequência, entretanto, a partir da média vertente até o fundo do vale aparece no interior do Bw, volumes com características de B nítico. Esses volumes aparecem, inicialmente, em forma de cunha no meio do Bw (entre o Bw1 e o Bw2) e espessam em direção ao sopé, desaparecendo por completo o horizonte Bw1 e sobrando apenas uma porção estreita do Bw, abaixo da nova sequência de horizontes. A transição lateral deste conjunto pedológico de montante para o de jusante ocorre gradualmente. A principal diferença está, portanto, na variação estrutural, que gera horizontes níticos com agregados poliédricos subangulares mais resistentes, embutidos em um horizonte Bw, caracteristicamente granular e friável.

Desse modo, o conjunto de jusante é constituído pelos horizontes Ap, AB, B nítico e Bw (Figura 12). Em sua extensão, o horizonte Ap tem em média 10 cm de espessura e aqui se apresenta com cor bruno-avermelhada (2.5YR 4/3), mantendo, entretanto, todas as outras características observadas a montante. O horizonte subsuperficial AB também mantém as

mesmas características verificadas no segmento superior da vertente, mas ligeiramente mais espesso (28 cm) e com cor vermelho-escuro-azincetada (10R 3/3).

O horizonte subsuperficial (B nítico) de 122 cm de espessura foi subdividido em B nítico1, B nítico2 e B nítico3. O B nítico1, de 42 cm de espessura, tem cor vermelho-escuro-azincetada (10R 3/4), textura argilosa, com poros muito pequenos. Sua estrutura moderada é caracterizada por blocos subangulares grandes, de até 5 cm de diâmetro, indicando consistência que varia de dura a ligeiramente dura quando seco; firme a muito firme quando úmido e; consistência plástica e pouco pegajosa, quando molhado. Este material quando quebrado se desfaz em blocos menores de grau moderado, consistência ligeiramente dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa. Foi evidenciada, principalmente nas paredes desses blocos, a presença de forte cerosidade. No horizonte B nítico2, destaca-se como principal diferença a organização estrutural do material. Embora mantenha a sua forma de blocos, com existência de moderada cerosidade, estes são menores (até 3 cm de diâmetro), fracamente resistente à pressão e, por isso, classificado como de consistência ligeiramente dura. Enquanto no horizonte B nítico3, a principal diferença também está na estrutura, especificamente, na sua resistência, que passa a ser ainda menor (com fraca cerosidade), desfazendo-se em pequenos grânulos, indicando características de transição para o Bw.

O Bw, verificado abaixo do B nítico, foi reduzido aqui a 40 cm de espessura. Este tem cor vermelho-escuro (10R 3/6) e a estrutura fraca apresenta consistência macia nos blocos subangulares de até 3 cm de diâmetro, que se desfaz facilmente em uma estrutura granular pequena sob leve pressão, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa. Esse setor da topossequência é dominado, de acordo com as características morfológicas observadas, por um Nitossolo Vermelho com características férricas e latossólicas (presença de horizonte B nítico sobreposto ao horizonte Bw).

A composição granulométrica dos solos na topossequência, como evidenciado na tabela 2, é homogênea, com predominância da fração argila. Estes dados juntamente com valores de argila natural permitiram demonstrar o comportamento da argila em termos de dispersão e floculação.

Na topossequência, os teores de argila dispersa em água nos horizontes de solo variam de 4 a 68%. Do topo até o sopé da vertente, os valores mais elevados são encontrados nos horizontes superficiais Ap e AB. Porém, esse comportamento não se reproduz da média (sondagem 3) até o sopé da vertente, onde o volume AB tem apenas 4% de dispersão (Tabela 2).

O horizonte subsuperficial de montante, Bw nas suas subdivisões, apresenta teores de dispersão em torno de 18%. Esse horizonte Bw, que se estende lateralmente, abaixo do B nítico, na média vertente tem um grau de dispersão minimamente mais elevado, com 22%. Esse mesmo valor, nessa posição da vertente, se repete no horizonte B nítico1, que passa a diminuir seus valores verticalmente no perfil, atingindo 15% no B nítico2, e 4% no B nítico3.

O grau de floculação, assim como o grau de dispersão, apresentou uma amplitude de 64% nos horizontes diagnosticados. No setor de topo, o horizonte Ap e AB apresentaram 32% e 48% de floculação, respectivamente. Enquanto na média vertente esse horizonte Ap mantém valores próximos aos de montante, o volume AB se apresenta 96% floculado, evidenciando uma elevação de 50% lateralmente na vertente.

O horizonte subsuperficial Bw, no topo da vertente, mostrou que a argila está mais floculada do que em superfície, apresentando valores em torno de 81%, que diminuem lateralmente para 78%. Os volumes do B nítico se apresentam mais floculados em profundidade, iniciando com 78% no B nítico1 e chegando a 96% no B nítico3.

Quanto às propriedades químicas destes solos (Tabela 3), os valores de pH em Água (H<sub>2</sub>O) são sempre superiores ao pH em Cloreto de Cálcio (CaCl<sub>2</sub>), mostrando que, no complexo absorvente, predominam reações do tipo catiônicas e não aniônicas.

Tabela 3: Características químicas dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.

Amostra Trincheiras (TR)		P	MO	pH	pH	H + Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al
Trincheira Horizonte	Horizonte (cm)	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		
1- Ap	00-17	37,28	37,59	5,99	6,64	3,65	0,00	1,09	8,91	3,62	13,62	17,27	78,87	0,00
1- AB	17-43	4,20	16,40	5,38	6,49	4,56	0,00	0,28	5,19	1,65	7,12	11,68	60,96	0,00
1- Bw1	43-117	1,38	6,15	5,92	6,57	3,05	0,00	0,08	4,79	0,62	5,49	8,54	64,29	0,00
1- Bw2	117-160+	1,48	2,05	6,19	6,66	2,96	0,00	0,08	4,24	0,49	4,81	7,77	61,90	0,00
2- Ap	00-10	22,30	33,05	5,17	6,45	4,2	0,00	1,02	8,32	3,02	12,36	16,56	76,23	0,00
2- AB	10-38	2,51	8,89	4,91	6,02	6,10	0,05	0,17	4,87	1,85	6,89	12,89	53,09	0,72
2- B nítico1	38-80	2,77	10,25	5,81	6,43	3,57	0,00	0,13	3,99	0,62	4,74	8,31	57,04	0,00
2- B nítico2	80-115	1,79	1,37	4,89	5,46	5,18	0,30	0,10	3,09	0,58	3,77	8,95	42,12	7,37
2- B nítico3	115-160	1,59	2,05	4,37	4,88	6,48	0,65	0,10	1,42	0,86	2,38	8,86	26,86	21,45
2-Bw	160-200+	1,87	2,05	4,35	5,63	6,57	0,55	0,12	0,95	1,15	2,22	8,79	25,26	19,86

No segmento do topo, representado pelo Latossolo Vermelho com características férricas, os dados de pH em água mostraram-se constantes no perfil, apresentando nos volumes Ap, Bw1 e Bw2, reação predominantemente neutra ( $\geq 6,6$ ) e, somente no volume AB, uma acidez moderada (6,5), conforme classificação da Embrapa (2006).

No conjunto de jusante, representado pelo Nitossolo Vermelho férico latossólico, verifica-se que os dados de pH em H<sub>2</sub>O mais elevados (>6) estão presentes até os 80 cm de profundidade e decrescem verticalmente. Mesmo apresentando variação de valores, segundo o critério da Embrapa (2006), esses volumes de solo se enquadram como moderadamente ácidos (5,4 a 6,5). Como exceção, tem-se um único valor, no volume B nítico (4,9) apresentando condições hidrogeniônicas fortemente ácidas.

A soma de bases (SB) juntamente com a acidez potencial (H + Al) indica que a capacidade de troca catiônica (CTC) é relativamente baixa nos volumes de solo desta topossequência, variando entre 7,77 e 17,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> atendendo aos critérios químicos definidos pela Embrapa (2006) para os Latossolos e Nitossolos. Ao longo da vertente, esses valores são mais altos em superfície e gradativamente diminuem em profundidade, mantendo-se constantes lateralmente.

A matéria orgânica (MO), do segmento de topo até o sopé da vertente, apresenta teores maiores em superfície diminuindo em profundidade. Lateralmente, a partir da média vertente em direção ao sopé, a redução mais significativa acontece no volume AB, que tem somente 8,89 g dm<sup>-3</sup>, bem abaixo dos 16,40 g dm<sup>-3</sup> verificados a montante.

Aparentemente, a relação entre a CTC e a MO mostra-se dependente uma da outra, no segmento de montante, onde os valores de CTC e MO são maiores na superfície (17,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 37,59 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente) e diminuem gradativamente em profundidade. No conjunto pedológico Nitossolo Vermelho férico latossólico, os valores da CTC são mais elevados em superfície (16,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e em profundidade mantêm-se constantes, com valores em torno de 8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Os valores de MO, na mesma profundidade, variam de 1,37 a 10,25 g dm<sup>-3</sup> (Figura 14).

Conforme Oades (1988 *apud* PRADO; CENTURION, 2001, p. 198), o fenômeno da dispersão-floculação é influenciado pela matéria orgânica do solo. Os sistemas de manejo do solo para a agricultura têm degradado a estrutura do solo, diminuindo o teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, aumentando a dispersão das partículas de argila. Carvalho Júnior *et al.* (1998) evidenciaram que, em áreas com vegetação nativa, o efeito da floculação da argila pela ação da matéria orgânica é melhor compreendido.

Nesta topossequência, aparentemente há uma correlação entre a MO e os dados de argila natural, que geraram maiores graus de dispersão nos horizontes superficiais e maiores graus de floculação da argila em profundidade.

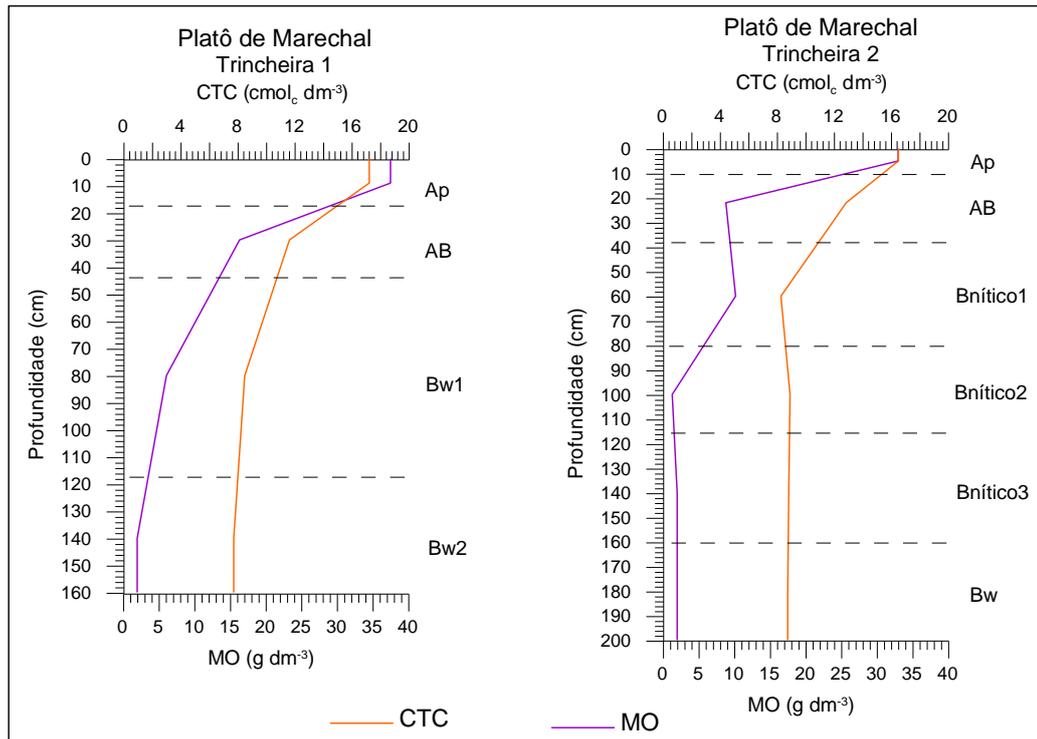


Figura 14: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.

De acordo com a Embrapa (1984, p. 222), uma das características dos Latossolos é o alto grau de floculação no horizonte Bw, que pode atingir 100%. Essa contribuição também acontece pelo grau de intemperismo que eleva o grau de floculação nos solos tropicais. A simples divisão do silte pelos teores de argila, que resume a relação silte/argila, gerou valores entre 0,1 e 0,2, confirmando o alto grau de evolução dos solos dessa topossequência.

A saturação por bases (V%) (Tabela 3) apresenta valores com amplitude de até 56% nos volumes de solo que compõem a topossequência. Os valores mais elevados concentram-se no conjunto pedológico de montante, os quais variam entre 60,96% e 78,87%. Na transição para o conjunto de jusante, esses valores são mais reduzidos, tendo boa parte do B nítico e do Bw, menos de 50% de saturação por bases.

Como a saturação por bases é um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis (V%>50) de solos de menor fertilidade (V%<50), conclui-se que estes solos são quimicamente mais férteis no setor de topo. De acordo com o terceiro nível categórico da classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 2006), esses solos enquadram-se como eutróficos no topo e distróficos do setor de média vertente ao sopé.

É no setor onde a V% é mais baixa, que o alumínio (Al) apresentou os valores mais elevados (Tabela 3), porém por estarem em profundidades maiores, não comprometem as plantas com problemas de toxidez.

A presença de óxidos de ferro e outros minerais pesados, conforme evidenciados por Bhering *et al.* (2007), nos solos do Oeste do Paraná, pode ainda implicar nos valores de densidade de partículas desse sistema pedológico que variam de 2,70 a 2,80 g cm<sup>-3</sup> (Tabela 2). Brady (1979, p. 51) destaca que quando há ocorrências excepcionais de minerais pesados como a magnetita, a densidade de partículas pode exceder a 2,75 gramas por centímetro cúbico.

Desta maneira, a classificação correta aponta para solos eutróféricos e/ou distroféricos, indicando assim que a topossequência do Platô de Marechal apresenta um sistema pedológico organizado no setor de topo por horizontes de solos que correspondem ao Latossolo Vermelho Eutróférico e, lateralmente, transiciona para volumes de solos que correspondem ao Nitossolo Vermelho Distróférico latossólico.

#### 4.2.2 Topossequência de solos do compartimento de Margarida.

A topossequência de solos de Margarida, com 800 metros de extensão e 60 metros de desnível, tem horizontes diagnósticos que indicam um único conjunto pedológico predominante. Apresenta uma forma geral convexo-retilínea, de fraca declividade, com uma ruptura côncava no sopé, quando se relaciona com o fundo chato do vale. A regularidade da topossequência é quebrada pela ocorrência da estrada que corta transversalmente a propriedade na média-baixa vertente (Figura 15).

O sistema pedológico está organizado pelos horizontes Ap, AB, B nítico e Bw (Figura 15). Em sua extensão, o horizonte Ap tem em média 20 cm de espessura, apresentando-se um pouco mais espesso, em média 30 cm, na média-baixa vertente, com cor bruno-avermelhada (2.5YR 3/4) e textura muito argilosa (Figura 16 - Tabela 4). Sua estrutura é constituída de blocos subangulares grandes, de 3 a 5 cm, com forte grau de desenvolvimento e consistência muito dura, devido à resistência à pressão. Esta maior resistência do material pode ser explicada pela baixa umidade e indícios de compactação verificada no horizonte.

O material evidencia o predomínio de poros muito pequenos e poucas galerias originadas pelas raízes secas das culturas. Umedecido, o material tem consistência muito firme e molhado, é plástico e pegajoso.

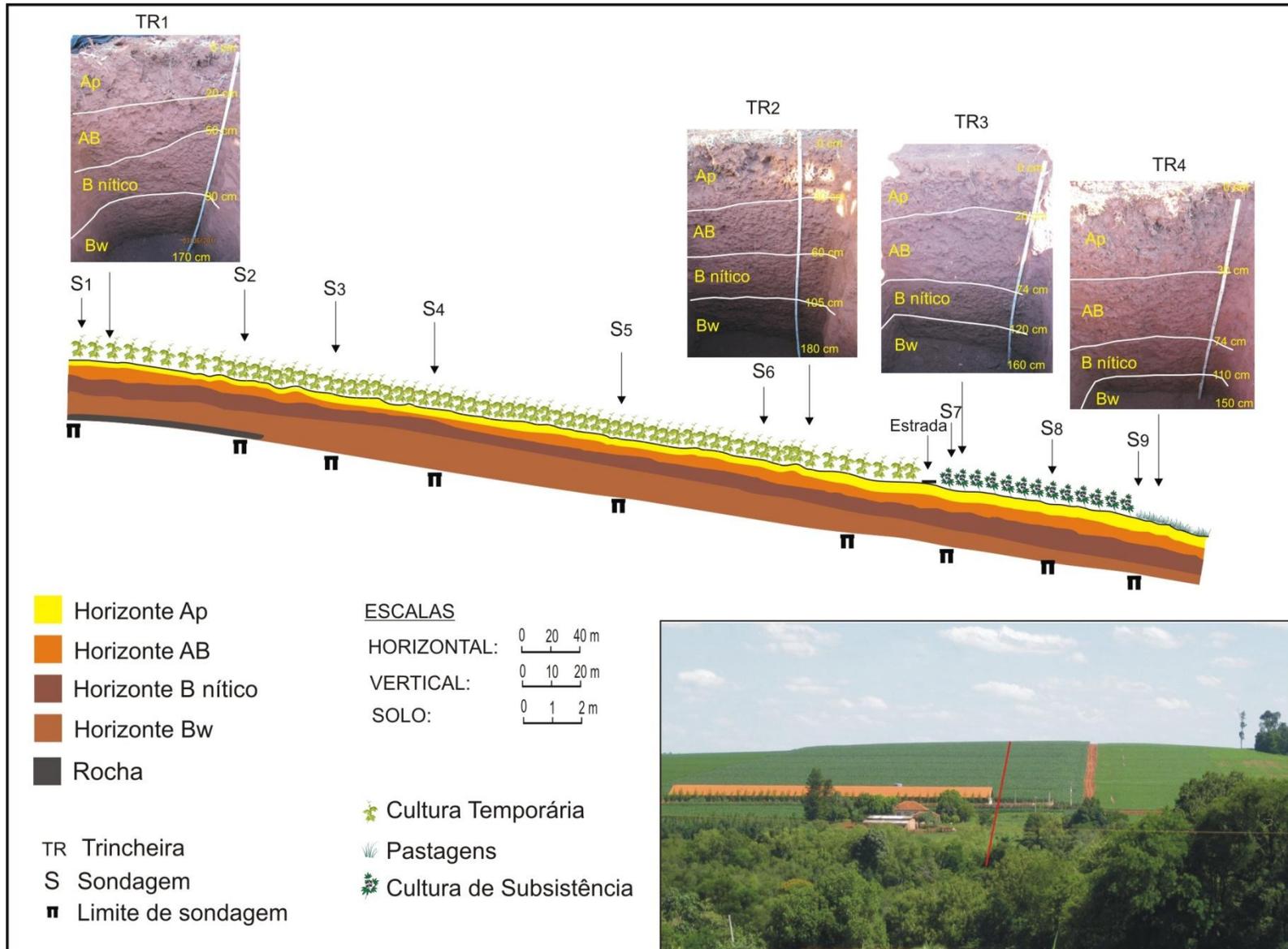


Figura 15: Toposequência de solos da unidade de paisagem de Margarida.

No sopé (Trincheira 4), que é uma área ocupada por pastagem, este horizonte apresenta várias raízes e galerias (vazios provocados pela maior quantidade de raízes), e está mais compactado, com uma estrutura de blocos arredondados de 2 a 3 cm, de consistência extremamente dura, extremamente firme, ainda plástica e pegajosa.

O horizonte AB passa de 30 cm no topo para 40 cm de espessura no sopé, tem cor bruno-escuro-acinzentado (10R 3/4). Embora apresente as mesmas características de textura, consistência e porosidade, tem diferenças em sua estrutura. Esta passa a ter forma de blocos subangulares médios de 2 a 3 cm, exibindo faces reluzentes (cerosidade).

Abaixo do horizonte AB aparece um volume subsuperficial com características de B nítico, com 40 cm de espessura de montante a jusante. Este volume apresenta cor vermelho-escuro (10R 4/6), textura argilosa e muitos poros, porém muito pequenos ( $> 1$  mm). Sua estrutura é caracterizada por blocos subangulares grandes, de 3 ou 4 cm de diâmetro, com as faces reluzentes (forte cerosidade). A consistência é dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa. Este material, quando pressionado, se desfaz em blocos menores, de 1 a 2 cm de diâmetro, ligeiramente duros.

A transição desse horizonte para o subjacente Bw, apesar de não apresentar variação textural, indica variação de estrutura e de cor bruno-vermelho-acinzentada (10R 3/4). No setor de topo, a organização estrutural do material tem forma de blocos arredondados, consistência ligeiramente dura, chegando à condição de friável sob pressão fraca entre os dedos. A partir da média-baixa vertente as características macromorfológicas indicam uma estrutura composta, que passa de blocos subangulares pequenos ( $> 2$  cm), de consistência macia, transformando-se em uma estrutura granular, macia e muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso.

No setor de topo, as sondagens 1 e 2 (Figura 15), a praticamente 2 metros de profundidade, evidenciaram um material de coloração variegada (acinzentadas, amarelas, alaranjadas), distinguido como rocha alterada.

Essas características ainda foram observadas em outras sondagens ao longo deste divisor de águas, ora aparecendo a rocha nos primeiros centímetros, ora a mais de 1 metro de profundidade. Nessas áreas, normalmente onde o solo é mais raso, permanecem remanescentes da vegetação natural, como representa a foto da figura 15.

