UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ANA CLARA CERMINARO

Caracterização macro e micromorfológica do solo para compreensão de processos erosivos lineares, Topossequência Manacá, São Carlos-SP.

São Paulo
2015

ANA CLARA CERMINARO

"CARACTERIZAÇÃO MACRO E MICROMORFOLÓGICA PARA COMPREENSÃO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES, TOPOSSEQUÊNCIA MANACÁ- SÃO CARLOS-SP"

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Déborah de Oliveira

São Paulo
2015.

Nome: Ana Clara Cerminaro

Título: Caracterização macro e micromorfológica do solo para compreensão de processos erosivos lineares, Topossequência Manacá, São Carlos-SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:_____

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Sheila Aparecida Correia Furquim Instituição: UNIFESP-Diadema
Julgamento_____Asinatura:_____

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola Instituição: UNICAMP
Julgamento_____Assinatura_____

Profa. Dra. Déborah de Oliveira Instituição: FFLCH-USP
Julgamento_____Assinatura:_____

Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto Instituição: FFLCH-USP
Julgamento_____Assinatura:_____

Prof. Dr. Andreas Attila de W. Miklós Instituição: : FFLCH-USP
Julgamento_____Assinatura:_____

Agradecimentos

Agradeço,

A Deus pela oportunidade preciosa da Vida,

A toda minha grande e complexa família: minha mãe, que me orienta mesmo sem perceber desde sempre, semeou em mim o gosto pelo estudo, a sede constante por aprender; minhas irmãs, Taiane e Cecília pelo amor incondicional, pessoas que sei que posso confiar e contar por toda vida; aos meus pequenos irmãos, pelo afeto e leveza que somam em mim; minhas sobrinhas pela ajuda nas tradagens em campo (!!!) e brincadeiras que nunca me deixam esquecer quão bom é ser criança; à Renata, a agregada mais querida.

A Professora Déborah, pela orientação, pela amizade, paciência e confiança que sempre depositou em mim. Sou imensamente feliz em lhe ter como orientadora ao longo dessa jornada acadêmica, por ser acima de tudo uma orientação humana e carinhosa.

Aos meus amigos Carlos, Miguel, Pepe pela valiosa ajuda na abertura de trincheiras; aos irmãos de vida Marcos, Carol, Agnes, Gabriela, Kelly, pela companhia, pelos ouvidos, pela amizade que partilha a vida.

A todos os manacauáras (moradores do Sítio Manacá): Cris, Vá, Sr. Osmar, Joana, pelo acolhimento (do corpo e da alma), empréstimo de ferramentas, interesse e ajuda em toda etapa desta pesquisa. Eu tenho um imenso orgulho em ter o Manacá como área de estudo, por ser um lugar de aprendizado popular onde meus resultados conseguiram ir além dos muros da universidade e serem úteis na compreensão e dinâmica deste lugar maravilhoso que vocês habitam!

Ao Professor Miguel Cooper, pelo auxilio na confecção das lâminas delgadas de solo, tratamento dos dados no Laboratório de Micromorfologia no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ-USP, e orientação nesse vasto mundo que é a micropedologia. Obrigada!

Ao técnico do Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia- FFLCH/USP, Marcos Roberto Pinheiro pelo empréstimo de materiais, orientação e disponibilidade para trocas, conversas e conselhos, sempre que possível.

Gratíssima à todos,

"(...)E aprendi que se depende sempre
De tanta, muita, diferente gente
Toda pessoa sempre é as marcas
Das lições diárias de outras tantas pessoas

E é tão bonito quando a gente entende
Que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá
E é tão bonito quando a gente sente
Que nunca está sozinho por mais que pense estar".
(Caminhos do Coração, Gonzaguinha)

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo compreender a dinâmica de comportamento do solo sob escala macro e micromorfológica visualizados em topossequência, no que concerne aos agentes morfológicos que condicionam e contribuem para deflagração de processos erosivos. A área de estudo está inserida na sub-bacia hidrográfica do Laranja Azeda localizada na região centro-leste do estado de São Paulo, no município de São Carlos/SP, e têm fundamental importância por pertencer à bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão, importante manancial urbano para a cidade. O planejamento de uso e ocupação adequados aos fatores físicos que compõe a dinâmica desta paisagem são essenciais visando a conservação e preservação dos recursos hídricos ali existentes, onde a expressiva ocorrência de processos erosivos são objetos de preocupação, já que estes podem causar assoreamento de rios e reservatórios. Utilizando uma metodologia multiescalar para seleção da área de pesquisa em detalhe e compreensão da organização e dinâmica da cobertura pedológica, foram utilizados os procedimentos propostos pela Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e conceitos e técnicas da micromorfologia de solos. Verifica-se que a distribuição dos solos na Topossequência Manacá está estritamente correlacionada à transformação vertical do material de origem em solo, em cuja vertente existe uma diferenciação litológica que condiciona a morfologia diferenciada, tanto em escala macromorfológica quanto micromorfológica. O terço superior e médio da vertente está associado à depósitos colúvio-eluvionares da Formação Itaqueri, onde desenvolve-se um Latossolo Vermelho Amarelo. Já o terço inferior da vertente corresponde a um solo formado a partir dos arenitos da Formação Botucatu, sendo enquadrado enquanto Neossolo Quartzarênico. Com o auxílio técnicas de análise bidimensional de imagens retiradas das lâminas delgadas de solo, foi possível visualizar e quantificar a macroposidade ao longo da vertente, importante atributo morfológico que controla os fluxos de água e são agentes condicionantes para o desenvolvimento de processos erosivos. Conclui-se que a ocorrência de voçorocas no terço médio inferior da vertente é a materialização em forma de processos erosivos deste comportamento diferencial da massa do solo, onde portanto, na Topossequência Manacá a busca de equilíbrio dinâmico na vertente é induzida pela dinâmica genética evolutiva das formações geológicas que sustentam a paisagem, desencadeada em processos erosivos que tendem a progredir em desequilíbrio, a depender do manejo estabelecido para o local.

Palavras-chave: micromorfologia; macroporosidade, processos erosivos; topossequência;

ABSTRACT

This dissertation aimed to understand the soil behavior under macro and micromorphological dynamic viewed in topossequence, in what concern the morphological agents that influence and contribute to outbreaks of erosion. The study area is within the sub basin of the brook Laranja Azeda, located in the central eastern region of São Paulo, in São Carlos / SP. Its study is of fundamental importance because it belongs to the basin of Ribeirão Feijão, an important source of water supply to the city. Planning the land use and occupation suited to the physical factors that compose the landscape dynamics are essential to promote the conservation and preservation of water resources therein, where the significant occurrence of erosive processes are objects of concern, as these can cause siltation of rivers and reservoirs. It was applied a multiscale methodology to select the research area in detail for understanding the organization and soil cover dynamics, therefore, the procedures proposed by the Structural Analysis of Pedologic Coverage and also concepts and techniques of soil micromorphology were used. It is found that the soil distribution in Toposequence Manacá is strictly correlated to the vertical transformation of the source material in soil, in which there is present a lithology differentiation, which makes the differentiated morphology both as macromorfológica micromorphologic scale. The upper and middle hillside its associated with colluvial alluvial deposits of Itaqueri formation, which develops a yellow red Oxisol. But the lower third of the hillside corresponds to a soil formed from the sandstones of the Botucatu Formation, being framed as Quartzipsamment. With the aid techniques bidimensional image analysis of thin sections taken from soil, it was possible to visualize and quantify macroposidade along the slope, a major morphological traits that controls water flow and is a conditioning agent to develop erosion. It is concluded that the occurrence of gullies in the lower and middle slope is the embodiment, in the form of erosion process, of this differential behavior of soil mass, where, in the Toposequence Manacá, the aim for dynamic equilibrium in the hillside is induced by genetic evolutionary dynamics of geological formations that underlie the landscape, triggered in erosive process that tend to evolve unbalanced depending on the management of the land use established for the area.

Key-words: micromorphology; macroporosity, erosion; topossequence;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Ribeirão Feijão_____20
Figura 2: Legenda Integrada ao Mapa de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Ribeirão Feijão_____21
Figura 3: Mapa de Localização da sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil._____ 24
Figura.4: Mapa de Formações Geológicas sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil.__ 25
Figura 5: Mapa Clinográfico sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil._____31
Figura 6: Modelo Digital de Terreno sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil._____ 31
Figura 7: Mapa Pedológico sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil._____33
Figura 8: Fluxograma de etapas da pesquisa_____ 63
Figura 9: Fotografias da vertente escolhida para estudo em topossequência . _____ 65
Figura 10: Fotografias dos processos de voçorocamento na vertente em estudo._____ 65
Figura 11: Controle da localização das amostras indeformadas coletadas nos perfis_____ 67
Figura 12: Localização dos processos erosivos nos limites do Sítio Manacá, destaque para voçorocas I e II e eixo da Topossequência Manacá_____73
Figura 13: Registro fotográfico da voçoroca I, Topossequência Manacá_____ 76
Figura 14: Registro fotográfico da voçoroca II, Topossequência Manacá._____ 76
Figura 15: Topossequência Manacá, São Carlos/SP-Brasil._____ 78
Figura 16: Frações de areia total, silte e argila T1, T2 e T3._____ 82
Figura 17: Frações de areia T1, T2 e T3._____83
Figura 18: Grau de Floculação e Dispersão da Argila T1, T2 e T3._____84
Figura 19: Fotomicrografias de setores representativos das lâminas delgadas de solo da trincheira1_____89
Figura 20: Fotomicrografias de setores representativos das lâminas delgadas de solo da trincheira 2._____91
Figura 21: Fotomicrografias de setores representativos das lâminas delgadas de solo da trincheira 3_____94
Figura 22: Gráficos de soma total de poros, distribuição relativa e microestrutura em função da profundidade do perfil, trincheiras 1,2 e 3._____99
Figura 23: Gráficos de relação entre total de porosidade e forma do poro na trincheira 1_____101
Figura 24: Gráficos de relação entre total de porosidade e forma do poro na trincheira 2._____102
Figura 25: Gráficos de relação entre total de porosidade e forma do poro na trincheira 3_____ 103
Figura 26: Distribuição do número de poros em classes de diâmetro (média e desvio padrão) trincheira 1 _____ 105

Figura 27: Distribuição do número de poros em classes de diâmetro (média e desvio padrão), trincheira 2._____106
Figura 28: Distribuição do número de poros em classes de diâmetro (média e desvio padrão), trincheira 3._____107
Figura 29: Topossequência Manacá com informações macro/micromorfológicas e inferências acerca da dinâmica erosiva_____109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de porosidade do solo (adaptado de BREWER, 1976) _____55
Tabela 2: Níveis de organização pedológica (adaptado de CHAUVEL, 1979)_____ 62
Tabela 3: Classes de forma dos poroides adotados na automatização _____71
Tabela 4: Definição dos tamanhos e classes de forma dos poroides adotados na automatização __71
Tabela 5: Legenda integrada ao mapa de compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão_____53
Tabela 6: Ficha de caracterização das voçorocas I e II Sítio Manacá._____76
Tabela 7: Resultados analíticos da amostragem em anel volumétrico para dados físicos do solo. _86
Tabela 8: Síntese das descrições macromorfológicas T1; T2 e T3 (ANEXO I)_____ 124
Tabela 9: Síntese análises químicas trincheira 1,2 e 3 (ANEXO II)_____ 126
Tabela 10: Descrições de cor e textura das sondagens realizadas (ANEXO III)_____ 127

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 12

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA 14

CAPÍTULO 3: HIPÓTESE 16

CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Consulta à Compartimentação Geomorfológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão* para seleção de setores representativos 19

4.1.1.Seleção do compartimento representativo 23

4.2 Localização e caracterização física do meio 24

4.3 Clima 24

4.4 Geologia 25

4.5 Relevo 30

4.6 Pedologia 33

4.7 Vegetação 35

4.8.Uso do solo 36

4.9 Caracterização de Uso da Terra e legislação sobre a área 36

4.10 Sítio Manacá 38

CAPÍTULO 5: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Da paisagem ao microscópio: a relação solo relevo 39

5.2 A Micropedologia 45

5.3 Revisão de literatura e conceitos sobre processos erosivos lineares 47

5.4 Análise de imagens e a identificação do sistema poroso 59

CAPÍTULO 6: METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

6.1 Níveis de Organização da pesquisa 62

6.2 Fluxograma e etapas da pesquisa 63

6.3 Etapas:

*Pesquisa apresentada como Trabalho de Graduação Individual (TGI) realizada pela discente para obtenção do título de Bacharela em Geografia- FFLCH/USP. CERMINARO & OLIVEIRA, 2015. "*As relações solo relevo através da Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão, nos municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina no estado de São Paulo-BR: ordenações de unidades para uso e ocupação adequados*" (Artigo aceito para publicação, no prelo, 2015).

1ªEtapa: Pesquisa bibliográfica e de documentação cartográfica 63
2º ETAPA: Compilação dos conhecimentos já produzidos que auxiliaram na escolha do local da topossequência 64
3º ETAPA: Caracterização da área de estudo 64
4ºETAPA: Levantamentos em campo 66
5º ETAPA: Análises de laboratório 67
6º ETAPA: Descrição micromorfológica das lâminas delgadas 69
7ª ETAPA: Processamento e tratamento dos dados no software Visilog 70
8º ETAPA: Interpretação dos resultados e caracterização micromorfológica da vertente com vistas ao desenvolvimento de processos erosivos lineares 72
9º ETAPA: Sistematização e análises conclusivas 72

CAPÍTULO 7: RESULTADOS E DISCUSSÃO 73
7.1Os processos erosivos: Voçorocas I e II 78
7.2 A Topossequência Manacá 77
7.3 Descrição macromorfológica Topossequência Manacá 80
7.4 Resultados analíticos de caracterização 82
7.4.1Granulometria 82
7.4.2Análises físicas: umidade e densidade 86
7.4.3 Análises químicas 87
7.5 Descrição micromorfológica Topossequência Manacá 88
7.6 Quantificação e forma da microporosidade 98
7.6.1 Porosidade, distribuição relativa e microestrutura 99
7.6.2 Relação entre porosidade total e forma do poro 101
7.6.3 Quantificação de número de poros e classes de formas 103
7.7 Relatos da intervenção dirigida para contenção das voçorocas no Sítio Manacá 111

CAPÍTULO 8: CONSIDERAÇÕES FINAIS 112

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 115
ANEXOS
I. Tabelas síntese das descrições morfológicas realizadas 121
II: Quadros síntese das análises químicas realizadas 126
III: Descrição da coloração e textura das tradagens realizadas em campo 127

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A atenção com a intensificação dos processos erosivos demandam na atualidade grande preocupação devido à degradação ambiental e perda de qualidade no ambiente que acarretam. As atividades humanas de uso intensificado e exploração dos recursos do solo são agravantes ao processo erosivo que naturalmente ocorre nos sistemas ambientais físicos. A sub-bacia hidrográfica do Laranja Azeda está localizada na região centro-leste do estado de São Paulo, no município de São Carlos/SP, e têm fundamental importância por pertencer à bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão, importante manancial urbano para a cidade. Deste modo, a conservação e preservação dos recursos hídricos ali disponíveis, fazem-se essencial para um uso prolongado do mesmo, e consequentemente sua bacia inteira requer a monitoramento constante com respeito à qualidade de suas águas.

A preocupação com o manejo adequado das águas superficiais deve levar em conta a ocorrência de processos erosivos, já que estes podem causar assoreamento de rios e reservatórios, e em áreas agrícolas estão passíveis de contaminação se houver uso de defensivos agrícolas. O fenômeno da erosão, enquanto processo geológico e geomorfológico natural contribui segundo Bigarella (2003) na morfoesculturação da superfície terrestre, entretanto o processo erosivo pode ser desencadeado e acelerado por atividades antrópicas do uso e ocupação inadequada do meio. As formas de ocorrência mais comuns no desencadeamento dos processos erosivos são causadas pela água, sendo então subdivida em duas categorias: erosão por escoamento difuso; que corre de forma lenta transportando sedimentos finos da superfície do solo, e erosão linear; que através de escoamento concentrado superficial, remove de forma acelerada partículas do solo, produzindo formas de sulcos, ravinas e voçorocas (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1993; GUERRA 1994, BIGARELLA 2003).

A área da sub-bacia hidrográfica do Laranja Azeda, está localizada na Área de Proteção Ambiental Corumbataí, e no município de São Carlos está inserida na Área de Proteção e Recuperação de Mananciais do Ribeirão do Feijão (APREM), a legislação vigente sobre o local expressa a preocupação legal em preservar os recursos, e ordenar a ocupação equilibrada com o meio. Mesmo assim, existem construções irregulares e usos inadequados, com ocorrência de processos erosivos lineares acelerados, dada à própria erodibilidade natural do solo, onde prevalecem Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho Amarelo. No estudo da erosão linear, tem fundamental importância o entendimento destes fatores naturais e também o comportamento das águas da chuva na percolação do solo, ou seja, a circulação da água nas vertentes.

Através de uma abordagem micromorfológica sob o solo, pretende-se estabelecer correlações do comportamento e dinâmica solo/paisagem no que concerne ao desenvolvimento de processos erosivos lineares. Essa escala de aproximação passa obrigatoriamente por uma observação vertical, morfológica e estrutural do solo, que está embasada na metodologia da Análise Estrutural da

Cobertura Pedológica (Boulet *et. al*., 1982; Ruellan *et al*., 1984; Boulet, 1988; Queiroz Neto, 1988) e em técnicas da micromorfologia de solos. O intuito é identificar as transições laterais, geralmente progressivas ao longo das vertentes, e assim definir áreas ou zonas com maior ou menor susceptibilidade à erosão, em função principalmente, do arranjo dos constituintes de textura, estrutura e porosidade do solo (BOULET, 1992).

A origem dos focos erosivos na área, está fortemente associada à intensificação de atividades socioeconômicas, onde após o desmatamento, foram inseridas plantações de café, cana e mais recentemente usada para pastagem de gado. O uso intensivo e degradante do solo, associado a fatores físicos de fragilidade dos Neossolos Quartzarênicos, que em geral se apresentam arenosos, com estrutura maciça, pouco ou não coesos, muito friáveis e porosos que, sem cobertura vegetal ou mal manejados, condicionam alto risco à erosão. Assentados sob relevo suavemente ondulado e medianamente dissecados só corroboram para a deflagração das erosões. A área é ainda, caracterizada pela presença de muitas nascentes e corpos d´água.

Ficam claras então a preocupação e relevância da pesquisa quando se dimensiona a magnitude dos impactos negativos ao ambiente que os processos erosivos provocam na área: assoreamento dos rios e seus tributários, perda de camada orgânica e fertilidade do solo, contaminação dos recursos hídricos, em superfície e sub superfície, perda de área útil de produção agropecuária, que são fatores indutores de ocupação e desmatamento de novas áreas às vezes ainda mais frágeis no entorno.

Partindo da perspectiva de interferência das atividades humanas nos fluxos dos sistemas ambientais físicos, que provocam reflexos no equilíbrio nos processos ambientais, na qualidade dos componentes, e nas características estruturais e dinâmicas do meio, o conhecimento gerado através do estudo da cobertura pedológica será essencial para a compreensão dos elementos que agem na dinâmica dessa paisagem e permitirá apontamentos sobre a dinâmica do funcionamento destes sistemas, resultando em inferências adequadas para o planejamento de área de restrição à ocupação, visando a preservação do manancial e a exploração equilibrada do solo.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS E JUSTFICATIVA

O final do século XX presenciou o crescimento da consciência da sociedade em relação à degradação do meio ambiente decorrente do processo de desenvolvimento econômico estabelecido. A degradação ambiental é um processo cíclico e natural que vem sendo agravado por fatores de ordem econômica e política. No processo de tomada de decisão por gestores, é essencial o conhecimento dos fatores físicos do meio ambiente que condicionam a degradação. O solo, visto enquanto recurso natural é objeto de preocupação quando a capacidade de seu uso é afetada por exploração inadequada e não planejada, culminando na maioria das vezes na ocorrência de processos erosivos que afetam a produtividade agrícola, devido às perdas de solo e fertilidade, e a qualidade dos recursos hídricos próximos.

Tendo como pressuposto o princípio de manutenção do capital natural, isto é, do aproveitamento dos recursos naturais dentro das capacidades do meio, o planejamento territorial deve levar em conta as potencialidades dos recursos e as fragilidades dos ambientes (ROSS, 2006). Assim, se o objetivo é viver de maneira sustentável, deve-se assegurar que os produtos e processos da natureza sejam utilizados numa velocidade que permita sua regeneração.

A área da sub-bacia hidrográfica do Laranja Azeda está localizada na APA Corumbataí, e no município de São Carlos compreende a Área de Proteção e Recuperação de Mananciais do Ribeirão do Feijão (APREM), instituídas pela Lei 13.944 de 2006. Criada pelo Decreto Estadual n° 20.960, de 8 de junho de 1983, a APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá engloba uma área total de 6.492 km², sendo subdividida em três perímetros distintos. Correspondendo na Bacia do Ribeirão Feijão à faixa das cuestas basálticas, voltada para preservação de feições como os morros testemunho, além dos recursos hídricos superficiais e os remanescentes de vegetação nativa (CEAPLA, 2008). A jusante do Ribeirão do Feijão está situada a Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga (131,5 MW) e a montante a Estação de Captação de Água para abastecimento público da cidade de São Carlos, constituindo-se como um manancial urbano na região.

A legislação de proteção ambiental vigente sobre o território da bacia hidrográfica elucida a preocupação com um ordenamento legal sob a necessidade de conservação dos recursos hídricos ali disponíveis. No entanto, pela proximidade de localização da área urbana do município, e pelo fato dessas restrições de uso e ocupação serem recentes, a área da sub bacia tem uso do solo predominantemente para pastagens, com técnicas de criação de gado bovino semi intensivo e extensiva. Ainda, existem cultivos agrícolas, onde se destacam as culturas de café, cana de açúcar, citrus e milho, com predomínio de pequenos e médios agricultores. Ocorrem também algumas áreas de reflorestamento (Pinus e Eucaliptos) e áreas cobertas por vegetação secundária (campo e cerrado).

O uso do solo já estabelecido na área deste importante manancial levanta questões quanto à adequação da continuidade dessas atividades para um manejo equilibrado do meio, visto que em diversos pontos da bacia é observada a ocorrências de processos erosivos em diferentes estágios, sendo presentes até mesmo voçorocas em avançado estágio de desenvolvimento. A ocorrência de tais processos tem explicações nos fatores físicos que compõe a paisagem, tais como as características morfológicas dos solos e a geologia associada. No entanto, sua intensificação e mesmo deflagração pode ser acelerada pela ação antrópica de uso inadequado de áreas naturalmente instáveis. Deste modo, as perdas por erosão de sedimentos se configuram como uma importante preocupação que afeta a qualidade da água na bacia, indo de acordo com a afirmação de Vlahos e Herbst (2000), de que a preservação de terras de bacias hidrográficas representa um dos métodos mais efetivos e econômicos de assegurar suprimentos adequados e seguros à água.

Partindo de tais premissas, os *objetivos gerais* são, sob a escala macro e micromorfológica em topossequência, compreender a dinâmica de comportamento do solo quanto aos fatores morfológicos que condicionam e contribuem para deflagração de processos erosivos.

Considera-se enquanto objetivos específicos:

- Através do estudo sob escala micromorfológica em uma topossequência, compreender o comportamento dinâmico das microestruturas do solo e sistematizar como atributos como a porosidade e microestrutura, tem ajudado a compreender a dinâmica erosiva na paisagem;
- Construir apontamentos da maneira pela qual os fluxos hídricos condicionam o processo erosivo e sua vital relação com a microestrutura do solo e geologia associada na área e estudo.

Desta forma, esta pesquisa justifica-se por identificar os principais mecanismos físicos da dinâmica do meio que influenciam nos processos erosivos lineares na bacia em questão, através do estudo da microestrutura e porosidade como importantes auxiliares na compreensão do comportamento e equilíbrio dos sistemas pedológicos inseridos na paisagem.

CAPÍTULO 3: HIPÓTESE

A ocorrência expressiva de processos erosivos na área foi alvo de atenções já em pesquisas anteriores realizadas (CERMINARO & OLIVEIRA, no prelo, 2015), onde através dos trabalhos em campo foram observados diversos focos erosivos.

Estes setores da paisagem correspondem geologicamente às áreas de contato entre formações rochosas, o que nos permite concluir que a instabilidade da paisagem pode ser comandada pela diferenciação das características físicas de mineralogia de tais formações. Nesta pesquisa anterior, foram confeccionados diversos mapas temáticos dos fatores físicos que compõem a paisagem, sendo cartografados depósitos colúvio-eluvionares nas áreas com menores valores altimétricos, e também mais planas.

A motivação para o desenvolvimento da presente pesquisa, parte então da ocorrência de processos erosivos enquanto agentes morfoesculturais da paisagem, sendo responsáveis atualmente pela alimentação e geração contínua destes sedimentos coluvionares nos setores mais planos, oriundo das áreas mais altas e declivosas.

Admitindo ser o material de origem um importante fator de formação do solo e que contribui em muitas características do mesmo através de seus constituintes mineralógicos, atributos morfológicos do solo como a granulometria e textura associada, a estrutura desenvolvida e a porosidade, serão diretamente condicionados. Havendo um contato entre formações geológicas distintas, consequentemente o comportamento dinâmico do solo será diferenciado, interferindo na movimentação de fluxos laterais subterrâneos na vertente, importante agente deflagrador de processos erosivos.

Baseadas em tais conclusões têm-se como hipótese que, o contato entre formações geológicas na área comanda a evolução dinâmica do relevo, através do desenvolvimento de uma cobertura pedológica diferenciada sob o ponto de vista morfológico em vertente, predominando assim processos morfoesculturais, o que consequentemente influencia/comanda a instabilidade da cobertura pedológica.

CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Consulta à Compartimentação Geomorfológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão para seleção de setores representativos

A escolha de uma área representativa para estudo e descrição em escala macro e microscópica da cobertura pedológica levou em conta a fragilidade ambiental da paisagem, sendo embasadas em pesquisas anteriores realizadas pela discente (CERMINARO e OLIVEIRA, 2015, no prelo) de compartimentação geomorfológica com base nas relações solo, relevo e geologia, visando ordenações para usos e ocupação adequados do solo, na bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão em São Carlos-SP. A bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão abrange uma área total de aproximadamente 240km², localizada na região centro-leste do estado de São Paulo, entre os paralelos 47°93´06”- 47°76`95” W e 22°16’63”- 22°07’19”S (I3GEO) de latitude. O curso principal que compõe a bacia tem uma extensão de 22 km e divide os municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina, sendo afluente do rio Jacaré-Guaçu pela margem esquerda e este afluente do rio Tietê pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.