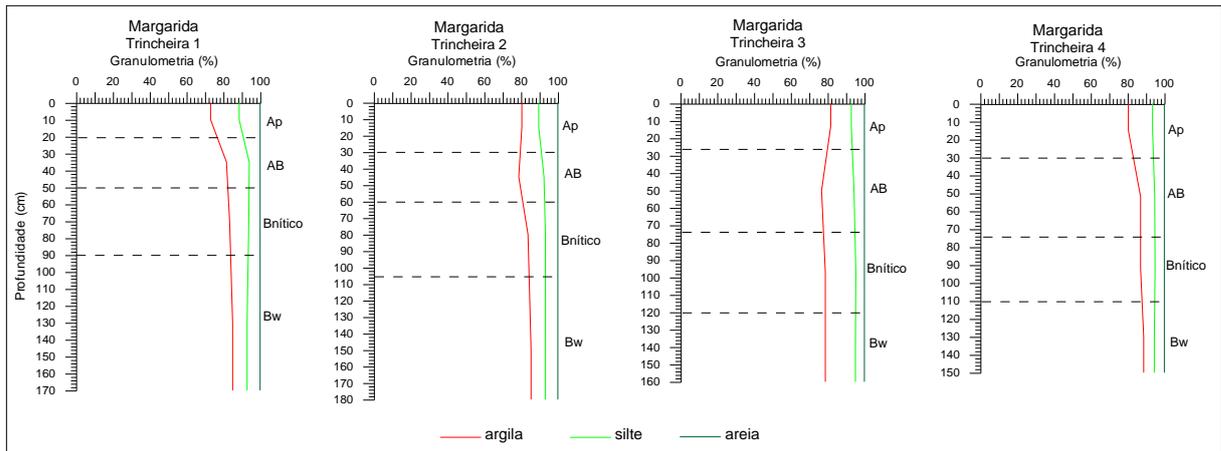


Figura 16: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

Tabela 4: Características físicas dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

Trincheira Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	Granulometria (%)			Argila Natural (%)	Grau Floculação (%)	Grau Dispersão (%)	Densidade Partículas g cm <sup>-3</sup>	Relação silte/argila
		Argila	silte	areia					
1 - Ap	00-20	73,10	15,54	11,36	59,36	19	81	2,75	0,2
1 - AB	20-50	81,74	12,38	5,88	19,36	76	24	2,75	0,2
1 - B nítico	50-90	83,44	10,44	6,12	2,72	97	3	2,78	0,1
1 - Bw	90-170+	85,10	7,86	7,04	24,38	71	29	2,80	0,1
2 - Ap	00-30	80,44	9,22	10,34	3,80	95	5	2,82	0,1
2 - AB	30-60	78,80	13,70	7,5	13,80	82	18	2,79	0,2
2-Bnítico	60-105	83,80	9,44	6,76	18,80	78	22	2,80	0,1
2 -Bw	105-180	85,46	7,72	6,82	3,80	96	4	2,72	0,1
3 - Ap	00-26	81,74	11,16	7,1	72,74	11	89	2,75	0,1
3 - AB	26-74	76,76	17,62	5,62	73,08	5	95	2,75	0,2
3-Bnítico	74-120	78,80	16,56	4,64	33,08	58	42	2,72	0,2
3 -Bw	120-160	78,80	16,34	4,86	3,08	96	4	2,71	0,2
4 - Ap	00-30	80,44	13,14	6,42	46,40	42	58	2,70	0,2
4 - AB	30-74	87,12	7,64	5,24	3,08	96	4	2,70	0,1
4-Bnítico	74-110	87,12	7,88	5,00	3,08	96	4	2,72	0,1
4 -Bw	110-150	88,80	5,76	5,44	3,08	97	3	2,72	0,1

A composição granulométrica dos solos na topossequência, como evidenciado no gráfico (Figura 16), é homogênea, com predominância da fração argila. Estes dados juntamente com os valores de argila natural permitiram demonstrar o comportamento da argila em termos de dispersão e floculação.

Na topossequência, os teores de argila dispersa em água nos horizontes de solo variam de 3 a 95%. Do topo até o sopé da vertente, os valores mais elevados são encontrados nos horizontes superficiais Ap e AB. Porém, esse comportamento não se reproduz na média vertente (Trincheira 2), onde o volume Ap tem apenas 5% de dispersão, e no sopé, onde o AB tem 4% (Tabela 4).

Os horizontes subsuperficiais de montante, B nítico e Bw, apresentam teores de dispersão de 3 e 29%, respectivamente. O B nítico, na média vertente, tem grau de dispersão de 22%, aumentando para 42% na média-baixa e diminuindo para 4% no sopé. Observa-se que, a partir da média vertente, o Bw tem um grau de floculação menor do que o verificado no topo da vertente, ficando entre 3 e 4%.

O grau de floculação, assim como o grau de dispersão, apresentou uma grande amplitude nos horizontes diagnosticados. No setor de topo, o horizonte Ap e AB apresentaram 19% e 76% de floculação, enquanto na média vertente esses valores se elevaram significativamente para mais de 80%, como evidenciado no volume Ap, que se apresenta 95% floculado. A partir da média-baixa vertente, esses horizontes superficiais têm porcentagens mais baixas, não passando de 11% e no sopé há novamente um aumento, com valores de 42% no horizonte Ap, passando para 96% de floculação no horizonte AB.

O horizonte subsuperficial B nítico mostrou que a argila está mais floculada no topo (97%) e nas proximidades do fundo de vale (96%). Na média vertente, esses valores são reduzidos a 78% e 58% de floculação.

A argila do horizonte Bw subjacente apresenta-se quase 100% floculada da média encosta ao sopé, demonstrando uma condição diferente do setor de montante que tem 71% de floculação.

No que se refere aos dados químicos, foram obtidos dados de pH em água e em Cloreto de Cálcio. Os valores de pH em H<sub>2</sub>O mostraram-se sempre superiores ao pH em CaCl<sub>2</sub>, em toda a topossequência (Tabela 5). No setor de montante, os dados do pH em H<sub>2</sub>O se mostraram variáveis nos diferentes volumes de solo, exibindo uma acidez moderada em superfície (6,4), passando a praticamente neutro no horizonte AB e B nítico ( $\geq 6,6$ ), até se encontrar novamente moderadamente ácido a 130 cm de profundidade no Bw. No setor de jusante, mesmo sendo uma área de uso agrícola, apresentou desde a superfície a maior parte do pH em H<sub>2</sub>O entre 5,5 e 6,5 que, segundo o critério da Embrapa (2006), se enquadra como solos moderadamente ácidos. Como exceção, tem-se um único valor, no volume Bw (6,8) na

média-baixa vertente, que está a praticamente 140 cm de profundidade, apresentando condições hidrogeniônicas praticamente neutras.

Tabela 5: Características químicas dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

Amostra Trincheiras (TR)		P	MO	pH	pH	H + Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al
Trincheira Horizonte	Horizonte (cm)	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		
1 - Ap	00-20	0,53	19,14	5,4	6,4	3,54	0,00	0,54	7,16	2,10	9,80	13,34	73,46	0,00
1 - AB	20-50	0,75	12,30	5,6	6,6	3,10	0,00	0,13	6,34	1,85	8,32	11,42	72,85	0,00
1 - B nítico	50-90	0,82	12,87	5,9	6,7	2,71	0,00	0,11	5,36	2,26	7,73	10,44	74,04	0,00
1 - Bw	90-170+	0,94	8,89	5,9	6,0	2,81	0,00	0,38	4,09	2,55	7,02	9,83	71,41	0,00
2 - Ap	00-30	2,04	8,20	4,7	5,9	4,20	0,15	0,91	4,02	1,36	6,29	10,49	59,96	2,33
2 - AB	30-60	1,17	6,84	5,4	6,2	3,31	0,00	0,26	5,19	1,03	6,48	9,79	66,19	0,00
2 - B nítico	60-105	0,99	8,20	5,6	5,7	3,01	0,00	0,05	5,16	0,53	5,74	8,75	65,60	0,00
2 - Bw	105-180+	0,64	6,84	4,8	5,5	3,19	0,15	0,06	2,17	1,15	3,38	6,57	51,45	4,25
3 - Ap	00-26	0,46	16,40	5,2	6,2	3,62	0,00	0,11	5,69	0,99	6,79	10,41	65,23	0,00
3 - AB	26-74	0,75	13,67	5,4	6,5	3,24	0,00	0,04	7,09	0,86	7,99	11,23	71,15	0,00
3 - B nítico	74-120	1,53	9,57	5,7	6,4	2,85	0,00	0,08	5,54	0,86	6,48	9,33	69,45	0,00
3 - Bw	120-160+	0,56	16,40	6,0	6,8	2,57	0,00	0,10	5,09	0,74	5,93	8,50	69,76	0,00
4 - Ap	00-30	0,23	9,57	5,1	6,3	4,14	0,00	0,13	5,89	1,36	7,38	11,52	64,06	0,00
4 - AB	30-74	1,14	6,84	5,1	6,3	3,49	0,00	0,06	4,24	0,86	5,16	8,65	59,65	0,00
4 - B nítico	74-110	0,99	8,20	5,1	6,3	3,36	0,00	0,04	3,77	0,62	4,43	7,79	56,87	0,00
4 - Bw	110-150+	0,85	15,04	5,1	5,9	3,34	0,00	0,03	3,22	0,58	3,83	7,17	53,42	0,00

A soma de bases (SB) juntamente com a acidez potencial (H + Al) indica que a capacidade de troca catiônica (CTC) é relativamente baixa nos solos desta topossequência, variando entre 7,17 e 13,34 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> atendendo aos critérios químicos definidos para os Latossolos e Nitossolos (Tabela 5). Ao longo da vertente, esses valores são mais altos em superfície e gradativamente diminuem em profundidade. Esse comportamento da CTC se reproduz também lateralmente, evidenciando valores mais elevados no topo e mais baixos no sopé.

A matéria orgânica (MO), pelo menos no segmento de topo até a média vertente, apresenta teores maiores em superfície diminuindo em profundidade (Tabela 5). A partir da média vertente em direção ao sopé, ocorre uma inversão, aí os valores mais altos de MO estão em profundidades maiores. Nesse setor de jusante, percebe-se que o horizonte B nítico mantém valores próximos, entre 8 e 10 g dm<sup>-3</sup>.

Como as propriedades físicas e químicas dos solos são reguladas principalmente pela argila e pelo húmus, aparentemente, na cobertura pedológica estudada, há uma relação mais

evidente entre a MO e a CTC (Figura 17), pois a relação da CTC com os valores de argila acontecem de maneira inversa considerando-se o perfil de solo: conforme aumenta as porcentagens de argila nos horizontes, diminui a capacidade de troca catiônica.

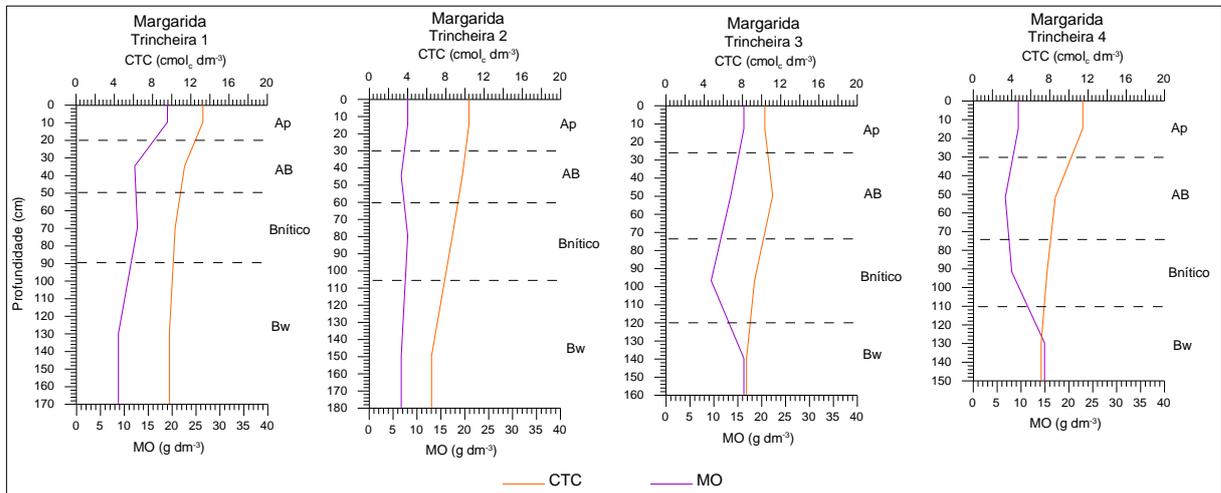


Figura 17: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

Nesta topossequência, aparentemente, há uma correlação entre a MO e o grau de floculação e dispersão da argila. Nos horizontes superficiais, por ser uma camada em constante alteração, a dispersão é maior, enquanto em profundidade predomina a floculação da argila.

A saturação por bases (V%) evidencia um comportamento variável na vertente. No setor do topo, concentram-se os valores mais elevados, com 73,46% em superfície e 71,41% no Bw, mantendo uma sequência relativamente homogênea entre os volumes de solo e, no segmento de jusante, esses valores são mais baixos. Em direção jusante, verifica-se que os valores mais elevados nem sempre estão em superfície e ocorrem de forma mais aleatória quando comparada com o topo, resultante da maior amplitude gerada pelos dados de saturação que transicionam entre 51,45% e 71,15%.

Como a saturação por bases (V%) é um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis (V%>50) de solos de menor fertilidade (V%<50), conclui-se que estes solos são quimicamente férteis, e se enquadram como eutróficos no terceiro nível categórico de classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 2006).

Nesses solos, o alumínio (Al) apresentou somente na média vertente um valor de 2,33% em superfície e praticamente o dobro nos 140 cm de profundidade, enquanto os demais valores permaneceram em zero, não implicando em problemas de toxidez para as plantas (Tabela 5).

De acordo com a classificação da Embrapa (2006), esse sistema pedológico é organizado por horizontes de solos que correspondem ao Nitossolo Vermelho Eutrófico latossólico, já que apresenta um Bw abaixo do B nítico, ambos em alto grau de evolução, com valores entre 0,1 e 0,2 na relação silte/argila (Tabela 4). Porém, assim como os estudos desenvolvidos por Bhering *et al.* (2007), outros trabalhos desenvolvidos no Oeste do Paraná indicam que esses solos têm grande quantidade de ferro (Fe) e, dessa maneira, a classificação correta aponta para solos eutroféricos em toda a extensão da topossequência.

Em pesquisa recente de Silva *et al.* (2010, p.333), foram coletadas e georreferenciadas quarenta e cinco amostras do horizonte B de solos do Estado do Paraná e entre as amostras do Terceiro Planalto Paranaense, inclui-se o município de Marechal Cândido Rondon. Para os autores, as amostras coletadas no município indicam solos ricos em óxi-hidróxidos de Fe, formados a partir do produto do intemperismo das rochas ígneas de origem vulcânica, como o basalto, devido ao fato de esses materiais possuírem elevado teor de ferro em sua constituição. Acrescentam, ainda, que essas rochas apresentam elevada concentração de magnetita primária, que se relaciona com os altos valores de suscetibilidade magnética por unidade de massa desses solos.

Um reflexo da natureza química e mineralógica desses solos pode ser evidenciado nos valores de densidade de partículas que variam entre 2,70 e 2,80 g cm<sup>-3</sup> nos volumes de solo da topossequência.

Convém salientar que em trabalho anterior, realizado nos esporões de menor altitude no interior desta unidade de paisagem, Magalhães (2008) verificou a ocorrência de um sistema pedológico composto por Latossolo Vermelho Eutroférico nitossólico, contemplando as áreas de topo e média vertente, aparecendo na baixa vertente e fundo de vale o Gleissolo Háplico.

#### 4.2.3 Topossequência de solos do compartimento de Porto Mendes

A vertente tem 820 metros de extensão e 50 metros de desnível, marcada praticamente em todo o conjunto por uma forma suavemente convexa e um fundo de vale plano. Nesta topossequência, foram abertas trincheiras no topo e na média-baixa vertente, ambas em área de culturas temporárias. No fundo de vale não foram desenvolvidos estudos de reconhecimento da cobertura pedológica por ser uma área de pastagem, totalmente alterada pela instalação de açudes (Figura 18).

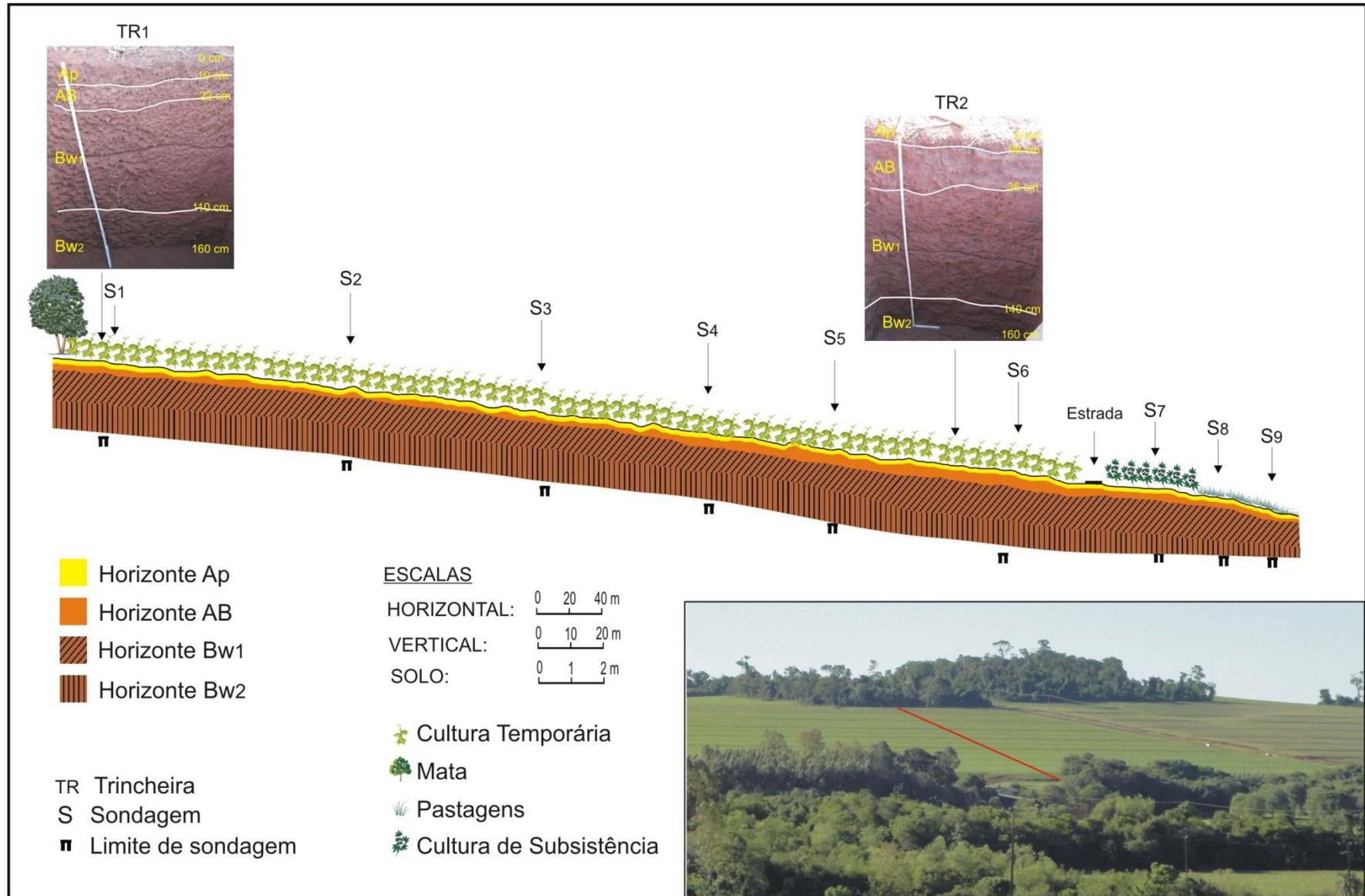


Figura 18: Toposequência de solos da unidade de paisagem de Porto Mendes.

Na topossequência, foram diagnosticados os horizontes pedológicos Ap, AB, Bw1 e Bw2. Do topo até o fundo de vale o horizonte Ap tem, em média, 10 cm de espessura, predominando a cor bruno-avermelhada (2.5YR 3/4), muitos poros pequenos, como é comum em Latossolos, e textura muito argilosa, ainda que os dados de argila evidenciem um decréscimo na média vertente (Figura 19 – Tabela 6). Sua estrutura é fraca, constituída de grânulos grandes de até 1 cm de diâmetro, ligeiramente duros, friáveis, plásticos e pegajosos.

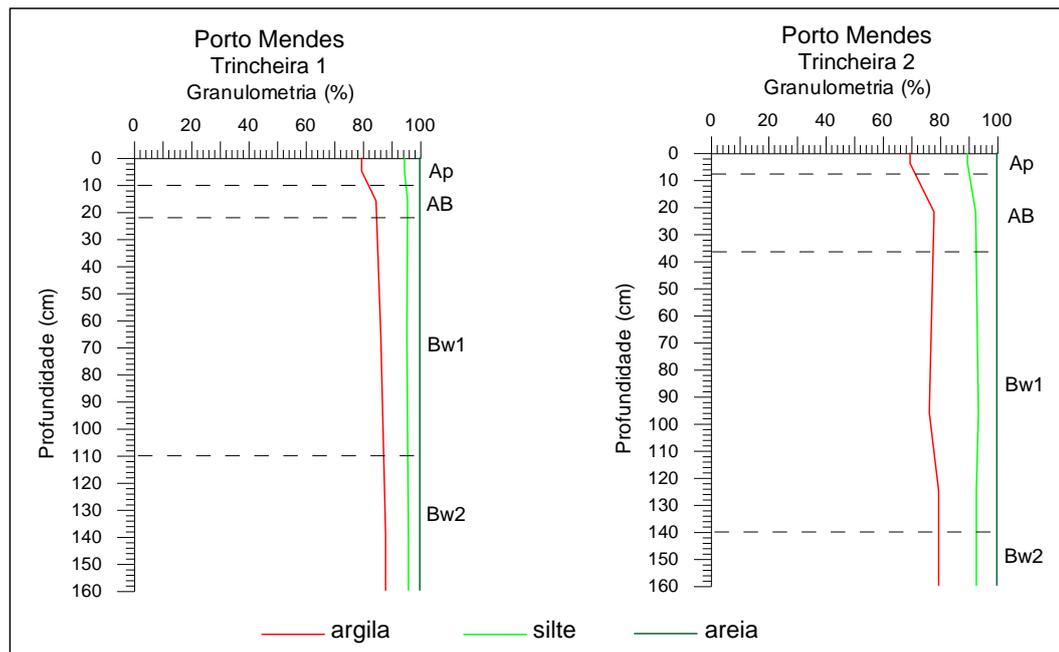


Figura 19: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.

Tabela 6: Características físicas dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.

Trincheira Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	Granulometria (%)			Argila Natural (%)	Grau Floculação (%)	Grau Dispersão (%)	Densidade Partículas g cm <sup>-3</sup>	Relação silte/argila
		Argila	silte	areia					
1 – Ap	00–10	79,72	14,96	5,32	53,08	33	67	2,82	0,2
1 – AB	10-22	84,74	11,00	4,26	49,72	41	59	2,75	0,1
1 – Bw1	22-110	86,40	9,06	4,54	18,08	79	21	2,79	0,1
1 – Bw2	110-160	88,08	7,96	3,96	11,38	87	13	2,78	0,1
2 – Ap	00-08	69,72	20,04	10,24	44,74	36	64	2,82	0,3
2 – AB	08-36	78,08	14,50	7,42	56,40	28	72	2,82	0,2
2 – Bw1	36-140	76,40	17,14	6,46	26,40	65	35	2,80	0,2
2 – Bw2	140-160	79,72	13,10	7,18	11,38	86	14	2,78	0,2

Já o horizonte AB tem, em média, 12 cm de espessura no setor de topo e vai aumentando esse volume lateralmente em direção ao sopé da vertente. Embora apresente as mesmas características de textura, consistência e porosidade do horizonte Ap, tem diferenças na sua cor bruno-vermelho-acinzentada (10R 3/4) e na estrutura que passa a forte, em forma de blocos subangulares, entre 3 e 5 cm de diâmetro, de consistência muito dura, muito firme, plástica e pegajosa. Quando pressionados entre os dedos, mantêm formas mais arredondadas de menor diâmetro. Esta maior resistência do material pode ser explicada pela forte compactação verificada no campo.

A transição para o horizonte B latossólico (Bw) é gradual e, neste, as características macromorfológicas permitem uma subdivisão em Bw1 e Bw2. O Bw1, no topo da vertente, tem espessura de 88 cm e vai aumentando gradualmente para pouco mais de 100 cm na baixa vertente, sem variação de cor, predominando a vermelho-escura (10R 3/6), poros pequenos (> 1 mm) e a textura muito argilosa (Figura 19). A estrutura é moderada, caracterizada por blocos subangulares, igual ou maiores de 3 cm de diâmetro, indicando consistência dura, pela moderada resistência, firme quando umedecido e plástica e ligeiramente pegajosa. Este material, quando quebrado, se desfaz em blocos menores de consistência ligeiramente dura e friável.

O horizonte Bw2 tem uma espessura maior no topo da vertente (50 cm) e vai diminuindo ao longo da topossequência. Este volume mantém algumas características do horizonte adjacente, sendo que a diferença mais significativa se dá pela organização estrutural do material que, embora mantenha a sua forma de blocos, estes são sempre menores de 3 cm de diâmetro, com fraco grau de desenvolvimento, ligeiramente duros e granulares – friáveis.

Observa-se na topossequência que, apesar de os horizontes apresentarem tipos de estruturas diferentes, a textura é homogênea em toda vertente, sendo esta considerada muito argilosa. Porém, os dados de argila natural demonstraram uma amplitude grande e, dessa maneira, condicionam o grau de dispersão e floculação destes solos.

Ao longo da topossequência, os teores de argila dispersa em água nos horizontes de solo estão entre 13% e 72%. No topo da vertente, os horizontes superficiais Ap e AB tem teores de 67% e 59%, respectivamente. Sem grandes alterações, lateralmente (jusante) a dispersão da argila do horizonte Ap se apresenta com 64%, e há um pequeno acréscimo no AB que eleva a dispersão neste setor e em profundidade para 72% (Tabela 6).

São nesses horizontes superficiais que se encontram os valores mais elevados de dispersão da argila, pois verticalmente esses valores diminuem gradativamente. O horizonte

subsuperficial Bw1, no topo, que tem 21% de dispersão passa em profundidade, no Bw2, para 13%, e essa organização se mantém na média-baixa vertente, com 35% no Bw1 e 14% no Bw2. Percebe-se ainda que, nessas profundidades, há um pequeno aumento do grau de dispersão do topo para o sopé da vertente.

O grau de floculação apresentou valores mais baixos nos horizontes superficiais da topossequência e um aumento em profundidade no perfil que, logicamente, é inverso ao comportamento do grau de dispersão. No topo da vertente, a floculação da argila do horizonte Ap e AB não ultrapassa 41%, e na média vertente chega a 36%. Percebe-se que a menor variação está no horizonte Ap, com uma diferença de 3% do topo para jusante, enquanto o AB tem 13% a menos a partir da média-baixa vertente.

No horizonte subsuperficial Bw, a argila aparece mais floculada no topo da vertente, apresentando 79% no Bw1 e 87% no Bw2. Lateralmente, esses valores diminuem para 65% e 86%, respectivamente.

Em relação aos dados químicos, na topossequência, observa-se que o pH H<sub>2</sub>O mostrou-se sempre acima do pH CaCl<sub>2</sub> (Tabela 7). Os dados do pH em água indicam que no topo da vertente predomina a acidez moderada em todo o perfil de solo, com valores entre 5,4 e 6,1, e na média-baixa vertente apresenta caráter praticamente neutro, conforme os parâmetros da Embrapa (2006), com pH H<sub>2</sub>O acima de 6,6 (Tabela 7).

Tabela 7: Características químicas dos perfis de solos da topossequência do Porto Mendes.

Amostra Trincheiras (TR)		P	MO	pH	pH	H + Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al
Trincheira Horizonte	Horizonte (cm)	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		
1 – Ap	00–10	23,45	33,49	5,3	6,1	4,92	0,00	0,58	8,71	2,63	11,92	16,84	70,78	0,00
1 – AB	10-22	7,69	27,34	4,9	5,5	6,01	0,05	0,73	5,74	1,69	8,16	14,17	57,59	0,61
1 – Bw1	22-110	2,24	8,89	5,4	6,1	4,28	0,00	0,09	5,26	1,40	6,75	11,03	61,20	0,00
1 – Bw2	110-160+	1,02	4,10	4,6	5,4	5,50	0,30	0,04	2,32	1,52	3,88	9,38	41,36	7,18
2 – Ap	00-08	35,43	34,86	6,2	6,9	3,49	0,00	1,30	7,53	3,79	12,62	16,11	78,34	0,00
2 – AB	08-36	1,15	13,67	5,7	6,8	3,12	0,00	0,52	5,84	1,89	8,25	11,37	72,56	0,00
2 – Bw1	36-140	5,83	5,47	5,9	7,0	3,42	0,00	0,08	5,11	1,11	6,30	9,72	64,81	0,00
2 – Bw2	140-160+	1,33	2,73	6,1	7,0	3,14	0,00	0,10	4,69	1,11	5,90	9,04	65,27	0,00

Os cátions básicos, predominantes no complexo absorvente, são o cálcio e o magnésio, seguidos pelo potássio. Esses cátions básicos juntamente com a acidez potencial (H + Al) indicam que a capacidade de troca catiônica (CTC) é mais alta nos horizontes superficiais, com índice próximo a 16 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>, e decrescem verticalmente, chegando ao Bw2 com

média de  $9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Tabela 7). Nota-se, ainda, que a CTC mantém-se sempre mais elevada nos horizontes do setor de topo e diminuem seus valores lateralmente na vertente.

A matéria orgânica (MO) apresenta os valores mais altos em superfície (cerca de  $34 \text{ g dm}^{-3}$ ) e decrescem de forma acentuada verticalmente no perfil. Os dados de MO indicam que do setor de topo para jusante existe uma leve redução em todos os horizontes (Tabela 7). Aparentemente, há uma relação entre a MO e a CTC que também são maiores em superfície e diminuem em profundidade (Figura 20), não se correlacionando diretamente com os teores de argila (que aumentam em profundidade).

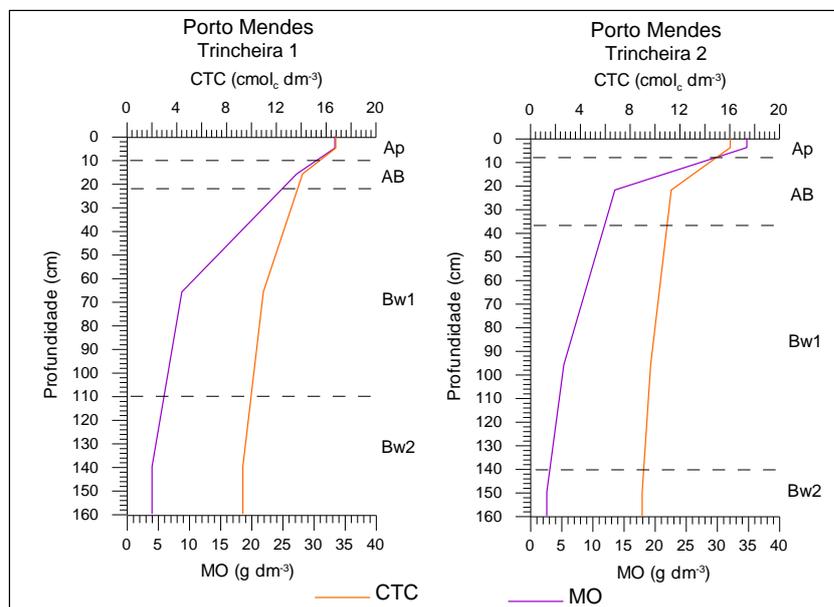


Figura 20: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.

A maior CTC nos horizontes superficiais pode ser a responsável pela maior dispersão da argila do solo, enquanto a baixa quantidade de MO no horizonte Bw, pode ser um indicativo da sua contribuição para a elevação do grau de flocculação em subsuperfície. Brady (1979, p. 62) argumenta que a formação de agregados é decisivamente influenciada pela natureza dos cátions retidos pelos colóides do solo. Quando há predominância de adsorção do íon sódio, as partículas são dispersas, ao revés, a adsorção do cálcio poderá facilitar a granulação mediante a flocculação.

A saturação por bases (V%) evidencia um comportamento muito semelhante ao longo da vertente. No topo, em superfície chega a 71% e aumenta na média-baixa vertente para 78%. Essas porcentagens diminuem gradualmente em profundidade, com o mínimo de 41% no Bw2, no topo da vertente (Tabela 7).

No entanto, esse dado, evidenciado apenas no Bw2 no topo, confere-lhe a condição distrófica (< 50%), mas não representa todo o conjunto do Bw, que tem saturação por bases próximas a 65%, conferindo características eutróficas.

Por consistir em uma área agrícola, os teores de alumínio (Al), que tem valores de zero praticamente em todos os volumes de solo, não são capazes de implicar em problemas de toxidez para as plantas (Tabela 7).

A aplicação de calcário nessa área parece ser a responsável tanto pela elevação do pH CaCl<sub>2</sub> e do fósforo em superfície, quanto pela maior disponibilidade de cálcio e magnésio nos horizontes superficiais.

Os resultados de densidade de partículas nos volumes de solo apresentaram-se acima de 2,75 g cm<sup>-3</sup>, dentro da faixa comumente encontrada em solos minerais. Diante das características físicas e químicas evidenciadas nesses solos, pode-se afirmar, de acordo com as sugestões da Embrapa (2006), que esse sistema pedológico é organizado por horizontes de solos que correspondem ao Latossolo Vermelho Eutroférico, com um grau de intemperismo avançado.

A relação silte/argila confirma essa evolução dos solos e indica que no setor de topo da vertente predomina uma relação mais baixa (0,1 e 0,2) do que a jusante, que tem valores entre 0,2 e 0,3.

#### 4.3 MICROMORFOLOGIA DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS

A análise micromorfológica apresentada, procura individualizar todos os horizontes diagnósticos dos três sistemas pedológicos em estudo, visando, desta maneira, valorizar não somente as microestruturas e a porosidade dos horizontes B latossólicos e B níticos, como também os horizontes superficiais Ap e AB, que representam papel importante no comportamento hídrico destes sistemas.

##### 4.3.1 Topossequência de solos do compartimento do Platô de Marechal

No sistema pedológico do Platô de Marechal, o horizonte Ap apresenta-se com dois tipos de arranjos distintos: um de trama porfírica fechada e outro de trama enáulica. As zonas porfíricas, que representam a metade do volume, aparecem envolvidas por zonas enáulicas, em proporções similares (Quadro 1 e Figura 21-a).

Quadro 1: Descrição micromorfológica dos horizontes de solo do sistema pedológico do Platô de Marechal.

Horizontes  Platô de Marechal	Atributos					
	Geral	Microestrutura	Micromassa	Material grosseiro	Poros	Trama
<b>Ap</b>	Heterogêneo. Dois tipos de arranjos: 1(50%) e 2 (50%).	1) Microagregados arredondados 2) Agregados subangulares	1 e 2) Argilo-férrica, Vermelho escura, indiferenciada a salpicada e vermelho-amarela, salpicada	1 e 2) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Interagregados, empacotamento composto 2) Planares e cavidades policôncavas e ovaladas	1) Enáulica 2) Porfirica fechada
<b>AB</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1(30%), 2 (50%), 3 (20%)	1) Blocos arredondados coalescidos 2) Blocos arredondados e poliédricos 3) Microagregados arredondados	1, 2 e 3) Argilo-férrica, Vermelho escura, indiferenciada e vermelho-amarela, salpicada	1, 2 e 3) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Cavidades alongadas e curvas e policôncavas 2) Planares e cavidades ovaladas 3) Interagregada de empacotamento composto	1) Porfirica aberta 2) Porfirica fechada 3) Enáulica
<b>Bw1/ Bw2</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1(25%), 2 (25%), 3 (50%)	1) Blocos poliédricos subangulares 2) Blocos poliédricos subangulares 3) Microagregados arredondados	1, 2 e 3) Argilo-férrica, Vermelho escuro, indiferenciado, vermelho-amarela, salpicada	1, 2 e 3) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Fissuras - longas e de abertura 2) Cavitária - ovaladas 3) Empacotamento composto	1) Porfirica fechada 2) Porfirica aberta 3) Enáulica
<b>B nítico</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1 (70%) e 2 (10%) e 3 (20%)	1) Agregados poliédricos subangulares 2) Microagregados arredondados 3) Agregados poliédricos subangulares	1, 2 e 3) Argilo-férrica, vermelho escura, salpicada em mosaico a estriada, e vermelho vivo a vermelho-amarela	1, 2 e 3) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Planar interagregados e cavidades ovaladas 2) Empacotamento composto 3) Planar, cavitária	1) Porfirica fechada 2) Enáulica 3) Porfirica aberta
<b>Bw (sopé)</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1(20%), 2 (10%), 3 (70%)	1) Blocos poliédricos subangulares 2) Blocos poliédricos subangulares 3) Microagregados arredondados	1, 2 e 3) Argilo-férrica, Vermelho escuro, indiferenciado, vermelho-amarela, salpicada	1, 2 e 3) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Fissuras - longas e de abertura 2) Cavitária - ovaladas 3) Empacotamento composto	1) Porfirica fechada 2) Porfirica aberta 3) Enáulica aberta

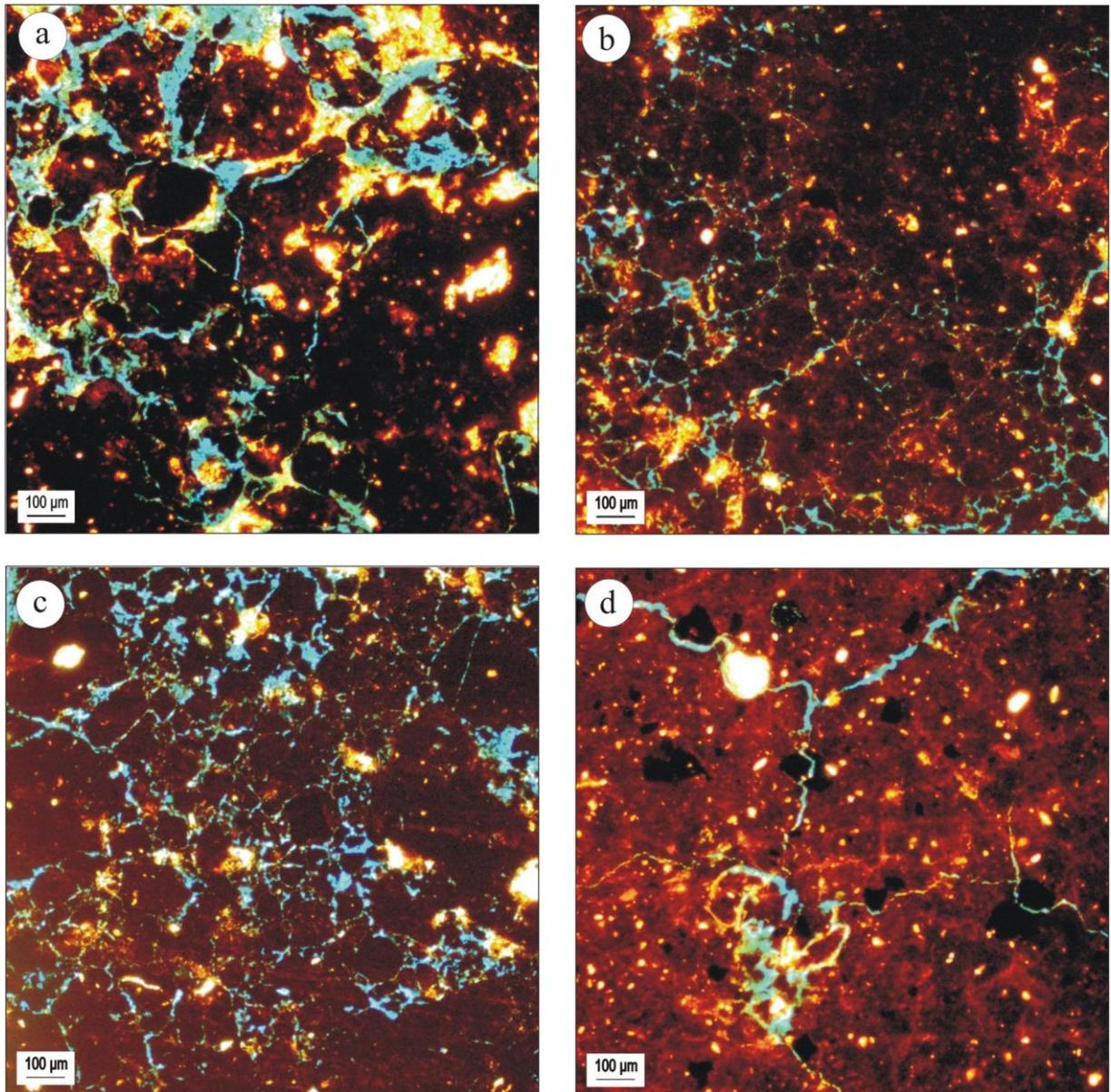


Figura 21: Fotomicrografias dos horizontes de solo da toposequência do Platô de Marechal.

a) Volume Ap - Transição entre trama porfírica aberta e zona de trama enáulica com porosidade de empacotamento composto. b) Volume AB - Micromassa vermelho-amarela com “stress cutans” e destaque para a coalescência de microagregados. c) Volume Bw - Trama porfírica e aglomerados de microagregados. d) Volume B nítico - Trama porfírica, agregados poliédricos subangulares e porosidade dominante planar interagregados.

Os microagregados que aparecem nas zonas de trama enáulica são constituídos essencialmente por micromassa vermelha escura, argilo-férrica, indiferenciada a salpicada, ainda que se aplique grandes aumentos de *zoom* e luz intensa, orlados por estreita faixa de micromassa vermelho-amarela, salpicada (Figura 21-a). Apresentam dimensões variadas, predominando entre 0,5 a 2 mm de diâmetro, pedalidade forte, não acomodados entre si.

Nas zonas de trama porfírica, os agregados exibem formas subangulares com diâmetros maiores que 3 mm. Essas zonas contínuas resultam, em geral, de agrupamento dos microagregados arredondados, soldados entre si pela micromassa vermelho-amarela.

A diferença nos arranjos implica em variações no tipo de porosidade. Nas zonas enáulicas, predominam os poros interagregados com alta conectividade – porosidade de empacotamento composto. Além desta, há ainda uma porosidade mais fina intragregados como enfatizam alguns autores (COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005, p. 585), não observável nesta escala de análise. Nas zonas porfíricas, a porosidade é constituída por dois diferentes tipos de poros: as cavidades e os poros planares. As cavidades maiores são policôncavas (400  $\mu\text{m}$ ) e as menores são ovais (205  $\mu\text{m}$ ), ocasionalmente mais alongadas e curvas, apresentando entre si conectividade fraca ou nula. Os poros planares, por sua vez, são finos e conformes (fissuras de 15 a 40  $\mu\text{m}$ ), ou mais largos e não conformes, e dividem as zonas contínuas mais extensas em agregados poliédricos menores. Os poros planares mais largos (60  $\mu\text{m}$ ) são geralmente mais extensos e interconectados entre si e com a porosidade de empacotamento composto vizinha. Já os poros mais finos tendem a ser mais curtos e podem estar interconectados ou não com o sistema poroso geral. Alguns tubos preenchidos por microagregados também foram observados, evidenciando a atividade biológica.

O horizonte subsuperficial AB (Figura 21-b) apresenta, de forma dominante, trama porfírica englobando pequenos setores de trama enáulica, semelhantes àqueles observados no horizonte superior. As zonas porfíricas apresentam-se ora como abertas ora como fechadas. A exemplo do horizonte superior, essas zonas porfíricas se formam em decorrência do agrupamento de microagregados e a variação entre porfírica aberta ou fechada revela diferentes estágios de aglutinação: a porfírica aberta está associada a um estágio onde os volumes arredondados ainda são perceptíveis, restando no seu entorno algumas cavidades alongadas e curvas e outras policôncavas 150  $\mu\text{m}$ ; a porfírica fechada corresponde ao estágio onde as formas arredondadas originais já foram deformadas, exibindo, contudo, algumas pequenas cavidades ovaladas (~20 a 40  $\mu\text{m}$ ), alinhadas ao longo de planos de soldamento, resultando localmente em um padrão de distribuição reticular.

Nas zonas enáulicas e porfíricas abertas, a micromassa é vermelho-escura, argilo-férrica, salpicada a indiferenciada, apresentando em alguns setores, bordas de agregados ou bordas de cavidades, uma micromassa mais clara, vermelho-amarela, salpicada. Nas zonas porfíricas fechadas, em alguns setores, a micromassa vermelho-amarela aparece estriada (“stress cutans”, segundo a classificação de BREWER, 1976) nas faixas de contato entre os

volumes originalmente arredondados dos microagregados e agora deformados e soldados entre si.

No conjunto, o material organiza-se preferencialmente em agregados de formas poliédricas subangulares de 1.000  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Nas zonas de trama porfírica aberta, a coalescência de microagregados que lhe deu origem implicou no fechamento da porosidade, originalmente interagregada de empacotamento composto, e surgimento de uma porosidade predominantemente cavitária – poros policôncavos (25  $\mu\text{m}$ ) ou alongados e curvos – e planar, parcialmente conectados, apresentando, no máximo, 40  $\mu\text{m}$  de largura. Esta condição de coalescência e alteração da porosidade também foram verificadas por Cooper e Vidal-Torrado (2005, p. 585), em horizonte Bw.

Nas zonas porfíricas fechadas, os poros planares aparecem com maior frequência, constituídos por fissuras em geral curtas, finas (~25  $\mu\text{m}$ ) e conformes, parcialmente conectadas, quando intragregados, e mais largas e não conformes interagregados (45  $\mu\text{m}$ ). Os poros cavitários são menores, em geral ovalados e em quantidade reduzida. Podem apresentar, localmente, uma distribuição reticular, como já observado no horizonte Ap.

Observam-se ainda algumas feições pedológicas de preenchimento compostas por micromassa amarela clara em alguns poros.

Os horizontes subjacentes, Bw1 e Bw2, são muito semelhantes em termos físicos, hídricos e também micromorfológicos (Figura 21-c). Neles, aparecem ainda setores de trama porfírica fechada cortados por fissuras (longas e de abertura – 15 a 30  $\mu\text{m}$ ), distinguindo *peds* poliédricos subangulares moderadamente acomodados, setores de trama porfírica aberta com porosidade cavitária, semelhantes àqueles observados no horizonte AB. Essas zonas aparecem envolvidas aqui por setores mais extensos constituídos por aglomerados de microagregados de formas arredondadas (100 a 200  $\mu\text{m}$  de diâmetro), não acomodados, onde domina a trama enáulica, tal como evidenciado por Cooper (1999, p. 53) em horizonte Bw de um Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico. A micromassa dominante é também aquela vermelha escura, indiferenciada a salpicada, orlada pelas estreitas faixas de micromassa vermelho-amarela, salpicada.

A exemplo do que foi observado no horizonte AB, as zonas porfíricas exibem uma porosidade reduzida, constituída também por poros planares e cavidades policôncavas e ovaladas. Observa-se, entretanto, uma elevação na porosidade devido ao aumento das zonas de trama enáulica onde dominamos poros de empacotamento composto. Aqui a aglomeração

dos microagregados produz, muitas vezes, uma redução na porosidade de empacotamento transformando-a, em alguns locais, em cavidades policôncavas.