Através da metodologia de compartimentação morfopedológica (TRICART 1977, TRICART & KILLIAN, 1979; CHISTOFOLETTI, 1980; CASSETI, 2005), e com uso de conceitos acerca da dinâmica de relações entre forças e fatores que agem na esculturação da paisagem, determinando seu comportamento, foram individualizados sete compartimentos geomorfológicos (CG), representados em um mapa temático (Figura 1) com legenda integrada (Figura 2), e que são sucintamente descritos abaixo:

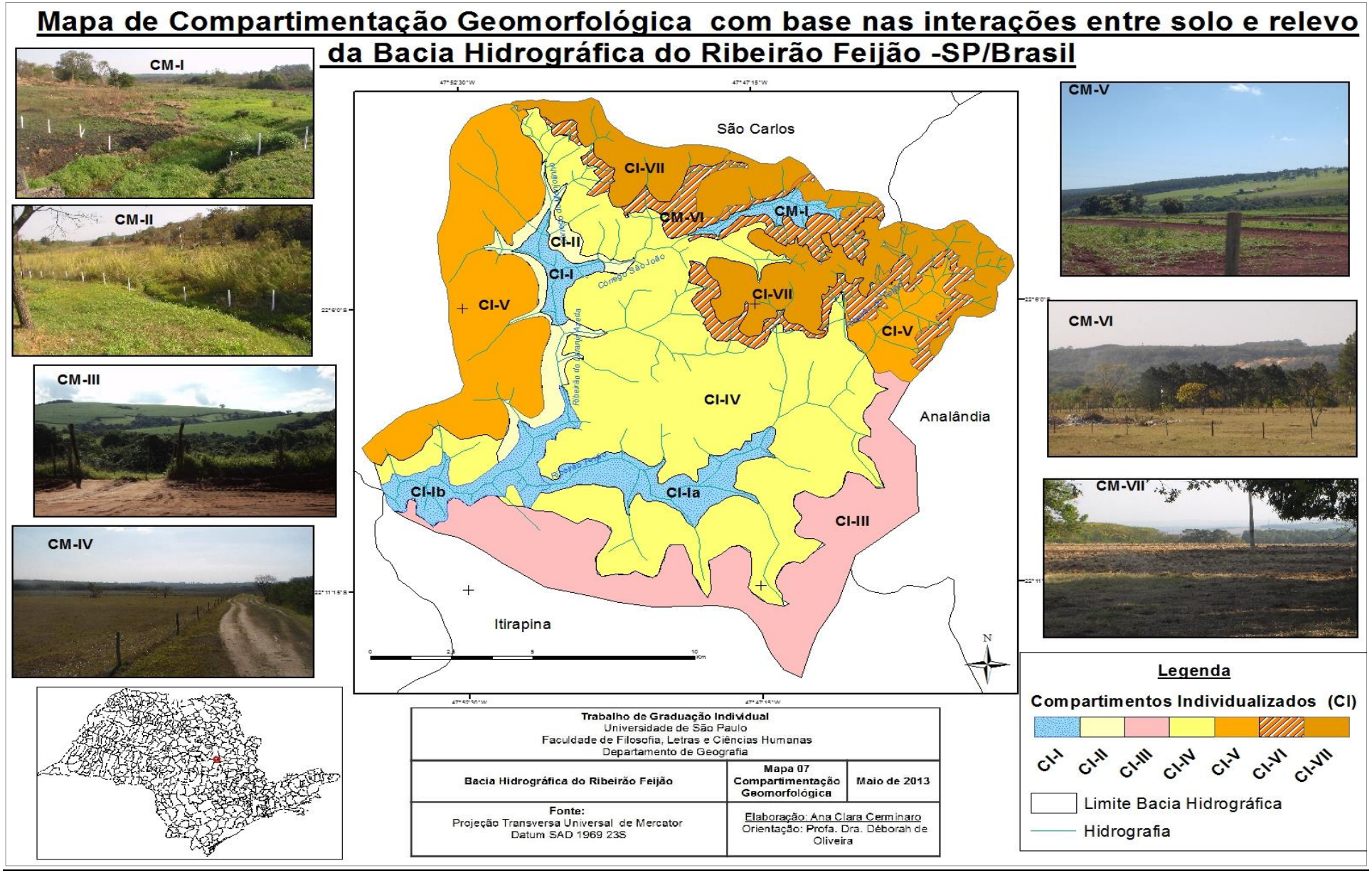


Figura 1: Mapa de Compartimentação Geomorfológica, Bacia do Ribeirão Feijão, São Carlos-SP. (CERMINARO; OLIVEIRA, 2015, no prelo).

Legenda integrada- MAPA DE COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FEIJÃO														
Morfo-estrutura	***Morfoescultura***												**USO DO SOLO**	
	Unidade Morfo-escultural		**ÁREA**		**RELEVO**		**GEOLOGIA**					**SOLOS**		
			Hectares	**%**	***Padrões de formas semelhantes***	***Tipos de Formas dos relevos***	**Intervalo altimétrico (m)**	**Declividade (%)**	**Formação Geológica**	**Idade**	**Litologia**	**Classes**		
Bacia Sedim. do Paraná	Planície Fluvial		2488,49	10,09	Planícies de inundação	Planícies fluviais	674-734	0-8	Depósitos Aluvionares e Formação Botucatu	Neogeno e Jurássico	Depósitos de areia e cascalho; arenitos	RQ+LV2	Vegetação de margens de rio	**CI-I A**
			764,06	3,1	Terraços	Terraços	734-772	0-20%	Formação Serra Geral	Cretáceo	Dacito	LVd		**CI II-B** **CI-II**
	Planalto Ocidental Paulista	Planalto Centro Ocidental	3613,15	14,67	Colinas	Colinas amplas e baixas	836-795	0-3 margens de córregos 8-20	Depósitos Colúvio Eluvionares	Neogeno	Depósitos Colúvio Eluvionares	LVA	Cana de açúcar, eucaliptos	**CI-III**
			9136,75	37,03			772-809	0-8				RQ+LV2	Cana, criação de búfalos, fazendas.	**CI-IV**
			3816,33	14,67			772-850	03/08/13	Formação Serra Geral e Botucatu	Cretáceo e Jurássico	Dacito e arenitos	LV+ Lvd+ NV2	Norte: habitações populares, Polo Industrial. Plantio cana de açúcar.	**CI-V**
		Planalto Residual de São Carlos	1660,93	16,61	Escarpas	Escarpas de erosão	809-894	20-45 áreas com 45-75	Formação Corumbataí	Permiano	Arenitos e siltitos	LVd	Uso Recreativo-chácaras.	**CI-VI**
			3156,63	31,57	Topos de morros	"Cobertura de Serra"	940-1030	20-45	Formação Itaqueri	Cretáceo	Arenitos conglomerá-ticos	LVA	Granjas plantações de milho, laranja.	**CI-VII**

Figura 2: Legenda integrada ao mapa de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Ribeirão Feijão, São Carlos-SP. (CERMINARO: OLIVEIRA, 2015, no prelo).

Descrição sucinta dos compartimentos geomorfológicos (CG):

CG-I: corresponde às áreas de planícies fluviais, com altimetrias entre 680-740m, as formas do relevo apresentam-se planas em fundos de vale amplos, e redes de drenagens pouco encaixadas. A baixa declividade, inferior a 2%, facilita a infiltração de água da chuva, e da própria cheia sazonal à que estas áreas estão sujeitas, diminuindo o desenvolvimento de processos erosivos, predominando assim os processos agradacionais (CASSETI, 2005) no modelado das formas. São constituídas por depósitos aluvionares, individualizadas no mapa enquanto CI-I-a, onde desenvolvem-se Neossolos Quartzarênicos.

CG-II: individualiza-se por apresentar formas do relevo típicas de terraços, na medida em que apresentam-se ligeiramente mais elevadas, como patamares aplainados, com maior distanciamento entre as curvas de nível e pouca declividade, se comparada a planície propriamente dita. A classe de solo associada no mapeamento é também a dos Neossolos Quartzarênicos.

CG-III: no terceiro compartimento predominam Latossolos Vermelho Amarelo (LVA), desenvolvidos sobre depósitos colúvio-eluvionares em relevos suavemente ondulados. Destaca-se a individualização desta área, pelo fato de que os limites estabelecidos para esse compartimento estão territorialmente fora da Área de Proteção e Recuperação de Mananciais de São Carlos, por estarem inseridos nos limites dos municípios de Analândia e Itirapina, não sendo sujeito às ordenações específicas de proteção às matas ciliares e recursos hídricos, correspondendo à margem esquerda do Ribeirão Feijão.

CG-IV: este compartimento pode ser denominado dissecado, devido à baixa altimetria que varia entre 755 e 836m e a presença de colinas suaves a planas de baixa declividade - maior parte inferior a 2%- com algumas áreas de transição com o CI-V onde as declividades apresentam-se entre 5 e 12%. A formação geológica correspondente são também de sedimentos Cenozoicos, em depósitos colúvio-eluvionares, onde desenvolvem-se Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelhos. As formações geológicas correspondentes a este compartimento podem ser interpretadas tanto por materiais que foram transportados de áreas mais elevadas do entorno (como das Formações Botucatu e Piramboia ambas do Grupo São Bento predominantes na área).

CG-V: apresenta fortes rupturas de declive, onde estão as maiores declividades da bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão – acima de 50%, sob altitudes de 950m, pode ser entendido como a transição abrupta do relevo para as partes mais altas que estão sob a Formação Corumbataí. Predominam processos morfogenéticos, com ocorrência de Latossolos (LV e LVd) e Nitossolos Vermelhos. O contato entre estas duas diferentes litologias, com rochas de caráter básico e arenitos avermelhados (pelo fato da oxidação do Fe) e esbranquiçados com fragmentos de argila (PERROTA, et al., 2005) foram os materiais de origem para a expressiva mancha de Latossolos (LV e LVd) e Nitossolos Vermelhos que ocorrem na área.

CG-VI: corresponde ás áreas mais altas da bacia, com altimetrias entre 940-1030m. A declividade varia entre 0 e 5%, em relevo suavemente ondulado, circundados nas bordas por vertentes e escarpas com declividades superiores a 25%, equivalentes ao CG-V. As formas foram desenvolvidas sob a Formação

Itaqueri, com ocorrência de Latossolos Vermelhos Amarelos. Em campo foram observadas a ocorrência de escorregamentos de solos recentes além de cicatrizes de deslizamentos, e processos erosivos em avançado estágio de desenvolvimento. Esta unidade homogeneizada detém ainda formas de fundos de vale estreitos e encaixados, e na base das vertentes neste compartimento têm se a ocorrência de um total de 23 cabeceiras de drenagem, e cursos d´água que desaguam no Ribeirão Feijão, o que especifica a necessidade de proteção e preservação da área.

CG-VII: áreas mais altas da bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão, com altimetrias entre 940-1030m. A declividade varia entre 20-45%, onde as menores declividades relacionam-se ao topo em relevo suavemente ondulado, circundados nas bordas por vertentes e escarpas com declividades que chegam a 45% em contato ao CM-V. A configuração da Formação Itaqueri na área, também é referenciada na literatura específica como coberturas geológicas oriundas de Coberturas de Serra, que localmente são denominadas de Coberturas de Serra de São Carlos (CHRISTOFOLETTI & QUEIROZ NETO, 1966), de acordo com estes autores a litologia é de arenitos conglomeráticos provenientes das serras vizinhas, cuja deposição é sincrônica da escavação da Depressão Periférica, em regime de transporte curto e violento, sob um agente de grande competência e com regime intermitente que permitiu a deposição contemporânea de seixos e argilas.

4.1.1.Seleção do compartimento representativo:

O local de maior fragilidade quantos aos aspectos físicos ambientais e com a visualização em campo de muitos focos erosivos, corresponde a transição entre os CI-IV e o CI-VI no setor noroeste da bacia, sendo as áreas com maiores declividades em torno de 20-45% com áreas que chegam a 45-75%, sob altitudes de 809-894m. Detém ainda formas de fundos de vale estreitos e encaixados, com grande número de cabeceiras de drenagem que, aliados às peculiaridades físicas da área (alta declividade, processos erosivos fortemente desenvolvidos, pluralidade de formações geológicas e consequentemente solos associados) demonstram a necessidade de pesquisa, que viabilizem sua compreensão quanto à dinâmica de evolução e comportamento da paisagem, para uma adequada legislação de proteção e uso restrito e ordenado na ocupação do solo.

Esta transição de compartimentos individualizados insere-se na maior sub-bacia que compõe a bacia do Ribeirão Feijão, cujo córrego principal é o Laranja-Azeda. A execução de descrição e caracterização da área, obedeceu então aos critérios físicos de relações sistêmicas na paisagem, sintetizado no conceito de bacia hidrográfica. Portanto, a segunda etapa da pesquisa, de caracterização da área de estudo, foi realizada tendo como limites a sub-bacia do Laranja Azeda, com base em sua caracterização, e em visitas de reconhecimento em campo, foi possível a escolha de uma vertente representativa quanto à ocorrência de processos erosivos lineares.

4.2. Localização e caraterização física

A sub-bacia do Laranja Azeda, representa cerca de 70% da área total da bacia do Ribeirão Feijão, sendo o Laranja Azeda um afluente de 4º ordem de acordo com a hierarquização formulada por Strahler (1964), contribuindo expressamente na quantidade de volume hídrico do curso principal.

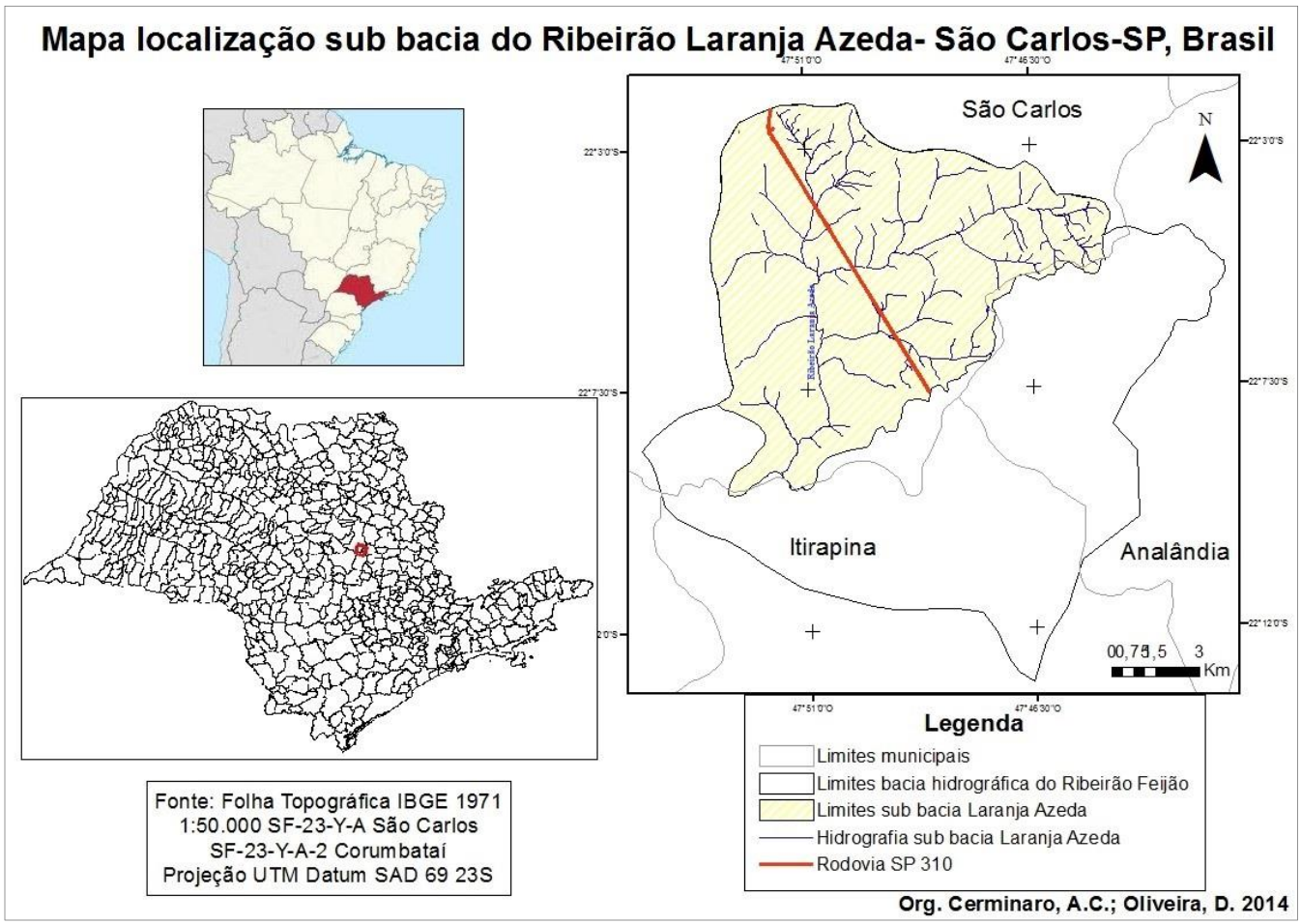


Figura 3: Mapa de Localização da sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil.

4.3 Clima

O clima da região em estudo é Tropical de Altitude que, segundo Koppen é do tipo Cwa, com verões chuvosos e invernos secos, caracterizando seis meses quentes e úmidos e seis meses frios e secos. As temperaturas médias anuais são de máximas em torno de 26,9º e mínimas 16,2º C. As variações médias entre os períodos da manhã e da noite são de 5º C. A precipitação pluviométrica está em torno de 1.500 mm anuais (TOLENTINO, 1967). A umidade relativa do ar é de 76% no verão e de 54% no inverno.

4.4 Geologia

Sob escala macroscópica, a região de São Carlos situa-se no contexto geológico da Bacia do Paraná, que segundo Milani *et.al* (1994) desenvolveu-se sob crosta continental, em uma sinéclise intracratônica e foi preenchida por rochas sedimentares vulcânicas. Apresenta um formato elipse com maior eixo na direção NE-SW e recobre uma superfície de aproxidamente1. 200.000 km², estendendo-se pelo Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, chegando a atingir 8.000m de espessura (VELOZO, 2006).

O mapa utilizado para a descrição geológica da área, disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM na escala 1:750. 000 através do banco de dados GEOBANK (PEIXOTO, 2010) apresenta o conjunto de rochas individualizadas e delimitadas com base nos seus caracteres litológicos, independentemente da sua idade, distinguindo-se as unidades litoestratigráficas de Formação e Grupos, com posterior idade correlacionada. A sub-bacia do Laranja Azeda (Figura 4), encontra-se em área de afloramento de rochas paleozoicas (Grupo Passa Dois – Formação Corumbataí), mesozoicas (Grupo São Bento – Formações Botucatu, Serra Geral e Formação Itaqueri) e cenozoicas (depósitos colúvio-eluvionares).

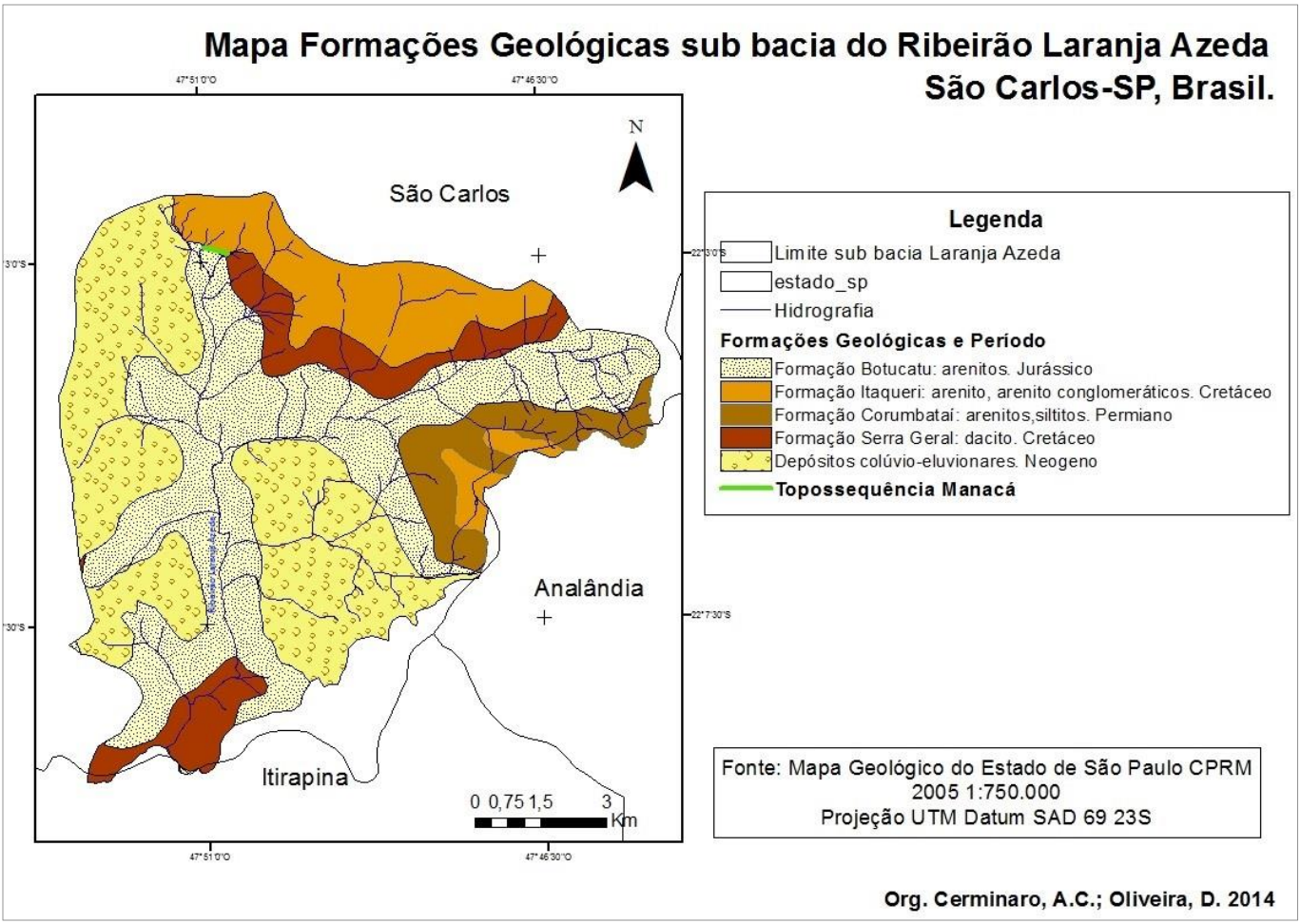


Figura.4: Mapa de Formações Geológicas sub-bacia do Laranja-Azeda- São Carlos-SP, Brasil.

GRUPO PASSA DOIS

Formação Corumbataí

O Grupo Passa Dois está relativamente bem definido como o pacote sedimentar que engloba a Formação Irati, na sua base, e as Formações Estrada Nova e Rio do Rasto. De acordo com Mendes (1984) essa controvertida unidade litológica é considerada por alguns como uma variação faciológica lateral da Formação Rio do Rasto e por outros como urna formação bem definida. Entretanto, os mesmos autores a definem como uma sequência sedimentar sobreposta à Formação Irati e sotoposta à Formação Piramboia, no Estado de São Paulo, constituída de siltitos e frequentes leitos de folhelhos avermelhados ou roxos, secundariamente com arenitos e calcários e diversos níveis de lamelibrânquios. A caracterização da área de estudo, revela sua ocorrência restrita à uma mancha nas áreas sudoeste de maior declividade da sub-bacia do Laranja Azeda, esculpidas por erosão remontante. De idade Neo-Permiano, de acordo com o Atlas da Bacia do Rio Corumbataí (CEAPLA, 2008) a Formação Corumbataí é a principal fornecedora da matéria-prima para as indústrias do polo cerâmico da região. As evidências sedimentológicas e paleontológicas apontam para ambientes marinhos costeiros e pantanosos (principalmente dominados por marés) e eventualmente lacustres. O clima da época deveria ser mais quente e seco que aquele que reinava na época da geração dos sedimentos da Formação Irati. Lateralmente à Formação Corumbataí podem ser encontrados sedimentos ligeiramente diferentes (mais maciços e acinzentados), que os geólogos denominam de Formação Serra Alta.

GRUPO SÃO BENTO

A borda nordeste da sub-bacia, associa-se ao Grupo São Bento (Formações Geológicas Piramboia, Botucatu e Serra Geral) e Bauru. No entanto, afloram na área somente a unidade da porção inferior do Grupo, Formação Botucatu, constituída de sedimentos continentais predominantemente arenosos, enquanto que a porção superior do Grupo, não visualizada em superfície neste setor (mas cartografadas sob a escala de mapeamento) é representada por rochas basálticas da Formação Serra Geral. As idades dos sedimentos do Grupo São Bento são vinculadas ao Triássico médio ao Cretáceo Inferior (MILANI; RAMOS, 1998), e de acordo com Almeida (1964) nos limites do Estado de São Paulo, sua sedimentação iniciou-se antes das primeiras manifestações vulcânicas, pois quase sempre se notam, sob o derrame inferior, camadas de fáceis variada, fluvial, de planícies de inundação, lacustre ou eólica, geralmente espessas de mais de uma dezena de metros, ocorrendo no sopé da cuesta basáltica externa. O mesmo autor afirma que a atividade vulcânica prosseguiu intermitentemente durante a sedimentação do arenito Botucatu, o que explica em muitos casos a presença de intercalações areníticas entre os derrames como causas frequentes de degraus nas vertentes das serras, conferindo à paisagem porções mais altas e serranas, como na área de estudo. Pode ocorrer ainda, do arenito Botucatu apresentar-se silicificado no contato com o basalto, o que muito aumenta sua resistência,

permitindo-lhes suportar degrau destacado, como ocorre na serra leste de São Carlos (ALMEIDA, 1964), próximas ao local de estudo. Abaixo descreve-se informações de origem e caracterização sedimentológica das formações geológicas cartografadas para a área e observadas em campo, de modo que este conhecimento detalhado, auxilie para uma melhor compreensão das relações existentes e dinâmicas evolutivas que se estabelecem com os solos desenvolvidos e o relevo associado.

Formação Botucatu

Constituída por arenitos avermelhados (pelo fato da oxidação do Fe) e esbranquiçados com fragmentos de argila, os sedimentos desta formação são derivados de áreas de relevo pouco acentuado, advindos de rochas cristalinas e sedimentares preexistentes, depositados em bacia estável, com transporte relativamente prolongado e fortemente retrabalhados por abrasão seletiva em clima semiárido e árido de ambiente desértico, eventual e temporariamente cortado por rios. De idade jurássica cretácea, a Formação Botucatu representa então os diversos subambientes de um grande deserto de aridez crescente, cuja existência se prolonga até a ocasião do vulcanismo basáltico (MIRANDA *et al*., 2005). A estrutura em estratificação cruzada, marcante nesta unidade, caracteriza-se por ser de médio e grande porte, atingindo até 15 m de altura, representando paleo-dunas de um ambiente desértico, constantemente retrabalhadas pela sua instabilidade. Ainda, alguns planos de estratificação podem possuir cascalhos, que indicam a ocorrência de chuvas torrenciais durante sua formação (ALMEIDA, 1974). Segundo Caetano-Chang e Wu (1992) os arenitos desta formação possuem termos classificados como quartzo arenitos e subarcóseos, com grau de seleção bom a muito bom e maturidade textural variando de maturo a supermaturo. Localmente podem ocorrer arenitos argilosos, mas sempre com uma porcentagem de material síltico-argilosos inferior a 5%, e estratos lenticulares grosseiros (conglomerados e arenitos conglomeráticos), depositados por correntes torrenciais efêmeras e arenitos grosseiros, interpretados como lençóis de areia, na base. A presença de magnetita e ilmenita pode ser devido à contribuição do magmatismo juro cretáceo na deposição da unidade. Nas partes mais profundas da unidade a calcita e a dolomita são os cimentos mais abundantes.

O paleo deserto Botucatu foi seguido pelo magmatismo eocretácico da Formação Serra Geral, manifestado como um extenso vulcanismo continental (MILANI, 1997), relacionado aos processos extensionais que conduziram à ruptura do Gondwana, definindo a maior manifestação ígnea não oceânica do Fanerozóico e, o que gerou muitas falhas e lineamentos na Formação Botucatu, além de alguns dobramentos (MIRANDA *et al*., 2005). Outra informação importante associada, é que por sua alta porosidade, permeabilidade, homogeneidade, continuidade e dimensões, a formação Botucatu tem a importante função de recarga hídrica de um dos maiores aquíferos do mundo, o Aquífero Guarani.

Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral, vinculada à ruptura do oeste do Gondwana é composta essencialmente por basaltos, mas também por riodacitos e riólitos sobrepondo-os. De composição associada às rochas efusivas são observados diques e soleiras**,** estas intrudidas nos sedimentos da bacia sedimentar do Paraná (MIRANDA *et al*., 2005). O derrame vulcânico continental é composto em mais de 90% do volume por basaltos toleíticos e andesito basáltico, geralmente exibindo vesículas e amígdalas no topo do derrame (Milani, 1997). A Formação Serra Geral, nesta região do Estado de São Paulo (que têm continuidade no Estado do Paraná) tem em sua ocorrência intrínseca relação com os arenitos da Formação Botucatu, conforme já indicado, pois são nestes basaltos que ocorrem a intercalação de arenitos com estrutura típica de dunas e outros, indicando deposição sub aquosa (Milani, 1997). As bases cartográficas da CPRM utilizadas para confecção do mapa temático de formações geológicas, na escala 1.750.000 associam as áreas de maior declive da sub-bacia do Laranja Azeda, à Formação Serra Geral. No entanto, durante as saídas de campo executadas, não foram passíveis de visualização o afloramento dos basaltos restando apenas a ocorrência de solos associados ao seu material de origem, como o Nitossolo Vermelho, visível de forma isolada no setor sudoeste da sub-bacia. Podemos supor que a Formação Serra Geral está ainda sotoposta aos sedimentos arenosos da Formação Botucatu, ou mesmo Formação Itaqueri, que devido à sua maior resistência ao intemperismo, conferem a paisagem setores mais altos se comparados ao entorno.

Formação Itaqueri

A Formação Itaqueri ocorre de maneira expressiva nas áreas mais altas, no setor nordeste da sub-bacia do Laranja Azeda. De acordo com a literatura, está associada à formação de numerosos fronts serranos festonados, planaltos tabulares mais ou menos isolados, de contornos lobados e menores montes testemunhos que recebem designações locais, como a Serra de São Carlos (ALMEIDA, 1964).