As características micromorfológicas observadas no perfil de solo do topo para os horizontes Ap e AB se mantêm ao longo de toda a topossequência, aparecendo, também, nos horizontes Ap e AB no perfil da trincheira 2, na baixa encosta.

O horizonte B nítico aparece a partir da média vertente em direção ao sopé, logo abaixo do horizonte AB. Como pode ser verificado na figura 21-d, esse horizonte apresenta uma trama porfírica fechada predominante e alguns setores isolados de trama enáulica. A micromassa é vermelha escura, salpicada em mosaico a estriada, e nas bordas dos agregados ela aparece com cor mais clara, vermelho vivo a vermelho amarelo.

A estrutura é composta por agregados poliédricos subangulares, que variam entre 1 e 4 mm, parcial a totalmente acomodados, e blocos menores que não chegam a 500  $\mu\text{m}$ . A porosidade dominante é a planar interagregados, comunicante, de 10 a 30 micrômetros de abertura.

No interior dos agregados, é predominante a porosidade cavitária de forma ovalada ( $\sim 40 \mu\text{m}$ ) e fissuras finas não conectadas. Em alguns dos blocos poliédricos maiores, aparecem canais de secção ovalada, preenchidos por microagregados muito pequenos (160 e 300  $\mu\text{m}$ ), oriundos de atividade biológica.

No campo, o horizonte B nítico foi subdividido em três volumes por apresentar pequenas diferenças morfológicas, como comprovam os dados físicos. O topo do B nítico apresenta-se mais adensado enquanto que na sua parte central e na base a densidade do solo é menor. Isso se traduz micromorfolologicamente pelo aumento relativo de setores de trama porfírica aberta em relação aos de trama porfírica fechada e por variações no sistema poral, com o aumento de cavidades em relação aos poros planares, na parte central e na base desse horizonte.

Os efeitos da atividade biológica, atestada pela presença de canais e pedofeições de preenchimento solto (microagregados), mais frequentes na porção central do horizonte B nítico, também são responsáveis pelas variações físicas observadas no seu interior (densidade do solo e porosidade).

Essa estrutura de agregados em blocos poliédricos e granulares prevalece até os 160 cm de profundidade na topossequência, quando, neste segmento da vertente, abaixo do B nítico, aparece novamente o Bw, com características semelhantes às aquelas observadas no perfil

do topo, mas com setores de trama enáulica mais abertos, como também indicam os dados de densidade de solo, significativamente mais baixos.

O material grosseiro (macromassa) aparece em pequena quantidade ao longo de toda a cobertura pedológica e em todos os horizontes, como atestam os dados granulométricos obtidos (Tabela 2). É, como podem ser observados na figura (21-d), compostos por grãos de minerais escuros (ilmenita e magnetita), geralmente angulosos a subangulosos, dispersos, envolvidos pelo material fino (micromassa).

#### 4.3.2 Topossequência de solos do compartimento de Margarida

O horizonte Ap deste sistema pedológico, ao longo de toda a topossequência, apresenta-se bastante adensado. Nele, a trama porfírica fechada é predominante, ocorrendo, contudo, intercalados, setores de trama porfírica aberta (Quadro 2 e Figura 22-a). Em direção ao sopé da topossequência, aparecem ainda nesse volume alguns setores de trama enáulica, ausentes no topo.

A microestrutura é composta por agregados poliédricos subangulares de tamanhos variados (~1, 2 e 3 mm). Alguns grãos de minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos, que compõem o material grosseiro, aparecem dispersos no material fino.

A matriz é constituída principalmente por três tipos de micromassa, todas compostas por material argilo-férrico, porém com cores e aspectos distintos: uma micromassa de tom vermelho vivo, salpicada em mosaico a estriada, dominante, que envolve zonas de micromassa vermelha escura, salpicada a indiferenciada; e, em proporções menores, uma micromassa vermelho-amarela que aparece geralmente nas bordas dos agregados e dos poros, ou fazendo pontes entre os agregados menores.

A micromassa vermelha escura compõe zonas visualmente mais enriquecidas em óxidos de ferro que se destacam da micromassa dominante, aparentemente menos rica nesse elemento. Os limites geralmente graduais a difusos dessas manchas de micromassa vermelha escura sugerem a sua retração por perda de ferro, dando origem, por depleção, à micromassa vermelha mais clara que a envolve.

Em alguns locais, a micromassa vermelha escura se destaca de forma nítida daquela dominante compondo pedofeições nodulares típicas arredondadas ou ameboidais, em torno de 160  $\mu\text{m}$  de diâmetro.

Quadro 2: Descrição micromorfológica dos horizontes de solo do sistema pedológico de Margarida.

Horizontes	Atributos					
	Margarida	Geral	Microestrutura	Micromassa	Material grosseiro	Poros
<b>Ap</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1(60%), 2 (30%) e 3 (10%)	1) Blocos poliédricos subangulares 2) Blocos poliédricos subangulares 3) Microagregados arredondados	1, 2 e 3) Argilo-férrica: vermelho vivo, salpicada em mosaico a estriada, dominante, vermelho escura, salpicada a indiferenciada; vermelho-amarela	1 e 2) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Planar alongada e fina 2) Cavidades irregulares 3) Empacotamento composto	1) Porfírica fechada 2) Porfírica aberta 3) Enáulica
<b>AB</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1(60%), 2 (20%) e 3 (20%)	1) Blocos poliédricos subangulares 2) Blocos poliédricos subangulares 3) Microagregados arredondados	1) Vermelho escura, salpicada e indiferenciada 2) vermelha clara, salpicada a estriada 3) Vermelho escura e Vermelho clara	1, 2 e 3) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Planar – fissural, cavidades arredondas 2) Planares finos, parcialmente não conformes e cavidade policoncavas alongadas 3) Empacotamento composto	1) Porfírica fechada 2) Porfírica aberta 3) Enáulica
<b>B nítico</b>	Heterogêneo. Dois tipos de arranjos: 1 (60%) e 2 (40%)	1 e 2) Agregados subangulares a angulares	1) Vermelho escura, salpicada a indiferenciada 2) Vermelha clara, salpicada a estriada com estrias	1 e 2) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Poros planares mais abertos, longos e conformes 2) Cavitária – policoncava alongada	1) Porfírica fechada 2) Porfírica aberta
<b>Bw</b>	Heterogêneo. Dois tipos de arranjos: 1 (70%) e 2 (30%)	1) Agregados subarredondados a arredondados, parcialmente soldados 2) Microagregados irregulares, subarredondados a arredondados	1) Vermelha clara, salpicada 2) Vermelha escura, salpicada	1 e 2) Poucos minerais escuros (ilmenita e magnetita), angulosos a subangulosos	1) Planares não conformes e descontínuos 2) Empacotamento composto	1) Porfírica aberta 2) Enáulica

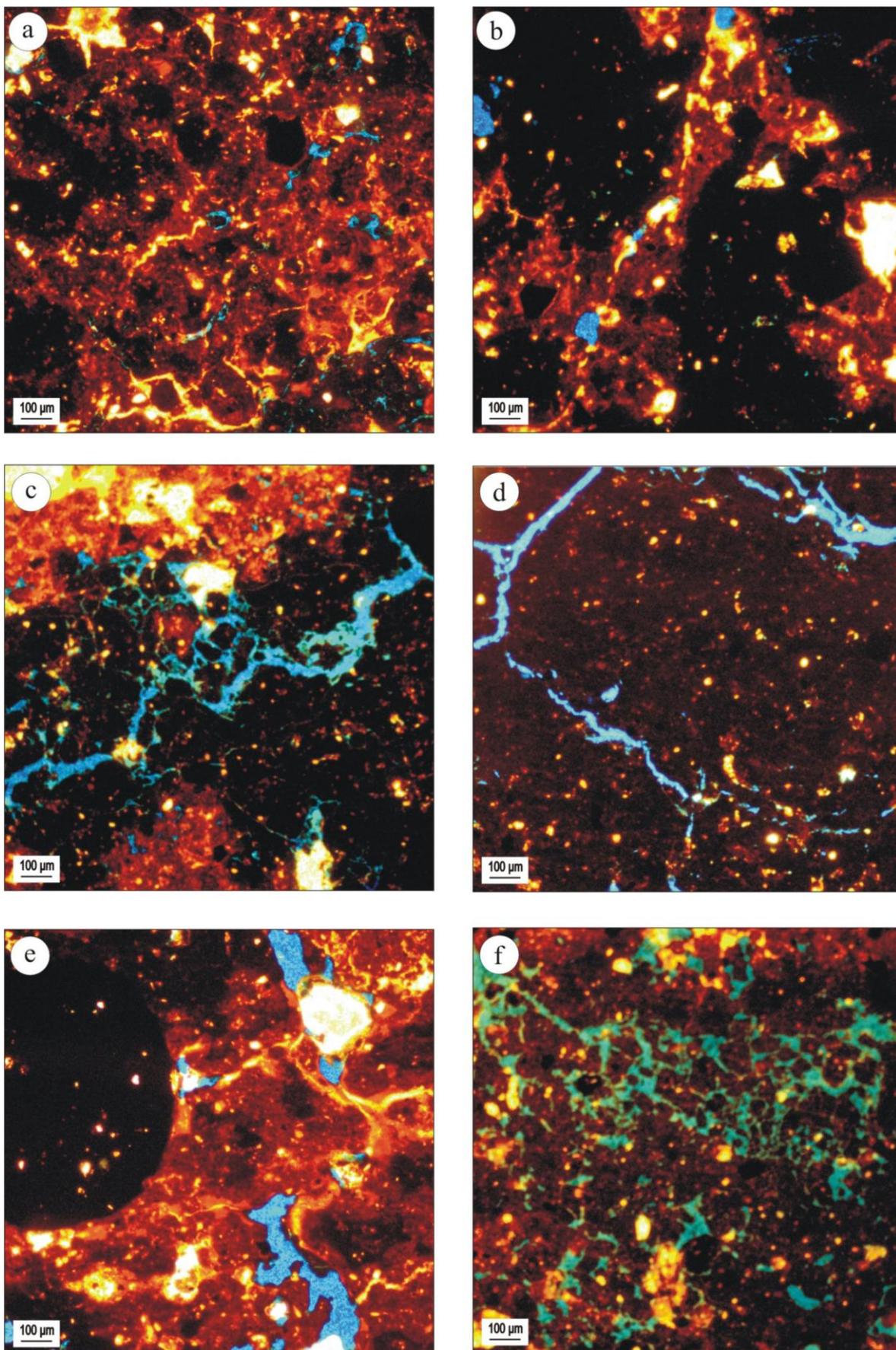


Figura 22: Fotomicrografias dos horizontes de solo da topossequência de Margarida.

a) Volume Ap - Destaque para a trama porfírica e a micromassa vermelha escura que compõe zonas visualmente mais enriquecidas em óxidos de ferro do que a micromassa dominante, aparentemente menos rica nesse elemento.

b) Volume AB - Domínio da micromassa mais escura, salpicada a indiferenciada nos setores de trama porfírica fechada.

c) Volume AB - Micromassa indiferenciada com formas irregulares e alongadas cortadas por poros planares, parcialmente não conformes.

d) Volume B nítico - Agregados subangulares a angulares acomodados a parcialmente acomodados, predominantemente na trama porfírica.

e) Volume B nítico - Pedofeições nodulares típicas, arredondadas ou ameboidais, com limites bem definidos, constituídas por micromassa vermelho escura, argilo-férrica, indiferenciada.

f) Volume Bw - Trama porfírica aberta com setores de trama enáulica, com aglomeração marcante de microagregados.

Os agregados poliédricos estão acomodados a parcialmente acomodados, delimitados por uma porosidade físsural alongada e fina (15  $\mu\text{m}$ ). Na zona de trama porfírica fechada, a porosidade planar (físsural) é mais significativa. Cavidades com formas irregulares (policôncavas – 100 a 400  $\mu\text{m}$ ) aparecem nas zonas de trama porfírica aberta e muitas são geradas pela aglomeração e compressão de agregados menores (microagregados). Pedofeições de preenchimento solto (microagregados de micromassa vermelha escura, indiferenciada) foram observadas em canais de origem biológica. Outras feições de revestimento e preenchimento também foram observadas associadas à porosidade. Estas são constituídas por micromassa vermelho-amarela clara, algumas laminadas, às vezes fragmentadas, outras não orientadas.

Pelo fato deste horizonte atingir o máximo de 30 cm de profundidade e ser uma camada arável, pode-se inferir que muitas das suas características micromorfológicas foram alteradas pelas práticas agrícolas e o emprego de maquinário pesado. Já se observa, a partir da superfície, um significativo adensamento, evidenciado pelos altos valores de densidade do solo, que poderão ser verificados, mais adiante, na tabela 9. Convém ressaltar, também, que as características micromorfológicas observadas nesse horizonte são acompanhadas por baixos teores de matéria orgânica (Tabela 5), cujo efeito na microestrutura parece ser irrelevante. Tudo indica que, além das transformações promovidas pelo uso, deve-se considerar uma provável decapitação parcial desse horizonte.

No horizonte AB (Figura 22-b), as mesmas características observadas no horizonte superior estão presentes. Entretanto, verifica-se a ocorrência mais frequente de pequenos setores de trama enáulica em meio aos setores mais extensos de trama porfírica, seja aberta ou fechada. Nos setores de trama enáulica, a micromassa vermelha escura é dominante, enquanto que a micromassa vermelha mais clara aparece nas bordas e nas pontes entre microagregados. A micromassa mais escura, salpicada a indiferenciada, domina aqui também nos setores de trama porfírica fechada. Nos setores de trama porfírica aberta, a micromassa vermelha mais clara, salpicada a estriada, é predominante, tendo no seu interior as manchas de micromassa vermelha escura. Essas manchas apresentam formas irregulares, muitas vezes alongadas, mas sempre com limites arredondados. Às vezes, aparecem cortadas por poros planares finos (20 a 40  $\mu\text{m}$ ), parcialmente não conformes, resultando, nessa condição, em um arranjo semelhante a um hiporrevestimento gerado por enriquecimento do material fino em ferro (Figura 22-c).

A porosidade aqui também é formada por poros planares, ora finos (físsuras – 20  $\mu\text{m}$ ), conformes e descontínuos, ora mais largos (50  $\mu\text{m}$ ), longos e parcialmente não conformes,

com fraca conectividade, e por cavidades ovaladas (40  $\mu\text{m}$ ) a policôncavas alongadas. Alguns canais de origem biológica, vazios ou parcialmente preenchidos, foram observados.

Como no horizonte superficial, também estão presentes pedofeições de preenchimento e revestimento argilosas, algumas laminadas.

O horizonte subjacente, B nítico, apresenta agregados subangulares a angulares maiores (até 5 mm) e, no interior destes, blocos predominantemente menores de aproximadamente 1.000 a 1.500  $\mu\text{m}$ , acomodados a parcialmente acomodados, predominantemente de trama porfírica, misturando setores fechados e setores abertos, estes últimos mais frequentes no setor médio da vertente (Trincheiras 2 e 3– Figura 15). O material grosseiro continua pouco representativo, formado pelos grãos de minerais escuros. Do mesmo modo, continuam a aparecer os três tipos de material fino descritos anteriormente, contudo, predominando o de cor vermelha escura, salpicada a indiferenciada, sobretudo nos setores de trama porfírica fechada. Na micromassa vermelha mais clara, salpicada, que ocorre geralmente associada aos setores de trama porfírica aberta, aparecem também orientações estriadas. Nela se destacam, como nos casos anteriores, manchas de micromassa vermelha escura com limites graduais e difusos.

As fissuras que dividem os agregados são mais frequentes nesse horizonte do que no AB, formando uma rede mais conectada e densa. Os poros planares mais abertos (70  $\mu\text{m}$ ) e longos são conformes na maior parte da sua extensão, alternando com pequenos setores mais alargados e não conformes (Figura 22-d). A porosidade planar desenvolve-se com maior frequência nas zonas de trama porfírica fechada. Nas zonas de trama porfírica aberta, são menos frequentes, dominando aí a porosidade de tipo cavitária, de até 80  $\mu\text{m}$  de diâmetro, com fraca conectividade entre si.

Como no horizonte superior, verifica-se a presença de pedofeições nodulares típicas, arredondadas ou ameboidais, com limites bem definidos (Figura 22-e), constituídas por micromassa vermelho escura, argilo-férrica, indiferenciada. Aparecem também as pedofeições de revestimento e preenchimento.

É importante lembrar que o horizonte B nítico ocorre a mais de 50 cm de profundidade, mas apresenta, contudo, características micromorfológicas semelhantes àquelas observadas nos horizontes superiores.

Abaixo deste B nítico, o volume Bw exhibe preferencialmente trama porfírica aberta com setores de trama enáulica, mas com aglomeração marcante de microagregados (Figura 22-f). As zonas de trama porfírica aberta são compostas essencialmente pela micromassa de

cor vermelha clara, salpicada, onde é possível individualizar agregados subarredondados a arredondados entre 100 e 400  $\mu\text{m}$ , não acomodados, parcialmente soldados formando áreas contínuas. Nas zonas enáulicas, os microagregados são pequenos, 40 a 150  $\mu\text{m}$ , com formas irregulares, subarredondados a arredondados e, muitas vezes, aparecem coalescidos, o que reduz a porosidade de empacotamento composto que aí ocorre. A micromassa que forma esses agregados é vermelha escura, salpicada. Poros planares de até 30  $\mu\text{m}$  de abertura também foram observados, mas estes se apresentam mais espaçados e não formam redes. São, em geral, não conformes e descontínuos. Essas características micromorfológicas reforçam os dados de campo e de laboratório já apresentados, indicando a presença de um horizonte Bw a mais de 100 cm de profundidade no perfil, ao longo de toda a topossequência.

Ainda neste horizonte, na trincheira 3, foi possível identificar pequenos setores de micromassa vermelho escura, cortado por fissuras ( $\sim 40$   $\mu\text{m}$ ), individualizando *peds* poliédricos (subangulares – 2300 e 3600  $\mu\text{m}$ ), como vistos nos horizonte B nítico. Cooper e Vidal-Torrado (2005) assinalaram essa condição como microestrutura mista, numa zona intermediária de trama porfírica aberta, com agregados poliédricos e aglomerados de microagregados, e porosidade dominante cavitária policôncava (interagregados).

#### 4.3.3 Topossequência de solos do compartimento de Porto Mendes

No sistema pedológico de Porto Mendes, o horizonte Ap apresenta microestrutura caracterizada por agregados granulares e subangulares com trama pórfiro-enáulica (Quadro 3 e Figura 23-a). Em alguns setores, a trama se apresenta como porfírica fechada, compondo agregados poliédricos de até 7 mm de diâmetro, delimitados por fissuras de 30  $\mu\text{m}$  de abertura. Esse arranjo aparece, sobretudo, na zona de passagem para o horizonte subjacente AB, no topo da topossequência. Em direção ao sopé, são mais frequentes e abundantes os setores de trama porfírica aberta, geralmente resultantes da aglomeração de microagregados granulares entre 50 e 200  $\mu\text{m}$ .

A matriz dos agregados é composta predominantemente por micromassa argilo-férrica vermelha escura, salpicada a indiferenciada, aparecendo uma micromassa vermelho-amarela, salpicada, nas bordas e nas zonas de soldamento entre os agregados. Nos setores onde ocorre a aglomeração dos microagregados, a micromassa vermelha escura aparece também estriada, principalmente nas áreas de junção. A macromassa é pouca, constituída por grãos angulosos e subangulosos de minerais escuros (ilmenita e magnetita).

Quadro 3: Descrição micromorfológica dos horizontes de solo do sistema pedológico de Porto Mendes.

Horizontes	Atributo					
	Geral	Microestrutura	Micromassa	Material Grosseiro	Poros	Trama
<b>Porto Mendes</b>						
<b>Ap</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1 (60%), 2 (10%) e 3 (30%)	1) Microagregados granulares e subangulares 2) Agregados poliédricos 3) Aglomerados de microagregados granulares	1, 2 e 3) Argilo-férrica vermelha escura, salpicada a indiferenciada e vermelho-amarela, salpicada.	1, 2 e 3) Poucos grãos de minerais escuros (ilmenita e magnetita) angulosos a subangulosos	1) Empacotamento composto 2) Planares, relativamente largos, parcialmente conformes 3) Cavitária – policonvexas e alongadas	1) Enáulica 2) Porfírica fechada 3) Porfírica aberta
<b>AB</b>	Heterogêneo. Dois tipos de arranjos: 1 (80%) e 2 (20%)	1) Blocos poliédricos subangulares 2) Microagregados subarredondados	1 e 2) Argilo-férrica vermelha escura, salpicada a indiferenciada e vermelho-amarela salpicada	1 e 2) Poucos grãos de minerais escuros (ilmenita e magnetita) angulosos a subangulosos	1) Planar, cavidades ovaladas ou policôncavas, geralmente alongadas (estiradas) 2) Empacotamento composto	1) Porfírica fechada 2) Enáulica
<b>Bw1</b>	Heterogêneo. Três tipos de arranjos: 1 (40%), 2 (30%) e 3 (30%)	1 e 2) Aglomerados de microagregados 3) Microagregados granulares	1, 2 e 3) Argilo-férrica vermelha escura, salpicada a indiferenciada	1, 2 e 3) Poucos grãos de minerais escuros (ilmenita e magnetita) angulosos a subangulosos	1 e 2) Empacotamento composto para porosidade cavitária com menor grau de conectividade 3) Empacotamento composto	1) Porfírica aberta 2) Porfírica fechada 3) Enáulica
<b>Bw2</b>	Heterogêneo. Dois tipos de arranjos: 1 (60%) e 2 (40%)	1) Agregados arredondados à subarredondados 2) Microagregados coalescidos	1 e 2) Argilo-férrica vermelha escura, salpicada a indiferenciada, e vermelho-amarela, salpicada	1 e 2) Poucos grãos de minerais escuros (ilmenita e magnetita) angulosos a subangulosos	1) Empacotamento composto 2) Fissuras curtas parcialmente conformes	1) Enáulica 2) Porfírica aberta

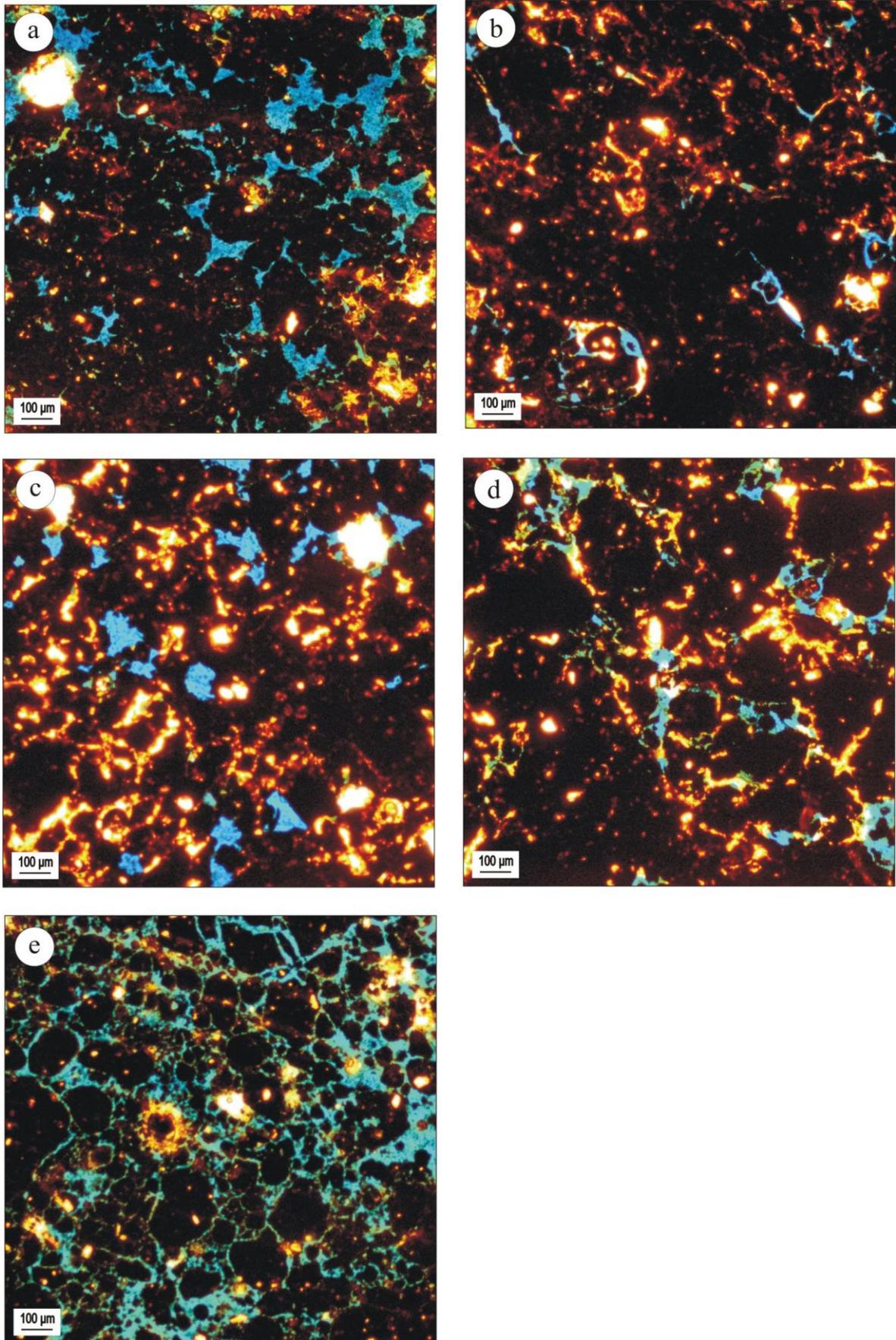


Figura 23: Fotomicrografias dos horizontes de solo da topossequência de Porto Mendes.

a) Volume Ap - Microestrutura caracterizada por agregados granulares e subangulares com trama pórfiro-enáulica.

b) Volume AB - Microestrutura em blocos poliédricos, delimitados por uma porosidade planar na trama porfírica predominante.

c) Volume Bw1 - Setores porfíricos gerados pela aglomeração de microagregados, reduzindo e, localmente, transformando a porosidade de empacotamento composto em porosidade cavitária com menor grau de conectividade.

d) Volume Bw2 - Microestrutura microagregada constituída por agregados arredondados a subarredondados, de vários tamanhos, às vezes mais coalescidos, dando origem a setores de trama porfírica aberta.

e) Volume Bw2 – Poros planares com forte conectividade com a porosidade de empilhamento composto na trama enáulica.

A porosidade de empacotamento composto comunicante domina nos setores enáulicos, e a cavitária (cavidades policonvexas, 50  $\mu\text{m}$  de abertura, alongadas), nos setores porfíricos abertos, com conectividade mais reduzida. Os poros planares são esparsos, os mais longos e relativamente largos, parcialmente conformes, dividem os setores de trama mais fechada dando origem aos blocos poliédricos maiores (4 mm). No interior desses blocos, observam-se os poros planares finos, mais curtos e descontínuos, geralmente conformes.

O horizonte AB exibe uma microestrutura em blocos poliédricos grandes entre 2 e 5 mm, delimitados por uma porosidade planar ( $\sim 30 \mu\text{m}$ ). É homogêneo ao longo da topossequência, apresentando preferencialmente uma trama porfírica fechada (Figura 23-b) intercalada por pequenos setores de trama enáulica. A micromassa de cor vermelha escura, salpicada a estriada reticular, predomina na composição da matriz, onde se observa uma porosidade cavitária, formada por cavidades ovaladas ou policôncavas (20 a 70  $\mu\text{m}$ ), geralmente alongadas (estiradas), de tamanhos variáveis, e fissuras, ora longas, delimitando os blocos poliédricos, ora curtas, no interior dos blocos, formando uma rede descontínua. Essas fissuras são frequentemente conformes. A maior parte das cavidades não apresenta conectividade, mas algumas maiores aparecem conectadas a poros planares. Pedofeições de preenchimento e outras de revestimento argilosas foram observadas ao longo dos poros planares mais largos. Os revestimentos e preenchimentos apresentam cores vermelho-amareladas claras e localmente preenchem parcialmente cavidades ou bloqueiam trechos de poros planares.

O horizonte Bw1 está mais adensado a montante do que a jusante, como poderá ser verificado na tabela 10, mais adiante. Esta condição se reflete claramente nas características micromorfológicas. A montante, domina a trama porfírica com setores fechados entremeados aos setores abertos, mais frequentes. Setores de trama enáulica são mais reduzidos e estão ilhados em meio à trama porfírica. Algumas fissuras cortam o material sem, contudo, gerar uma microestrutura poliédrica evidente. Os setores porfíricos abertos são claramente gerados pela aglomeração de microagregados (200 a 300  $\mu\text{m}$ ) (Figura 23-c), reduzindo e, localmente, transformando a porosidade de empacotamento composto em porosidade cavitária com menor grau de conectividade. A jusante, os setores de trama enáulica se ampliam, enquanto que aqueles porfíricos fechados se reduzem. Macroporos de origem biológica, canais (paredes não conformes) ou tubos são observados nesse horizonte, tanto no topo quanto no sopé da topossequência. O material grosseiro apresenta as mesmas características já observadas nos casos anteriores. A micromassa argilo-férrica dominante mantém a mesma cor vermelha

escura observada no horizonte anterior, é salpicada a indiferenciada e, apenas localmente, apresenta-se estriada (em zonas de esmagamento e acomodação mais pronunciada de microagregados). Apesar do aspecto contínuo – trama porfírica a montante e pórfiro-enáulica a jusante – não há a formação definida de agregados poliédricos na área considerada na lâmina. A microestrutura se apresenta, portanto, predominantemente como “microagregada aglomerada”.

O horizonte Bw2 mostra-se, quanto às características micromorfológicas, mais homogêneo ao longo da topossequência. A microestrutura é microagregada constituída por agregados arredondados à subarredondados, de vários tamanhos (entre 40 e 200  $\mu\text{m}$ ), às vezes mais coalescidos, dando origem a setores de trama porfírica aberta (Figura 23-d), mas exibindo predominantemente trama enáulica (Figura 23-e). A matriz é aqui constituída principalmente pela micromassa vermelha escura, salpicada a indiferenciada, orlada por bordas de micromassa vermelho-amarela, ora mais estreitas, ora mais largas, salpicada. Também são observadas estrias na micromassa, principalmente nas áreas de maior coalescência de microagregados, como já foi observado no Bw1. A macromassa apresenta as mesmas características encontradas nos horizontes superiores.

No Bw2, é notável a presença de grandes poros resultantes de atividade biológica, que se apresentam como galerias, canais e câmeras de 3 mm de largura. A porosidade dominante é de empacotamento composto ( $\sim 30 \mu\text{m}$ ), passando à cavitária com relativa conectividade nos setores porfíricos abertos. Poros planares de tipo fissural curtos, de traçado sinuoso e parcialmente conformes, delimitam, muitas vezes, microagregados poliédricos subangulares, parcialmente acomodados entre si (Figura 23-e). Esses poros planares apresentam forte conectividade com a porosidade de empacotamento composto. Algumas pedofeições de preenchimento argiloso, micromassa amarelada, foram observadas colmatando parte da porosidade interagregados e soldando microagregados entre si.

#### 4.4 AS TOPOSSEQUÊNCIAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS: COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO

A análise do comportamento físico-hídrico da cobertura pedológica ao longo das topossequências baseou-se, neste estudo, essencialmente nos dados de densidade do solo, de macro e microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica.

#### 4.4.1 Topossequência de solos do compartimento do Platô de Marechal

No Platô de Marechal, a variação vertical e lateral dos dados de densidade do solo (Tabela 8) evidencia um adensamento maior nos horizontes superiores da cobertura, mais significativo no horizonte AB, onde é acompanhado por uma redução da porosidade. Este horizonte AB apresenta porosidade total diminuída em cerca de 10% em relação ao horizonte superficial, em posição de topo, e em cerca de 15%, no sopé da vertente. Entretanto, essa diminuição afeta principalmente a macroporosidade, cuja redução varia entre 56% (topo) e 66% (sopé).

Tabela 8: Porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica dos perfis de solos da topossequência do Platô de Marechal.

Trincheira Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	Porosidade (%)			Densidade Solo g cm <sup>-3</sup>	Condutividade Hidráulica mm h <sup>-1</sup>
		Macro	Micro	Total		
1- Ap	00-17	16,39	42,69	59,08	1,12	49,37
1- AB	17-43	7,21	46,20	53,41	1,27	0,93
1- Bw1	43-117	13,37	40,43	53,80	1,06	3,72
1- Bw2	117-160+	11,94	43,34	55,28	1,09	3,39
2- Ap	00-10	13,89	41,73	55,62	1,10	45,15
2- AB	10-38	4,76	42,79	47,55	1,37	0,15
2- B nítico1	38-80	9,80	43,10	52,89	1,14	0,32
2- B nítico2	80-115	16,02	39,74	55,76	1,06	4,4
2- B nítico3	115-160	11,87	44,98	56,85	1,08	2,04
2- Bw	160-200+	17,31	42,83	60,14	0,98	36,03

Nos horizontes subjacentes, a densidade do solo diminui de forma acentuada na passagem para o Bw e B nítico. Os valores se mantêm aproximados, seja no Bw (Bw1 e Bw2) do setor alto da vertente, seja no B nítico (B nítico1, B nítico2, B nítico3). Entretanto, na baixa vertente, o Bw apresenta os valores de densidade do solo mais baixos de toda a topossequência (Figura 24).

Esse comportamento também se reflete nos dados de porosidade total que se mantêm próximos no Bw e no B nítico. Observa-se, contudo, tomando-se o horizonte AB como referência, que, no setor de montante da topossequência, os valores de porosidade total apresentam apenas um ligeiro aumento em profundidade, da ordem de 3,5% no Bw2. Na baixa vertente, esse aumento é mais significativo, de cerca de 11% para o B nítico1, logo

abaixo do AB, continuando a aumentar gradualmente, chegando a acréscimos de 26,5% no Bw, abaixo do B nítico<sup>3</sup>. A macroporosidade, substancialmente reduzida no horizonte AB, aumenta nos horizontes B (Bw e B nítico) em mais de 85%, no Bw1 do topo e, em 105%, no B nítico1 no setor de baixa vertente. Enquanto a macroporosidade é gerada pelos arranjos estruturais do material do solo, a microporosidade é condicionada, preferencialmente pela textura do material. A macroporosidade possibilita a circulação hídrica livre e a microporosidade vai atuar, sobretudo, na retenção da água e no seu armazenamento. Assim, à medida que a estrutura se transforma, o balanço entre a macro e a microporosidade se altera, como se observa ao longo desta topossequência, tanto vertical como lateralmente e, conseqüentemente, é capaz de produzir variações no comportamento hídrico da cobertura pedológica.

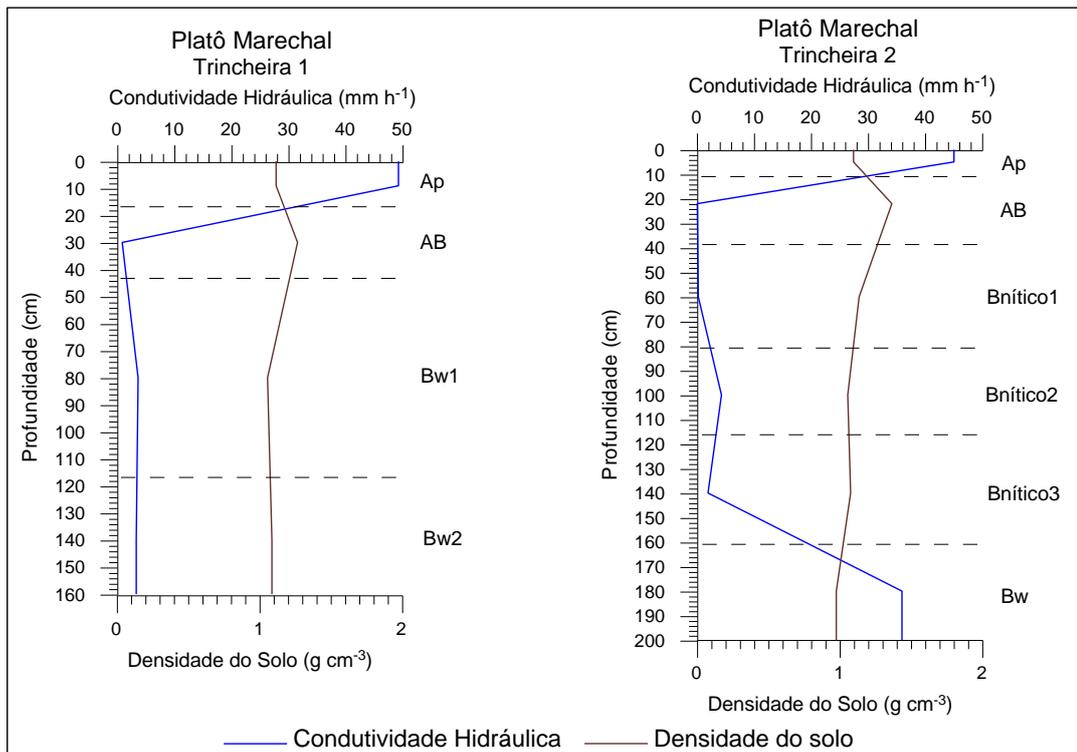


Figura 24: Relação da condutividade hidráulica com a densidade do solo da topossequência do Platô de Marechal.

Como mostram os dados (Tabela 8), nessa cobertura pedológica domina a microporosidade, a qual representa entre 72% e 79% do sistema poral no topo da topossequência, assinalando-se que, no horizonte AB, em face ao adensamento, ela chega a 86% e, no sopé ocorrem variações entre 71% e 82%, chegando, contudo, a 90% no horizonte AB. A porosidade textural é, portanto, dominante, favorecendo a retenção da água em

detrimento da circulação. Os dados obtidos com os ensaios de condutividade hidráulica (Tabela 8 e Figura 25) evidenciam as relações entre a porosidade (macro e microporosidade) e o comportamento hídrico da cobertura pedológica.

Em termos hídricos, o horizonte superficial Ap, ao longo de toda a topossequência, apresenta condutividade hidráulica moderada ( $49,37 \text{ mm h}^{-1}$ , a montante e  $45,15 \text{ mm h}^{-1}$ , a jusante), favorecida aí pela maior macroporosidade; muito lenta, no horizonte AB (valores inferiores a  $1,00 \text{ mm h}^{-1}$ , com redução maior na baixa vertente); lenta nos volumes Bw, no topo ( $3,72 \text{ mm h}^{-1}$  para o Bw1 e  $3,39 \text{ mm h}^{-1}$  para o Bw2), mas a partir da média vertente, passa, lateralmente, a ser muito lenta no topo do B nítico ( $0,32 \text{ mm h}^{-1}$  no B nítico1), mantendo-se, contudo, lenta no B nítico2 ( $4,40 \text{ mm h}^{-1}$ ) e B nítico3 ( $2,07 \text{ mm h}^{-1}$ ). Apenas a partir da média vertente, no Bw, subjacente ao B nítico, a condutividade hidráulica aumenta, mas apresentando-se ainda como moderada ( $36,03 \text{ mm h}^{-1}$ ).

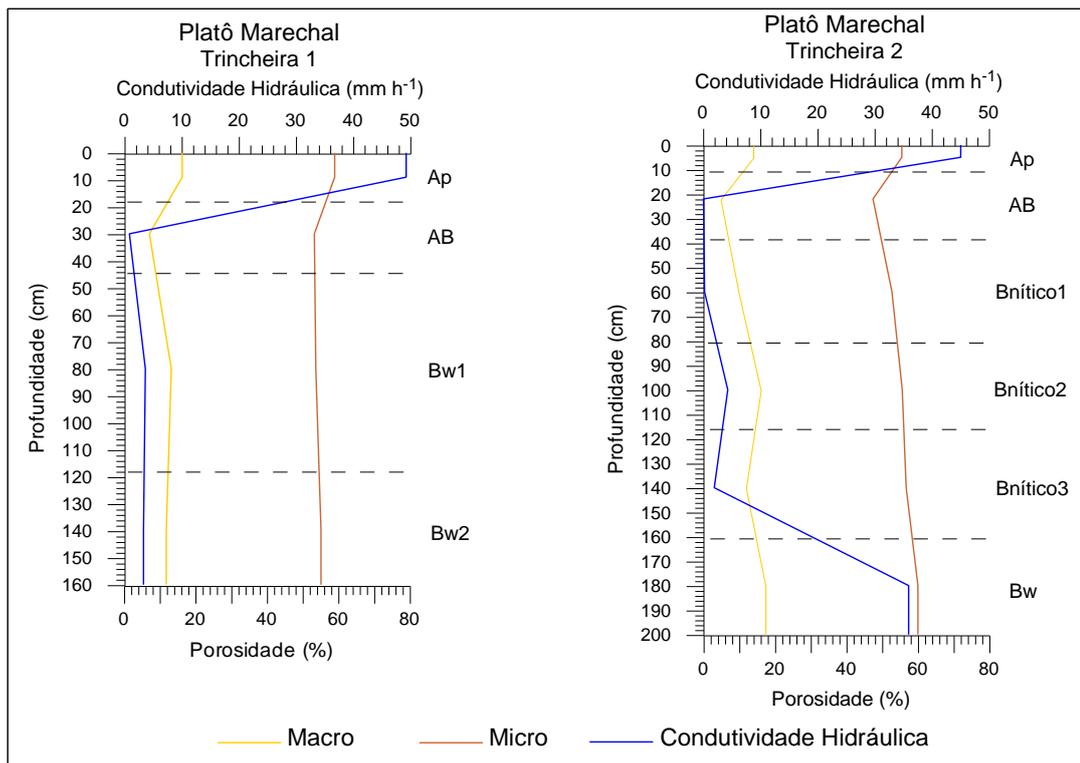


Figura 25: Relação da condutividade hidráulica com a macro e a microporosidade dos solos da topossequência do Platô de Marechal.

Apesar da tendência de crescimento da condutividade hidráulica com o aumento da porosidade total e da macroporosidade, como mostram os dados obtidos, observa-se que a elevação da porosidade total ou da macroporosidade não é acompanhada, na mesma intensidade, pela condutividade hidráulica. A porosidade total e a macroporosidade mais

elevadas no Bw não foram capazes de condicionar as mesmas taxas de condutividade hidráulica verificadas no horizonte Ap, do mesmo modo que valores similares de porosidade ou, mais especificamente, de macroporosidade, não correspondem a taxas próximas de condutividade hidráulica.

O mesmo comportamento pode ser observado quando se relacionam os dados de densidade do solo com a condutividade hidráulica (Figura 24). A relação estreita entre porosidade total e densidade do solo não se reproduz com a condutividade hidráulica.

Além das interferências do balanço entre a macro e microporosidade no comportamento hídrico dessa cobertura pedológica, deve-se considerar, também, o tipo de poros, a sua distribuição e grau de conectividade, sobretudo com respeito à macroporosidade, já que esta é a principal responsável pela circulação hídrica. As observações micromorfológicas contribuem, nesse caso, para o entendimento da configuração do sistema poral e do seu funcionamento.

A figura 26 mostra a variação do tipo, distribuição e tamanho dos poros observados nas lâminas delgadas dos volumes de solos característicos dessa topossequência. Como a análise micromorfológica já indicou, há uma transformação do sistema poral da superfície para a base dos perfis estudados, que se reproduz ao longo de toda a topossequência, com algumas diferenças laterais relacionadas à transformação do Bw em B nítico, partindo-se do topo para o sopé da vertente.

Verticalmente, observa-se que o volume superficial (horizonte Ap) da cobertura pedológica exhibe ainda uma parte importante da porosidade (macroporosidade) de tipo empacotamento composto, gerada pelo arranjo enáulico de cerca da metade da matriz do horizonte. Nas zonas de arranjo contínuo (trama porfírica), a macroporosidade é bastante reduzida e do tipo cavitária e fissural. A proporção entre os dois tipos de arranjos e a sua distribuição garantem ainda uma conectividade entre os poros, sobretudo para aqueles de empacotamento composto. Abaixo do horizonte superficial, entretanto, como se observa na figura 26, o material está adensado (horizonte AB), as zonas enáulicas são drasticamente diminuídas, o arranjo é predominantemente de tipo porfírico e a macroporosidade é preferencialmente cavitária e fissural com conectividade fraca ou nula. Essa transformação do espaço poral significa o fechamento de parte substancial da porosidade estrutural por onde circulam os fluxos hídricos livres e o aumento da porosidade textural, ou seja, da microporosidade, responsável pela retenção da água. As taxas de condutividade hidráulica obtidas (Tabela 8) comprovam a alteração no comportamento hídrico.