Conforme observado em campo, sob essas porções mais altas do relevo, apresentam-se campos arenosos, suavemente convexos, em cujas intersecções se fixam os vales que constituem as camadas da Formação Itaqueri. Esta formação preservada no reverso das cuestas, corresponderia de acordo com Melo e Ponçano (1983), a depósitos correlativos à extensa fase de pediplanação que originou a Superfície do Japi, no Paleogeno, constituindo uma superfície com características de degradação e agradação, sendo esta última testemunhada hoje nas áreas do reverso da cuesta. Riccomini (1995; 1997) amplia ainda mais as áreas de ocorrência na região pesquisada, destacando que a Formação Itaqueri compreenderia um conjunto de depósitos de cobertura das Serras de Itaqueri, São Pedro, Santana, Cuscuzeiro e São Carlos, além das ocorrências em Rubião Júnior e do topo da Serra do Mirante, propondo uma idade paleocena-eocena, correlativa à formação da Superfície do Japi. Representam acumulações em ambiente de elevada energia, com mudança brusca de velocidade das águas, provavelmente de leques aluviais em clima de acentuada aridez, cuja posição estratigráfica e idade não estão satisfatoriamente esclarecidas (IPT, 1981). Ocorrem

ainda, camadas de conglomerado, com até 5 metros de espessura, segundo Santos e Ladeira (2005) os seixos presentes são bem arredondados com até 30 centímetros de diâmetro e constituídos predominantemente de basalto, ocorrendo ainda quartzo, calcedônia, quartzito, filito, pegmatito, sílex e folhelhos da Formação Corumbataí. De acordo com os mesmos autores, os arenitos apresentam granulação variável, desde termos de textura muito fina passando a siltitos, até arenitos grosseiros de granulação heterogênea, podendo ainda ser arcosianos. Barcelos *et al*. (1983) e Melo e Ponçano (1983) indicam que as coberturas denominadas de Formação Itaqueri representam uma fase de deposição com extensa e contínua distribuição geográfica, atualmente disposta apenas sobre o atual reverso da cuesta. Segundo estes autores, tais testemunhos apresentam-se hoje, relativamente isolados, devido à erosão imposta pelos grandes cursos d'água consequentes. De acordo com Santos e Ladeira (2005) o ambiente deposicional desta formação não suscita grandes discussões, pois a literatura destaca que a deposição dos sedimentos ocorreu na forma de leques aluviais, com presença de canais anastomosados, associados a depósitos de corrida de lama e depósitos grosseiros de fluxo de detritos, sob um regime climático árido e semiárido. Riccomini (1995) destaca ainda que a erosão pós-basáltica promoveu um aplainamento generalizado, destruindo feições resultantes das atividades precedentes, fazendo com que a Formação Itaqueri se encontre assentada hoje sobre superfície regular, tanto sobreposta à Formação Serra Geral quanto à Formação Botucatu, conforme observada na área da sub-bacia do Laranja Azeda.

SEDIMENTOS CENOZÓICOS

Depósitos Colúvio-Eluvionares

Grande parte da área da sub-bacia do Laranja Azeda, em suas áreas com relevo de suaves colinas encontram-se preenchidas por sedimentos colúvio-aluvionares. De acordo com Almeida (1974) a deposição destes sedimentos iniciou-se provavelmente no Terciário, e os processos responsáveis por sua gênese perduraram por todo Quaternário, podendo ser constatados até nos dias atuais. As fácies envolvem cascalhos, areias e lamas resultantes da ação de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das vertentes. O acúmulo de material dentrítico originou rampas de colúvio (predomínio de material fino) e depósitos de tálus (predomínio de material grosseiro) junto à base e à meia encosta dos morros. De acordo com Casseti (2005) por *elúvio* entende-se o material alterado por intemperização química que permanece *in situ*, formando normalmente contato gradacional com a rocha ou material subjacente. Muitas vezes o elúvio se constitui num manto bastante decomposto quimicamente, podendo encontrar-se preservada a estrutura original da rocha.

O mesmo autor define *colúvio* como o material detrítico proveniente de locais topograficamente mais elevados, depositado em situação morfológica apropriada, como seções embaciadas, associado a processo de transporte. Tais depósitos podem corresponder ao resultado da movimentação do elúvio. Trata-se, portanto, de material que foi produzido a montante, transportado por processos comandados pela ação

da gravidade. Casseti (2005) afirma que geneticamente, colúvio é definido como sendo material transportado em conjunto pelo escoamento superficial ou pela ação da gravidade, ao longo da vertente, até o seu sopé, onde normalmente assume maiores proporções, quando não é trabalhado ou retirado por outros processos, como o fluvial. No sentido descritivo, corresponderia, portanto aos materiais que descem a encosta. Os colúvios são pouco estratificados ou não apresentam estratificação, sendo facilmente diferenciados dos solos originais (alterados *in situ)*, algumas vezes facilmente identificados pela existência de paleopavimentos que os separam dos materiais subjacentes.

4.5 Relevo

De acordo com a proposta de Almeida (1964:20), o Estado de São Paulo foi dividido em cinco províncias geomorfológicas: Planalto Atlântico, Província Costeira, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental. Estando a região do município de São Carlos inserida na província geomorfológica na transição das Cuestas Basáticas/Planalto Ocidental. A proposta de Ross e Moroz (1997) identifica províncias geomorfológicas do Estado e realiza a subdivisão em zonas, levando em consideração que cada unidade geomorfológica de grande dimensão se distingue na paisagem pelas suas características fisionômicas (morfologia), mas também pela gênese e idade.

Assim, na região de São Carlos e especificamente na área da sub-bacia hidrográfica do Laranja Azeda, é observada a transição entre duas províncias geomorfológicas, sendo estas o Planalto Centro Ocidental e o Planalto Residual de São Carlos, que permitem interpretar o mapeamento de declividade e a modelação de terreno para a área (Figuras 5 e 6).

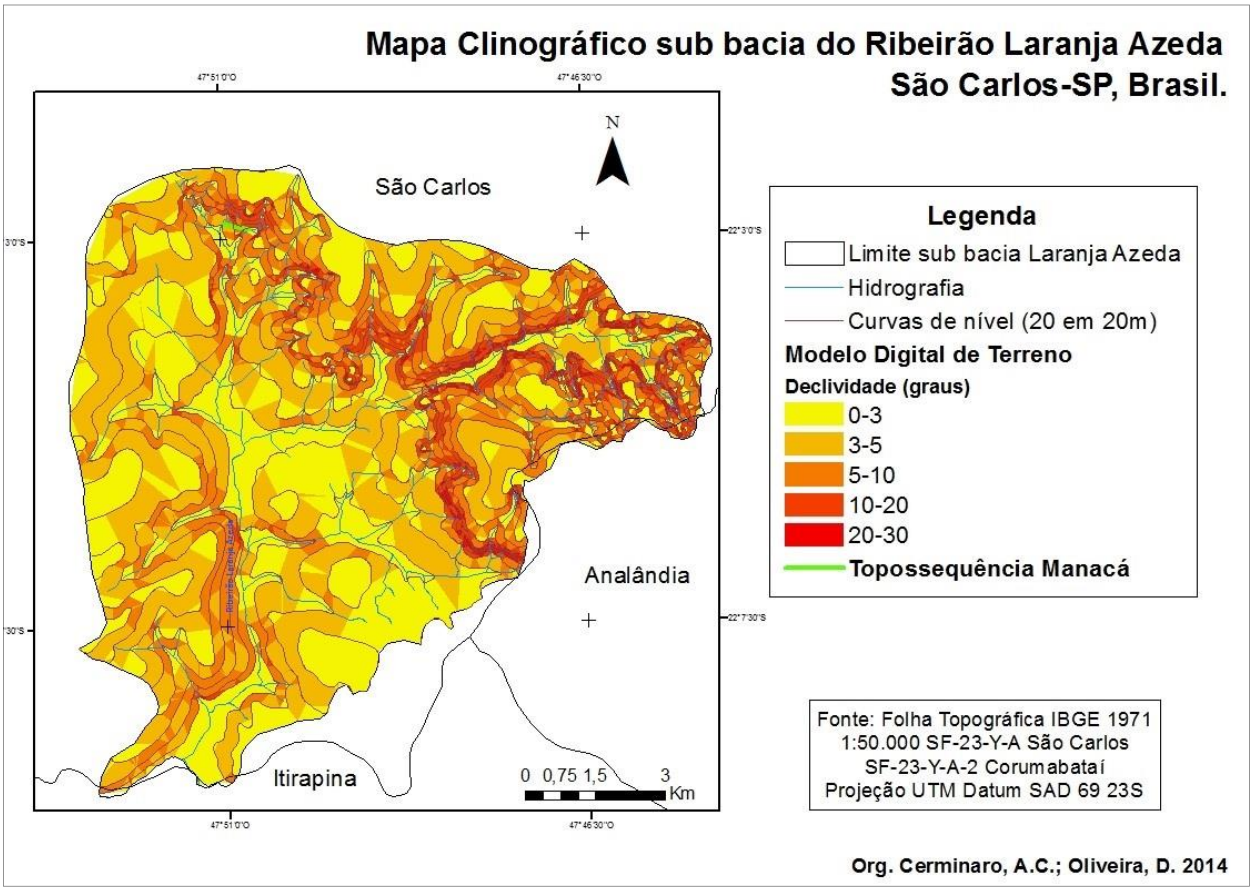


Figura 5: Mapa Clinográfico sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil.

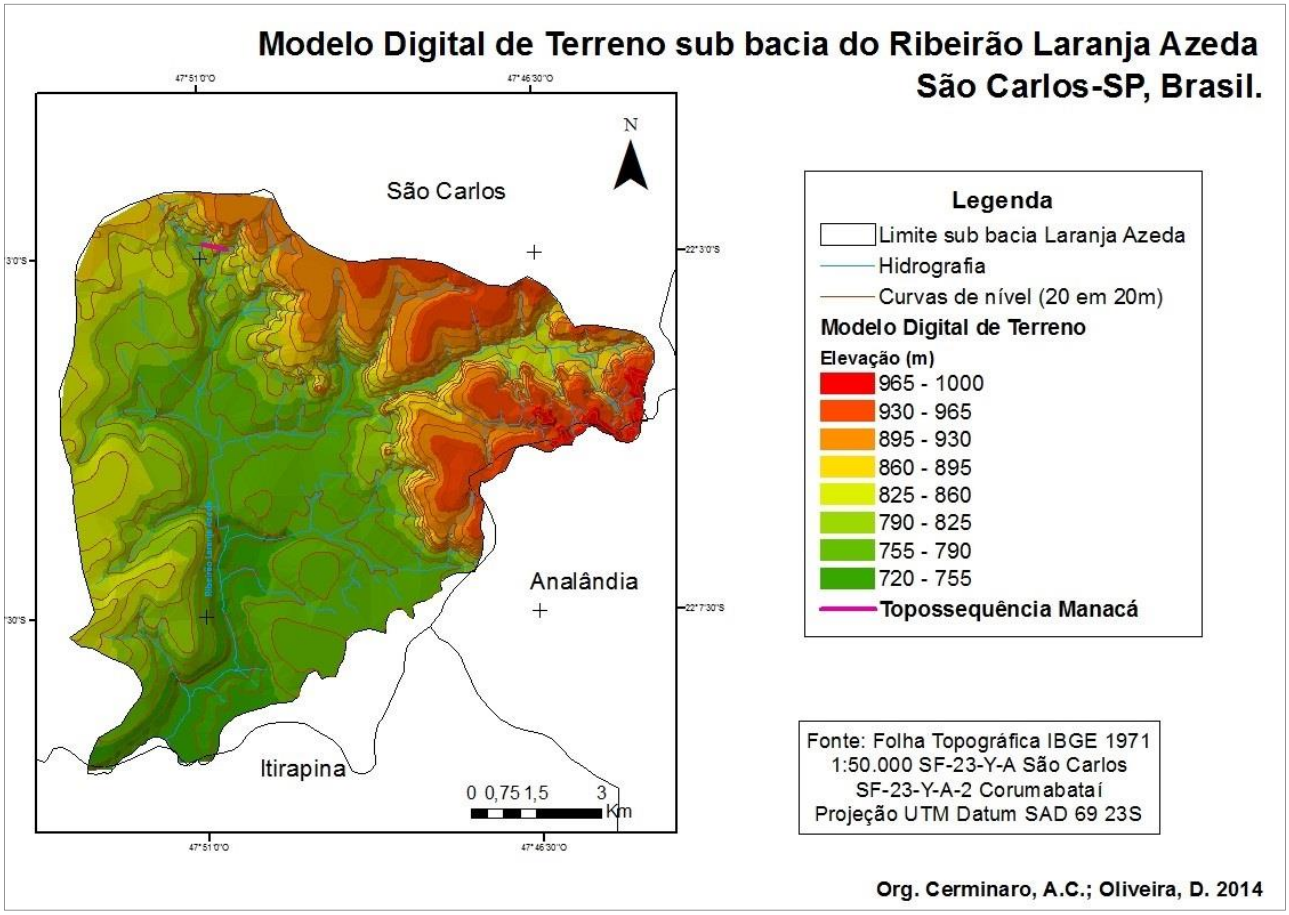


Figura 6: Modelo Digital de Terreno sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil.

Conforme observado nos mapas hipsométricos e clinográficos, as áreas mais altas e com os maiores declives, correspondem à transição geológica da Formação Serra Geral, para os arenitos da Formação Botucatu. Correlacionando os produtos cartográficos com a bibliografia consultada, estas áreas mais elevadas, correspondem segundo Ross e Moroz (1997:42), a unidade do Planalto Centro Ocidental. Onde predominam as formas de relevo denudacionais marcadamente formadas por colinas amplas e baixas com topos convexos, aplanados ou tabulares. As altitudes variam entre 400 e 700 metros e as declividades médias das vertentes entre 2% e 10%. Os rios apresentam padrão paralelo com traçados ligeiramente inclinados em direção ao rio Paraná (ROSS; MOROZ, 1997). A densidade de drenagem é baixa e os vales são pouco entalhados, apresentando baixa dissecação. A forte declividade separa estas áreas mais altas da porção mais baixas e aplainadas na sub-bacia, com formas de relevo predominantemente denudacionais, formadas por colinas de topos convexos e tabulares. As altitudes predominantes aumentam para entre 600 e 900 metros, a declividade das vertentes com valores de 2 a 30% (nos setores mais dissecados). Segundo Ross e Moroz (1997), este setor corresponde ao Planalto Residual de São Carlos.

4.6 Pedologia

O mapa com a representação das classes de solos para a área de estudo (Figura 7), foi extraído do Levantamento Pedológico Semi-Detalhado Quadrícula São Carlos, de 1971, (OLIVEIRA; PRADO, 1984) por se constituir o material cartográfico em melhor escala de mapeamento existente, de onde foram adequadas as classes de solos e respectivas nomenclaturas de acordo ao Novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

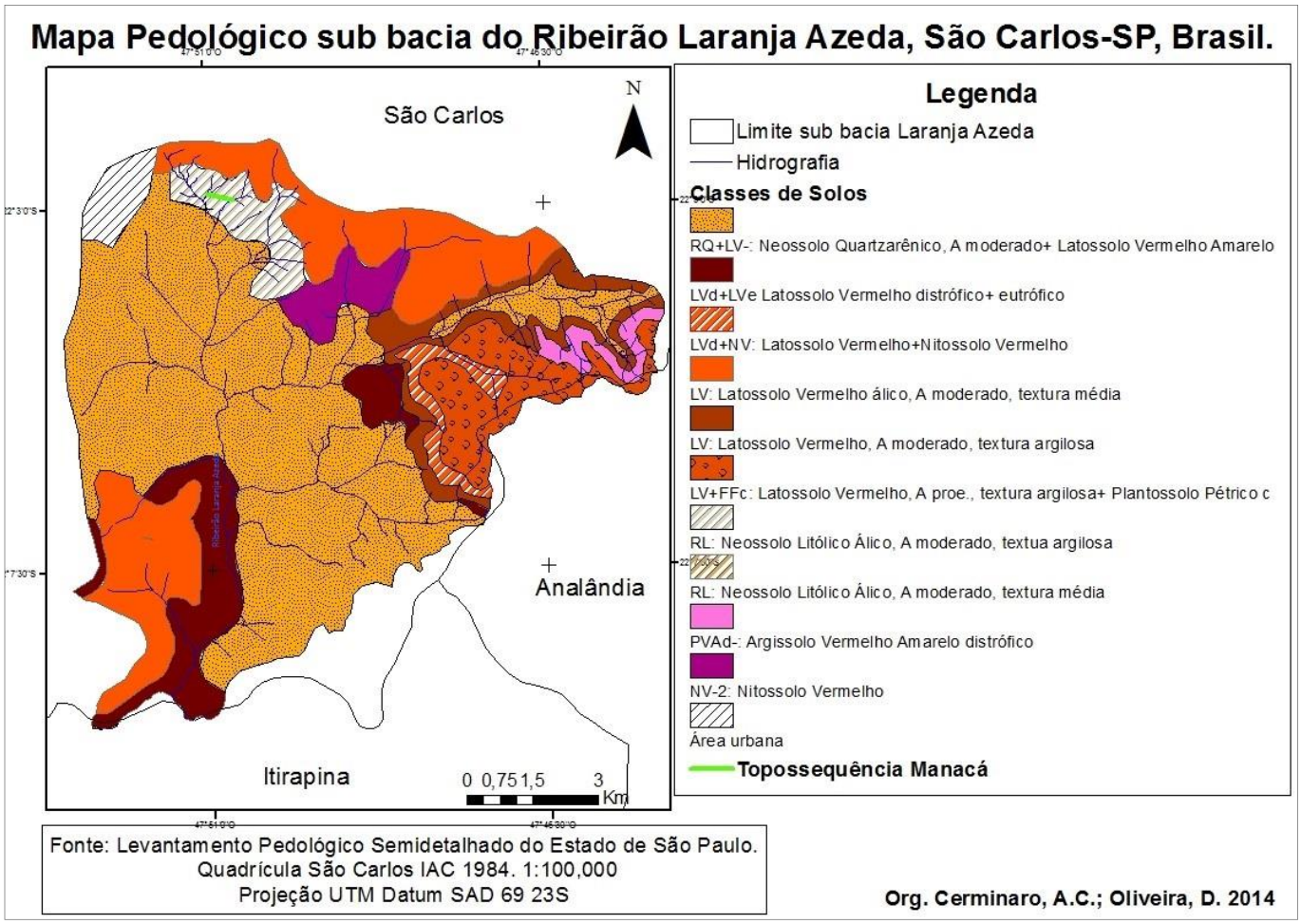


Figura 7: Mapa Pedológico sub-bacia do Laranja Azeda- São Carlos-SP, Brasil.

Apresenta-se assim, a descrição dos principais atributos e características dos solos que ocorrem na área, bem como possíveis relações com o relevo associado e o cultivo agrícola:

NEOSSOLOS

A classe de solos mais expressiva que ocorre na bacia são os Neossolos Quartzarênicos (RQ) denominados no antigo sistema de classificação de Areias Quartzosas, dotadas por serem profundas, e na área em questão apresentarem caráter álico com a presença de um horizonte A moderado (OLIVEIRA; PRADO, 1984).

Os Neossolos são solos constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso, com pequena

expressão de processos pedogenéticos em consequência de três fatores que podem existir concomitantemente ou isolados, sendo estes: a baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, que não permitiram ainda modificações expressivas do material de origem; de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química; e por último a atuação do relevo, que isoladamente ou em conjunto, pode impedir ou limitar a evolução desses solos (OLIVEIRA, 2008).

Correlacionando as informações geológicas e altimétricas para a área, podemos interpretar o predomínio dos Neossolos Quartzarênicos nas porções mais planas e rebaixadas da sub bacia, sob formações sedimentares do Arenito Botucatu e depósitos coluvionares oriundos das regiões mais elevadas do entorno (principalmente setor noroeste).

O *caráter álico* descrito refere-se à condição em que o solo se encontra em estado dessaturado e caracterizado por elevada saturação por alumínio, sendo um atributo diagnóstico de terceiro nível no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013). Revela assim a pobreza química de minerais e macro nutrientes, típica de solos arenosos com pouco ou nenhum agente cimentante em profundidade (argilas). São solos profundos e muito poroso, desprovidos então da capacidade de retenção devido à macro porosidade dos grãos de quartzo, e assim desprovidos de minerais primários intemperizáveis e, portanto, virtualmente sem nenhuma reserva potencial de nutriente para as plantas. Os poucos nutrientes que existem nos Neossolos Quartzarênicos estão concentrados na matéria orgânica que poderá existir, ainda têm como características a elevada acidez e a predominância de argila de baixa atividade (caulinitas e oxi-hidróxidos de Fe e Al) (Lepsch, 1994).

Já a designação do horizonte A moderado, incluem segundo Oliveira (2008) horizontes superficiais que não se enquadram no conjunto das definições dos demais horizontes, apresentando variações de propriedades físicas e químicas bem grandes, possuindo comportamento variável.

LATOSSOLOS

A classe de solos Latossolos abundantemente presentes na área de estudo, e de ocorrência conjunta aos Neossolos Quartzarênicos, apresentam avançado estágio de intemperismo, e consequentemente, material coloidal com baixa capacidade de troca catiônica e baixos teores ou virtual ausência de minerais primários facilmente alteráveis (OLIVEIRA, 2008). A grande maioria de Latossolos situa-se em relevo aplainado a suave ondulado. As condições de relevo e baixa erodibilidade dificultam os processos erosivos, especialmente nos solos que apresentam horizonte superficial de textura franco argilosa ou mais fina (VELOZO, 2006).

Os Latossolos Vermelhos Amarelos (LVa) que são representados em diferentes áreas na bacia em estudo, são segundo a literatura existente solos bem drenados, com sequência de horizontes A-B-C, pequena diferenciação de horizontes, relação textural (% de argila do horizonte B/% de argila do horizonte A) em torno de 1,3 (OLIVEIRA, 2008).

Dentre os Latossolos, aqueles de coloração amarelada, refletem o amplo predomínio de goethita em relação à hematita, apresentando teores de Fe_2O_3 entre 7 e 11%, quando de textura argilosa ou muito argilosa, ou com relação $Al_2O_3/Fe_2O_3 > 3,14$ quando de textura média (BENNEMA; CAMARGO, 1964) são denominados Latossolos Vermelho-Amarelos. Apresentando coloração de amarela até vermelha, são solos ácidos, com saturação baixa e baixos teores de óxidos de ferro (LEPSCH, 1994). Geralmente são solos profundos em relevo suavemente ondulado ou quase plano, como na área em estudo ocorrendo sob o topo das formas de cobertura de serra e na porção sul da bacia hidrográfica. São muito profundos, bem drenados, friáveis ou muito friáveis, de textura argilosa ou muito argilosa e média (LEPSCH, 1994).

NITOSSOLOS

Outra classe de solos identificados em uma pequena área foram os Nitossolos, que compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte diagnóstico B nítico. São providos de argila de atividade baixa ou com caráter alítico na maior parte do horizonte B dentro de 150 cm da superfície do solo e apresentam normalmente texturas argilosa a muito argilosa, estrutura em bloco sub angular ou prismática muito bem desenvolvida (moderada ou forte) com superfícies dos agregados reluzentes, relacionadas à cerosidade e/ou superfícies de compressão (LEPSCH, 1994).

Os Nitossolos Vermelhos (NV) correspondem a classe anteriormente denominada Terra Roxa Estruturada, que são de grande importância agrícola, e de abundante ocorrência no Brasil Meridional, relacionados ao extenso derrame basáltico que se prolonga do Estado de São Paulo até Rio Grande do Sul.

ARGISSOLOS

Na porção norte da sub-bacia do Laranja Azeda foram mapeados Argissolos Vermelho Amarelo (PV, PVa), que são solos bem drenados com sequência de horizontes A-E-B-C e nítida diferenciação entre os horizontes. Apresentam o teor de argila no horizonte B bem mais elevado que dos horizontes superficiais. São ácidos e com saturação de base baixa (LEPSCH, 1994).

De acordo com Oliveira (2008) a característica principal da classe dos Argissolos (Vermelho-Amarelos), é a presença de horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte B ou E. A presença do horizonte B textural, o qual tem por característica apresentar significativo aumento de argila em relação aos horizontes suprajacentes E ou A, na medida em que atinge valores mais elevados, indicam solos cada vez mais erosíveis, mantidas as mesmas condições de cobertura vegetal e declividade (VELOZO, 2006).

4.7 Vegetação

Segundo Ferrante (1989) a vegetação primitiva da bacia era representada principalmente pelo cerrado, vegetação remanescente ainda de climas pretéritos do período Quaternário, entretanto este panorama foi se modificando devido à interferência do homem, para ocupação do solo em diversas

finalidades. Em consequência disso, hoje se verifica na bacia uma grande alteração da paisagem, onde somente são encontrados poucos testemunhos da vegetação original, principalmente das matas que persistem por ocupar partes mais elevadas topograficamente e de difícil ocupação. A fauna da região é composta de animais de porte variado, ocorrendo nas áreas que restaram de cerrado: tamanduás (bandeira e mirim), tatus, emas, seriemas, cascavéis, lobos-guarás, jiboias, cervos, carcarás, falcões, tucanos, muitos se encontram em vias de extinção.

4.8 Uso do solo

O solo é utilizado para pastagens com técnicas de criação de gado bovino semi-intensiva e extensiva. Na agricultura se destacam as culturas de café, cana de açúcar, citrus e milho, com predomínio de pequenos e médios agricultores. Ocorrem também algumas áreas de reflorestamento (Pinus e Eucaliptos) utilizadas como matéria-prima para a fábrica da Faber Castell, com sede em São Carlos. Observa-se ainda, pequenas áreas em fragmentos cobertas por vegetação natural (campo e cerrado) (TEIXEIRA, 1993). Existem na área ainda chácaras utilizadas aos finais de semana para lazer, e na porção norte da bacia, bem próximos aos limites urbanos de São Carlos, localiza-se o Pólo Industrial Tecnológico deste município, com cerca de cinquenta empresas, e nas proximidades, uma fábrica de motores da Volkswagen. Há implantação atrás do Pólo Industrial de loteamentos de quinhentas casas para habitação popular, vinculadas ao programa Minha Casa Minha Vida do Governo Federal, configurando-se um novo bairro na cidade, o Jardim Novo Horizonte. Nas proximidades desta área existe ainda um conflito pela ocupação da terra com a presença de assentados organizados no Assentamento Nova São Carlos, às margens da Rodovia Domingos Inocentini, que dá acesso à cidade de Itirapina, na antiga área do Horto Florestal de São Carlos. Desde 2009, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária- INCRA acompanha a regularização das 400 pessoas que ali vivem, onde construíram suas casas e realizam a criação de animais e de agricultura para subsistência.

4.9 Caracterização de Uso da Terra e legislação sobre a área

Pensando em gerenciar problemas entre municípios no cuidado com água, fauna e flora, tem avançado o Programa de Comitês de Bacias Hidrográficas criado pela lei que institui a política estadual de recursos hídricos (7.663/91) para gerenciar a água de forma descentralizada, integrada e com a participação da sociedade. A área da sub-bacia do Laranja Azeda, compõe a bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão, que está localizada na Área de Proteção Ambiental de Corumbataí, criada pelo Decreto Estadual n° 20.960, de 8 de junho de 1983. No município de São Carlos compreende a Área de Proteção e Recuperação de Mananciais do Ribeirão do Feijão (APREM), instituídas pela Lei 13.944 de 2006.

A APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá engloba uma área total de 6.492 km², sendo subdividida em três perímetros distintos, correspondendo na Bacia do Ribeirão Feijão à faixa das cuestas basálticas, voltada para preservação de feições como os morros testemunhos, os recursos hídricos superficiais importantes aos

municípios da área, e por fim, à preservação dos remanescentes de vegetação nativa (CEAPLA, 2008).