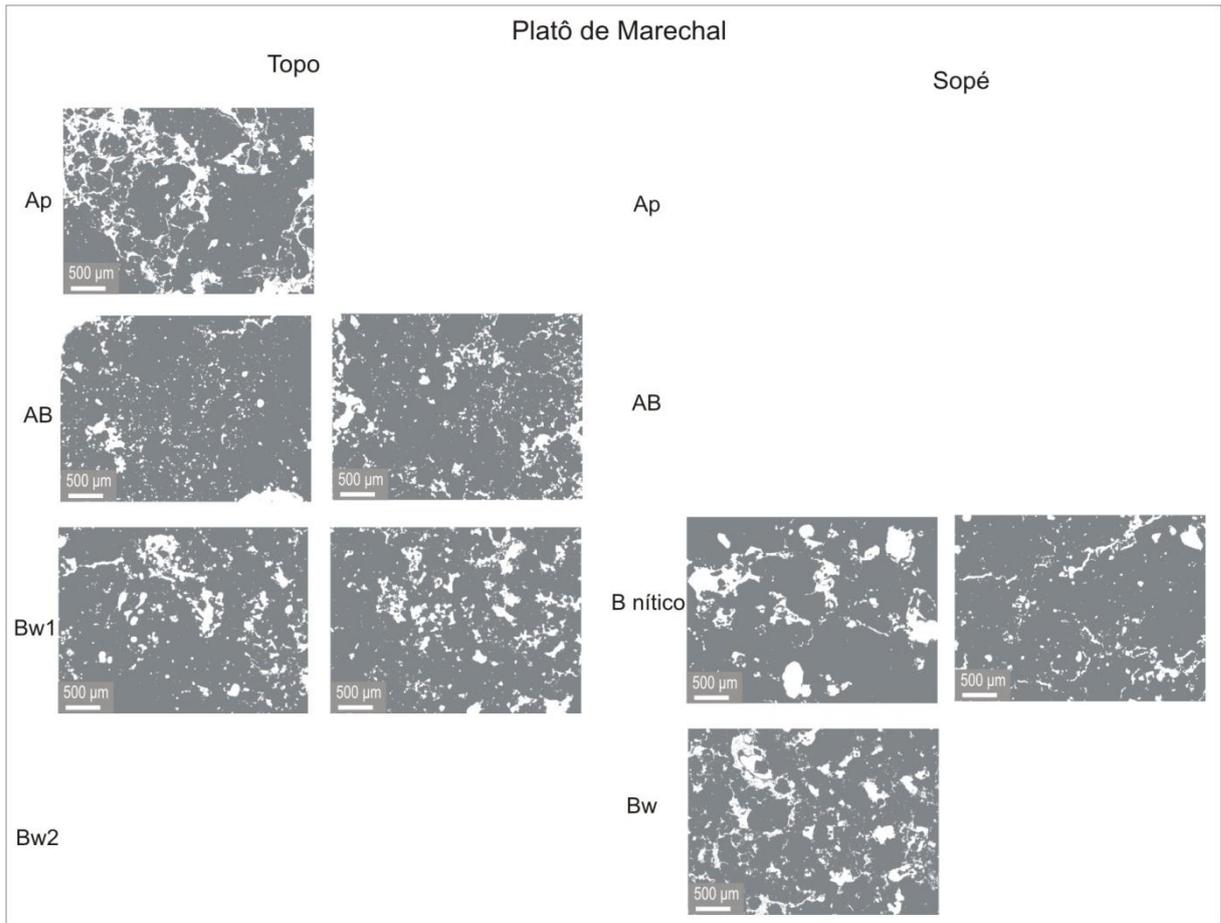


Figura 26: Imagens binárias do sistema poral dos horizontes de solo do Platô de Marechal.

Kertzman (1996, p. 60-85), também utilizando imagens binárias para representar a organização dos microagregados e do seu espaço poral, evidenciou que, dos 10 aos 35 cm de profundidade, a porosidade do solo na área cultivada com plantio direto é bem mais reduzida do que um solo sob a mata. Esta compactação reduziu as taxas de infiltração da água em mais de 20 vezes. Para o autor, esta diminuição da infiltração foi provocada pela redução de poros interagregados e, principalmente, pela baixa conectividade.

Apesar da elevação da macroporosidade e da porosidade total, tanto no horizonte Bw (Bw1 e Bw2), no trecho superior da vertente, quanto no B nítico (B nítico1, B nítico2, B nítico3), os valores baixos de condutividade hidráulica evidenciam a fraca conectividade da porosidade. Mesmo com o aumento de zonas de trama enáulica e porosidade de empacotamento composto em relação às zonas porfíricas no Bw1 e Bw2, a montante, a tendência generalizada à aglomeração desses microagregados transforma parte significativa da porosidade de empacotamento composto em porosidade cavitária, diminuindo em muito a sua conectividade, o que explica as taxas de condutividade hidráulica reduzidas. A jusante, a porosidade predominantemente fissural e cavitária, característica do B nítico, é a responsável

pela baixa condutividade. O horizonte Bw subjacente, na média e baixa vertente, exhibe zonas de porosidade interagregada (poros de empacotamento composto) mais ampliadas e conectadas entre si, contendo, ainda, zonas porfíricas com porosidade cavitária fracamente conectada, mas que interferem menos na circulação hídrica, possibilitando, pelos valores obtidos, circulação hídrica moderada, semelhante àquela observada no horizonte superficial Ap.

A análise micromorfológica permite afirmar, desse modo, que é o tipo, a organização e distribuição dos poros na matriz do solo que condicionam preferencialmente a conectividade da porosidade e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica, explicando, também, as variações e relações entre esta e os dados de porosidade total, macro e microporosidade verificados nos horizontes.

#### 4.4.2 Toposequência de solos do compartimento de Margarida

Na toposequência de Margarida, é o volume superficial Ap que apresenta os valores de densidade do solo mais elevados, variando de 1,24 no topo até 1,47 g cm<sup>-3</sup> no sopé (Tabela 9 e Figura 27). A densidade do solo é, em geral, mais elevada no setor de baixa vertente, em todos os volumes, quando comparada com os dados obtidos no trecho superior e médio. O horizonte Bw, desde o topo até o início da baixa vertente (Trincheira 3), apresenta densidades de solos relativamente mais baixas em relação ao B nítico subjacente. Apenas no sopé, na trincheira 4, ela é ligeiramente superior.

Com relação à porosidade total, como se observa na Tabela 9, excetuando-se o volume superficial (Ap), ela apresenta pequenas variações, tanto em profundidade quanto lateralmente ao longo da toposequência. Os valores variam na sua maior parte entre 52% e 56%, chegando, contudo, em alguns volumes a taxas mais baixas, como se observa no AB (50,28%) da Trincheira 3, ou mais elevadas, como no Bw da Trincheira 2 (57,83%).

O horizonte superficial Ap, entretanto, apresenta características mais variadas com relação a esse atributo. No trecho superior da toposequência, exhibe uma porosidade total de 56,11%, relativamente mais elevada do que os horizontes subjacentes. Neste caso, no horizonte AB, verifica-se uma redução da porosidade de 3,6% em relação ao Ap. A partir da média vertente, em direção ao sopé, a porosidade total do Ap é similar (como foi observado na trincheira 3) ou frequentemente mais baixa (Trincheiras 2 e 4) do que os horizontes subsuperficiais. Observa-se, neste setor, uma tendência de aumento da porosidade total em

profundidade, sobretudo, quando da passagem do B nítico para o Bw, excetuando-se o sopé da vertente (Trincheira 4) onde, no Bw, ocorre uma redução de 4,4% na porosidade (passa de 54,24% para 51,84%).

Tabela 9: Porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

Trincheira Horizonte	Profundidade. Horizonte (cm)	Porosidade (%)			Densidade Solo g cm <sup>-3</sup>	Condutividade Hidráulica mm h <sup>-1</sup>
		Macro	Micro	Total		
1 - Ap	00-20	15,54	40,57	56,11	1,24	3,93
1 - AB	20-50	10,31	43,78	54,09	1,18	0,58
1 - B nítico	50-90	6,39	45,62	52,01	1,22	0,00
1 - Bw	90-170+	9,25	44,99	54,24	1,11	0,14
2 - Ap	00-30	8,98	43,73	52,71	1,42	2,93
2 - AB	30-60	15,61	41,24	56,85	1,06	0,43
2 - B nítico	60-105	10,65	44,65	55,29	1,12	0,10
2 - Bw	105-180	11,67	46,17	57,83	1,10	0,30
3 - Ap	00-26	6,94	44,71	51,65	1,41	3,14
3 - AB	26-74	2,55	47,73	50,28	1,31	0,00
3 - B nítico	74-120	4,12	47,54	51,66	1,32	2,11
3 - Bw	120-160	8,74	45,91	54,65	1,19	7,28
4 - Ap	00-30	6,60	44,71	51,38	1,47	4,15
4 - AB	30-74	7,89	46,32	54,21	1,22	1,28
4 - B nítico	74-110	8,50	45,74	54,24	1,21	0,00
4 - Bw	110-150	4,83	47,01	51,84	1,27	0,00

As diferenças verticais e laterais mais significativas observadas nessa topossequência dizem respeito ao balanço da macro e microporosidade (Tabela 9 e Figura 28). A microporosidade é dominante, correspondendo na maior parte da cobertura entre 80% e 90% da porosidade total, chegando, entretanto, a ultrapassar 90% em alguns horizontes (AB e B nítico da Trincheira 3). Valores inferiores a 80% ocorrem no horizonte superficial Ap de montante e no AB (Trincheira 2) no setor médio da topossequência. A microporosidade tende a ser maior nos horizontes B nítico e relativamente menor no Bw, exceto no sopé. A macroporosidade, conseqüentemente, só apresenta valores mais significativos no Ap de montante e no AB da média vertente (Trincheira 2), onde correspondem a cerca de 27% da

porosidade total. Nos outros volumes não ultrapassam 20% e, na baixa vertente, no AB e B nítico são inferiores a 10%.

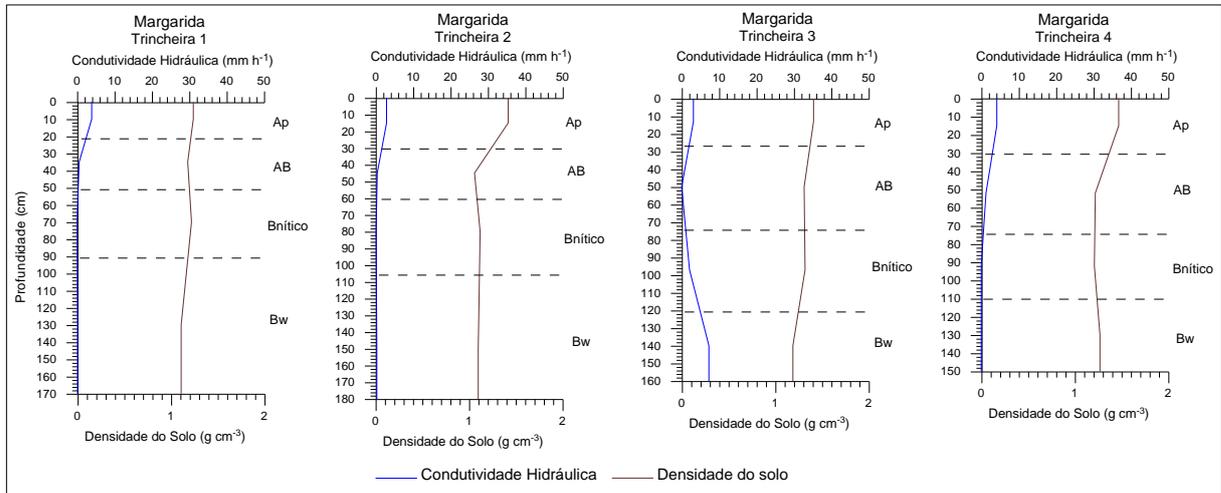


Figura 27: Relação da condutividade hidráulica com a densidade do solo dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

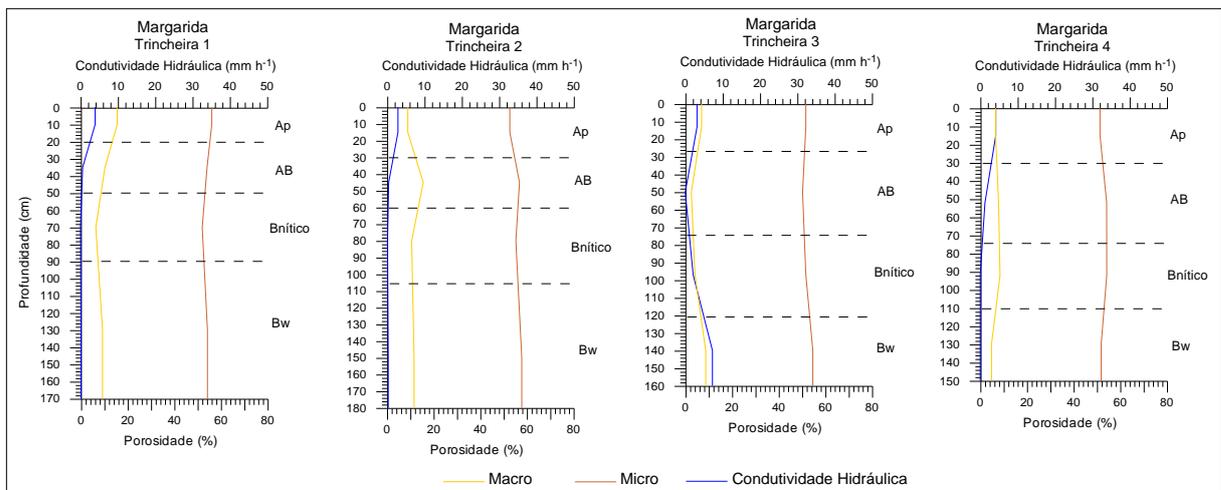


Figura 28: Relação da condutividade hidráulica com a macro e a microporosidade dos perfis de solos da topossequência de Margarida.

Os dados de condutividade hidráulica indicam uma circulação predominantemente muito lenta a lenta ao longo de toda a topossequência. Mesmo a maior participação da macroporosidade em alguns volumes, significando, algumas vezes, aumento de mais de 70%, como se observa no horizonte AB da trincheira 2, média vertente, foi capaz de alterar o comportamento hídrico.

No horizonte superficial (Ap), a condutividade hidráulica é lenta, passando em subsuperfície a muito lenta. Os valores baixos de condutividade hidráulica que ocorrem no B nítico em toda a extensão da topossequência, também se reproduzem no Bw sotoposto.

Apenas na baixa vertente, na trincheira 3, o horizonte Bw apresenta valores de condutividade hidráulica mais elevados que permitem classificá-la como moderadamente lenta. A análise micromorfológica mostrou que o sistema poral ao longo dessa cobertura pedológica é essencialmente constituído por poros planares (fissuras) e cavidades policôncavas com fraca conectividade (Figura 29).

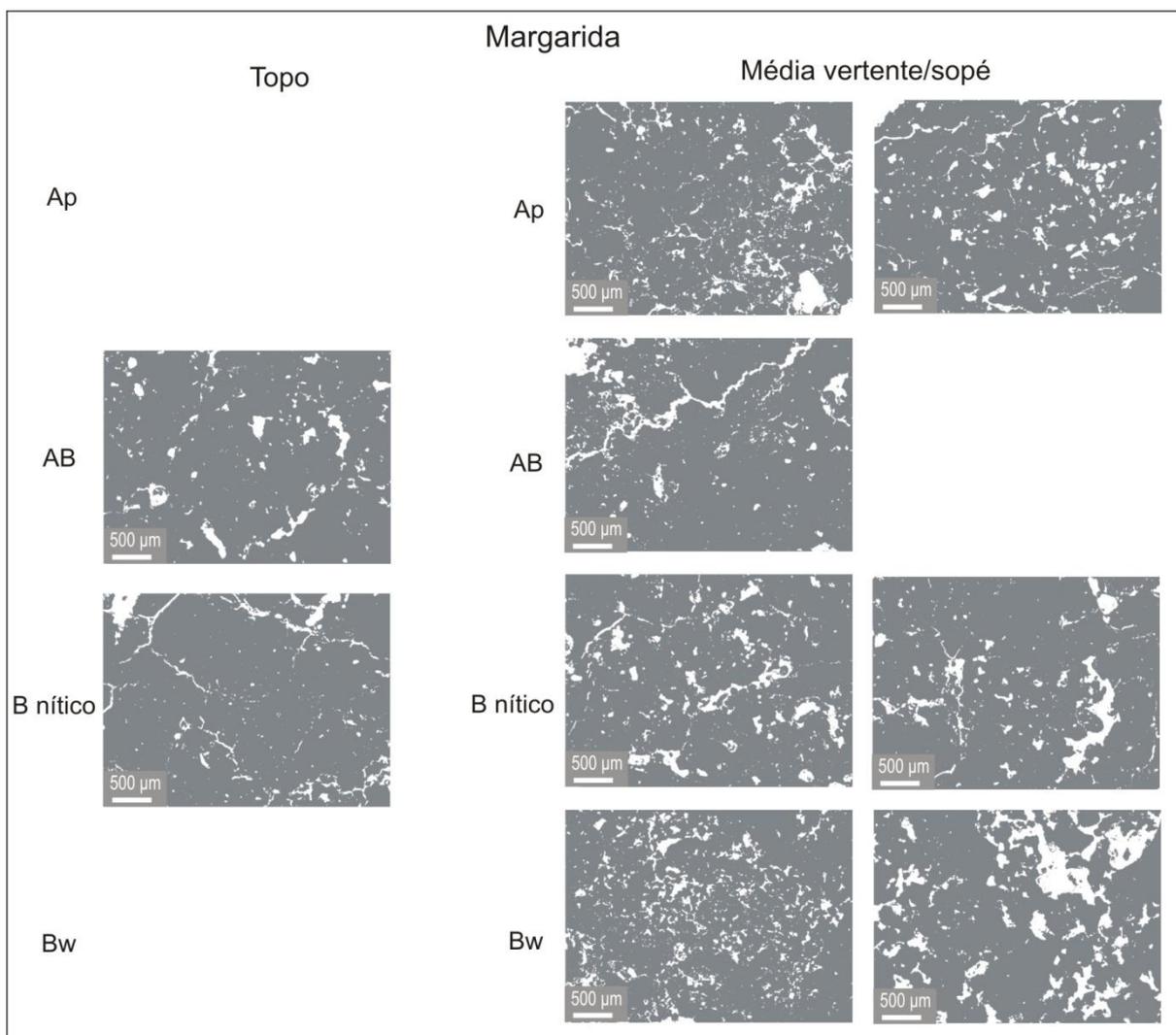


Figura 29: Imagens binárias do sistema poral dos horizontes de solo de Margarida.

Soma-se a essa morfologia os preenchimentos e revestimentos associados aos poros e que contribuem também para a redução da conectividade. A configuração do sistema poral, portanto, se refletiu em taxas de condutividade hidráulica baixas, indicativas de circulação hídrica lenta e muito lenta, anulando o efeito dos acréscimos de porosidade total e, sobretudo, de macroporosidade observados em alguns volumes.

#### 4.4.3 Topossequência de solos do compartimento de Porto Mendes

No sistema pedológico de Porto Mendes, os valores de densidade do solo, no geral, são mais elevados nos horizontes superficiais, particularmente nos horizontes Ap e AB, onde a compactação do solo parece ser mais expressiva (Tabela 10 e Figura 30). Ao longo da topossequência, estes valores de densidade iniciam, na superfície, com  $1,18 \text{ g cm}^{-3}$  no horizonte Ap; aumentando vertical e lateralmente no horizonte AB para  $1,32 \text{ g cm}^{-3}$ , no setor de topo, e para  $1,38 \text{ g cm}^{-3}$ , no setor de média-baixa vertente e; reduzindo em profundidade, chegando na base do Bw com índices entre  $0,98$  e  $1,05 \text{ g cm}^{-3}$ .

Dentre estes volumes de solo, é nos horizontes Ap e Bw2 que aparecem os maiores valores de porosidade total, em média 59%. Distintamente, há uma redução significativa para o volume AB, que tem 53,35%, no setor de topo, e reduzindo mais 7% no sopé. Quando comparado os dados do horizonte Bw1 com o AB do topo, o primeiro se mostra com porosidade total ainda menor (Tabela 10 e Figura 31).

Tabela 10: Porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.

Trincheira Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	Porosidade (%)			Densidade Solo $\text{g cm}^{-3}$	Condutividade Hidráulica $\text{mm h}^{-1}$
		Macro	Micro	Total		
1 – Ap	00–10	15,68	42,36	58,04	1,18	16,71
1 – AB	10-22	8,06	45,29	53,35	1,32	0,00
1 – Bw1	22-110	5,92	46,44	52,36	1,25	2,54
1 – Bw2	110-160	15,88	42,97	58,85	0,98	22,06
2 – Ap	00-08	18,67	40,65	59,32	1,18	44,64
2 – AB	08-36	4,93	41,61	46,54	1,38	0,55
2 – Bw1	36-140	11,09	41,70	52,79	1,13	1,13
2 – Bw2	140-160	14,90	41,68	56,58	1,05	17,49

Verifica-se que a variação da porosidade total acompanha os aumentos e decréscimos na macro e microporosidade. Nos volumes em que ela é maior, a macroporosidade chega a ~31% e, onde a porosidade total é menor, a macroporosidade menor representa em torno de 10% do espaço poral.

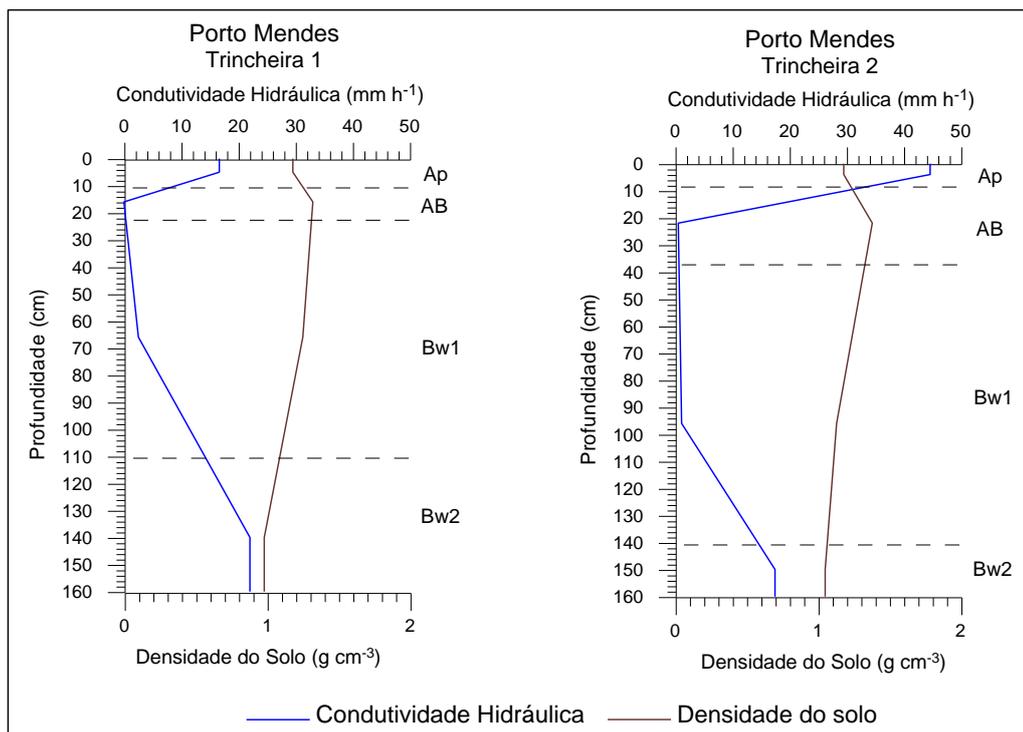


Figura 30: Relação da condutividade hidráulica com a densidade do solo dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.

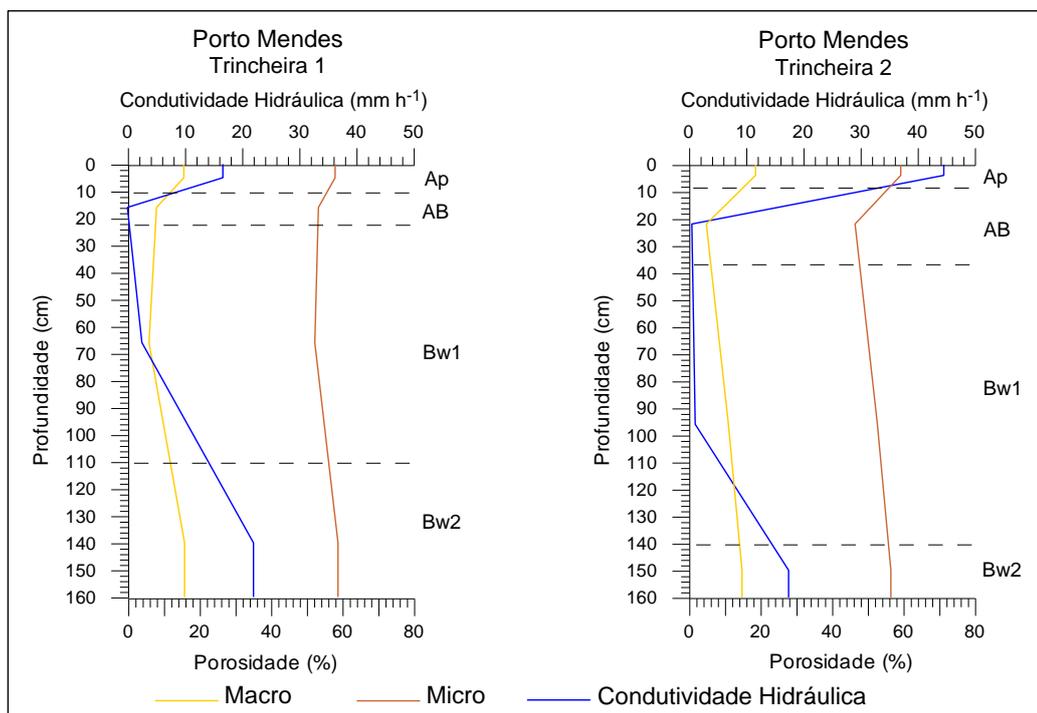


Figura 31: Relação da condutividade hidráulica com a macro e microporosidade dos perfis de solos da topossequência de Porto Mendes.

A análise da dinâmica hídrica deste sistema demonstra que os horizontes Ap e Bw2 apresentam condutividades hidráulicas maiores, assim como a macroporosidade e porosidade total. No setor de topo, nestes dois volumes, a condutividade hidráulica é moderadamente

lenta ( $16,71 \text{ mm h}^{-1}$ ), em superfície, e moderada ( $22,06 \text{ mm h}^{-1}$ ), em profundidade. No sopé da vertente, estas classes se invertem, com destaque para a moderada condutividade ( $44,64 \text{ mm h}^{-1}$ ) em superfície. Já o horizonte AB, assim como o Bw1, apresenta classe muito lenta e lenta, respectivamente, em toda sua extensão.

A análise micromorfológica evidencia que o horizonte Ap, no topo da topossequência, apresenta agregados poliédricos delimitados por fissuras, sobretudo na zona de passagem para o horizonte subjacente AB, mas, no geral, neste horizonte, bem como no Bw2, a porosidade dominante é de empacotamento composto, o que se relaciona ao aumento da condutividade hidráulica. Esta organização do espaço poral não se reproduz na maior parte do Bw1, onde a aglomeração de microagregados transforma a porosidade de empacotamento composto em porosidade cavitária, com menor grau de conectividade (Figura 32).

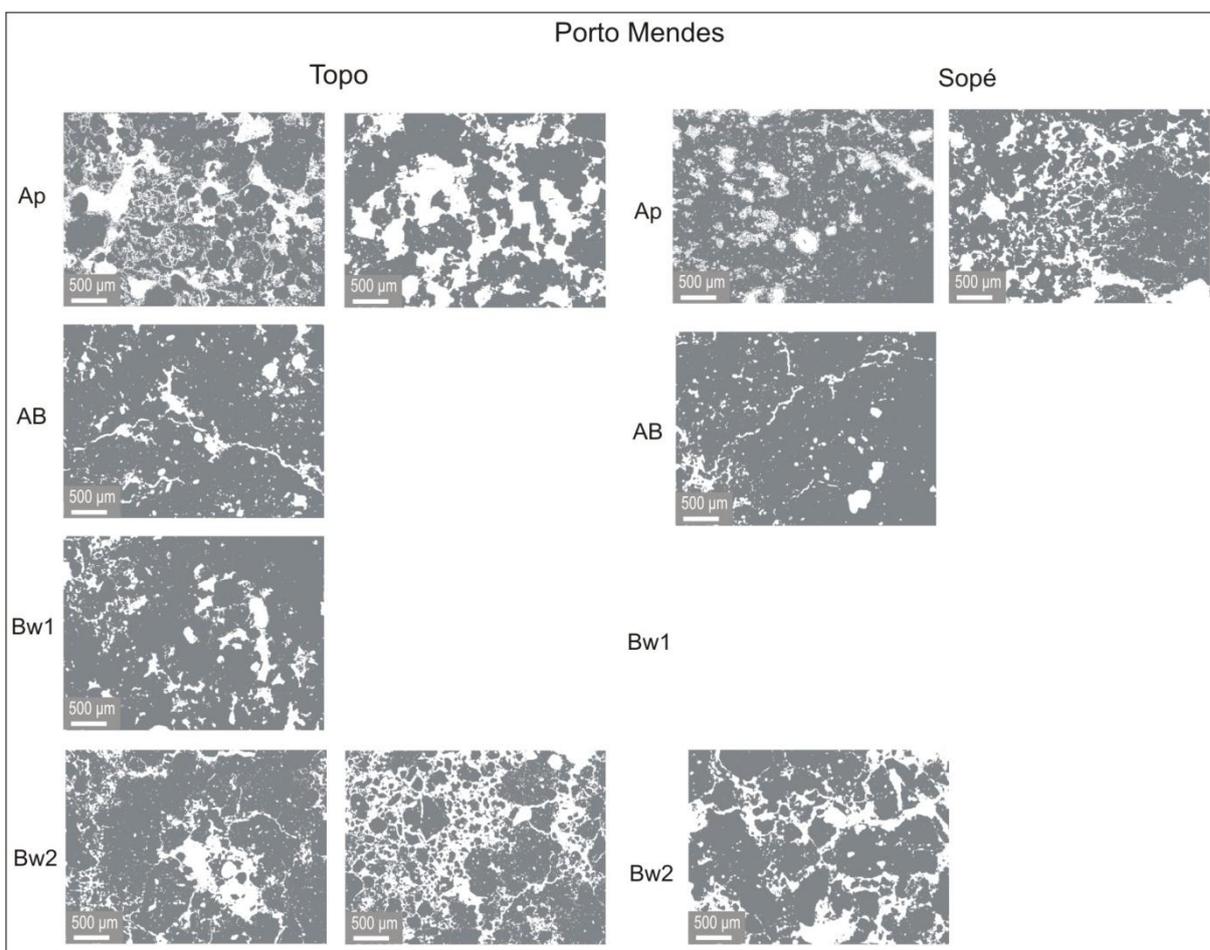


Figura 32: Imagens binárias do sistema poral dos horizontes de solo de Porto Mendes.

No horizonte AB, o espaço poral apresenta-se com fissuras delimitando os blocos poliédricos, porém formando uma rede descontínua. No interior destes blocos, é comum as cavidades ovaladas e policôncavas.

Considerando as mesmas condições topográficas e o manejo do solo, admite-se que é esta organização do espaço poral que sugere uma maior ou menor permeabilidade da água nesse sistema pedológico.

#### 4.5 SÍNTESE DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS

A cobertura pedológica das unidades de paisagem apresenta solos texturalmente muito argilosos ao longo de todas as topossequências, exibindo variações de estrutura, grau de compactação e, em alguns casos, de cor. Com base na variação dessas características morfológicas, os diferentes volumes de solos identificados, juntamente com os dados químicos permitem indicar que a cobertura pedológica das unidades do Platô, de Margarida e Porto Mendes são compostas por diferentes sistemas pedológicos. O Platô de Marechal apresenta um sistema pedológico organizado no setor de topo por horizontes de solos que correspondem ao Latossolo Vermelho Eutrófico e lateralmente, a partir da média vertente, transiciona para volumes de solos que correspondem ao Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico. A cobertura pedológica de Margarida é representada por um sistema pedológico constituído pelo Nitossolo Vermelho Eutrófico latossólico. Diante das características dos solos da unidade de Porto Mendes, a cobertura pedológica é representada pelo sistema pedológico Latossolo Vermelho Eutrófico em toda a extensão da vertente de forma suavemente convexa.

Os solos destas unidades apresentam alto grau de evolução, confirmadas nos baixos índices da relação silte/argila, porém os horizontes diagnósticos Bw e B nítico não exibem 100% de floculação da fração argila, como sugere a Embrapa (1984) para estes solos.

Micromorfologicamente, os sistemas pedológicos apresentam características estruturais particulares de cada horizonte, mas que por vezes se repetem nos demais sistemas. No horizonte Ap, a microestrutura em blocos arredondados, subarredondados e granulares sob trama enáulica predominante é bem observada nos sistemas do Platô e de Porto Mendes, enquanto no sistema de Margarida esse horizonte apresenta a trama porfírica fechada predominante, com alguns setores de trama porfírica aberta e pouco representativos de trama enáulica. Desta maneira, a microestrutura é prioritariamente organizada por agregados poliédricos subangulares acomodados a parcialmente acomodados, delimitados por uma porosidade fissural alongada e fina.

Aparentemente essa condição estrutural do horizonte superficial de margarida é condicionada por uma compactação mais acentuada, observada logo nos primeiros 30 cm de

profundidade. Acredita-se numa possível melhoria dessa camada arável com uso de práticas agrícolas adequadas, revolvendo e quebrando esse volume adensado.

Essas características do adensamento do horizonte Ap de Margarida são reproduzidas nos volumes AB dos três sistemas pedológicos, evidenciando tramas porfíricas, que se formam a partir do agrupamento de microagregados e variam entre porfírica aberta ou fechada, de acordo com os diferentes estágios de aglutinação. Notoriamente, a coalescência desses microagregados implica no fechamento do sistema poral, originando poros cavitários – policôncavos ou alongados e curvos – e planar, parcialmente conectados. A diferença mais significativa deste horizonte entre os sistemas pedológicos se remete a Margarida, onde aparecem mais setores de trama enáulica no interior da trama porfírica e uma maior variação da cor da micromassa argilo-férrica.

Nos horizontes B latossólicos, as características típicas de trama enáulica – a microestrutura de microagregados arredondados e subarredondados e a porosidade de empacotamento composto –, é comum apenas no Bw de maior profundidade nos sistemas pedológicos do Platô e de Porto Mendes. No volume Bw1, do Platô de Marechal, aparecem com maior frequência setores de trama porfírica cortados por fissuras, distinguindo blocos poliédricos subangulares moderadamente acomodados, setores de trama porfírica aberta com porosidade cavitária – semelhantes àqueles observados no horizonte AB –, e setores mais extensos constituídos por aglomerados de microagregados de formas arredondadas, não acomodados, onde domina a trama enáulica. Para o Bw1 de Porto Mendes, apesar do aspecto contínuo – trama porfírica a montante e pórfiro-enáulica a jusante – não há a formação definida de agregados poliédricos na área considerada na lâmina. Neste caso, a microestrutura se apresenta, portanto, predominantemente como microagregada aglomerada, transformando a porosidade de empacotamento composto em porosidade cavitária com menor grau de conectividade.

A particularidade se apresenta no sistema pedológico de Margarida, onde o volume Bw exibe preferencialmente trama porfírica aberta, com setores de trama enáulica, porém com aglomeração de microagregados subarredondados a arredondados, por vezes, coalescidos, o que reduz a porosidade de empacotamento composto. As zonas de trama porfírica aberta são compostas essencialmente por pequenos agregados subarredondados a arredondados, não acomodados, parcialmente soldados formando áreas contínuas. E, ainda neste horizonte, foi possível identificar pequenos setores de micromassa vermelho escura, cortados por fissuras

individualizando *peds* poliédricos (subangulares), como vistos no horizonte B nítico que está sobreposto a este Bw.

O horizonte B nítico – identificado no sistema pedológico do Platô de Marechal, na média vertente em direção ao sopé (Figura 12), e no sistema de Margarida (Figura 15), se estendendo por toda a vertente, ambos abaixo do AB e sobrepostos ao B latossólico – apresenta trama porfírica fechada predominante e sua estrutura é composta por agregados poliédricos subangulares, parcial a totalmente acomodados, apresentando alguns setores isolados de trama enáulica.

Vale reforçar que as observações de campo e micromorfológicas no Bw, abaixo do B nítico, levam a inferir sobre uma possível transformação deste horizonte em estruturas poliédricas, assumindo características de B nítico.

Em termos hídricos, os horizontes superficiais demonstraram condutividade hidráulica sempre maior do que nos volumes em profundidade. Notoriamente, os volumes identificados como AB apresentaram os menores índices de condutividade hidráulica e maiores de densidade do solo, principalmente no sistema pedológico do Platô e de Porto Mendes, enquanto no sistema pedológico de Margarida o volume mais adensado se encontra no horizonte Ap, mas este ainda exibe uma condutividade hidráulica relativamente maior do que o AB. O horizonte Bw, quando encontrado em profundidades maiores, tende a apresentar condutividades hidráulicas mais elevadas, em detrimento aos horizontes suprajacentes B nítico ou porções de topo do próprio Bw, correspondentes a Bw1.

Nas topossequências do Platô e de Porto Mendes, os maiores índices de condutividade hidráulica também acompanharam as maiores porcentagens de porosidade total e de macroporos nos volumes de solos, enquanto na topossequência de Margarida esta relação não foi evidenciada. O comportamento hídrico, observado a partir das taxas de condutividade hidráulica em todas as topossequências, indica a predominância de fluxos hídricos laterais, produzidos acima do AB e, no caso de Margarida, do próprio Ap. Indica também o impedimento ou retardamento do desenvolvimento de fluxos hídricos verticais no B nítico e em parte do Bw.

Essas condições facilitam, em consequência, o desenvolvimento de escoamento superficial e a erosão superficial hídrica, responsável maior pela perda de solo e, ainda, a instalação de processos erosivos lineares. Em Margarida, na média-baixa vertente, há fortes indícios de truncamento do horizonte superficial Ap, já provavelmente como resultado dessa condição hídrica.

## 5 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS

Para entender a gênese e evolução dos sistemas pedológicos estudados, há a necessidade de situar as unidades de paisagem onde estes sistemas estão inseridos, em um contexto regional geomorfológico mais amplo, e procurar compreender os mecanismos que deram origem a essa compartimentação atual e, conseqüentemente, à sua cobertura pedológica.

Vários autores, entre eles Bigarella e Ab'Saber (1964), Bigarella *et al.* (1965), Ab'Saber (1969b, c) e Justus (1985) relatam que a elaboração das paisagens atuais tem início no final do Terciário, logo após a formação das extensas superfícies de aplanamento. Essas superfícies de aplanamento foram elaboradas em condições de climas mais secos, com a atuação de processos morfogenéticos ligados ao domínio morfoclimático semiárido rigoroso (BIGARELLA *et al.*, 1965). Constituem-se, no dizer de Ab'Saber (1969b), no plano de base para o início da história fisiográfica Quaternária, no caso, referindo-se ao território paulista, mas que certamente é válido também para o paranaense.

Vários estudos geomorfológicos foram realizados procurando identificar e hierarquizar as diferentes superfícies de aplanamento em trechos das regiões Sudeste e Sul e, como resultado, foram propostos diferentes sistemas de classificação com denominações particulares. Tendo em vista a área de estudo objeto desta pesquisa, adotou-se a classificação apresentada por Bigarella *et al.* (1965) e Justus (1985) como base para a identificação dos compartimentos analisados.

Bigarella *et al.* (1965) reconheceram a ocorrência de superfícies de cimeira e interplanálticas designadas como: pediplanos Pd3, Pd2 e Pd1. O Pd3 é o mais antigo, desenvolvido provavelmente no Oligoceno; o Pd2, no Plioceno Inferior e; o Pd1, no Plioceno Superior/Pleistoceno Inferior. Os autores relatam ainda a ocorrência de dois níveis de pedimentação (P2 e P1) embutidos no pediplano Pd1. É importante lembrar aqui que essa definição de superfícies foi realizada tendo como área de interesse a porção oriental das regiões Sul e Sudeste.

Justus (1985) realizou um estudo complementar a essa área, em direção a Oeste, abrangendo uma grande extensão dos planaltos arenítico-basálticos da bacia do Paraná, nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, além de trechos das depressões periféricas. No Paraná, sua pesquisa estendeu-se apenas pelas regiões Norte e Noroeste, não alcançando o território do município de Marechal Cândido Rondon. Reconheceu a ocorrência de uma superfície de cimeira e três interplanálticas designadas como: Superfície

Interplanáltica III, Superfície Interplanáltica II e Superfície Interplanáltica I. Essas superfícies se correlacionam com aquelas definidas por Bigarella *et al.* (1965) do seguinte modo:

- Superfície de cimeira = Pd3
- Superfície Interplanáltica III = Pd2
- Superfície Interplanáltica II = Pd1
- Superfície Interplanáltica I = P2 ou Pd0 (de acordo com BIGARELLA; MAZUCHOWSKI, 1985).

A Superfície Interplanáltica I corresponde a um P2 mais alargado, ou desenvolvido, em relação ao observado no setor Oriental, adquirindo aqui, segundo Bigarella e Mazuchowski (1985) “*status* de pediplano de menor porte”.

Assim, considerando os estudos desses autores, foi possível reconhecer, com base nas características geomorfológicas observadas na área de pesquisa (município de Marechal Cândido Rondon), a ocorrência de vestígios de duas superfícies aplanadas (Pd1 e Pd0), a partir das quais foram modeladas as vertentes atuais, pelo entalhe da drenagem, e uma zona de pedimentos e/ou patamares escalonados e rampas que fazem a transição entre elas.

A unidade do Platô, como se observa na Figura 33, exhibe vestígios do pediplano Pd1, atualmente dissecado pela drenagem. Esse pediplano é suavemente inclinado em direção ao rio Paraná e ocupa extensas áreas sobre os principais divisores de drenagem (Paranapanema/Ivaí, Ivaí/Piquiri e, provavelmente, setores do Piquiri/Iguaçu, incluindo esta área de pesquisa), relacionando-se, a montante, com os pediplanos Pd2 e Pd3 mais elevados. Justus (1985) relata que, apesar da grande extensão, não são facilmente observáveis indícios relacionados à fase de pediplanação. No geral, as rochas estão recobertas por uma cobertura pedológica relativamente espessa. É importante ressaltar que esse pediplano foi retrabalhado pelas oscilações climáticas Quaternárias posteriores, sofrendo os efeitos das alternâncias de períodos úmidos e secos e que possibilitaram, também, a elaboração do pediplano beira-rio, o Pd0.

A cobertura pedológica associada à área modelada a partir do Pd1 tem uma história de evolução mais longa. O ritmo do entalhe dessa superfície pediplanada pela drenagem, cadenciado principalmente pelas oscilações climáticas e pelo papel dos níveis de base locais, modelou as vertentes e condicionou os fluxos hídricos que nelas atuaram e atuam hoje. A cobertura pedológica também se organizou e evoluiu em função desse ritmo e dos processos geoquímicos e pedogenéticos condicionados pelas condições climáticas que se alternaram ao

longo desse tempo. E, nesse sentido, pode-se supor também a alternância de diferentes sistemas pedológicos recobrando essas vertentes ao longo do tempo.



Figura 33: Perfil topográfico das três unidades de paisagem estudadas no município de Marechal Cândido Rondon.

O compartimento do Platô de Marechal, reconhecido, na área de pesquisa, como elaborado a partir do entalhe da superfície aplanada Pd1, apresenta atualmente forma de relevo predominantemente ondulada, vertentes convexo-retilíneas e vales estreitos na forma de V, com cotas altimétricas entre 360 e 460 metros. Mantém, nos setores de topos planos dos esporões mais elevados, eixo SE-NO e N-S, a classe dos Latossolos Vermelhos Eutroféricos e, a partir da média vertente, o Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico. Os dados de campo e de laboratório permitem admitir que transformações pedológicas estejam acontecendo nas vertentes, evidenciando um aprofundamento do horizonte B nítico, em substituição ao Bw sotoposto, na média vertente, e um conseqüente avanço em direção ao topo. Este sistema está em processo de transformação pedológica lateral, de acordo com a definição proposta por Boulet *et al.* (1990). O sistema pedológico de transformação lateral interrompe a cobertura inicial, em um determinado nível, desequilibrando-a e dando lugar a outra cobertura com organização e dinâmica muitas vezes diferente da anterior (BOULET *et al.*, 1990).

Apesar do adensamento generalizado no horizonte subsuperficial AB ao longo da topossequência, resultante das práticas e uso de equipamentos para o preparo do cultivo e colheita agrícolas, deve-se ressaltar a ocorrência dessa tendência também em níveis mais profundos, sobretudo no setor da cobertura pedológica onde domina o Latossolo Vermelho Eutroférico, tendência esta que é a responsável atual pela baixa condutividade hidráulica aí existente. Como esses níveis mais profundos não sofrem a ação direta dos implementos e práticas de manejo, conclui-se que se trata de uma tendência natural na organização atual da cobertura, indicando uma condição pré-transformação de Bw em B nítico. Pode-se supor,

ainda, que os fluxos hídricos lentos, acompanhados por um aumento na capacidade de retenção da umidade, criem as condições favoráveis à aglomeração e fusão dos microagregados originais dos horizontes latossólicos, favorecida ainda pela elevação da dispersão e possível mobilização da fração argila contribuindo também para a transformação estrutural e hídrica da cobertura.

O pediplano beira-rio (Pd0) nivela atualmente os topos das colinas suaves da unidade de Porto Mendes. Justus (1985, p.108) define a Superfície Interplanáltica I (= Pd0) como os níveis topográficos mais baixos e que

correspondem a compartimentos de interdesnudação beira-rio, abertos pelo entalhamento vertical da drenagem e alargados por degradação lateral. [...] contatam com os demais níveis interplanálticos e de cimeira, através de rampas, em sua maioria dissecadas, constituindo modelados de dissecação grosseira, média e fina ou por escarpas e ressaltos (JUSTUS, 1985, p. 108).

Pelo exposto acima, conclui-se que as unidades de Porto Mendes e de Margarida estão conectadas pelos processos e produtos de elaboração desse pediplano beira-rio. Como é possível observar na Figura 34, o nível pediplanado Pd0, que baliza os topos das colinas da unidade de Porto Mendes, se estende na unidade de Margarida, ao longo dos vales, correspondendo a pedimentos, atualmente também entalhados, dos esporões topograficamente mais altos. Os esporões, por sua vez, aparecem com os topos, relativamente estreitos, escalonados (em degraus), até atingir a borda do Platô de Marechal. O escalonamento dos topos desses esporões foi originado, provavelmente, pela dissecação da rampa de ligação entre o Pd1 e o Pd2. Os desníveis em degraus ou patamares podem ter caráter estrutural e não apenas morfoclimático, já que se trata de um relevo evoluindo sobre rochas originadas de derrames vulcânicos. A alternância de níveis maciços mais espessos de basalto com níveis menos espessos ou vesiculares e amigdaloidais pode produzir esse escalonamento quando dissecado.

Em um estudo anterior (MAGALHÃES, 2008), foi realizado o levantamento e detalhamento de uma topossequência situada sobre uma vertente entalhada a partir do pedimento equivalente ao Pd0, aqui situado entre 290 e 280 m de altitude. Nesta topossequência, foi encontrado o sistema pedológico formado por Latossolo Vermelho Eutroférico nitossólico, tendo no sopé um Gleissolo Háptico. Cabe salientar que os fundos de vale na unidade de Margarida, onde aparecem os vestígios dos pedimentos, apresentam-se

com fundo chato, relativamente largo em relação aos cursos d'água atuais, e neles dominam os Gleissolos, às vezes com horizonte A enegrecido.