A importância dos recursos hídricos da área é comprovada pela capacitação do Ribeirão Feijão como responsável por parte do abastecimento de água da cidade de São Carlos (cerca de 40%), feita por uma Unidade do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). A jusante do Ribeirão do Feijão está situada a Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga (131,5 MW) e a montante a Estação de Captação de Água para abastecimento público da cidade de São Carlos, se constituindo assim como um importante manancial urbano. Em 12 de dezembro de 1996 foi promulgada a lei que dispõe sobre a criação das áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM, que têm como principais objetivos:

- Promover o pleno desenvolvimento da função social de abastecimento da população, por meio da proteção e recuperação da qualidade e da quantidade das águas superficiais que compõe a APREM/SC, principalmente através da recomposição da vegetação ciliar, ripária ou de galeria;
- Programar a gestão participativa das APREM/SC integrando setores e instâncias governamentais e a sociedade civil, com vistas à proteção e recuperação desses mananciais;
- Incentivar a implantação de atividades compatíveis com a proteção e recuperação dos mananciais citados nesta Lei, disciplinando o uso e a ocupação de solos na APREM/SC;
- Garantir os instrumentos que proporcionem a articulação dos programas e políticas municipais, especialmente os referentes à habitação, transporte, saneamento ambiental, infraestrutura e manejo de recursos naturais à conservação do meio ambiente.

No ano de 2008, foi sancionada ainda uma lei municipal que proíbe a instalação de aterros sanitários e outros tipos de obras às margens do Ribeirão Monjolinho e Ribeirão Feijão. A câmera de São Carlos aprovou a lei que tem como objetivo auxiliar a evitar o assoreamento destes dois Ribeirões, visando evitar a degradação e consequente queda de vazão de água. Um dos principais pontos da lei é o que aumenta o tamanho mínimo dos lotes próximo aos córregos, com objetivo de reduzir a população local, lei intencionando punir com multa quem desrespeitar os limites de construção próximos aos córregos.

Aliada a tais normatizações, a área que compreende a bacia do Ribeirão Feijão, segundo o Plano Diretor do município de São Carlos é classificada como Subárea de Baixa Densidade, sendo composta predominantemente por espaços livres e áreas verdes destinadas preferencialmente a sítios, chácaras de lazer e turismo local, localizados a montante da captação do Ribeirão do Feijão (SÃO CARLOS, 2006).

4.10 O Sítio Manacá

A escolha do sítio para realização da pesquisa aliou a fragilidade ambiental do local (compartimento geomorfológico VI) com ocorrência excessiva de processos erosivos lineares, a presença de nascentes que afluem diretamente no córrego Laranja Azeda, e a receptividade para execução dos trabalhos de campo vinculados ao projeto. O sítio é propriedade de uma professora universitária, herdado de seu pai, e funciona hoje como um lugar coletivo de construção, estudo e vivência de temas ambientais, culturais e sociais. Em cerca de 7 hectares, são observadas quatro grandes voçorocas e dezenas de ravinamentos em seu entorno.

Justificados os critérios físicos ambientais para escolha e seleção da área soma-se a proposta de aprendizagem coletiva e popular inerente ás atividades do Sítio Manacá, o que não deixa de configurar como uma justificativa a fragilidade socioambiental existente: a preocupação dos moradores do local em compreender os motivos e agravantes de tais processos, e ordenar seu uso e ocupação da maneira mais equilibrada possível, preocupação também inerente aos objetivos da pesquisa.

CAPÍTULO 5: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO METODOLÓGICA

5.1 A relação solo relevo: o caminho da paisagem ao microscópio

O horizonte geográfico que abrange as relações entre o solo e relevo, ou seja, entre a ciência geomorfológica e pedológica, que se debruçam sobre objetos de estudo com intrínseca relação processual e dinâmica, explicando a formação e evolução das paisagens, nos permite traçar um percurso histórico de aproximação, diálogo de métodos e união de conhecimentos que possibilitam uma análise integrada sobre suas pesquisas e novas metodologias que se desenvolveram.

São muitas as publicações que se voltam aos conteúdos que dão conta de esclarecer a evolução da história e paradigma geomorfológico. Partindo de autores clássicos, como Davis, Penk e King, que em estudos no clima temperado, inauguram a ênfase nos processos físicos e mecânicos que promoveriam a ação da morfogênese na modelação das paisagens. Até a mudança de paradigma com Budel (1957), onde em estudos na África, se depara com outros agentes e processos devido ao clima tropical, colocando a desagregação química como um dos fatores que agem e comandam paralelamente a estes mesmos processos.

Já a pedologia enquanto ramo científico, surge a partir das observações de Dokuchaev, na Rússia no final do século XIX, que direciona o olhar para o solo como um corpo natural, com organização e dinâmica própria. Inaugura então, o estudo vertical, através dos perfis com diferenciação de características individualizadas em horizontes, paralelos à superfície, indicando alterações morfológicas verticais (BOULET, 1992, QUEIROZ NETO, 2003).

O momento de aproximação em publicações das duas ciências pode ser identificado na metade do século XX, com início de estudos em climas tropicais por pesquisadores principalmente franceses, visto serem até então, os estudos clássicos de geomorfologia e pedologia em áreas de clima temperado. Esta literal expansão dos horizontes científicos, fez criar questionamentos quanto ao conhecimento até então produzido por essas duas ciências, onde os pesquisadores se depararam com a complexidade dos ambientes tropicais, sendo sujeito a diferentes comportamentos climáticos, onde as forças e agentes que agem na dinâmica da paisagem se intensificam.

Neste curto período no século XX, as pesquisas francesas de pedologia em colônias deste país na África, impulsionaram a evolução e aprimoramento da ciência do solo, pesquisadores como Delvigne (1965), Boquier (1973), Boulet (1982) Ruellan (1988), produziram uma geração de conhecimento sobre o comportamento do solo na paisagem que culminou em um movimento de aproximação com a geomorfologia, fazendo uso de conteúdos comuns e complementares de estudo.

De acordo com Queiroz Neto (2000) esta relação umbilical entre ambas as ciências, agregam ainda fundamental relação com a Geologia, visto que ambos os objetos de estudo – o relevo para a geomorfologia e o solo para pedologia- provém das transformações do material rochoso pelos processos de intemperismo.

A partir da segunda metade do século XX os geomorfólogos perceberam a importância de que para

o entendimento das formas, deveriam ser feitos estudos também das formações superficiais das vertentes. Na mesma linha de pensamento, de dependência e relação umbilical entre pedologia e geomorfologia, Daniels e Nelson (1987) afirmam:

> "Devemos abandonar a ideia de que os solos são entidades independentes ocorrendo em pontos específicos e considerar que todas as partes da paisagem estão inter-relacionadas" (Daniels; Nelson 1987, p.278).

Com esta visão, justifica-se a consideração de que a dinâmica processual do solo registraria segundo Queiroz Neto (2000), ganhos e perdas para superfícies geomórficas, sendo assim especialmente apropriado para interpretar a evolução das diversas formas do relevo. Reciprocamente, a geomorfologia por meio das características morfométricas do relevo, como a declividade e altitude, fornecem fatores que interferem nos processos que atuam para formação e evolução dos solos (pedogênese). Este breve relato resultou hoje no entendimento entre as duas ciências da ideia dos solos aparecendo virtualmente em todas as posições do relevo, possuindo sua história ligada à própria história do relevo, tanto localmente quanto regionalmente (McFFADDEEN; KNUEPFER, 1990).

Um exemplo marcante da importância do relevo para os solos foi o conceito de *catena*, formulado por Milne em 1935 (QUEIROZ NETO, 2010), revelando o pensamento vanguardista deste pesquisador, à frente dos conhecimentos científicos de seu tempo. Suas considerações ressaltam a importância dos movimentos de matéria ao longo da topografia, levando à formação de solos, cuja sucessão lateral ele denominou catena. O conceito aponta, portanto, a distribuição regional sistemática de solos ao longo da vertente, sendo os perfis de solo como sequências ao longo destas, estabelecendo então relações genéticas entre si.

As contribuições de Milne foram o início das discussões para compreensão do elo essencial tomado por pedólogos e geomorfólogos, acerca da relação processual entre solo e relevo, fundamentando-se na vertente enquanto categoria de análise que sintetiza essa interação.

De acordo com Vidal Torrado; Lepsch; Castro (2005) o entendimento sobre as relações solo - paisagem se iniciou, em escala mais genérica, pelo estudo de grandes zonas bioclimáticas do planeta, que conduziram a uma primeira interpretação do solo como produto dessas zonalidade, ao mesmo tempo em que se reconhecia a ocorrência de solos cuja explicação estava em fatores locais, especialmente o relevo.

A Teoria de Biostasia e Resistasia formulada do Ehart em 1956, muito aceita entre os geomorfólogos, aplicável em regiões intertropicais, considera as alternâncias climáticas do Quaternário para formular o conceito biorresistásico, que se fundamenta na relação morfogênse-pedogênese. De acordo com Queiroz Neto (2000) esta teoria apresenta estreita relação com "o balanço de denudação" proposto por Jahn (1968) onde os processos em uma vertente se reduzem a dois componentes: o primeiro denominado "perpendicular" caracterizado pela infiltração, responsável pela intemperização que permite o desenvolvimento da pedogenização, proporcionando a formação do material para eventual transporte; e o segundo, denominado

paralelo refere-se ao processo denudacional (morfogênese) responsável pela retirada, transporte e acumulação de material. Assim, durante os intervalos de climas úmidos, atuavam predominantes os processos de pedogênese ativa, chamado fase biosistasia; enquanto que em períodos secos, os processos morfogenéticos predominavam ativamente, a chamada resistasia.

As contribuições da Teoria de Biorresistasia de Ehart redundaram em princípio, segundo Queiroz Neto (2000), o antagonismo entre pedogênese e morfogênese, mas agregou aos estudos de pedologia/geomorfologia a consideração do clima como elemento morfogenético de maior importância, grande responsável pela dinâmica processual, desde a elaboração pedogenética (componente perpendicular) comandada principalmente pelos intemperismos químicos, até a ação erosiva (componente paralela) representada pelos agentes de meteorização (movimentos do regolito e demais processos morfogenéticos).

Estes jogos das componentes verticais e paralelas em atuação estabelecem a relação holística para o entendimento da pedogênese morfogênese na categoria de análise de uma vertente, que também de acordo com Queiroz Neto (2000) são essenciais para consideração dos processos geomorfológicos. Carson & Kirkby (1972) apresentam tais relações numa perspectiva antagônica denominada de "força" e "resistência"- as forças requerem energia e toda energia de um sistema geomórfico deriva da gravidade e do clima, as vertentes sintetizam os principais fenômenos evidenciados: o efeito da gravidade no deslocamento da partícula ou da massa (força paralela à superfície do terreno), e em função das particularidades intrínsecas ao próprio material (força perpendicular à superfície).

A vertente como categoria de análise e união na relação solo-relevo

O conceito de vertente foi consagrado por Dylic (1968), que tratou do estudo de seus elementos para formulação de sua definição. Entendida como "*toda superfície terrestre inclinada, muito extensa ou distintamente limitada, subordinada às leis gerais da gravidade*" (Christofoletti,1980., p.65) as relações processuais em uma vertente dependem de fatores como declive (de forma geral quanto maior o declive de uma vertente, maior a intensificação da componente paralela, reduzindo a ação da componente perpendicular), litologia (que responderá pelo comportamento da formação superficial, intervindo também no perfil da vertente) e condições climáticas (fornecimento de água e calor para ação do intemperismo).

Em consonância com as formulações de Dylic na descrição dos fatores e processos das vertentes, Casseti (2005) considera também que os fatores morfoclimáticos intervêm através das modalidades de meteorização e pedogênese e da natureza dos processos de afeiçoamento das vertentes. Os sistemas morfogenéticos são apontados por Christofoletti (1980) pela importância que o fator climático assume no condicionamento para esculturação das formas do relevo, na medida em que estabelecem o fornecimento de matéria e energia, os quais inferem os processos dominantes e atuantes e consequentemente nas formas produzidas. Já as influências litológicas intervêm na forma do perfil da vertente, na sua declividade média, na velocidade de recuo (CASSETI, 2005).

Uma descrição detalhada da vertente como sistema morfológico é apresentada por Christofoletti (1980) que se baseia na descrição e análise das propriedades para entender suas formas (altura, comprimento horizontal, comprimento retilíneo da superfície da vertente, comprimento da superfície da vertente, índice de ruptura de declive, dentre outros). O mesmo autor discute também o balanço morfogenético, compreendendo os objetos ambientais como sistemas, e a vertente enquanto sistema aberto na medida em que seu equilíbrio está sujeito ao fornecimento ou retirada de matéria e energia do meio.

Partindo de tais pressupostos, inúmeros modelos de formas de vertentes foram produzidos pela literatura especializada, na tentativa de estabelecer relações entre os processos atuantes e as formas produzidas, sendo o mais expressivo as nove unidades hipotéticas no modelo de vertentes (DALRYMPLE, BLONG e CONACHER,1968).

Percebe-se então que a adoção da categoria de análise vertente possibilitou um avanço na qualidade dos estudos voltados a compreensão da relação solo relevo, afinal é a partir da junção de fatores de constituição do solo e do relevo em que está inserido que podemos analisar como se dá o condicionamento da dinâmica e processos que agem entre os elementos do meio.

A visão tridimensional do solo

Em artigo de revisão sobre pedologia e geomorfologia, Hall (1985) sustenta que os estudos pedogenéticos evoluíram muito mais quando foi deixado de lado o conceito puramente bidimensional de perfis (vertentes ou solos), com grande enfoque nos materiais geológicos de origem, no conceito tridimensional de corpos de solo e nas interpretações dos menores volumes possíveis, os "pedons", afetados por ganhos, perdas, transformações e translocações, conforme proposto por Simonson (1959).

Esta visão tridimensional do solo, que teve seu cerne no conceito de catena de Milne, fundamenta-se também nas observações de aspectos ligados à morfogênese do relevo, como apontam Vidal Torrado; Lepsch; Castro (2005) onde sem tal visão, "*os estudos de pedogênese correm o risco de serem considerados uma mera caracterização e interpretação demasiadamente hipotética e isolada de pedons*" (*op.cit*, p. 152).

Como apontado por Queiroz Neto (2000), no início dos estudos da pesquisa pedológica, o sistematizador de tal ciência Dokuchaev, e posteriormente Jenny (1941) já apontavam a ênfase no papel da topografia como condicionante da circulação interna e externa de água, agindo na distribuição de elementos ao longo do perfil. Hoje, os novos paradigmas da ciência pedológica julgam essencial a interpretação das relações solo relevo, devendo conceber a circulação interna da água como responsável por ações geoquímicas que redistribuem ou eliminam elementos das vertentes, provocando modificações nas formas e gerando novas feições (Queiroz Neto, 2000).

Novos paradigmas, novas metodologias

Surge então, no início da década de 1980, a sistematização de uma proposta de trabalho para estudos pedológicos de ultra detalhe com forte integração das relações pedologia-topografia-estratigrafia-hidrologia denominada Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET *et. al*.,1982; RUELLAN *et al*., 1984; BOULET, 1988; QUEIROZ NETO, 1988). De acordo com Queiroz Neto (2002) a formulação desta metodologia, representa a preocupação dos pesquisadores em compreender a distribuição dos solos nas paisagens, suas causas e fatores, interpretando os processos responsáveis pela sua distribuição. Permite ainda configurar em uma determinada vertente, as características morfológicas relacionadas com o comportamento hídrico dos solos e deduzir as direções dos fluxos de água infiltrada e escoada superficial e sub superficialmente, em uma avaliação qualitativa das diferentes condições de desenvolvimento dos processos erosivos, por exemplo, por escoamento concentrado (SALOMÃO, p.244, 2009). Engloba então, a percepção do solo como um meio contínuo cujas diferenciações são devidas aos movimentos internos das soluções.

Reconhecidos os avanços científicos do conhecimento das relações entre solos e relevos, merece especial atenção à atuação de um geomorfólogo que, desde o início de suas pesquisas, tratou desta relação, Jean Tricart (1968; 1976; 1979). Em publicação de Tricart & Killian (1979) os autores discutem a antinomia entre pedogênese e morfogênese, sendo o balanço destes dois processos a base da proposta de classificação de ambientes estáveis e instáveis.

A visão holística das relações que se processam e configuram o ambiente, especialmente no que concernem as relações estabelecidas entre solos e relevos, bem como sua dinâmica e a identificação dos diferentes fatores que assim contribuem, são a chave para compreensão da relação sistêmica que se estabelece entre os processos de morfogênese e pedogênese. A essencial importância do clima, para o fornecimento de água e calor que agem na transformação dos sistemas, o entendimento da resistência dos materiais e a atuação da força física da gravidade, permitem vislumbrar a atuação das componentes paralelas e verticais em determinado espaço. Para delimitação concreta da área em que ocorre este jogo de relações, foi utilizado o conceito de vertente como unidade conceitual que expressa em seu modelado o predomínio de um ou outro processo. No entanto, é fundamental compreender que reconhecida à complexidade da interação entre os elementos do meio, das relações de troca e energia que ocorrem durante a pedogênese e morfogênese, estes dois processos podem e normalmente atuam simultaneamente nas paisagens.

Análise Estrutural da Cobertura Pedológica

A metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica se baseia em uma abordagem morfológica das estruturas do solo, visando identificá-las e estabelecer seu papel no funcionamento deste sistema. Abrange desde estudos de morfologia de campo até estudos mais detalhados de microscopia ótica,

microscopia eletrônica de varredura, microssonda, etc.

Como já discutido, o cerne inicial que guiou estas pesquisas, e marco teórico também do início da preocupação do relevo para os solos, foi o conceito de *catena* formulado por Milne em 1935 em trabalhos desenvolvidos na África. Suas considerações ressaltam a importância dos movimentos de matéria ao longo da topografia, levando à formação de solos, cuja sucessão lateral e de características correlacionáveis e dependentes, ele denominou catena. O conceito aponta, portanto, a distribuição regional sistemática de solos ao longo da vertente, sendo os perfis de solo como sequências ao longo destas, estabelecendo então relações genéticas entre si.

Podemos identificar o início das pesquisas científicas que culminaram na formulação de tal abordagem na década de 1960, onde dois movimentos na história das pesquisas em pedologia se desenvolviam. Um sendo guiado pelos norte-americanos, construindo a proposta de classificação taxonômica dos solos e outro a comando dos franceses, trabalhando em pesquisas em Colônias deste país principalmente na África. Ao longo da década de 1970, as pesquisas em pedologia nestes solos tropicais no semiárido, objetivaram a melhoria do conhecimento sobre os recursos ofertados pelo meio e resultaram em diversas teses de doutorados (RUELLAN, 1972; BOQUIER, 1973; CHAUVEL, 1975; BOULET, 1978), consolidando a formação de um corpo de pesquisadores sobre o tema.

Surge então, novamente no início da década de 1980, a sistematização de uma proposta de trabalho para estudos pedológicos de ultra detalhe com forte integração das relações pedologia-topografia-estratigrafia-hidrologia denominada análise estrutural da cobertura pedológica. Até então, a pedologia clássica só pensava em movimentos verticais de circulação da água, foram através dos estudos destes pesquisadores que foi percebida a distribuição dos elementos químicos e mineralogia ao longo da vertente, dando atenção quanto à forma do perfil e sua constituição, como sendo fruto da distribuição da matéria e soluções oriundas do transporte lateral e vertical da água no solo. Foi então que Boulet *et. al.,* (1982) em estudos na Guiana Francesa, reconhece necessidade de criar um procedimento/metodologia para caracterização destes movimentos e dinâmicas do solo, através de estudos com tradagens e trincheiras.

A formulação da ideia de topossequência (BOULET *et al*, 1982) como representação tridimensional da organização da cobertura pedológica, é graficamente representada com linhas de isodiferenciação, que possibilitam o desenho da espessura e profundidade dos horizontes, bem como material de origem e outras informações, as quais permitem inferências sobre circulação preferencial da umidade e sua organização ao longo da vertente. Ainda, essa representação da sucessão de perfis verticais ao longo da vertente em uma epiderme contínua que se diferenciam, permite através do trabalho de tradagens e abertura de trincheiras a observação visual direta: dos horizontes e estruturas (pertencendo então a escala macroscópica, do metro ao centímetro); da estrutura dos agregados (do centímetro ao micro) e dos constituintes, partículas e elementos (observados somente via ultramicroscópica).

5.2 A Micropedologia

O termo Micropedologia enquanto técnica de estudo e observação na ciência do solo, foi cunhado por Kubiena, em obra inaugural sobre o tema no ano de 1938, no entanto já em 1904 Lagatu e Delage utilizaram técnicas petrográficas para descrição de lâminas de solo (PEDRO, 1987). Seu principal objetivo é auxiliar na compreensão dos processos que envolvem o solo sob a escala microscópica, através da observação de sua microestrutura. Sucintamente, Chauvel (1979) a define como o estudo dos solos que visa continuar sob o microscópio, com aumentos mais fortes, o trabalho de análise morfológica realizado em campo. Já Bullock *et. al.,* (1985) define a micropedologia como ramo da ciência do solo, que busca a descrição, interpretação e até certo ponto as medidas dos constituintes, feições e fábrica do solo, ao nível do microscópio.

Apesar de suas aplicações ainda na primeira metade do século XX, foi somente na década de 1960 que passou a ser exercida enquanto ramo científico, pelas dificuldades técnicas de análise e descrição do solo enquanto material indeformado, e ainda pela limitação desta obra percursora, que ao se atentar para solos de clima temperado, não produziu conteúdos passíveis de serem reconhecidos em solos sob diferentes condições climáticas.

Foi preciso então, o desenvolvimento tecnológico de impregnação e fabricação das lâminas delgadas, e a formulação de um conhecimento mais abrangente e que pudesse ser aplicado sob diferentes paisagens.

Essa conjunção de fatores culminou na publicação em 1964 do livro "*Fabric and mineral analysis of soils*", pelo australiano Brewer, que se consagrou por ser uma sistematização de referências e diretrizes para descrição só solo sob a escala microscópica, a nível internacional.

Conforme sinalizado por Castro (2008, p.108) diversos pesquisadores, em diferentes países destacaram-se nesse período pelo uso desta técnica de observação em seus trabalhos, como por exemplo Delvigne, Ruellan, Bocquier, Chauvel e Boulet na França, FitzPatrick na Escócia, Murphy no Reino Unido, Stoops na Bélgica, Buol nos Estados Unidos, dentre outros.

Essa intensificação nas pesquisas metodologicamente referenciadas sob a micropedologia em diversos locais produziu novos conhecimentos e exigiu a formulação de um manual que unificasse a linguagem e critérios de descrição, classificação e organização do solo sob a escala micromorfológica. Em 1985 foi publicado um manual, intitulado "*Handbook for soil thin section description*", organizado por Bullock, mas que contou com a participação de muitos pesquisadores supracitados.

Após esse breve histórico de contextualização, podemos definir a escala micromorfológica, enquanto análise microscópica dos materiais pedológicos ou de formações superficiais, que se mostra como importante auxiliar na interpretação do mecanismos e processos de alteração e pedogênese que ocorrem, permitindo a dedução de propriedades e comportamentos dos materiais (CASTRO, 2012). São hoje definidos como objetivos da micropedologia, auxiliar na compreensão destes processos através da

observação da microestrutura do solo, com a identificação de seus constituintes e das relações existentes entre os mesmos. Essas relações são expressas por sua hierarquia, ou seja, como organizações se distribuem no espaço, e cronologia, a ordem de organização temporal das mesmas.

As aplicações atuais da micropedologia são diversificadas em várias disciplinas, a depender dos interesses de pesquisa, são sintetizadas abaixo algumas principais, de acordo com Porta *et. al*. (1999) e Castro (2008):

Pedologia: gênese, morfologia e classificação, comportamento e funcionamento físico e geoquímico; uso, manejo e conservação; paleopedologia;

Geomorfologia: processos de transformações de paisagens (vertentes); depósitos correlativos; cronoestratigrafia;

Geologia: relações entre rochas e suas alterações; depósitos supérgenos; geologia aplicada; geotecnia;

Pré-história e arqueologia: detecção de fragmentos de materiais em depósitos; cronologia e hierarquia de depósitos; relações entre depósitos e características paleoambientais.

No Brasil, as primeiras publicações voltadas a micromorfologia de solos datam ainda da década de 1970, sendo a pioneira sobre revestimentos de argila (FALCI ; MENDES, 1973), com posterior publicação para a difusão das técnicas de impregnação de amostras (Mendes *et.al*.1973). Ainda, Perecim e Campos (1970; 1976) escrevem sobre argila iluviada na região de Piracicaba, e no mesmo ano Moura Filho e Buol sobre indicadores micromorfológicos de latossolos em Minas Gerais. Na década seguinte Lucas (1989) pesquisa a gênese de evolução de coberturas arenosas em sistemas em desequilíbrio pedobioclimático na Amazônia, ainda Castro (1989) demonstrou a modificação estrutural de B latossólicos em B texturais e a gênese de bandas onduladas no Planalto Ocidental Paulista. Filizola (1993) utilizou a técnica para observação da evolução da cobertura pedológica e a gênese de depressões fechadas na bacia sedimentar de Taubaté/SP; enquanto Dias Ferreira (1997) e Oliveira (1997) analisaram a transformação lateral de Neossolos Quartzarênicos em Argissolos, devido à coalescência de bandas onduladas, em São Pedro/SP. Buscando o uso da micromorfologia associada à ação biológica Miklos (1995) demonstrou a ação da fauna do solo na reorganização das estruturas de agregados em Botucatu/SP; Ladeira (1995) analisou formação de solos e couraças ferruginosas em Guaira/SP; Cooper (1999) pesquisou as transformações estruturais de horizontes B latossólicos em B níticos em Piracicaba/SP e mais recentemente Zaparolli (2009) identificou os diferentes tipos de transformações pedológicas em topossequência em Floraí/PR, e na mesma área Barreiros (2013) estudou a pedogênese de transições entre formações areníticas e basálticas.

Os trabalhos motivados pela ocorrência de processos erosivos utilizando a micromorfologia como um dos indicadores diagnósticos ainda são poucos e bastante recentes no Brasil, conforme revisão bibliográfica realizada. Para pesquisas sobre erosão linear, destacaram-se Salomão (1994), Santos (1995) e

Santos *et.al*. (1996) desenvolvidas em áreas onde ocorrem sistemas pedológicos de transformação pedológica lateral, do tipo Latossolo Podzólico, muito susceptíveis a esse tipo de erosão. Outros trabalhos seguiram, com problemáticas similares, (CUNHA, 1996; CUNHA; CASTRO, 1996; OLIVEIRA, 1997; DIAS FERREIRA, 1997), e ainda com estudos de erosões do tipo movimentos de massa (FURIAN DIAS, 1994; CUNHA, 1996).

De maneira geral, é possível afirmar em tais pesquisas que a micromorfologia enquanto subsídio para compreensão da gênese e dinâmica dos processos erosivos, permitiu inferências sobre o condicionamento dos fluxos hídricos no processo erosivo, onde ao assumirem direções descendentes laterais externas e internas, principalmente sub superficiais, formam lençóis suspensos acima dos horizontes B dos solos Podzólicos. Esses fluxos preferenciais se concentram a jusante, associando-se ao lençol freático, promovendo a subsidência dos terreno e retirada dos materiais (SALOMÃO, 1994) atrelados a uma sucessão de pipings. Também permitiram visualizaram de que maneira as microestruturas se apresentam e se comportam ao mesmo tempo, ora como motor dos processos de transformação, ora como consequência destes, condicionando os fluxos e revelando sinais evidentes de desestabilização das macro e microestruturas (CASTRO; CURMI, 1987; SALOMÃO, 1994; SANTOS, 1995; SANTOS *et.al.* 1996; CUNHA, 1996; CUNHA; CASTRO, 1996; DIAS FERREIRA, 1997; OLIVEIRA, 1997).

Baseados nesta revisão a micropedologia será então utilizada enquanto aporte técnico na presente pesquisa juntamente com os procedimentos de análise da paisagem e correlação do solo preconizados pela metodologia de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. A junção operacional de ambas metodologias permite realizar o movimento de escalas de observação do objeto, partindo da sistematização de grandes paisagens até chegar a escala nanoscópica de relações e processos que ocorrem no solo, e que promovem sua desestabilização, visualizadas em feições erosivas lineares.

5.3. Revisão de literatura e conceitos sobre processos erosivos lineares

A ocorrência de erosões são processos ambientais que preocupam cientistas de diversas áreas que se debruçam a estudar tanto sua dinâmica física, como as consequências socioambientais. Acreditando na interferência das atividades humanas nos fluxos dos sistemas ambientais físicos e o consequente reflexo na qualidade de seus componentes, e nas características estruturais e dinâmicas do meio, o conhecimento gerado através da micropedologia é essencial para compreensão dos elementos que constituem a dinâmica do ambiente sob escala microscópica, permitindo um diagnóstico, análise, avaliação e posterior considerações sobre práticas de manejo.