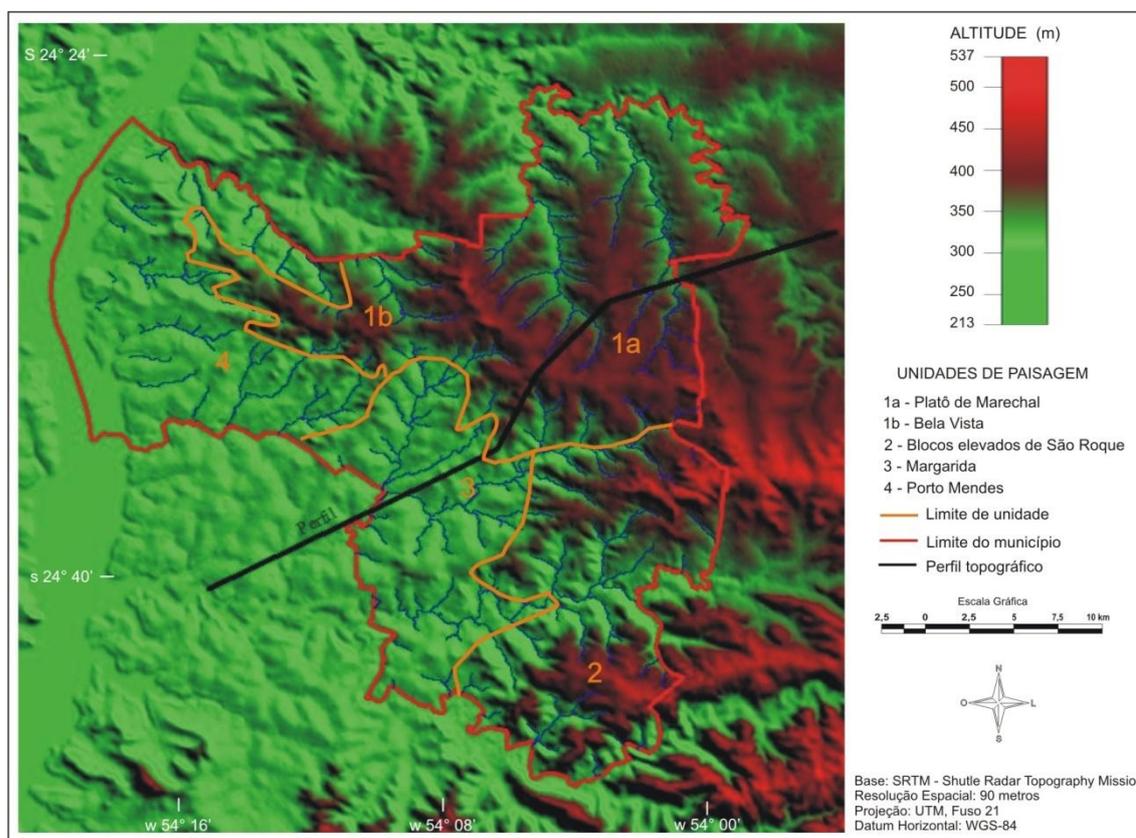


Figura 34: Mapa hipsométrico de Marechal Cândido Rondon com destaque para transição entre pedimentos e pediplanos, evidenciado no perfil topográfico.

Nos divisores da drenagem principal (os esporões), a altitude varia entre 310 e 380 m, sendo as cotas mais baixas encontradas nas posições frontais, onde estes divisores também são mais estreitos e chegam mais largos, arredondados e altos e; as altitudes mais elevadas encontram-se na vizinhança com o Platô de Marechal.

A topossequência – da unidade de Margarida –, analisada no trabalho atual, situa-se em uma vertente de um dos esporões, na porção frontal, cujo topo encontra-se entre 310 e 320 m de altitude. Aí, as vertentes são longas com formato convexo-retilíneo e ruptura côncava acentuada na base, relacionando-se com os fundos chatos de vale. Estas vertentes estão recobertas por um sistema pedológico constituído pelo Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico, passando no sopé para o Gleissolo (não analisado nesta pesquisa). Em posições mais a montante nesse esporão e mais próximas da borda do Platô, foram observados Neossolos Litólicos recobrando os topos. Na topossequência estudada, destaca-se a presença da rocha alterada a cerca de 2 m de profundidade, em posição de topo, e a ocorrência de

adensamento e destruição da estrutura originalmente microagregada, em profundidade. Esta ocorrência também foi observada no sistema do Platô, mas, nesta toposequência, encontra-se mais avançada, criando inclusive dificuldades para a identificação do horizonte Bw sotoposto ao B nítico. Este horizonte já se apresenta bem descaracterizado, sobretudo nas características hídricas – lenta condutividade hidráulica, forte redução da macroporosidade e grande dominância da porosidade textural, principalmente na média-baixa vertente.

Cabe salientar que, considerando-se a situação em relação às superfícies pediplanadas e as condições de dissecação produzidas pela rede de drenagem nas três unidades de paisagem, é a de Margarida que apresenta características de atuação de sistemas mais energéticos. Gerada a partir do entalhe da rampa de ligação, é nela que se instalaram numerosas cabeceiras de drenagem que seguiram evoluindo, de forma remontante, sempre com maior energia, condicionada pela própria situação topográfica e geomorfológica. Essa condição pode explicar a transformação quase completa do sistema pedológico, que está atualmente em processo de espessamento do B nítico em profundidade, a expensas das modificações, já relativamente estabelecidas, do Bw da base.

Admite-se que a atual configuração dessa unidade de paisagem é resultado de constantes estágios de reesculturação, visto que se verifica o alargamento dos fundos de vales e um avanço da erosão na passagem desta unidade para a unidade do Platô. Esta paisagem encontra-se, aparentemente, em desequilíbrio pedomorfológico, testemunhado pela atual frente de transformação vertical, predominante no desenvolvimento dos horizontes. Isto é reforçado pelas observações micromorfológicas do horizonte Bw – situado abaixo do B nítico –, em que podem ser verificados setores com estruturas características de B nítico, já mencionadas acima.

No compartimento de Porto Mendes, as cotas altimétricas variam de 215 metros na margem do lago a cerca de 300 metros nos topos das amplas colinas modeladas a partir do pediplano beira-rio (Pd0) – (Figura 34). Esta unidade apresenta topos praticamente planos (achatados), nos divisores de água da drenagem principal que se dirigem ao rio Paraná. As vertentes longas de declividades fracas e formas retilíneas suportam uma cobertura pedológica constituída pelo Latossolo Vermelho Eutroférico em toda sua extensão, se apresentando, portanto, como um sistema pedológico em equilíbrio de acordo com os critérios de Boulet *et al.* (1990). As coberturas em equilíbrio, conforme esses autores, ocorrem quando as condições pedobioclimáticas são suficientemente estáveis no tempo e no espaço e a evolução da

cobertura pedológica se dá conservando uma organização constante e sem discordância entre os horizontes.

Assim, a cobertura pedológica na unidade de Porto Mendes, deve ter se desenvolvido a partir da modelagem do pediplano beira-rio e, as oscilações climáticas que ocorreram após a sua formação não foram capazes de alterar substancialmente a sua dinâmica e organização. Entretanto, devem-se considerar os efeitos produzidos pela ação antrópica que, com a construção do lago de Itaipu, elevou o nível de base local, interferindo na dinâmica da rede de drenagem e dos lençóis freáticos.

Deve-se considerar aqui também o adensamento do horizonte subsuperficial AB, produzido pelas práticas e implementos empregados nas atividades agrícolas, mas que já se verifica no topo do Bw (Bw1), reduzindo significativamente a condutividade hidráulica e gerando condições para o estabelecimento preferencial de fluxos hídricos laterais e superficiais. A alteração na dinâmica hídrica tende a produzir alterações, como já referido anteriormente, na organização da cobertura pedológica.

Em síntese, as três unidades de paisagem possuem características próprias, geradas principalmente pela evolução geomorfológica regional, cuja evolução do modelado das vertentes durante o Quaternário, sob o efeito de alternâncias climáticas, gera também as condições para a gênese e evolução da cobertura pedológica a ela associada. Na atualidade, cada sistema pedológico mostra, além dos efeitos dessa história de evolução, transformações produzidas pelo uso e ocupação dessas vertentes pelo homem.

## 6 CONCLUSÕES

A análise geomorfológica regional e do município de Marechal Cândido Rondon, representada neste trabalho pelas unidades de paisagem do Platô de Marechal, de Margarida e de Porto Mendes conjuntamente com os dados macromorfológicos, micromorfológicos, físico-químicos e físico-hídricos, obtidos nos perfis de solos dispostos ao longo das vertentes características (topossequências), permitiram elencar algumas conclusões sobre a gênese e evolução dos sistemas pedológicos das unidades de paisagem do município.

O compartimento do Platô de Marechal, elaborado a partir do entalhe da superfície aplanada Pd1, atualmente exhibe forma de relevo predominantemente ondulada, vertentes convexo-retilíneas e vales estreitos na forma de “V”, com Latossolos Vermelhos Eutroféricos nos setores de topos planos dos esporões mais elevados e Nitossolos Vermelhos Distroféricos latossólicos, a partir da média vertente. Neste compartimento, evidencia-se a ocorrência de transformações pedológicas laterais nas vertentes, tais como o aprofundamento do horizonte B nítico, em substituição ao Bw sotoposto, na média vertente, e consequente avanço em direção ao topo, o que significa dizer que este sistema pedológico pode dar lugar a outra cobertura com organização e dinâmica diferente da anterior.

Um outro fato que pode ser somado para a compreensão desta condição de instabilidade atual da cobertura pedológica, particularmente uma pré-transformação de Bw em B nítico, é a reduzida condutividade hidráulica verificada nas mensurações hídricas obtidas no laboratório. Estes dados são condicionados, no caso do horizonte subsuperficial AB, pelo adensamento devido às práticas agrícolas e, nos horizontes mais profundos, pela tendência natural da organização atual da própria cobertura pedológica. O que permite supor, ainda, que os fluxos hídricos lentos, acompanhados por um aumento na capacidade de retenção da umidade, criem as condições favoráveis à aglomeração e fusão dos microagregados originais dos horizontes latossólicos, favorecida ainda pela elevação da dispersão e possível mobilização da fração argila contribuindo também para a transformação estrutural e hídrica da cobertura.

O compartimento de Margarida de vertentes longas com formato convexo-retilíneo e ruptura côncava acentuada na base tem um sistema pedológico constituído pelo Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico. Em posições mais elevadas dessa unidade de paisagem, foram observados Neossolos Litólicos recobrimdo os topos. Na topossequência estudada, além da rocha alterada a cerca de 2 metros de profundidade, em posição de topo, foi verificada a ocorrência de adensamento e destruição da estrutura originalmente microagregada, em

profundidade. Esta ocorrência também foi observada no sistema do Platô, mas, nesta toposequência de Margarida, encontra-se mais avançada, criando inclusive dificuldades para a identificação do horizonte Bw sotoposto ao B nítico. Este horizonte já se apresenta bem descaracterizado, sobretudo nas características hídricas – lenta condutividade hidráulica, forte redução da macroporosidade e grande dominância da porosidade textural, principalmente na média-baixa vertente.

Cabe salientar que, considerando-se a situação em relação às superfícies pediplanadas e as condições de dissecação produzidas pela rede de drenagem nas três unidades de paisagem, é a de Margarida que apresenta características de atuação de sistemas mais enérgicos. Gerada a partir do entalhe da rampa de ligação, é nela que se instalaram numerosas cabeceiras de drenagem que seguiram evoluindo, de forma remontante, sempre com maior energia, condicionada pela própria situação topográfica e geomorfológica. Essa condição pode explicar a transformação quase completa do sistema pedológico, que está atualmente em processo de espessamento do B nítico em profundidade, a expensas das modificações, já relativamente estabelecidas, do Bw da base.

Admite-se que a atual configuração dessa unidade de paisagem de Margarida é resultado de constantes estágios de reesculturação, visto que se verifica o alargamento dos fundos de vales e um avanço da erosão na passagem desta unidade para a unidade do Platô. Esta paisagem encontra-se, aparentemente, em desequilíbrio pedomorfológico, testemunhado pela atual frente de transformação vertical, predominante no desenvolvimento dos horizontes. Isto é reforçado pelas observações micromorfológicas do horizonte Bw – situado abaixo do B nítico –, onde foram verificados setores com estruturas características de B nítico.

O compartimento de Porto Mendes, modelado a partir do pediplano beira-rio (Pd0) apresenta topos praticamente planos, nos divisores de água da drenagem principal que se dirigem para o rio Paraná. As vertentes longas de fraca declividade e formas retilíneas suportam uma cobertura pedológica constituída pelo Latossolo Vermelho Eutroférico em toda sua extensão, apresentando-se, portanto, como um sistema pedológico em equilíbrio.

Fato que ajuda a compreender este comportamento atual desta cobertura pedológica na unidade de Porto Mendes é que a sua modelagem, produzida a partir do pediplano beira-rio, não sofreu alterações substanciais na sua dinâmica e organização com as oscilações climáticas.

Além disso, não se pode esquecer de considerar pelo menos duas questões: primeiro, os efeitos da ação antrópica, provocado pela construção do lago de Itaipu, que elevaram o

nível de base local, interferindo na dinâmica da rede de drenagem e dos lençóis freáticos e, segundo, o adensamento do horizonte subsuperficial AB, produzido pelos implementos empregados nas atividades agrícolas, verificado no topo do Bw (Bw1), reduz significativamente a condutividade hidráulica, gerando condições para o estabelecimento preferencial de fluxos hídricos laterais e superficiais, ou seja, alterando a dinâmica hídrica e produzindo alterações na organização da cobertura pedológica.

Em síntese, as três unidades de paisagem possuem características próprias, geradas principalmente pela evolução geomorfológica regional, cuja evolução do modelado das vertentes durante o Quaternário, sob o efeito de alternâncias climáticas, gera também as condições para a gênese e evolução da cobertura pedológica a ela associada. Na atualidade, cada sistema pedológico mostra, além dos efeitos dessa história de evolução, transformações produzidas pelo uso e ocupação dessas vertentes pelo homem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. São Paulo, IGEO-USP, n.18, 1969a.

AB'SABER, A. N. Pedimentos e bacias detríticas e setores das superfícies neogênicas em São Paulo. **Geomorfologia**. São Paulo, IGEO-USP, n. 13, 1969b.

AB'SABER, A. N. Pedimentos e bacias detríticas plesistocênicos em São Paulo. **Geomorfologia**. São Paulo, IGEO-USP, n. 9, 1969c.

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. Análise geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP. **Sociedade e Natureza**. Ano 19, n. 37, 2007, p.123-138.

BAIZE, D. Couvertures pedologiques, cartographie et taxonomie. **Science du Sol**, v. 4, n. 3, 1986, p. 227-243.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5ed. São Paulo: Ícone, 2005.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. São Paulo: IG-USP, **Cadernos de Ciências da Terra**, n. 13, 1971.

BERTRAND, G.; BEROUTCHACHVILI, N. Le géosystème ou système territorial naturel. *Une géographie traversière: l'environnement à travers territoires et temporalités*. Paris: Éditions l'Arguments, 2002, p. 57-66.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A., FERREIRA, C. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA N. F. Intervalo Hídrico Ótimo e Grau de Compactação de um Latossolo Vermelho Após 30 Anos Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 36, 2012, p. 971-982.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO; CARVALHO, A. P.; POTTER, O.; AGLIO, M. L. D.; SILVA, J. S.; CHAFFIN, C. E.; CARVALHO JUNIOR, W.. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

BIGARELLA, J. J.; SANTOS, G. F.; HERRMANN, M. L. P.; CARVALHO, S. M. C.; MENDONÇA, M.. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. v. 3, Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3, 1985, Maringá. **Anais...** Maringá: ABGE-ADEA, 1985.

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; XAVIER da SILVA, J. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, (16 e 17), 1965, p.85-116.

BIGARELLA, J.J.; AB'SÁBER, A.N. Päläogeographische und Päläoklimatische Aspekte des Känozoikuns in Sudbrasilien. **Zeit. Für Geomorph.** v.8, n. 3, 1964, p. 286-312.

BOIZARD, H.; RICHARD, G.; ROGER-ESTRADE, J.; DURR, C.; BOIFFIN, J. Cumulative effects of cropping system on the structure of the tilled layer in Northern France. **Soil Till. Res.**, n. 64, 2002, p. 149-164.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Os sistemas de transformação em pedologia. **Boletim de Geografia Teorética**. 20 (39). Rio Claro, 1990, p.45-63.

BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1988, Campinas. A responsabilidade social da ciência do solo. **Anais...** Campinas: SBCS, 1988, p.79-90.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. I – Prise en compte l’organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les étude de toposéquences et leurs principaux apport à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM**. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n. 4, 1982a, p. 309-322.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. II – Une méthode d’analyse prenant en compte l’organisation tridimensionnelle des ouvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM**. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n. 4, 1982b, p. 323-340.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. III – Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM**. Paris, França. Série Pédologie. v. XIX, n. 4, 1982c, p. 341-352.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Freitas Bastos: Rio de Janeiro, 1979.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. 2.ed. New York: Krieger R. E, 1976.

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

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, 1998, p. 505-514.

CASTRO, S. S. de. **Sistema de transformação pedológica em Marília: B latossólico em B textural**. 274f. 1989. Tese de doutorado – FFLCH – Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo.

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas**. Campinas: Unicamp. Instituto de geociências - Departamento de Geografia, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COOPER, M., VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, 2005, p. 581-595.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e B textural sobre diabásio**. 135f. 1999. Tese de doutorado. (ESALQ/USP) Piracicaba – SP.

CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por latossolo e argissolo no município de Cidade Gaúcha - PR**. 175f. 2002. Tese doutorado em Geografia. USP. São Paulo.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 23, 1999, p. 703-709.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N. KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Londrina: IAPAR, 1991.

DERRUAU, M. **Les formes du relief terrestre: Notions de Géomorphologie**. 4. ed. Paris: Masson, 1986.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Res.** n.11, 1988, p. 199-238.

DOLLFUS, O. **O espaço geográfico**. São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1972.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção e Informação, 2006.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA – SNLCS / SUDESUL / IAPAR, 1984.

ESPÍNDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia**. Campinas: Editora Unicamp, 2008.

FELDS, E. Geomorfologia antropogenética. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro, n. 16, v.144, 1957, p.352-357.

FERNANDES BARROS, O. N. **Formação de horizontes pedológicos em solos sobre basalto - Londrina, PR, Brasil - e ação biológica no intemperismo**. 1996. Tese de Doutorado. Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F. Introdução à descrição micromorfológica de lâminas delgadas de solos. **Comunicado Técnico**. Jaguariúna, SP: Embrapa, 2006.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. São Paulo: Bertrand Brasil, 1992.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

IAPAR (Fundação Instituto Agrônomo do Paraná). **Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná**. Curitiba, 1994.

ITCF (Instituto de Terras, Cartografia e Florestas). **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba: ITCF/IOC, 1987.

JUSTUS, J. O. **Subsídios para interpretação morfo genética através da utilização de imagens de radar**. 1985. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008, p. 113-138.

KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação do solo**. 153f. 1996. Tese de Doutorado. FFLCH – Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo.

KIEHL, J. E. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1979.

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

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, 2002, p. 857-867.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 5.ed. SBCS. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2005.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MAGALHÃES, V. L. **Os sistemas pedológicos e paisagem na bacia da sanga clara, município de Marechal Cândido Rondon**. 93f. 2008. Dissertação de Mestrado em Geografia - DGE/PGE/UEM, Maringá- PR.

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E. ; BRAND, E. P. Degradação ambiental no fundo de vale da sanga Creoula, distrito de Margarida, oeste do estado do Paraná, Brasil. In: IV SEMINÁRIO LATINOAMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Anais...** Maringá – PR, 2006, p.1 – 10.

MELO, M. S. de; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa, editora UEPG, 2007.

MINEROPAR (Minerais do Paraná S.A) - **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Escala base 1:250.000. MINEROPAR: Curitiba, 2006. Disponível em <<http://www.mineropar.pr.gov.br>>. Acesso em: 18 mar 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORESCO, M. D. **Estudo de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon-PR**. 137f. 2007. Dissertação de Mestrado em Geografia - DGE/PGE/UEM. Maringá- PR.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Revista Espaço Plural**. Unioeste, câmpus Marechal Cândido Rondon: CEPEDAL Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/espacoplural>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

OLIVEIRA, D.; CASTRO, S. S.; DIAS FERREIRA, R. P. Indicadores macro e micromorfológicos da circulação hídrica dos solos de uma topossequência em São Pedro – SP. **Geosul**, v.14, 1998, p.482-487.

OLIVEIRA, D. **Estudo macro e micro morfológico de uma topossequência na bacia do córrego Retiro em São Pedro – SP**. 143f. 1997. Dissertação de mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia – USP, São Paulo.

PAVAN, M. A. ; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.D.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR, 1992.

POPP, J. H. **Geologia Geral**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2001, vol.36, n.1, p. 197-203.

QUEIROZ NETO, J. P. A Geomorfologia na interface das ciências ambientais. In: **Encontro de Geomorfologia do Sudeste**, n. 1, Rio de Janeiro, 1995.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 1, n.1, 2000,p.59-67.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Monole Ltda. 1990.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995.

RICHARDS, L. A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGE, L. E.; CLARK F. E. **Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, p.128-152.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise da ambiental. Fortaleza: UFC, 2004.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. n. 6. São Paulo. 1992, p. 17-29.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 8. ed. São Paulo: Contexto, 2007.

RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1988, Campinas. A responsabilidade social da ciência do solo. **Anais...** Campinas: SBCS, 1988, p. 405-415.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Les Éditions Foucher, 1993.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A. J.; GARRIDO, R.; SOARES, A. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, bases e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 229-267.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru - SP**: regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. 200f. 1994. Tese Doutorado em Geografia Física – DG/FFLCH/USP, São Paulo.

SANTOS, L. J. C. **Pedogênese no topo do plato de Bauru – SP**: o caso da bacia do córrego da Ponte Preta. 183f. 2000. Tese DG/FFLCH/USP. São Paulo.

SILVA, A. R.; SOUZA JÚNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Suscetibilidade magnética do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n.2, 2010, p. 329-338. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200006>>. Acesso em: 10 de mai. 2012.

SILVEIRA, H. **Modificações resultantes da ação antrópica no solo**: uso e manejo e reflexos no meio rural do município de Cidade Gaúcha-PR. 97f. 1998. Dissertação de mestrado em Geografia. UNESP – Presidente Prudente – SP.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, v.35, 2005, p.353-359.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, 2004, p.491-499.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geomorfologia Física e Geomorfologia**: Uma (RE)leitura. Ijuí, Editora Unijuí, 2002.

TAVARES-FILHO, J.; FONSECA, I. C. de B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. de C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**. v. 36, n. 3, Santa Maria, mai/jun. 2006, p. 996-999. Disponível

em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782006000300045](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000300045)>. Acesso em: 8 de ago. 2012.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. p. 139-166.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, 1998a, p. 301-309.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.4, 1998b, p. 573-581.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil Tillage Res.**, n. 92, 2007, p. 104-113.

VIDAL-TORRADO, P; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 145-192, 2005.

XU, X.; NIEBER, J.L.; GUPTA, S.C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Sci. Soc., Am. J.**, n. 56, 1992, p. 1743-1750.