Limitando nossa atenção sobre a relação solo-paisagem, para a geomorfologia a erosão é vista como modelagem e esculturação do relevo, enquanto a visão pedológica aponta o processo como parte da degradação do solo (GUERRA; GUERRA, 1998). De qualquer modo, sua ocorrência afeta diretamente as

atividades humanas associadas ao uso e manejo da terra, e assim muitas são as definições em literatura que descrevem os tipos e mecanismos que configuram o processo erosivo. De acordo com Marques (2003) conhecendo-se a dinâmica desses processos, podem-se estabelecer categorias de sensibilidade e intensidade erosiva, avaliando assim as modalidades de uso do solo**.**

A definição de erosão hídrica é dada por Bertoni e Lombardi Netto (1985) como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água. Havendo condições favoráveis ao escoamento superficial das águas, observa-se esse transporte das partículas liberadas do solo por escoamento laminar ou difuso ou através de pequenos filetes, que em um estágio seguinte, por concentração de linhas de fluxo d´água na superfície do terreno, dá origem aos sulcos.

O escoamento superficial é tanto mais intenso quanto menor for a taxa de infiltração das águas pluviais no terreno. Por sua vez, a infiltração relaciona-se diretamente à permeabilidade do terreno, variando tanto pelo efeito da compactação promovida pela ocupação do solo, quanto pela intensidade e frequência das chuvas, natureza e organização do solo, inclinação, geometria e o comprimento das vertentes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

O escoamento laminar da água pluvial sobre os terrenos quando concentrado, resulta na formação de sulcos e ravinas, podendo evoluir para voçorocas. Enquanto o ravinamento se processa em função apenas da erosão superficial com linha de água apresentando grandes declives, canal profundo, estreito e longo, as voçorocas formam-se tanto devido à erosão superficial como à erosão subterrânea, com tendência tanto para alarga-se como para aprofundar-se, até atingir seu equilíbrio dinâmico (VIEIRA, 1978).

A respeito das classificações de formas, Guerra (1998) e Oliveira (1999) utilizam como critério de classificação o caráter dimensional das mesmas, sendo enquadradas como sulcos, incisões de até 50cm de largura e profundidade, acima desses valores, ravinas. Os sulcos e ravinas seriam então diferenciados pela profundidade da erosão linear canalizada pelo escoamento concentrado das águas.

As definições do termo voçoroca podem inclusive serem encontradas na toponímia da palavra, de origem tupi-guarani, com significado de “terra rasgada” ibi, terra, chão+ çorog, rasgar, romper) (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). A origem indígena do termo, também revela à ocorrência mais típica em regiões climáticas subtropicais.

De acordo com Salomão (1999) essas feições originam-se ao longo de linhas de drenagens superficiais, resultando em princípio, na formação de ravinas no solo, com típica seção em “v”. Ao avançar, o entalhamento atinge o lençol freático, havendo então, uma contribuição de águas subterrâneas no avanço do processo erosivo. A evolução em solos coluviais e porosos, por exemplo, de baixa coesão, tende por meio da ação das águas pluviais e do lençol freático acelerar o mecanismo erosivo e a recém-formada voçoroca passa adquirir a seção em “U” alargando-se e avançando rumo a montante da encosta, podendo ramificar ao longo dos fluxos superficiais (ravinas laterais associadas) ou subsuperficiais (por efeito do piping).

O desenvolvimento de voçorocas conectadas foi pesquisado por Baccaro (1999), que verificou que ao atingir camadas mais compactas e mais resistentes do arenito e conglomerados, a evolução deixa de ser predominante linear, passando para um recuo paralelo da vertente, por meio de processos de solapamento basal, subsidência e queda de materiais, condicionados pela exfiltração do pipe flows (fluxos em dutos) e pelo alívio de aquífero nas áreas de ressurgência.

Ainda acerca da dinâmica evolutivas dessas feições, Bigarella e Mazuchowski (1985) atentam para o caráter cíclico das voçorocas naturais, destacando a existência de quatro fases distintas referentes ao seu desenvolvimento: erosão do canal e encaixamento; retrocesso da cabeceira e rápido alargamento; recomposição e estabilização.

Indo além dos condicionantes físicos ambientais que deflagram o processo e pensando a respeito da gênese e intensidade dos mesmos, IPT (1980) classifica a erosão enquanto normal, quando há certo equilíbrio na natureza, e erosão antrópica quando o processo erosivo é acelerado por influência das atividades humanas. Também Blomm (1996) distingue a erosão por causas naturais ou provocadas pelo homem destacando sua ocorrência como prova de que as paisagens evoluem, podendo tais mudanças ocorrerem em escala natural, ou de forma acelerada quando comparada ao ritmo de formação de solo.

Condicionantes físicos ambientais:

Sendo a erosão um processo natural que pode ser agravado pela ação antrópica é consenso a existência de condicionantes físicos ambientais que de maneira dinâmica, atuam em sua intensidade. Listamos abaixo uma revisão de conceitos acerca desses principais condicionantes, que são interdependentes no ambiente, destacando maior desenvolvimento aos inerentes à escala micromorfológica do solo:

Chuva e a dinâmica hidrológica do solo

Dentre os agentes que contribuem para dinâmica erosiva a água tem vital importância, pois é um dos principais agentes modeladores da superfície terrestre e o melhor solvente natural existente no meio, que controla dentre outros fenômenos a formação e transformação dos solos e mantos de alteração rochosa, que resulta em diferentes feições geomorfológicas no ambiente terrestre. Portanto a compreensão do ciclo hidrológico é fundamental para entender as gêneses erosivas, Suguiu e Bigarella (1990) definem de maneira clara o ciclo hidrológico pela seguinte equação:

Precipitação= escoamento+infiltração+evapotranspiração

Em um esquema conceitual de modelagem a chuva ao atingir o solo pode percorrer concomitantemente cinco caminhos, em diferentes intensidades: a) ser retida pela vegetação, ou nas depressões do terreno e construções; b) infiltrar a pequenas ou grandes profundidades quando encontra boas condições de permeabilidade, podendo haver escoamento sub superficial; c) pode escoar superficialmente de forma laminar ou concentrada quando o volume excede a capacidade de infiltração; d) evaporar a partir das superfícies de retenção; e) ou evapotranspirar (ser liberada em forma de vapor pelas folhas das plantas), retornando ao estado gasoso na atmosfera.

O conhecimento do ciclo hidrológico assume importância fundamental no processo erosivo, já que essa parte da água da chuva que cai diretamente no solo pode ainda desenvolver vários mecanismos. De modo geral primeira causa o *splash* (salpico ou salpicamento), em seguida se infiltra, aumentando o teor de umidade ou mesmo saturando o solo, e finalmente pode se armazenar nas irregularidades do terreno formando as poças, que eventualmente poderão dar início ao escoamento superficial.

Quando discorremos sobre o efeito da chuva na deflagração de erosões esse estágio inicial do processo corresponde ao efeito *splash*, que é definido pela desagregação das partículas superficiais do solo causadas pelo impacto da gota da chuva. A respeito dessa gênese inicial Guerra e Guerra (1997) chamam *splash* como erosão por salpicamento que pode causar a ruptura dos agregados do solo, destacando que a ruptura dos agregados favorece o preenchimento de poros da superfície do solo, gerando um selamento, o que facilita assim o escoamento hídrico superficial, por dificultar a infiltração no terreno (GUERRA, 1999).

Do mesmo modo para Oliveira (1999) na erosão por efeito *splash* ocorre o deslocamento de partículas por impacto das gotas de chuva acarretando a compactação da superfície do terreno, por meio da remobilização de silte e argila dos espaços intergranulares, ocorrendo a erosão através da projeção de partículas para fora da zona de impacto.

De acordo com Salomão (1994) chuvas de alta intensidade e baixa duração podem causar maior impacto erosivo do que as chuvas de longa duração, com intensidade baixa, pois esta permite a infiltração de volumes menores de águas pluviais sobre o terreno. Percebe-se então a importância do regime (intensidade, distribuição e quantidade) de chuvas para a compreensão do estágio mais inicial do processo erosivo, na medida em que libera as partículas de solo para transporte pelo escoamento superficial, que pode se dar tanto pela ruptura dos agregados, tornando-os menores, como pela capacidade de transporte que o salpicamento realiza nas partículas do solo. É importante destacar que a ação do *splash* varia em função da erosividade da chuva e a erodibilidade do solo.

A energia cinética da chuva determina a erosividade do solo que é definida como a propriedade que as gotas da chuva têm em provocar erosão. São fatores que determinam a energia cinética a magnitude da precipitação, a altura da queda, massa, forma e volume das gotas, sendo que a ação do vento pode alterar os elementos citados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A erodibilidade do solo refere-se ao fato de alguns solos serem mais facilmente erodidos, diferença devido às propriedades inerentes do solo. Essas

propriedades que influenciam a erodibilidade pela água, são aquelas que: a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; b) resistem às forças físicas de dispersão, salpicamento, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Sendo a água um dos principais agentes deflagradores do processo erosivo e delimitando a preocupação central da pesquisa sob a ótica micromorfológica do solo, foi realizada uma revisão bibliográfica nos principais fenômenos da dinâmica hidrológica do solo, tanto em superfície quanto em sub superfície:

Infiltração da água

Um dos caminhos que a água da chuva pode percorrer em superfície é a infiltração que se refere a sua entrada no solo quando este favorece condições de passagem. A capacidade do solo em favorecer ou não a infiltração da água da chuva depende de fatores como a cobertura do solo ou condições de superfície, que segundo Custódio e Lhamas (1996) pode ser reduzida pela compactação natural, ou devido à manejo com máquinas.

Afirma Coelho Netto (1996) que as características físicas do solo podem definir as quantidades de chuva que infiltram ou excedem para escoar na superfície do terreno. Considerando que o caminho da água sobre a superfície é mais rápido e é cada vez mais lento em profundidade (exceto em fluxos desenvolvidos sob pipping) pode-se dizer que os solos (e suas variações morfológicas) condicionam o volume do escoamento de chuva, a sua distribuição temporal e as descargas máximas, tanto em superfície como em subsuperfície.

Condições ambientais como o teor de umidade antecedente também interferem na capacidade de infiltração do solo, de acordo com Guerra (1999) este satura mais rapidamente quando úmido, dando origem à formação de poças e ao escoamento superficial. Paralelamente, na medida em que o solo umedece as argilas e coloides incham por hidratação, fechando os poros e fissuras diminuindo em consequência a capacidade de infiltração.

Escoamento hídrico subterrâneo no solo

A partir do momento que a água se infiltra no solo sua movimentação ocorre no sistema poroso e pode se dar em fluxo saturado, fluxo não saturado e equalização dos vapores (BRADY, 1989). Para compreensão desses caminhos subterrâneos, Azevedo e Albuquerque Filho (1998) nos apresenta uma compreensão da infiltração de água em duas zonas, sendo o limite entre elas o nível de água ou nível freático;

1- Zona de aeração ou não saturada: situada imediatamente abaixo da superfície do terreno, onde parte dos espaços intergranulares está preenchida com água e a outra parte com ar, e;

2- Zona saturada: que ocorre logo abaixo da zona de aeração, onde todos os espaços intergranulares estão ocupados por água.

O movimento hídrico nos solos se processa de uma zona em que a energia livre da água é elevada para outra em que a energia é menor (diferença de potencial). Assim, ocorrerá movimentação de água de um solo saturado (alta energia livre) para outro seco (baixa energia livre). Conforme Brady (1989) energia livre é o termo utilizado para caracterizar a condição de energia da água, é o somatório de todas as outras formas de energias disponíveis para o trabalho.

Devemos admitir então que ocorrem movimentações internas que delimitam variações no potencial hidráulico (h), sendo que o fluxo sempre será dos pontos de maior para os de menor potencial hidráulico e não no sentido das menores pressões hidrostáticas. Inclusive, a água pode escoar de baixa pressão para zonas de alta pressão se a diferença do potencial hidráulico for favorável. A diferença do potencial hidráulico é denominada perda de carga que representa a dissipação de energia devido à resistência que o meio oferece ao fluido (AZEVEDO; ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

Como já discutido, a diferença de energia livre de um lugar para o outro adjacente assume importância, sendo esta diferença denominada potencial total de água do solo que determina o comportamento da água no solo. Sua dinâmica será regida pela soma dos potenciais resultantes das diversas forças que atuam sobre a água no solo, sendo estas: gravitacionais, matriciais e osmóticas (BRADY, 1989).

Sob a escala micromorfológica desses processos, de acordo com Brady (1989) exercem influência sobre a energia livre as forças de adesão ou atração dos sólidos do solo (matriz) pela água, que proporciona uma força matricial e produz uma redução na energia livre das moléculas de água adsorvida e mesmo sobre aquelas retidas mediante coesão. O potencial matricial é então a combinação de dois tipos de forças: adsorção e capilaridade. A adsorção se refere à atração dos sólidos do solo e seus íons permutáveis pela água; enquanto a capilaridade é a combinação de duas forças a) adesão, que é a atração da água pelos sólidos, nas paredes dos canais ao longo dos quais se movimenta, e b) coesão, que é a tensão de superfície da água, principalmente devida à atração entre das moléculas de água (BRADY, 1989). O efeito combinado da capilaridade e da adsorção cria o potencial matricial, não permitindo por isso o estudo em separado, pois a água dos meniscos capilares está em equilíbrio com a água da película adsorvida às partículas, e a modificação do estado de um deles implica nas modificações do outro (KIEHL, 1979).

Concomitante ao potencial matricial a atração de íons e de outros solutos pela água resulta em forças osmóticas que exercem tendência para reduzir a energia livre da solução do solo. O estado de energia livre reduzido da solução se constitui na movimentação osmótica de água pura através de uma membrana semipermeável para o interior da referida solução, sendo nomeado potencial osmótico.

A terceira força atuante sobre o potencial total de água no solo e sua dinâmica, se refere à ação gravitacional do campo terrestre, que tende a “puxar” o líquido para baixo, criando assim o fluxo gravitacional, sendo seu valor independente da matéria em solução, tendo um valor único para um dado gradiente hidráulico (h) (LIBARDI, 2005).

Apesar destes potenciais serem os mais significativos para interferirem na energia livre, Libardi

(1995) apresenta ainda outros potenciais que ocorrem no potencial total de água no solo, sendo estes: potencial químico de solução, potencial de temperatura, potencial de pressão (ação da sobrecarga dos sólidos) e potencial pneumático (variação da pressão do ar nos poros).

O entendimento do comportamento da água no solo em profundidade perpassa pela aceitação de que essa água não é pura e está submetida a forças diversas geralmente interdependentes (CUNHA, 2002). Tais forças descritas acima, se manifestam muito ou pouco, em razão das rápidas variações das condições físicas do meio, tornando as relações água/solo essencialmente dinâmicas. A energia potencial da água seria determinada pela posição espacial que ela ocupa no solo e pelas suas características internas naquele ponto, onde por exemplo, são intensificados os potenciais gravitacionais a depender da declividade do terreno, o que consequentemente afeta as outras duas forças, matriciais e osmóticas.

Assim, ressaltamos a importância do arranjamento físico da porosidade do solo, onde segundo Prevedello (1996:31) "*o armazenamento, a disponibilidade e transporte de solução e do ar no solo não só depende da porosidade total, mas também e principalmente, de como o espaço poroso total é distribuído por tamanho*". Os conceitos sobre porosidade são melhores discutidos no tópico sobre a importância dos atributos morfológicos do solo para os processos erosivos, mas são de vital relação sua estruturação perante à facilidade ou não de maior atuação das forças potenciais do solo.

Movimentos ascendentes de água no solo

De acordo com literatura revisada, o principal fator para ascendência de água no solo é a escassez de chuva e o descobrimento da superfície do solo pela cobertura vegetal. Com isso, os horizontes superficiais com baixas taxas de umidade, adsorvem moléculas de água por força higroscópica dos horizontes subjacentes.

Segundo Cunha (2002) a evaporação é a base do fenômeno de subida capilar, onde a água do solo ao passar para o estado de vapor na superfície do solo e nos poros dos horizontes superiores produz uma importante sucção capilar. Essa força, também chamada de potencial capilar é a responsável pela movimentação ascendente da água. Segundo Kiehl (1979) a expressão potencial capilar sugere que os poros do solo são semelhantes a tubos capilares de geometria perfeitamente definida: entretanto, o espaço poroso do solo é inteiramente irregular, resultante da maneira como suas partículas formam a matriz.

A distinção do processo acontece também em função do tamanho dos poros capilares, os maiores permitem uma ascensão rápida, entretanto com uma altura fraca, pois a gravidade equilibra ligeiramente o potencial de sucção, enquanto os poros mais finos permitem elevações notadamente mais significativas (RIOU, 1990). Para Brady (1989) a altura de elevação no tubo capilar é inversamente proporcional ao diâmetro do tubo e diretamente proporcional à tensão de superfície que é determinada em grande parte pela coesão entre as moléculas da água.

Voltando nossa preocupação novamente para solos arenosos como os da área de estudo, Kiehl (1979) aponta que nesses solos característicos por apresentarem partículas e poros relativamente grandes, o fenômeno de adsorção é menos importante, predominando os fenômenos capilares na determinação do potencial matricial. Enquanto que em solos com textura fina, ocorre o contrário. O mesmo autor discorre ainda sobre as variações no potencial, que também se dão para um mesmo solo com diferentes teores de umidade. Assim, quando os solos estão relativamente úmidos, as forças capilares são as mais importantes, quando a umidade vai decrescendo, as forças de adsorção vão tornando as preponderantes no processo de retenção de água.

De modo geral, apesar do princípio de capilaridade ser tradicionalmente mostrado como um ajustamento para cima, também se realiza estes movimentos em qualquer direção, em atendimento à capilaridade, pois existe a mesma atração básica entre a água e os poros do solo, tanto no sentido vertical, quanto horizontal (BRADY, 1989).

Movimentos laterais de água no solo

Considerando a lateralidade de movimentação de fluídos no solo também Brady (1989) apresenta que o fluxo de água em estado líquido se processa em função de um gradiente no potencial da água do solo de uma zona para outra (zona saturada para zona não saturada). Acerca das energias necessárias para ocorrência desses fluxos laterais, o chamado estado de energia (h) da água em um meio poroso, é a soma das componentes energéticas de posição (z) e de pressão (p/og), sendo que a primeira é medida a partir de um plano de referência dado e a segunda pela altura da carga líquida sobre o ponto considerado (PREVEDELLO, 1996).

Como principal processo associado a essa translocação sub superficial podemos citar o fenômeno de “piping”, que pode se desenvolver por arraste de partículas no interior do solo ou mesmo no interior de maciços rochosos pela concentração de linhas de fluxo da água subterrânea, ao longo de descontinuidades ou vazios provocados por atividade biológica Prandini *et. al*. (1974).

A movimentação lateral de água em subsuperfície que a partir de uma vertente se dirige para os fundos de vale, pode implicar na instalação do piping ou duto natural formado pela remoção de partículas pelo fluxo hídrico. Sempre que ocorre desequilíbrio no movimento desses fluxos e nas taxas de infiltração e escoamento superficial, a cobertura do solo pode sofrer também desequilíbrio (SALOMÃO, 1999).

Assim, as voçorocas estão associadas às águas superficiais e subsuperficiais, por meio do fenômeno de piping, que consiste na tubulação natural ou erosão interna do solo, exfiltrando nos taludes na forma de surgências d´água, que podem provocar o seu solapamento aumento a sua dimensão, e promovendo a subsidência e mesmo o abatimento de terrenos (IPT, 1990; SALOMÃO, 1994;1999).

Características morfológicas do solo

Sendo o solo o principal foco de degradação dos processos erosivos é intrínseco estabelecer que algumas características morfológicas como cor, textura, estrutura, densidade e porosidade são essenciais para menor ou maior grau de desenvolvimento da dinâmica erosiva.

De acordo com Salomão (1999), a matéria orgânica e compostos de ferro são os principais responsáveis pela coloração, e ainda são constituintes que favorecem agregação e coesão dos solos, os tornando mais estáveis.

Já a textura que se refere à frequência das partículas de areia, silte e argila, estão diretamente associadas à porosidade e coesão das partículas de solo. Onde então se pressupõe que em um solo arenoso, poroso, a infiltração está favorecida, em detrimento, porém de uma baixa coesão entre os grãos, o que facilita assim o arraste ou transporte dos mesmos quando escoamento superficial for competente.

Um mecanismo também diretamente influenciado pela textura do solo e já apresentado é a infiltração, de acordo com Klar (1991) solos de textura mais grossa podem ter taxas de infiltração superiores a 25cm/h, e os argilosos, valores próximos a zero, em caso de solos sem estruturação ou maciços.

Abrangendo ainda a composição mineralógica presente no solo, conforme o argilo-mineral presente, pode haver comportamento erosivo diferenciado. Sobre o assunto Salomão (1999) afirma que as argilas esmectitas são pouco estáveis em água, ao contrário das caulinitas, sendo as ilitas as de comportamento intermediário.

A organização e arranjamento desses minerais e demais constituintes sólidos do solo, configuram sua estrutura, outro fator influenciador nos processos erosivos. Estruturas *poliédricas e prismáticas* apresentam um fraco grau de desenvolvimento de seus agregados, sendo então menos resistentes à ação erosiva. Já uma estrutura microagregada ou granular, com forte porosidade, favorece infiltração da chuva, reduzindo escoamento superficial. Castro (2002) apresenta uma classificação quanto às dimensões de poros (Tabela 1):

CLASSIFICAÇÃO	Subclassificação	Dimensão	Observação
Macroporos	Grosseiros	> 5000um	Olho nu
	Médios	2000-5000um	
	Finos	1000-2000um	
	Muito Finos	75-1000um	Microscopia óptica
Mesoporos		30-75um	
Microporos		5-30um	
Ultramicroporos		0,1-5um	Ultramicroscopia
Criptoporos		<0,1um	

Tabela 1: Classes de porosidade do solo (adaptado de BREWER, 1976).

A relevância do sistema poroso repousa pelos diversos processos de transporte e circulação de água que ocorrem nos poros em função das formas e dos tamanhos dos mesmos.

Outro atributo morfológico importante que interfere na porosidade do solo e, por conseguinte na circulação hídrica, é a densidade. Definida como a relação volume/massa total presente no solo, fatores de uso e manejo do solo afetam diretamente a densidade, podemos citar a compactação mecânica ou animal como exemplo que reduz o espaço macroporoso do solo, os tornando menos propício à infiltração. Com a diminuição da infiltração das águas pluviais, o escoamento superficial se torna mais acentuado, podendo seguir caminhos preferenciais, o que em solos desprotegidos de vegetação resulta em sulcos.

A respeito de caminhos preferenciais para escoamento, é de vital importância reconhecer como já apontado na discussão conceitual sobre infiltração, a existência de uma circulação subsuperficial de fluídos e matéria no solo em constante translocação, transformação, adições e perdas em função dos fatores topográficos já apresentados.

Quando pensamos na dinâmica erosiva sob escala micromorfológica do solo, e em umbilical relação com a paisagem, é relevante destacar que a organização estrutural, textural e de porosidade do solo resultam dos processos pedogenéticos associados à dinâmica morfogenética do meio. E, a evolução dinâmica e formação desses fatores são bem mais lentos que a velocidade de sua degradação.

De acordo com Silva (1999) a identificação do arranjo das partículas de solo, da geometria de seus horizontes e o consequente reconhecimento da circulação lateral subsuperficial da água, a partir de uma abordagem predominantemente morfológica em topossequência pode contribuir de maneira significativa para o melhor equacionamento dos fluxos hídricos, e assim para um melhor diagnóstico sobre o processo erosivo.

Cobertura vegetal

A importância da cobertura vegetal para a incidência do processo erosivo repousa na proteção física contra o impacto direto da chuva no terreno, atuando assim como dispersora de energia das águas do escoamento superficial (IPT 1990; BERTONI; LOMBARDI NETTO, 2010; SALOMÃO, 1999). A vegetação age ainda promovendo o aumento de infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes e ainda no aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo, por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica ofertada ao meio. Do mesmo modo e associado a presença de cobertura vegetal há o fenômeno de evapotranspiração do solo definido como a soma da transpiração das plantas com a evaporação das superfícies, incluindo a do solo. Como é praticamente impossível se distinguir o vapor d´água proveniente da evaporação da água no solo e da transpiração das plantas, a evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas.

A evaporação é o processo físico de conversão da água em vapor. Ocorre sempre que houver um gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante, que é altamente sensível à variação da temperatura e ao ar, cessando quando a umidade relativa do ar é 100%. A presença da floresta protege a superfície do solo dos efeitos da radiação solar e do vento e aumenta a superfície ativa, reduzindo dessa

forma, a evaporação direta pelo piso florestal. No caso das áreas florestadas, a evaporação da água do solo ocorre pelo processo da transpiração. A evaporação direta da água do solo causa um secamento intenso, embora seja um fenômeno superficial. O secamento dessa camada superficial depende da textura do solo e, com as condições climáticas adequadas, passa a agir como barreira artificial ao secamento das camadas mais profundas. Cardoso *et al*. (2006) afirmam que a quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode representar uma grande diferença na produção de água pela bacia.

A transpiração é influenciada por inúmeros fatores tais como o clima, idade e espécie da planta, umidade do solo, entre outros, fatores que geram uma grande variação espacial em uma mesma área florestal (ROBERTS, 1983).

A taxa de evapotranspiração do solo exerce importante papel nos valores de umidade bem como na atividade biológica e presença de matéria orgânica disponível, onde quanto maiores seus valores, maiores as possibilidades de os solos serem bem estruturados e com porosidade adequada para uma infiltração equilibrada, fatores essenciais que evitam ou retardam a incidência de processos erosivos (COELHO NETTO, 1985).

Topografia

A importância do relevo enquanto condicionante erosivo tem papel intrínseco com o regime hídrico, Vitte (1997) aponta que o fator topográfico é constituído por duas variáveis do relevo que modificam a ação exercida pela água pluvial, sendo estas: o comprimento da rampa e o declive. Experiências mostram que quanto maior comprimento da encosta, maior erosão do solo e que à medida que as encostas são mais longas, aumentam o volume e a velocidade (energia) de água que escoa em uma seção transversal da vertente, e junto a isso, a capacidade de remover os detritos. Por outro lado, quanto mais longo for o percurso de escoamento superficial, maior será a possibilidade da água se infiltrar ou evaporar, de acordo com as condições (climáticas e topográficas).

Aprofundando a discussão conceitual acerca dos parâmetros físicos da forma da vertente, D´Agostini (1999:50) afirma que "*a declividade e o comprimento de rampa, são a imagem geométrica de uma função que descreve a dinâmica de fluxo e energia mecânica da água que escoa sobre o solo*". Portanto, a capacidade de produzir erosão é propriedade da energia de velocidade, resultante da energia potencial transformada segundo as características de um espaço geométrico (percebido pelo comprimento e inclinação do terreno).

Analisando a correlação da posição do relevo e a incidência de feições erosivas Salomão (1999) aponta serem maiores as concentrações de ravinas e voçorocas em relevos mais movimentados constituídos por morrotes alongados e colinas médias, mostrando grande influência da declividade e tamanho menor dos interflúvios, que favorecem a concentração de águas superficiais. O mesmo autor afirma que concentrações significativas de voçorocas em colinas médias podem ser explicadas pela presença comum

nessas formas de relevo, de rupturas de declive, especialmente nos setores inferiores na vertente, junto às cabeceiras de drenagem. Demonstra-se assim a feição morfológica como condicionante importante para a deflagração de processos erosivos.

Em suas pesquisas no Planalto Ocidental Paulista, Salomão (1999) constata a instalação preferencial das ravinas e voçorocas em setores retilíneos de determinadas tipologias de vertentes, situados junto a rupturas de declive no terço inferior das cabeceiras de drenagem, devido a facilidade de concentração das águas superficiais pelas rupturas de declive, favorecendo o ravinamento.

Geologia

Condicionantes geológicos podem gerar alguns fatores de desencadeamento dos processos erosivos pois formam a plataforma de sustentação pedológica e geomorfológica, a qual pode apresentar instabilidade. Destaca-se especial atenção, por haver correlações com a geologia associada para a presente área de estudo, a afirmação de Salomão (1999) que ainda em pesquisas para seu doutorado conclui que a ocorrência generalizada de focos erosivos, quando associadas a substratos areníticos, de fundos de vale preenchidos por depósitos coluvionares areníticos, são depósitos altamente suscetíveis ao desenvolvimento dos processos erosivos, favorecendo a ocorrência de ravinamento do tipo reativação de drenagens naturais. O autor conclui com base em revisão de literatura sobre o tema que, a principal razão do surgimento de erosões lineares em sedimentos arenosos deve-se ao fato dessas formações apresentarem em geral, descontinuidades litológicas que favorecerem o desenvolvimento de solos de textura média e arenosa e o aprofundamento da alteração (SALOMÃO, 1999).

Uso de equações

Como métodos de pesquisa e avaliação do potencial erosivo nas paisagens existem muitas equações empíricas para avaliar perdas de solo por erosão, que nascem fruto de uma preocupação central principalmente para a agricultura. Os primeiros métodos para avaliação datam de 1940, nos Estados Unidos (BERTONI; LOMBARDI NETTO, 2010) enquanto no Brasil as primeiras pesquisas sobre equações de perda de solo foram desenvolvidas por Bertoni *et. al.*, (1975) utilizando dados existentes para as condições ambientais de São Paulo. Nesta pesquisa definem a erodibilidade do solo como a razão entre a dispersão (teor de argila natural/teor de argila dispersa) e a relação argila dispersa/ umidade equivalente.

Um procedimento comumente difundido é a Equação Universal de perdas de solo, (A=RKLSCP) que relaciona as perdas de solo por erosão (A) com a erosividade das chuvas (R), a erodibilidade dos solos (K), o comprimento e declividade das vertentes (L e S), e com variáveis dependentes do manejo e das práticas de conservação adotadas (C e P). Abrangendo assim a maioria dos condicionantes que agem na deflagração dos processos erosivos e criando para um deles cálculos e padrões numéricos para uniformização das estimativas. Os usos de equações matemáticas retratam mais uma ferramenta para planejamento de uso e conservação do solo através de dados experimentais.

5.4 A análise de imagens e a identificação do sistema poroso

Conforme já discutido, a micromorfologia enquanto ferramenta utiliza técnicas de microscopia para identificar os constituintes do solo e determinar suas relações mútuas, no espaço e no tempo (STOOPS, 2003). Deste modo, ao se utilizar a micromorfologia em combinação com outros mecanismos de análises de solo há a possibilidade de se integrar e sintetizar processos, entendendo os efeitos da diversidade do solo desde a paisagem até a sua escala enquanto microestrutura.

Quando pensamos em atributos condicionantes do solo que influenciam em seu comportamento e dinâmica, a porosidade torna-se essencial, incluindo sua distribuição e tamanho, pois influi diretamente nos fenômenos de armazenamento e movimento de água e gases, agentes em constante movimento no sistema solo. O arranjo físico desse sistema, a estrutura, é um atributo de difícil de definição ou quantificação (SOUTHORN, 2002), e assim, a estimativa da distribuição do tamanho dos poros é um importante parâmetro para análises relacionais. A análise de imagens pode ser utilizada para determinar tamanho e distribuição (STOOPS, 2003) do sistema poroso no solo. A caracterização da porosidade por análise de imagens de lâminas delgadas pode fornecer de acordo com Pagliai (2002) informações mais detalhadas sobre as condições de estrutura do solo e espaço poroso, sendo considerado um bom indicador da qualidade física do solo. Os primeiros trabalhos que utilizaram análises de imagens nos estudos da estrutura e dimensão de macroporos no solo obtinham imagens em primeira e segunda dimensão. Ringrose-Voase e Bullock (1984) descreveram um sistema chamado ANOPOR, o qual alocava planos individuais vistos em segunda dimensão como resultado de espaços porosos seccionados em imagens de classe de formas de poros. Porém, este sistema não podia ser utilizado quando o espaço poroso estava altamente associado à imagem 2-D, porque não contava com o espaço poroso que existia em discretos planos de poros seccionados. Devido a esse empecilho foi desenvolvido o sistema ANOSOL (RINGROSE-VOASE, 1990), o qual permite a quantificação de dados obtidos por qualquer imagem da estrutura do solo. Este sistema é baseado em imagens de primeira dimensão, usando linhas de interceptação através da estrutura, permitindo o estudo de componentes como espaços poroso e sólido do solo.

Utilizando as lâminas delgadas de solo, a área dos componentes observados em uma lâmina corresponde a proporções volumétricas dos componentes em uma massa heterogênea, e assim, imagens bidimensionais podem ser relacionadas às três dimensões da realidade. Ajustando a parametria física às análises micromorfológicas de solo, Moran *et.al*. (1988) define o termo “poroide” às redes de poros visualizadas em imagens bidimensionais, pois não representam a continuidade entre indivíduos de poros tridimensionais. A continuidade horizontal e vertical dos poros do solo é uma característica importante da estrutura do solo, influenciando as taxas de infiltração e os processos de aeração. Os poros de empacotamento que resultam da aproximação de grãos de material grosseiro ou agregados são irregulares,

orientados ao acaso e fortemente interconectados. As cavidades são relativamente grandes com formas esféricas e alongadas às vezes irregulares, não estando interconectados com outros. Os canais são alongados, com formas mais ou menos cilíndricas, paredes relativamente lisas, diâmetro praticamente constante na maior parte do seu comprimento e bastante interconectados com outros poros. As câmaras são poros cavitários, interconectados por canais. As vesículas são poros semelhantes às cavidades com paredes alisadas e forma bem arredondada e regular. As fissuras possuem um dos seus eixos geométricos muito menor que os outros dois, paredes irregulares sendo formados pela contração do solo (CASTRO *et al*., 2003). Ringrose- Voase (1991) sugere ainda um sistema de classificação dos poros em função da estrutura no qual os poros estruturais são formados por poros de empacotamento, e fissuras e poros não estruturais seriam as cavidades, canais e vesículas, que podem ocorrer dentro ou através dos níveis de organização do solo.

Quanto às pesquisas que já se utilizaram das técnicas de análises de imagens para quantificação da porosidade sob diferentes objetivos, Souza *et al*. (2006), estudando a micromorfologia de um Latossolo Vermelho Eutroférrico cultivado com cana de açúcar e sua relação com os atributos físicos do solo, por meio de observações microscópicas das lâminas delgadas, constataram diferenças na geometria do espaço poroso em consequência de alterações causadas pelo manejo. Os valores médios da densidade do solo observados foram de 1,38 a 1,41 kg dm-3. O estudo de bioporos em pomar de laranja, realizado por Lima *et al.* (2005) mostrou maior porosidade total na área de mata, sendo todos os poros oriundos de atividade biológica quando comparado ao pomar de laranja. A avaliação das alterações na macroporosidade de um Latossolo Vermelho submetido ao cultivo de café, milho e eucalipto, resultou na formação de fissuras paralelas na superfície (0,10 - 0,15m) na área com milho. Nas áreas cultivadas com café e eucalipto, a distribuição de poros mostrou-se homogênea, com a predominância de câmaras e cavidades na área com eucalipto e cavidades e canais na área com café (MORAES, 2006). A análise de imagens de blocos de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta, preparo convencional e mata, feita por Encide (2005), mostrou que a área de mata apresentou a maior porcentagem de macroporos, 17,74%, enquanto o preparo convencional e semeadura direta 10,10% e 7,14%, respectivamente. Soares, Espindola e Castro (2005), estudando uma sequência topográfica de um Latossolo, em área cultivada com citrus, observaram pela análise das lâminas delgadas de solo a presença de estruturas modificadas pelo uso agrícola, em subsuperfície, com alterações estruturais observadas pela modificação na geometria dos poros, surgindo poros planares, bem como estruturas em blocos. A ocorrência de compactação na camada superficial do solo, dá origem aos poros denominados fissuras ou planares, os quais promovem grande redução na taxa de infiltração de água (SOARES, ESPINDOLA; PEREIRA, 2005). Lima *et al*. (2005) e Pagliai (1987) citam os poros fissurais como indicativos de processos de estresse físico do solo. De acordo com Mermut (1992), fissuras apresentando formas alongadas, curvadas e acomodadas, caracterizam processos de umedecimento e secagem do solo. Souza et al. (2006), associam a presença de poros arredondados com

menor condução de água ao longo do perfil, em razão da provável baixa conectividade entre esses poros, enquanto poros complexos contribuem de forma inversa para a infiltração de água no solo (COOPER, 1999; FOX; BRYANT; FOX, 2004).

CAPÍTULO 6. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

6.1 Níveis de organização da pesquisa

Uma das maiores contribuições da pesquisa ambiental e mais precisamente nas pesquisas acerca da relação solo-paisagem, é a abordagem multiescalar, isto é, a constante aproximação e distanciamento dos objetos em estudo. Nisto repousa a constante necessidade de entendermos onde estamos trabalhando na escala do espaço. Os níveis de organização pedológica estão embutidos uns nos outros e constituem unidades de medida que implicam em ordens de grandeza extremas, variando do quilômetro (km) ao nanômetro (CASTRO, 2008).

Na presente pesquisa partimos da visão sistêmica de correlação e interdependência dos fatores físicos ambientais, que tem como expressão areal deste conjunto de interações, o conceito de bacia hidrográfica. Definida essa megaescala, e admitindo a bacia hidrográfica enquanto um conjunto de unidades estruturais destacando-se as formas do relevo representadas pelas vertentes e relacionadas diretamente com os canais fluviais, podemos subdividi-la em compartimentos em função das relações solo relevo geologia que se estabelecem no meio, e de acordo com os objetivos da pesquisa. Assim poderemos individualizar a paisagem em setores representativos no que concerne a relação solo paisagem e aqui especificamente, a ocorrência de processos erosivos lineares. Este caminho multiescalar de observação e estudo, é sintetizado no quadro abaixo (Tabela 2):

NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA					
Nível de organização	**Paisagem**	**Sistema Pedológico em continuum**	**Sucessão vertical de horizontes**	**Horizontes de solo**	**Agregado elementar**
Escala intrínseca do nível	Megascópica	Macroscópica		Microscópica	Nanoscópica
Ordem de grandeza aproximada do nível	km-hm	hm-dam	dam-m	m-cm	mm-nm
Unidade de organização do nível	Sistema pedológico em continuum	Sucessão vertical de horizontes	Horizontes de solo	Agregado elementar	Constituintes do agregado elementar
Técnica de observação do nível	Direta a olho nu			Olho nu ou lupa	Microscopia óptica

Tabela 2: Níveis de organização pedológica (Adaptado de CHAUVEL, 1979).

Chegando ao nível microscópico de compreensão do solo é essencial o caminho de interpretação de seus processos e dinâmicas, calcados também na escala da paisagem, de onde partiu a aproximação metodológica e define a escala de uso e ocupação humana.

6.2. Fluxogramas Etapas da Pesquisa

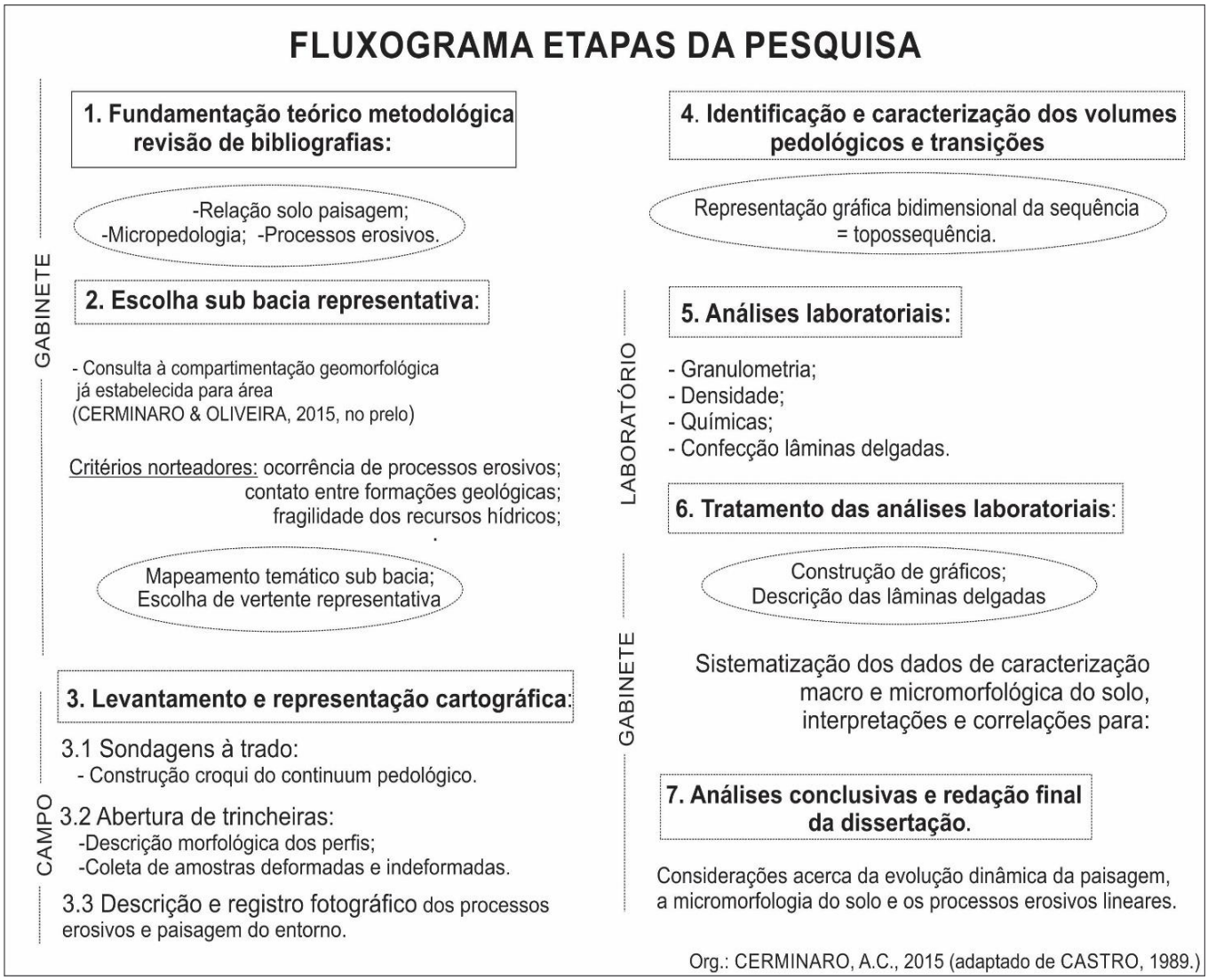


Figura 8: Fluxograma de etapas da pesquisa.

6.3 Etapas da pesquisa:

<u>1ª ETAPA: Revisão Bibliográfica:</u>

A etapa inicial foi de busca, leituras, fichamentos, organização e sistematização de referências bibliográficas dos temas que perpassam e justificam o projeto de pesquisa. O produto final desta primeira etapa é o capítulo que discorre sobre a fundamentação teórico e metodológica escolhida, bem como os conceitos que as definem, e as referências metodológicas e técnicas utilizadas ao longo da pesquisa.

No entanto, a leitura de novos textos é um processo contínuo ao longo da execução do projeto, na medida em que, a execução de novas etapas metodológicas exigem o aprimoramento do conhecimento técnico e criam constantemente novos questionamentos.

2º ETAPA: Escolha sub bacia representativa;

A escolha da área de estudo partiu de pesquisas já realizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão, onde foi sistematizada uma compartimentação geomorfológica com base nas relações dinâmicas de comportamento entre solos, relevo e geologia (CERMINARO & OLIVEIRA, no prelo, 2015). A bacia hidrográfica do Ribeirão Feijão possui uma área total de 240km², abrangendo em seus limites naturais três municípios: São Carlos, Analândia e Itirapina, sua enorme extensão permitiu a continuidade de pesquisas, a partir da seleção de um compartimento de maior fragilidade ambiental, expresso pelos maiores valores de declividade, maior número de nascentes e onde foram visualizados grandes focos erosivos na paisagem, para estudo detalhado da cobertura pedológica. Os critérios norteadores bem como a descrição resumida desta pesquisa anterior, compõem a terceira etapa metodológica e o capítulo de caracterização da área de estudo, onde é apresentado o caminho sob a escala da bacia hidrográfica (do Ribeirão Feijão), à seleção da sub-bacia do Laranja-Azeda (principal córrego afluente) até a vertente (Topossequência Manacá), metodologicamente indo da paisagem ao microscópio.

3º ETAPA: Levantamento em campo e caracterização da área de estudo:

Escolhido o compartimento geomorfológico mais representativo aos objetivos da pesquisa, foi delimitada a área da sub-bacia que o mesmo compunha (Laranja Azeda), sendo realizada toda caracterização física ambiental da paisagem. Foram confeccionados produtos cartográficos no software ArcGis (9.1), como: Mapa de Localização; Modelo Digital de Terreno; Mapa Clinográfico; Mapa Hipsométrico; Mapa de Formações Geológicas e Mapa Pedológico.

Escolha da localização de vertente representativa:

De porte do conhecimento de caracterização da área de estudo, foram realizadas as primeiras saídas de campo para escolha de uma vertente representativa, que tiveram ainda como critérios, o uso degradante do solo, com desmatamento e criação de gado; e a ocorrência de processos erosivos lineares de grande intensidade em um curto espaço/tempo.

A vertente que preenche esses requisitos (Figura 9 e 10) encontra-se em uma pequena propriedade denominada Sítio Manacá, com aproximadamente 7 hectares, com acesso por estrada de terra por 3 km a partir do Km 226 da Rodovia Washington Luís (SP-310). Em seus limites existe uma nascente de um pequeno córrego, afluente do Laranja-Azeda, e que corta toda propriedade. Com uma diferença altimétrica de aproximadamente 400m, são identificadas cerca de 6 grandes voçorocas e dezenas de ravinamentos no sítio. O uso da terra atualmente encontra-se para pastagem, existindo apenas cultivos para subsistência. A vegetação é diversificada entre pinheiros, e cerradão. A formação geológica identificada no mapeamento para o local é de transição entre as Formações Botucatu, Serra Geral e Depósitos colúvio-eluvionares, sendo bem próximas ainda as ocorrências da Formação Itaqueri. No mapeamento pedológico, predominam Neossolo Litótico e Neossolos Quartazênicos + Latossolo Vermelho Amarelo.

Figura 9: Fotografia a partir do topo da vertente escolhida para estudo em topossequência (Foto: Ana Clara Cerminaro, agosto de 2014).

Figura 10: Fotografias panorâmica dos processos de voçorocamento que ocorrem no sopé da vertente em estudo. (Foto: Ana Clara Cerminaro, agosto de 2014).

As variações altimétricas, a existência de grandes processos erosivos lineares em pleno desenvolvimento no local, demonstram a evolução dinâmica do relevo, com processos de dissecação e morfogênese atuando na área. O desequilíbrio desses processos, expressivos nos voçorocamentos, se torna um agravante por ser a região uma área de mananciais, o que justifica assim a preocupação socioambiental em compreender a dinâmica do solo sob escala micromorfológica.

A escolha da localização da topossequência foi feita de modo que abrangesse uma vertente com grado direto para o córrego, situada entre duas voçorocas em desenvolvimento. O comprimento da vertente

é de aproximadamente 170m, entre o topo e a planície fluvial, sendo uma vertente de forma suave ondulada convexa.

Esta segunda etapa de trabalho, compõe o Capítulo 3 de caracterização da área de estudo.

4º ETAPA: Campanhas de trabalhos de campo:

As campanhas de trabalho de campo aconteceram no segundo semestre de 2014 e compuseram a 4º etapa programada de atividades a serem executadas na pesquisa. A campanha em campo englobou duas fases: levantamento e representação cartográfica da vertente; e coleta de amostras deformadas, indeformadas e descrição morfológica dos volumes pedológicos. Abaixo, a descrição detalhada de cada uma das fases, o tempo desprendido, bem como seus objetivos:

Fase 1- duração: 1 dia: Levantamento topográfico e desenho da vertente:

Após esta primeira etapa de seleção e descrição da vertente, se iniciou os trabalhos de campo para o levantamento topográfico do eixo selecionando para construção da topossequência em si. Os instrumentos utilizados foram trena, altímetro e clinômetro de bolso, e permitiram a medição de declividade, distância total do topo à base da vertente e conjunção desses dados para a construção em gabinete do perfil topográfico.

Fase 2- duração: 7 dias: Coleta de amostras deformadas e indeformadas, descrição morfológica dos perfis:

Com o desenho cartográfico de representação da vertente, foram realizadas sondagens com trado holandês longo da transeção. O objetivo foi de coleta de pequenos testemunhos que permitissem uma inicial caracterização morfológica dos principais horizontes pedológicos e suas relações espaciais verticais e laterais ao longo da encosta.

Foram realizadas um total de 7 tradagens, que chegaram até a profundidade de 4 metros e meio, com coleta a cada 10 cm e descrição no que concerne os aspectos de: cor, textura, feições pedológicas visíveis e provável estrutura.

Com base na análise das descrições, foi possível selecionar locais representativos para abertura de trincheiras ao longo da vertente, que permitissem a visualização de variações verticais em perfis de solo e posteriormente reconhecer as variações laterais existentes entre estes perfis na construção da topossequência. Foram abertas três trincheiras, no topo, meio e base da encosta, onde foram realizadas a descrição morfológica dos horizontes pedológicos, com base nas orientações publicadas pela EMBRAPA (1997;2006). Importante ressaltar que a abertura das trincheiras nos locais selecionados, buscou a caracterização dos dois sistemas pedológicos desenvolvidos sob o material de origem das duas diferentes formações, sendo um no topo e outro na base da vertente. A terceira trincheira foi alocada pensando na transição entre esses dois sistemas, mas por motivos de intervenção com tratores para realização de terraplanagem pelos proprietários do sítio, não foi possível sua abertura no local exato sinalizado pelas

tradagens anteriores.

Foram então, coletadas amostras deformadas para análises físicas e químicas, e indeformadas nos principais horizontes e suas transições, totalizando 12 amostras indeformadas para confecção de lâminas delgadas de solo, e 9 amostras indeformadas em anéis volumétricos para quantificação de umidade e porosidade do solo (Figura 11).

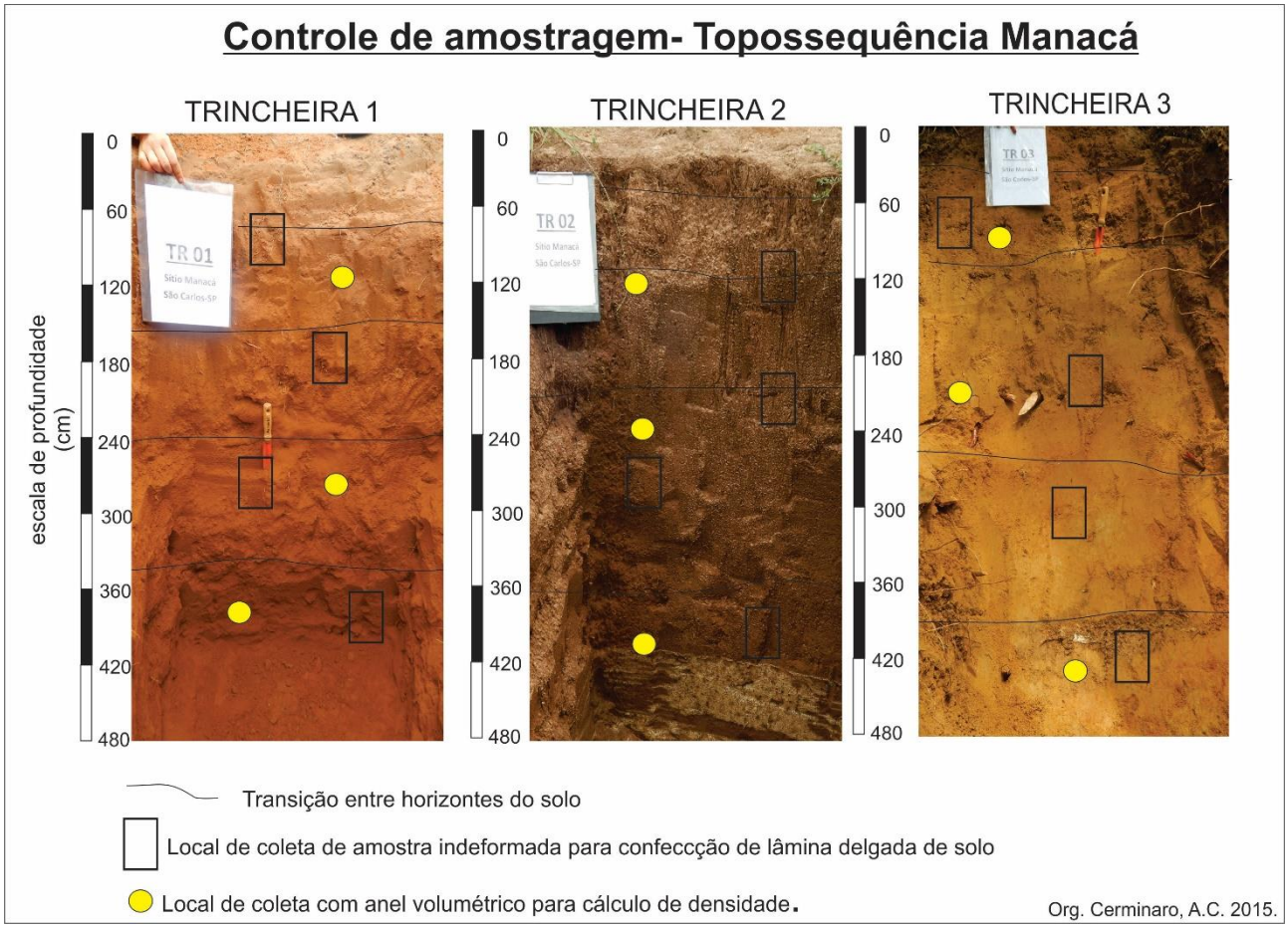


Figura 11: Controle da localização das amostras indeformadas coletadas nos perfis das trincheiras 1,2 e 3.

5º ETAPA: Análises de laboratório;

A escolha e seleção dos tipos de análises laboratoriais que foram sujeitas à amostragem, teve como referência a preocupação em oferecer subsídios para compreensão da dinâmica dos componentes químicos básicos do solo, visando sua interpretação quanto ao comportamento morfológico do solo. Assim foram realizadas análises granulométricas e químicas para fins de classificação das amostras deformadas coletadas na abertura de trincheiras ao longo da topossequência.

Todas as amostras químicas, físicas e para confecção de lâminas delgadas, foram enviadas para análises nos laboratórios da ESALQ/USP, conforme descrição abaixo:

Química para fins de classificação:

pH em H2O e/ou pH KCl 1 mol L-1 e/ou pH CaCl2 0,01 mol L-1

a) Métodos: C.O. e M.O.(1) - Dicromato/colorimétrico; C.O. e M.O.(2) - Dicromato/titulométrico;.Cond. elétrica - condutivimetro; Nitrogênio total - digestão sulfúrica/Kjeldahl; N-NO3- e N-NH4+ - MgO-Liga devarda/Kjeldahl

b) Unidades: pH (adimensional); C.O. e M.O.(1) (g dm-3); C.O. e M.O.(2) (g kg-1); C.E. (µS cm-1); Nt, N-NO3- e N-NH4+ (mg kg-1)

Análise granulométrica:

Areia Muito Grossa, Grossa, Média, Fina, Muito Fina e Total, Silte, Argila

a) Métodos 1.3: Areia - pesagem; Argila - densímetro (com dispersante, sol. hidróxido de sódio e hexametafosfato de sódio e ou dispersa em água);

b) Unidades: Areia (s), Silte e Argila (g kg-1); Grau de Floculação (%)

Umidade e porosidade do solo (indeformadas coletadas com anel volumétrico)

Umidade (%) e/ou Unidade volumétrica (cm-3 . cm-3)
Porosidade total (cm-3. cm-3) e/ou Porosidade efetiva (cm-3.cm-3)

Para uma adequada interpretação dos mecanismos principalmente físicos do solo, suas propriedades e comportamentos dos materiais, foram estimadas análises físicas, através de amostras coletadas com anel volumétrico (5cm de diâmetro), de onde foram extraídos dados de densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds). Expressa pela relação entre massa total das partículas do solo e o volume total das mesmas, a densidade de partículas não considerar o espaço poroso entre elas, expressa-se em g/cm³, e no geral, considera-se seu valor médio de 2,65 (Brady, 1989). Assim se um metro cúbico (m³) de sólidos do solo pesa 2,6 megagramas (Mg), a densidade de partículas será de 2,6 Mg/m³ (ou 2,6g/cm³). Deste modo, não é afetada pelo espaço poroso, e consequentemente não está relacionada com o tamanho ou arranjo das

partículas (estrutura do solo). Já a densidade do solo (Ds), definida como massa por unidade de volume do solo seco inclui tanto as partículas sólidas como o seu espaço poroso.

Com base nos dados de densidade foi possível o cálculo de outros condicionantes, com base em Blake & Hartge (1986), como a porosidade total (PT), calculada a partir da relação entre a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp), através da equação:

$$PT = 1-Ds/Dp.$$

E ainda, o índice de vazios (e), calculado a partir da porosidade total (PT), utilizando-se a equação:

$$e = PT/(1-PT).$$

Ainda foram processados dados de umidade volumétrica (cm^3/cm^3), que difere da umidade total (%) por relacionar o volume de água contido na amostra com o volume da mesma (amostra indeformada).

As amostras indeformadas para confecção de lâminas delgadas do solo, foram produzidas para observação da geometria e organização dos constituintes, e o arranjamento do sistema poroso por meio de sua descrição, conforme técnica adaptada por Bullock *et.al* (1985). De acordo com Castro (2012), as lâminas delgadas são construídas a partir de amostras indeformadas, o que significa que sua estrutura é preservada, e foram coletadas na forma de pequenos monólitos retirados dos perfis de solo abertos em trincheiras. De forma resumida, a preparação da mesma consiste na impregnação da amostra, por ascensão capilar, feita normalmente com uma solução a base de resina de poliéster, araldi ou epóxi, sob vácuo fraco (receita original de Chauvel, in CASTRO, 1985) que após um tempo endurece e pode ser cortada e colada à lâmina delgada onde posteriormente, desbastada e aproximadamente em 30 micrometros. Na preparação das amostras indeformadas, durante a impregnação diluiu-se um corante fluorescente para permitir a distinção de poros sob a luz UV, que posteriormente permite melhor quantificação do sistema poroso.

6ª ETAPA: Descrição micromorfológica das lâminas delgadas

A confecção das lâminas foi realizada no Laboratório de Micromorfologia de Solos, vinculado ao Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ/USP. A descrição foi realizada análises em microscópio ótico polarizante, do tipo petrográfico, binocular, no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia-FFLCH/USP.

Os objetivos desta visualização bidimensional em lâminas delgadas foram para identificação dos constituintes presentes na fração sólida e os arranjos e modos de organização, onde foi dada ênfase na

observação e caracterização da microestrutura e sistema poroso, visto serem os principais atributos na escala microscópica que influenciam e condicionam o processo erosivo. As descrições foram realizadas com base na metodologia de Bullock *et.al*., (1985), quanto a porosidade, foi realizada a descrição das suas formas geométricas e das suas origens (tipo de porosidade) e da sua posição (agregados terciários, primários ou secundários) para fins de classificação morfológica. O intuito foi de reconhecer a porosidade funcional, ou seja, aquela capaz de ser condutora de fluxos, associando-a com a microestrutura desenvolvida. Através deste estudo em detalhe da constituição e morfologia das frações pedológicas poderemos inferir no que se refere à sua perda (relativa ou absoluta, devido a transformações por instabilidades estruturais, geoquímicas ou outras), ou sua conservação tanto no sentido vertical como lateral, conhecimentos que permitam detectar ao longo da vertente a presença de indícios de desestabilização de microestruturas, que podem ser úteis ao conhecimento da dinâmica dos processos erosivos lineares.

7º ETAPA: Processamento e tratamento dos dados no software Visilog

Após realizada a descrição micromorfológica, as lâminas delgadas de solo foram levadas ao Laboratório de Micropedologia do Departamento de Ciência do Solo- ESALQ/USP, sob orientação do Prof. Dr. Miguel Cooper. Para cada lâmina delgada de solo, foram realizadas oito repetições (fotomicrografias) aleatórias de 12x15mm (180mm²), adquiridas em uma câmera digital em cores, em sistema "charged couple device" (CCD), conectada a uma lupa com polarizador (Zeiss®). As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10x, igualando um pixel a 156,25µm². A identificação dos poros na imagem foi feita pela delimitação da limiarização ("thresholding") de tons de cinza para cada conjunto de imagens. A porosidade total foi estimada pelo número de pixels correspondente à área dos poroides (Moran, *et.al.*, 1988), ou seja, os poros visualizados em duas dimensões. Uma vez feita a aquisição a imagem foi binarizada, e os poroides individualizados utilizando-se macros desenvolvidas no programa Noesis® Visilog 5.4.

Na utilização dessas imagens foi dada ênfase para caracterização dos espaços vazios do solo, o processo de classificação e quantificação dos poroides foi otimizado por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft® Excel. De acordo com Cooper *et.al*., (2010), a porosidade total (TPA) foi calculada como a soma das áreas de todos os poroides, dividida pela área total do campo, em percentagem. Os poroides foram divididos em três grupos, ou seja, de forma arredondadas, alongadas e irregulares, onde dois índices foram usados para determinar a forma:

$$I_1 = \frac{P^2}{(4\pi A)} \quad (1)$$

Onde, P é o perímetro da poroide e A sua área, e

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m}\sum_i (N_I)_i}{\frac{1}{n}\sum_j (D_F)_j} \quad (2)$$

Onde N_I é o número de intercepções de um objeto em direção *i* (i= 0 °, 45 °, 90 ° e 135 °), D_F é o diâmetro de Feret de um objeto na direção *j* (j= 0 ° e 90 °), *m* é o número de *i* instruções e *n* é o número de *j* instruções. Esse índice é usado como um complemento para o índice I_1 para uma maior precisão na separação dos grupos de forma. Os critérios para a distinção entre os dois grupos de forma e as suas dimensões são mostrados nas tabelas 3 e 4 (COOPER *et.al*., 2010).

Definição das classes de formas dos poróides		
PORÓIDE	ÍNDICE DA FORMA	
	I^1	I^2
Arredondado	$I^1 \leq 5$	
Alongado	$5 < I^1 \leq 25$	$\leq 2,2$
Irregular	$5 < I^1 \leq 25$ ou > 25	$> 2,2$

Tabela 3: Classes de forma dos poroides adotados na automatização (adaptado de COOPER, *et.al*.,2010).

Definição dos tamanhos e classes de forma dos poróides			
CLASSE DE TAMANHO (mm²)	CLASSES DE FORMA		
0,001- 0,01	Arredondado pequeno	Alongado pequeno	Irregular pequeno
0,01-0,1	Arredondado médio	Alongado médio	Irregular médio
>0,1	Arredondado grande	Alongado grande	Irregular grande

Tabela 4: Definição dos tamanhos e classes de forma dos poroides adotados na automatização (adaptado de COOPER, *et.al.*, 2010).

Quanto à identificação de cada uma dessas três classes de formas Souza, *et. al*. (2006) aponta que canais, cavidades isoladas e poros tubulares pertencem à categoria de poros com índice de forma I1≤5 e definem a classe morfológica "arredondados". Os poros que resultam da assembleia de agregados ou de partículas elementares e de poros de diversos tipos, interconectados, formando, nos dois casos, uma rede poral de tamanho grande de formas muito contornadas, pertencem à categoria de poros caracterizada por um índice de forma I1>25 e define os poros de forma "irregular. Dentro da gama de índices de forma I1, compreendido entre 5 e 25, coexistem poros alongados e poros de forma complexa, de tamanho menor, em geral, que os precedentes. Neste caso, o índice I2 foi elaborado para separar os limites do índice I1, o qual permitiu melhor discriminar os poros "alongados" e os "irregulares"; os primeiros têm um I2≤2,2 e os segundos um I2>2,2. As três classes de forma, arredondados, alongados e irregulares, foram cruzadas com as classes de tamanho dos poros na escala utilizada e apresentada na tabela 4, onde foi possível a definição de nove tipos de poros, segundo sua forma e tamanho: poros arredondados pequenos, médios e grandes); alongados pequenos, médios e grandes e irregulares pequenos, médios e grandes (SOUZA, *et.al*., 2006).

Ainda, na programação em macro foram calculadas as médias de cada lâmina (com base nas oito repetições tiradas e processadas) de todos os dados quantificados, sendo estes: número de poros; área de cada um; forma; perímetro; diâmetro. Posteriormente, foi realizado a seleção e tratamento destes dados apresentados em produtos gráficos na seção de resultados obtidos.

8ª ETAPA: Interpretação dos resultados das análises e caracterização da dinâmica morfológica na vertente com vistas ao desenvolvimento de processos erosivos lineares;

A interpretação das características químicas, físicas e morfológicas analisadas em campo e laboratório, sob escala macro e micromorfológica do solo, permitiu o estabelecimento de relações com o comportamento morfológico de estabilidade dos solos, visualizando sua dinâmica, bem como a diferenciação e desestabilização de seus constituintes que deflagram a dinâmica erosiva.

9ª ETAPA: Sistematização e análises conclusivas;

A última etapa da pesquisa foi de compilação das informações coletadas e interpretadas até então, bem como a redação da dissertação, cujos produtos finais consistem na representação gráfica em escala adequada da topossequência e sua organização estrutural da cobertura pedológica, tanto na escala macro quanto micromorfológica do solo, bem como os apontamentos da dinâmica de atributos como a porosidade e microestrutura que estão envolvidos e como tais determinam e/ou corroboram para o desenvolvimento de processos erosivos lineares. A redação final teve o intuito de descrever e interpretar os atributos micromorfológicos, que correlacionados com a dinâmica da paisagem, expressam potencialidades ao desenvolvimento de processos erosivos lineares ao longo deste sistema pedológico

CAPÍTULO 7: RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Os processos erosivos: Voçorocas I e II

A escolha da vertente bem como o local selecionado para pesquisa em detalhe da cobertura pedológica através da construção de uma topossequência, obedeceram dentre outros, ao critério de existência de processos erosivos lineares já bem desenvolvidos. Deste modo, o eixo da topossequência Manacá situa-se entre duas voçorocas, denominadas respectivamente voçorocas I e II (Figura 12).

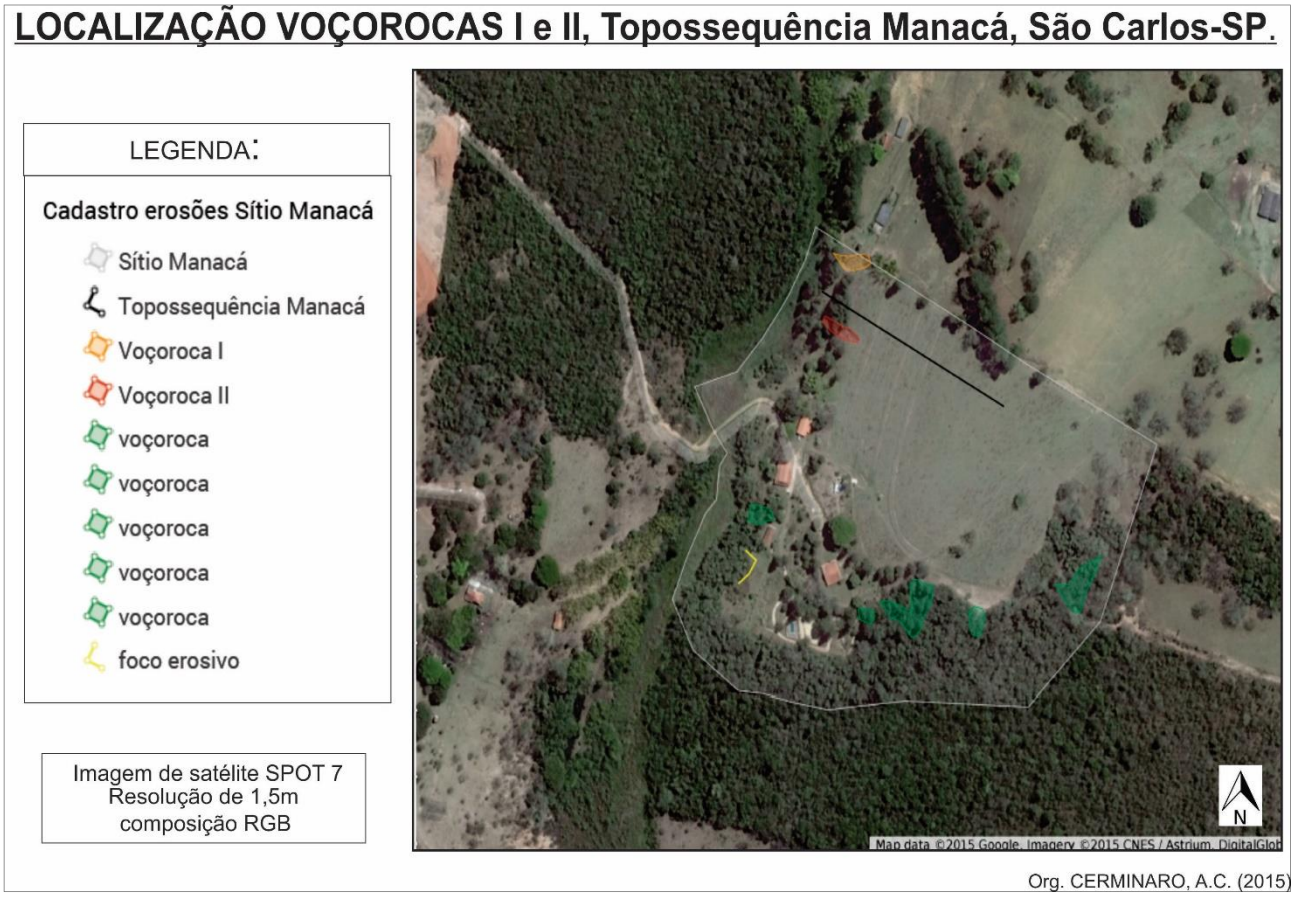


Figura 12: Localização dos processos erosivos nos limites do Sítio Manacá, destaque para voçorocas I e II e eixo da Topossequência Manacá. (Foto e organização: CERMINARO, A.C., 2015).

Segue abaixo a ficha de caracterização das mesmas (Tabela 6), onde se encontram informações acerca de sua localização, características do meio, dimensões, causas e condicionantes, previsões de evolução, principais impactos e medidas de contenção até então adotadas. A seleção, organização e redação da ficha foram baseadas em trabalhos de caracterização e identificação de processos erosivos (Figuras 13 e 14). Essa compilação de dados e principalmente o trabalho de observação e registro dos processos ocorrentes, teve fundamental importância para compreender a história e dinâmica da evolução da paisagem, correlacionando posteriormente com os resultados analíticos de caracterização do solo, que permitiram apontamentos mais preciso na discussão e considerações finais do trabalho.

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO VOÇOROCAS I e II
Descrição: Voçorocas I e II
Localização: Sítio Manacá
Proprietário: Valéria Vasconcelos
Dados regionais Bacia Hidrográfica: Córrego não identificado, deságua no Córrego Laranja Azeda- afluente do Ribeirão Feijão- Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão- sub bacia do Tietê Jacaré– Bacia do Rio Paraná.
Geomorfologia: Superfície erosiva incisiva no terço inferior da vertente. Relevo residual de topo, aplanados, limitado por escarpas erosivas.
Geologia: Formação Botucatu, constituída por arenitos finos a médios, bem selecionados, vermelhos, róseos e esbranquiçados. Formação Itaqueri no terço médio e superior da vertente, depósitos colúvio-eluvionares de predominância arenosa, com presença de cascalhos arredondados.
Pedologia: Neossolo Litólico Álico + Neossolo Quartzarênico Álico A moderado, e Latossolo Vermelho Amarelo (de acordo com mapeamento pedológico IAC, 1981).
Vegetação Original: Cerradão Distrófico, desmatados para implantação de lavouras e pastagens.
Dimensões voçoroca I: Comprimento: 37m Largura: 15m Profundidade: 16m **Dimensões voçoroca II**: Comprimento: 40m Largura: 10m Profundidade: 13m
Características da área de contribuição: Uso e ocupação da área de contribuição: Pastagem cultivada com brachiária (Brachiaria decumbens) e Pinheiros (Pinus elliottii) no terço inferior da encosta.
Causas e condicionantes: O caseiro do local, residente no sítio há quase 30 anos, nos informou que a voçoroca 1 já existia em menores proporções quando se mudou, media aproximadamente 8m de largura, com uma profundidade de cerca de 5m, com comprimento de 10m, no máximo. Era uma erosão, que por estar localizada bem nos limites do vizinho, não interferiu muito nas atividades do Manacá, e por isso mesmo foi "deixada ali" sem intervenções, apenas acompanhando visualmente vez ou outro seu tamanho. O Sr. Osmar relata nos primeiros 15 anos de sua residência no local ela cresceu muito, "engolindo a cerca" que delimitava a propriedade do vizinho, chegando a destruir parte de um bambuzal existente. O acompanhamento de perto de sua evolução foi interrompido quando se percebeu o início do desenvolvimento da voçoroca 2. O caseiro relata que o processo de degradação começou com a retirada da vegetação há 20 anos para plantio, sendo identificado a princípio um rebaixamento do local. Segundo o morador, a área passou então a ser utilizada para pastagem, com gados do vizinho que invadiam a propriedade (até então sem cercas). Relata que, após chuva intensa e prolongada há cerca de 6 anos, ocorreu à noite um forte estrondo culminando com o desencadeamento da incisão erosiva de pequeno porte (cerca de 5m de largura e menos de 1m de profundidade).
Características da voçoroca: dinâmica erosiva (características gerais): VOÇOROCA 1: Apresenta-se mais estabilizada quanto a visualização de ocorrência de pipigs nas paredes laterais, o que contribui para sua estabilização nos processos de solapamento dos taludes, permanecendo constante sua largura e profundidade. Os indícios de estabilidade se estendem ainda à vegetação crescente dentro da voçoroca, com a presença de pequenas árvores de porte médio. A priori percebe-se que o processo de degradação e aprofundamento é constante. VOÇOROCA 2: A voçoroca possui forma coalescente apresentando vários eixos com cabeceira mais larga que a parte de jusante. Os eixos laterais são os mais instáveis demonstrando abatimentos sucessivos, alcovas de regressão e pipings. Os taludes possuem forte inclinação nos trechos médio

e superior. Em vários pontos da ocorrência erosiva é comum a presença de pipings de diferentes tamanhos, sendo alguns deles sem colapso, com diâmetro médio de 10cm. Ainda as presenças de ramificações sinalizam a ocorrência de dutos com colapso progressivo transformando-o em um canal superficial, que passa a funcionar como uma ramificação na própria voçoroca. A visualização de tais dutos torna-se difícil, pois não só os dutos, como também os canais colapsados que tendem a abrir-se no contato com o canal principal, são destruídos na medida que ramificação evolui. Relativamente próximos às laterais, são indícios da violência do processo de desmoronamento por gravidade e/ou desabamento dos taludes. A presença de pinheiros já grandes dentro das voçorocas, alguns já derrubados.
Previsões de evolução: Conforme exposto acima, a voçoroca 1 apesar do grande tamanho, encontra-se relativamente homogênea quanto aos processos agravantes (como a ocorrência de pipigns). A evolução do tamanho da degradação pode ocorrer por ações gravitacionais de fluxos concentrados superficialmente (em enxurradas). Já a voçoroca 2 apresenta muitos pipings junto aos sopés dos taludes e surgências no interior da voçoroca, provocando o surgimento de alcovas de regressão, bem como, dutos biogênicos e sulcos nas paredes da erosão devido ao escoamento superficial concentrado, que tem contribuído para a ocorrência de movimentos de massa localizados do tipo abatimentos sucessivos e/ou desabamentos de taludes. Tais mecanismos conferem grande instabilidade à referida erosão que tende a evoluir remontantemente, aumentando sua extensão e lateralmente, devido a futuras junções de seus eixos menores.
Medidas Preventivas e de contenção implantadas: Foram sugeridas a construção de curvas de nível e terraços em toda vertente, trabalho realizado em janeiro de 2014, visto que haviam curvas desconfiguradas por ausência de manutenção. Foram construídos terraços de infiltração em toda vertente, com intuito de plantio combinado de vegetação rasteira e lavoura de milho e feijão, culturas ainda não semeadas no local.
Principais impactos: A deflagração dessa incisão erosiva desencadeou os seguintes impactos: - Perda de solo local com redução de área de pastagem; - Assoreamento do córrego próximo e consequentemente do Laranja Azeda, afluente de maior importância do Ribeirão do Feijão, importante manancial para o município de São Carlos. - Riscos de acidentes por quedas de animais, e pessoas dentro da voçoroca. Ainda a proximidade da voçoroca 2 da residência dos caseiros é de menos de 40m.
Medidas preventivas e de contenção sugeridas: Como medida preventiva do processo erosivo sugere-se a adequação do uso do solo local à sua capacidade de suporte evitando o desencadeamento de impactos ambientais dessa natureza, enquanto que as alternativas de contenção definitiva visam estabilizar a ocorrência erosiva através de práticas vegetacionais (plantas nativas e exóticas) até implantação de obras de bioengenharia no entorno e mesmo dentro das voçorocas.
Referências: Valéria Marques (proprietária), Joana Silva (caseira) e Osmar Lopes (caseiro). Equipe: Ana Clara Cerminaro e Déborah de Oliveira.
Localização: 22º05´48´´S, 47º84´88´´W Altitude: 782m
Data: 14/07/2015

Tabela 6: Ficha de caracterização das voçorocas I e II Sítio Manacá.

Figura 13: Registro fotográfico da voçoroca I, Topossequência Manacá. (Fotos e organização: CERMINARO, A.C., 2015).

Figura 14: Registro fotográfico da voçoroca II, Topossequência Manacá. (Fotos e organização: CERMINARO, A.C., 2015).

7.2 A Topossequência Manacá

A vertente onde se encontra o sistema pedológico estudado apresenta extensão de 170m, altitude entre 780 a 720m e declividade da ordem de 14% do topo a média vertente e 20% até a ruptura de declive (70º) em sua base. A topografia é suavemente ondulada e convexa, com dois processos erosivos fortemente desenvolvidos (voçorocas I e II). A topossequência situa-se no eixo central entre essas duas voçorocas, com cerca de 160m de extensão, direção E-W e corresponde do topo até a ruptura de declive da vertente, não sendo considerada a área de várzea.

A trincheira 1, está localizada no topo da vertente, em relevo local relativamente plano, com cobertura vegetal de gramíneas (braquiária) sendo vegetação primária tipo cerradão, e não apresenta processos erosivos lineares (ravinas ou sulcos) em seu entorno. A trincheira 2, está localizada no terço médio da vertente, em relevo local pouco declivoso (cerca de 8%), com vegetação gramínea sob o perfil (braquiária), vegetação primária tipo cerradão e apresenta focos de erosão moderara, do tipo laminar. Já a trincheira 3 está localizada na porção inferior da vertente, sob declive abrupto, com cobertura vegetal de palha de pinheiros (pinus). Apresenta fortes erosões do tipo ravinas e voçorocas nas proximidades lateral direita (aprox.30m de distância) e esquerda (aprox. 40m).

Apresenta-se o desenho da Topossequência Manacá com o desenho geométrico dos volumes pedológicos identificados e sua organização lateral na vertente (Figura 15), para que possa ser melhor visualizado a nível morfológico de relações existentes.

A construção bidimensional do desenho foi baseada nas tradagens realizadas em campo, com a devida descrição quanto à coloração e textura do material, bem como a anotação de mudanças destes atributos em profundidade. Ainda a abertura de três trincheiras ao longo da vertente, possibilitou a descrição morfológica completa em campo, cujas informações enriqueceram a construção da topossequência.

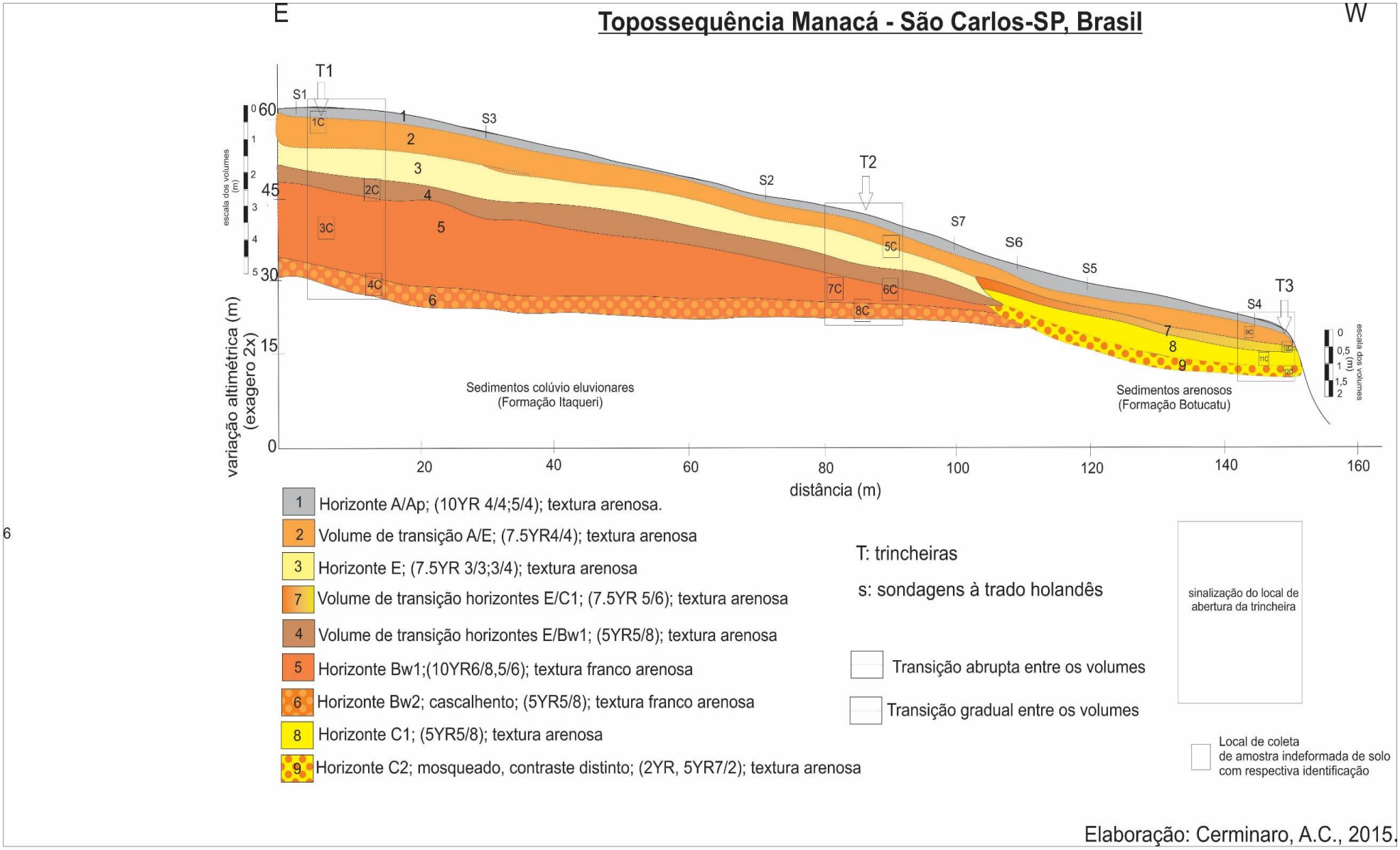


Figura 15: Topossequência Manacá, São Carlos/SP-Brasil

7.3 Descrição da sucessão vertical dos horizontes, escala macromorfológica:

No topo da vertente o volume pedológico mais superficial tem espessura entre 0-13cm, coloração 5YR 3/2 úmida, textura arenosa, com estrutura granular fraca e pequena. Apresenta porosidade advinda de raízes finas, e a consistência seca é dura e úmida friável, não sendo plástica ou pegajosa. No setor médio da vertente, a espessura desse volume superficial reduz-se para 6 cm, com coloração 5YR ¾ úmido, a textura passa a ser franco arenosa, com estrutura em blocos sub angulares fracos e pequenos, consistência seca ligeiramente dura, úmida firme, havendo um incremento de material cimentante (argila e/ou matéria orgânica) revelada em uma consistência ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Nestes setores de alta e média vertente foi observada intensa compactação neste volume superficial, diferenciando-se do setor mais baixo, onde o continuum ganha espessura, indo de 0-30cm, e a coloração se altera substancialmente, sendo enquadrada em 7.5YR 4/3 seca e úmida. A textura é franco arenosa, de estrutura granular fraca, quase classificada como grãos simples, consistência seca solta, úmida muito friável. O material cimentante é representado pela matéria orgânica presente na superfície, não conferindo, no entanto, atributos de plasticidade ou pegajosidade, sendo a porosidade abundante e oriunda de atividades biológicas (raízes e microfauna).

A transição deste volume superficial para o subjacente ocorre de forma plana e gradual em toda topossequência, revelando um horizonte que na T1 varia dos 13 aos 43cm, com 30cm de espessura, coloração de 5YR ¾ úmida. A textura se altera para arenosa, com estrutura granular fraca, pequena, de consistência seca macia e úmida friável, não plástica; não pegajosa, e igualmente com porosidade fruto de atividade biológica. Essa espessura se mantém no eixo médio da vertente, (6-36cm), cuja coloração 7.5YR 3/3 úmido, diferenciando-se pela textura franco arenosa com maior desenvolvimento estrutural, sendo observados blocos sub-angulares fracos e pequenos, de consistência seca macia e úmido solta, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. Na área mais baixa da vertente, esse volume varia entre e 34-69cm, (35cm de espessura), cor 7.5YR 5/6 seca e 4/6 úmida, e volta a ocorrer uma textura predominantemente arenosa, visto agora com uma estrutura em grãos simples com consistência seca solta e úmida muito friável, não plástica e não pegajosa com transição ondulada e clara.

O terceiro volume pedológico descrito é individualizado por uma transição plana e gradual de coloração mais clara desde o topo da vertente (5YR 4/6 seca e úmida), ganhando coloração no eixo médio, cuja cor foi 7.5YR 4/4 úmida. Apresenta maior espessura na T1 (43-98cm), e na T2 40cm (36-76cm). Este volume com fortes características de eluviação, possui textura arenosa que se mantém no topo à média vertente, com estrutura em blocos sub-angulares fracamente desenvolvidos e pequenos, consistência seca macia na T1 e seca solta na T2, e úmida friável; não sendo plástica e pegajosa em ambas trincheiras.

Uma transição de volumes plana e gradual delimita o volume abaixo na T1, e plana e difusa na T2 é observado ainda intensificação na quantidade argila pela descrição textural em campo, condicionando a estrutura em blocos sub-angulares melhor desenvolvidos quando comparados aos volumes superiores. Essa

textura franco argilo-arenosa, de consistência seca solta na T1 e seca macia na T2, sendo respectivamente, úmida friável e úmida firme, é ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa com transição plana e gradual para camada subjacente em uma espessura de 70cm (36-107cm) no topo da vertente e 50cm em seu setor médio (89-139cm), de coloração próxima sendo 5YR 4/6 úmida e 5YR 5/8 úmida. Ressalta-se ainda que nesta profundidade foram descritas a presença de bioporos isolados e pequenos fragmentos de carvão (medindo em média 2cm).

O horizonte mais profundo alcançado na descrição morfológica em trincheira individualizado sob uma transição plana e difusa vai dos 139 aos 180cm (41cm de espessura) no topo da topossequência, e dos 107-175cm no eixo médio, com 68cm de espessura com coloração 2.5YR 4/8 úmida. A concentração de argila se mantém em uma textura franco argilo-arenosa, e levemente mais siltosa na T2, com estrutura blocos sub-angulares também moderadamente desenvolvidas, com consistência seco solta e úmida firme, plástica, pegajosa. Ainda foram observados pequenos fragmentos de carvão. No setor médio da vertente foram encontrados sob profundidade de 175cm, cascalhos de quartzo de tamanho regular (portanto bem selecionados) e arredondados.

Na porção inferior da vertente, estes volumes pedológicos mais profundos apresentam características totalmente diferentes dos localizados à jusante da topossequência. Com espessura de 85cm (69-127cm), cor 10YR 6/6 seca e 5/6 úmida, a textura arenosa, condiciona a estrutura em grãos simples, de consistência seca solta e úmido muito friável, não plástica e não pegajosa. Uma transição plana e gradual delimita outro horizonte abaixo, indo dos 127 aos 212 cm, a coloração é de 10YR 6/8 seca e 5/6 úmida, com textura franco arenosa e estrutura em grãos simples, de consistência seca macia e úmido friável, sendo ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. Esse horizonte apresenta mosqueados, tipo comum, de tamanho médio, com contraste distinto e coloração 5YR 5/8.

O anexo 1 (Tabela 7), traz em tabelas a síntese de toda descrição morfológica realizada em campo.

Síntese macromorfológica da descrição dos volumes pedológicos- Topossequência Manacá:

● O volume mais superficial nos setores alto e médio da vertente são mais compactados devido ao uso extensivo do solo, e foram enquadrados enquanto um horizonte Ap, sob vegetação gramínea. Abaixo dele, um horizonte A, com presença de atividade biológica, estrutura e granular fraca, e coloração mais escura possivelmente oriunda da decomposição da matéria orgânica. Enquanto que, esse continuum pedológico nos setores mais baixos da topossequência se apresenta como um horizonte A arenoso, sem compactação devido ao abandono de uso no solo, e com muita decomposição da vegetação de folhas de pinus. Ressalta-se ser o único volume pedológico visualizado enquanto continuum em toda topossequência;

● Foi descrito um horizonte de transição A/E nos setores alto e média vertente, individualizados em função da mudança de estrutura descrita e menores teores de matéria orgânica e atividade biológica;

● Ainda nesta porção, individualiza-se um volume característico de processos de eluviação, devido

a coloração mais clara, textura mais arenosa quando comparado aos superiores, sem estrutura bem desenvolvida, enquadrado como horizonte E;

● Abaixo do E nas T1 e T2, foram descritos volumes de coloração mais avermelhada, com sutil incremento das frações argila e silte, classificados enquanto Bw1 e Bw2 diagnósticos (Oliveira, 2001) com variação textural menor que 15%. Onde na T2 próximos há 2m de profundidade foram descritas a presença de cascalhos de quartzo bem selecionados (esféricos e arredondados);

● Os volumes mais profundos são diferentes na trincheira 3, que corresponde ao setor mais baixo da vertente, apresentando um continuum pedológico díspar se comparados ao terço superior e médio da vertente onde, abaixo do horizonte A foram descritos volumes extremamente arenosos, diferenciados em C1 e C2 em função do mosqueamento observado no horizonte mais profundo, revelando condições de oxi-redução de componentes como o ferro.

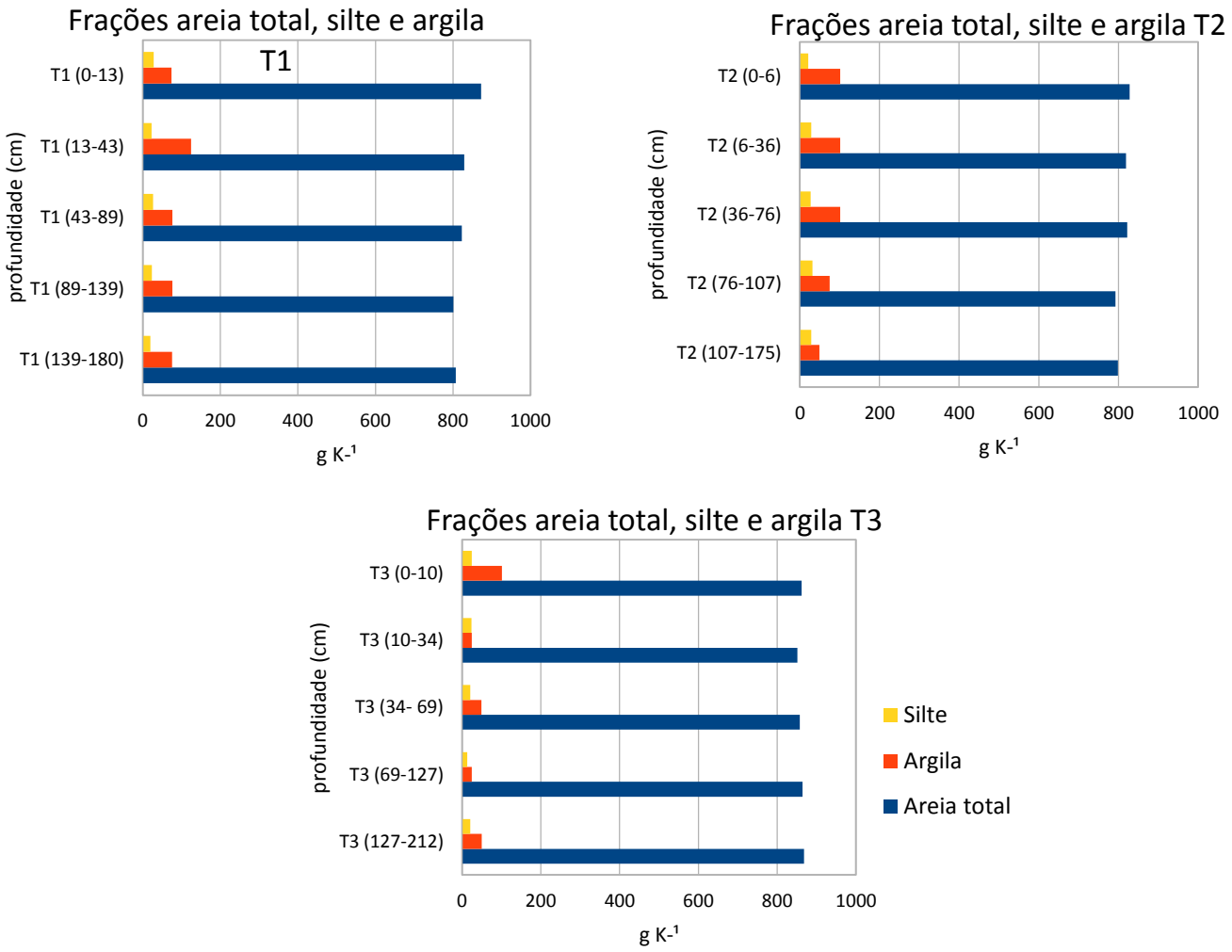
● Através da descrição macromorfológica dos atributos em campo, é possível afirmar que se trata do contato em vertente de dois tipos de solo: um Latossolo Vermelho Amarelo em desenvolvimento na alta e média vertente, e um Neossolo Quartzarênico no sopé da mesma. Soma-se a esta afirmação os resultados obtidos nas análises granulométricas, físicas e químicas apresentadas a seguir.

7.4 Resultados analíticos de caracterização granulométrica e química

Foram submetidas à testes granulométricos e químicos para fins de classificação, as amostras retiradas de todos os horizontes descritos morfologicamente em campo, apresenta-se de forma sucinta os principais resultados em texto, bem como tratamento das informações em gráficos.

Granulometria:

A topossequência apresenta textura arenosa (Figura 16), com predomínio de areia total nas três trincheiras, com diferenças substanciais nos teores das frações mais finas, silte e argila respectivamente expressos na T3 que também apresenta os maiores valores de areia total (acima de 800gK-¹). Quanto aos teores de argila, a T1 apresenta valores equilibrados em todos os horizontes amostrados, já a T2 apresenta menores valores nos horizontes mais profundos, o que também ocorre na T3, só que com menores valores associados. A quantidade de silte presente na topossequência é baixíssima, e relativamente constante nas T1 e T2, e na T3 apresenta valores menores ainda com perda nas camadas mais profundas.



Figuras 16: Frações de areia total, silte e argila T1,T2 e T3.

As amostras foram submetidas ainda a distinções quanto as frações de tamanho da areia (Figura 17), visto ser o material predominante no sistema pedológico. Quanto à essas diferentes frações, há predomínio de areia fina na T1 e T2, com uma diferença exorbitante para T3 cujo predomínio se dá por areia muito fina, com valores maiores de 400gK-¹ em todos os volumes amostrados,

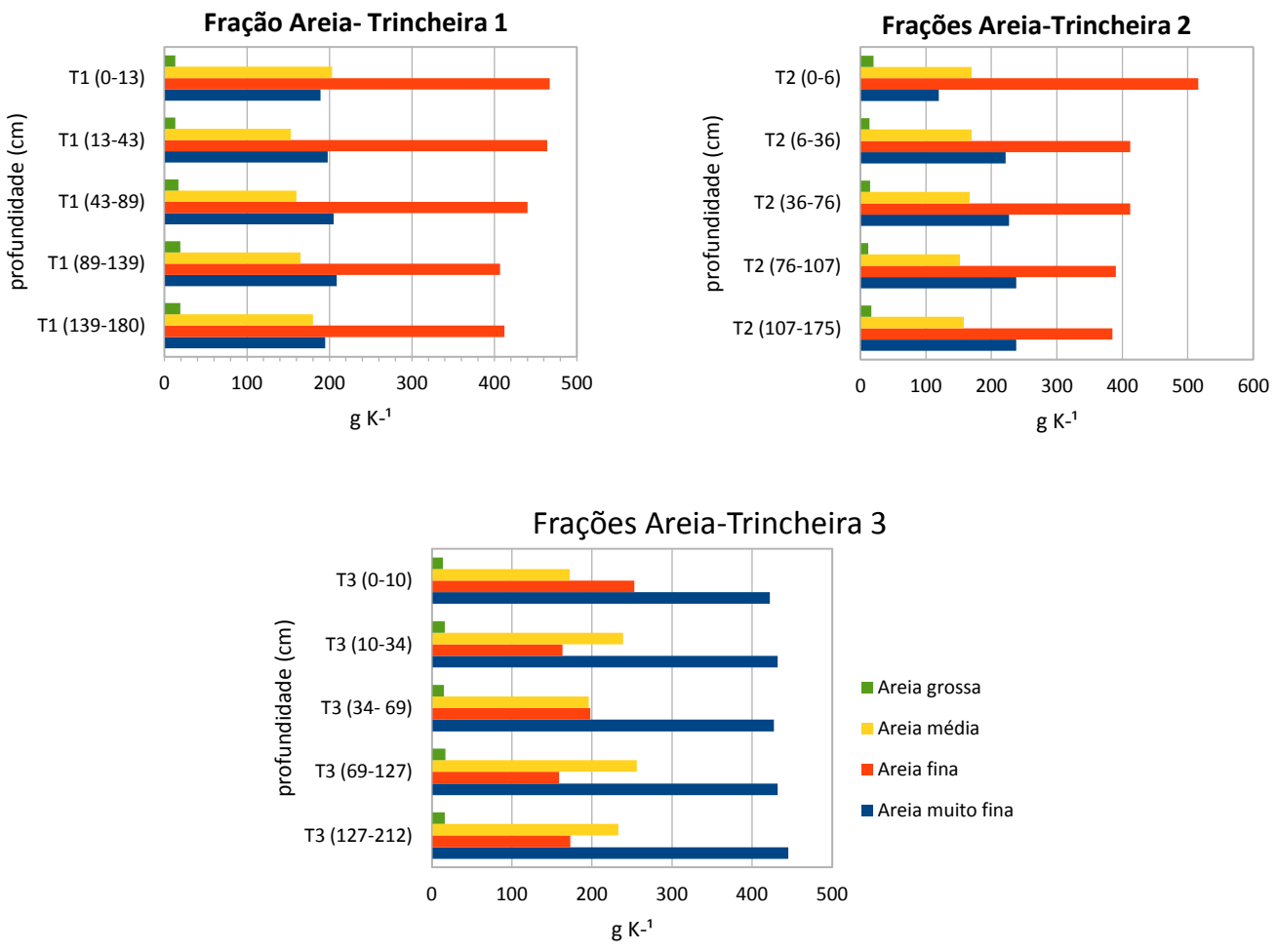


Figura 17: Frações de areia Trincheiras 1,2 e 3.

Em ordem decrescente, as T1 e T2 apresentam areia média abundantes, com valores entre 100 e 200 gK-1, na T3 os valores de areia média oscilam, sendo maiores que 200 gK-¹ nas camadas mais profundas, e menores nos volumes superficiais. Ainda na T3 observa-se um decréscimo de frações de areia grossa quando comparado à T1 e T2.

Para melhor avaliação da estabilidade dos constituintes do solo e sua estrutura, foram realizados cálculos para o grau de floculação e dispersão da argila (Figura 18). Referentes ao grau de valoração, os resultados demonstram a diferenciação de comportamento ao longo da topossequência, o que consequentemente afeta o grau de agregação e estabilidade dos constituintes do solo e tem correlação direta com a disponibilidade de matéria orgânica e o balanço de cargas elétricas no solo.

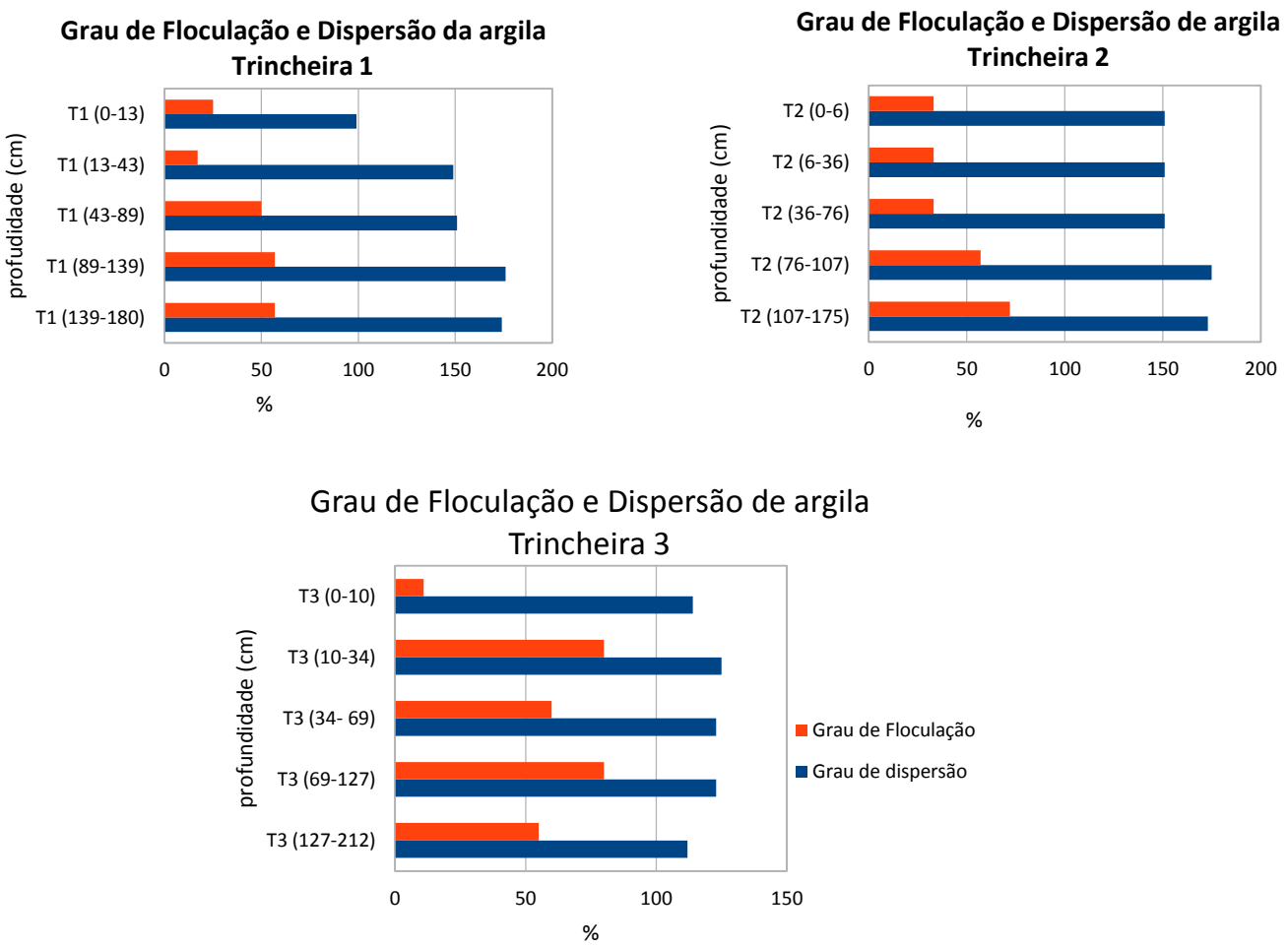


Figura 18: Grau de Floculação e Dispersão de argila T1,T2 e T3.

Para o gradiente de floculação são observados valores baixos, menores que 30% nos horizontes superficiais em toda topossequência, com aumento no percentual de valores em profundidade nas T1 e T2, que também apresentam em todo perfil valores próximos a 50%.

Já a T3, tem valores maiores em profundidade 70-80%, e uma queda brusca nos valores na camada mais profunda amostrada, sendo próximo a 50%. Essa diferenciação quando comparada aos outros dois perfis, pode ser explicada pela menor quantidade de argila presente na trincheira, visto o material de origem do solo ser também diferenciado.

Quanto ao grau de dispersão de argila, nas T1 e T2, os valores são constantes em torno de 150%, sendo menores apenas na camada mais superficial da T1, cujos valores são de 100%. Na T3, novamente se verifica valores equilibrados ao longo do perfil, porém com menores valores em torno de 130%, sendo ligeiramente menor (120%) no horizonte mais profundo amostrado

7.4.2Análises físicas: umidade e densidade

Com base nos resultados analíticos da amostragem com anéis volumétricos retirados dos três perfis (trincheiras 1,2 e 3), a densidade por partícula (Dp) não se alterou muito à medida que aumenta a profundidade dos três perfis (Tabela 7). Isto se deve provavelmente, a relativa homogeneidade nas frações granulométricas das T1 e T2 onde predominam as frações de areia. Realizando uma comparação ao longo da vertente, há maiores variações nos valores do terço inferior, onde os teores de matéria orgânica, e agentes cimentantes (frações argila principalmente) são menores. Horizontes superficiais muito compactados apresentam valores de densidade próximos a 2,0g/cm³ ou superiores conforme os amostrados.

Quanto aos valores de Ds (densidade do solo), que geralmente também têm seus valores acrescidos com a profundidade do perfil, devido a maior compactação (alteração da estrutura) e possível eluviação. Os valores analíticos estão na média citada pela literatura para solos arenosos, entre 1,25 a 1,40 g/cm³.

TABELA DE DADOS FÍSICOS AMOSTRADOS EM ANEL VOLUMÉTRICO						
Identificação da amostra	**Densidade por partícula (Dp)**	**Densidade do solo (Ds)**	**Porosidade total (Pt)**	**Índice de vazios (e)**	**Umidade total**	**Umidade volumétrica**
	g/cm³		cm³/cm³		%	cm³/cm³
T1-1	2,68	1,27	0,5262	1,11	0,5256	0,1040
T1-2	2,67	1,23	0,5393	1,17	0,5410	0,0963
T1-3	2,68	1,25	0,5335	1,14	0,5342	0,1017
T2-1	2,65	1,41	0,4679	0,87	0,4677	0,1814
T2-2	2,65	1,35	0,4905	0,96	0,4918	0,1715
T2-3	2,67	1,31	0,5093	1,03	0,5082	0,1520
T3-1	2,65	1,18	0,5547	1,24	0,5564	0,0709
T3-2	2,65	1,45	0,4528	0,78	0,4532	0,0967
T3-3	2,66	1,39	0,4774	0,91	0,4788	0,1148

De maneira geral, quanto maior a Ds, maior a compactação, menor a estruturação do solo e consequentemente na diminuição sua porosidade total, do arejamento e da condutividade hidráulica, configurando uma morfologia restritiva à circulação de água, fluxo importante na presente pesquisa.

Tabela 7: Resultados analíticos da amostragem em anel volumétrico para dados físicos do solo.

Os valores para índice de vazios (e), que são menores em profundidade em toda vertente, indicam que suas partículas sólidas tendem a estar arranjadas em íntimo contato, justificando menores valores de porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) principalmente na T3.Quanto ao parâmetro de porosidade total importante ressaltar que está diretamente relacionado à textura e estrutura dos solos (capacidade de drenagem interna e retenção de água de um perfil, condições de aeração, etc.).

7.4.3 Análises químicas

As análises químicas para pH na T1 demonstram que na camada superficial há baixa acidez, com proximidade de valores entre pH em água e KCL (6,1 e 4,9) respectivamente, o que demostra balanço de cargas elétricas do solo. O perfil em profundidade ganha acidez e, no volume mais profundo de coleta (139-180m), em virtude do avançado estágio de intemperismo, apresenta valores aproximados entre pH suspenso em água e em KCL.

Os valores de acidez potencial (H+Al) estão entre 14-20 mmolc.kh-¹ na T1, e 14-23 mmolc.kh-¹ na T2, na T3 são de 29 mmolc.kh-¹ nos volumes superiores e de 19-17 nos mais profundos. Nos três perfis, a matéria orgânica é pouco expressiva, decrescendo em valores em profundidade, quanto aos teores de Ca, na T1 e T2 é alta nos volumes superficiais em virtude do uso de calcário agrícola e inexpressiva na T3 devido ao não uso agrícola no setor inferior da vertente. Os três perfis apresentam baixos teores de Mg, que variam de 5 a 1 mmolc.KH-¹.

Já a saturação por bases (V%) na T1 é de 58% no volume superficial e decresce em profundidade chegando a 14%, valore médios também dos outros volumes da T1 E T2, classificando então, de modo geral todo continuum pedológico enquanto distrófico (V <50%).

A saturação por alumínio (m) tem expressivo aumento de valores nos volumes mais profundos, chegando a 79% na T1 1, 86% na T2, já na T3 os valores de saturação por alumínio são constantes e altos em todos os volumes amostrados, sendo o superficial de maior valor (80%).

Quanto ao pH na T2 são ácidos em todo perfil e a saturação por bases é alta na camada superficial do solo, com decréscimo dos valores em profundidade. É na T2 o volume que apresenta os maiores valores dos teores de matéria orgânica (10gK-¹, no volume superficial) e onde também onde estão os maiores teores de Mg da topossequência (12 mmolc. kh-¹ no volume superficial), e decrescem em profundidade chegando a 1 mmolc. kh-¹ no volume mais profundo.

A T3, apresenta a maior média nos teores de pH, por volta de 4,8 em todo perfil, sendo um solo muito ácido, com matéria orgânica quase inexistente (maior valor = 2gK-¹ no volume superficial de amostragem) em virtude da falta de agentes cimentante como a argila, para segurar sua decomposição no perfil. Os teores de Mg são abaixo de <1 em todo perfil, bem como os índices de P constantemente baixos também na T1 e T2 (entre 1 e 2), igualmente para K chegando a valores <1.0 nas três trincheiras.

7.5 Descrição da sucessão vertical dos horizontes, escala micromorfológica:

A descrição micromorfológica foi realizada seguindo metodologia de Bullock *et.al*. (1985).

TRINCHEIRA 1:

(1C) **Transição entre os horizontes A/E:** apresenta razão entre material grosso e fino na ordem de 5/1, com porosidade estimada visualmente em 40%. A distribuição relativa da lâmina é enáulica, com pedalidade moderada, expressa em uma microestrutura complexa sub-angular pouco desenvolvida. Realizada a divisão dos níveis de organização dos agregados, foram identificados à nível terciário e secundário, blocos sub angulares pouco desenvolvidos. A porosidade dominante trans agregados é de e cavidades (50%) câmaras (20%) e canais (30%), e a porosidade secundária do tipo câmaras (quase totalidade).

Quanto ao material grosso, predominam grãos de quartzo, moderadamente selecionados, com formatos sub arredondados a sub angular, pouco esféricos, de rugosidade ondulada com fissuras na maioria dos grãos. O padrão de alteração do quartzo é tipo D (pontilhado) e grau 0 (zero) e 1 (um), revelando o início da fissuração provocada pelo intemperismo.

O material fino da lâmina é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro, o que justifica a coloração vermelho escura, sendo moderadamente límpido.

(2C) Transição entre os horizontes E/Bw1: razão entre material grosso e fino na ordem de 4/2, sendo a porosidade na ordem de 40%. A distribuição relativa da lâmina é enáulica com setores porfírica fechada. A microestrutura complexa granular a intergranular. Quanto divisão dos níveis de organização dos agregados, foram identificados à nível terciário microestrutura granular e a nível secundário intergranular. A porosidade terciária é de câmaras (40%) e cavidades (40%) e canais (20%), e porosidade secundária de câmaras (40%) e cavidades, e porosidade primária de cavidades (40%) e fissuras (60%) O material grosso, predominam grãos de quartzo, moderadamente selecionados, com formatos arredondados a sub angular, pouco esféricos, de rugosidade lisa com fissuras na maioria dos grãos. Foram identificados ainda pequenos grãos de carvão, com padrão de alteração tipo B (linhas irregulares de alteração), grau 0 (zero). O padrão de alteração do quartzo é tipo D (pontilhado) e grau 1 (um), revelando a fissuração provocada pelo intemperismo. O material fino da lâmina é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro.

(3C) Horizonte Bw1: razão entre material grosso e fino na ordem de 5/1, ainda com 40% de porosidade estimada. A distribuição relativa da lâmina é enáulica quitônica com preenchimento solto e descontínuo de argila. A microestrutura identificada foi complexa de grãos com pontes nos agregados terciários e sub-angular fracamente desenvolvidos nos agregados a nível secundário.

A porosidade dominante trans agregados é de e cavidades (40%) câmaras (60%)e porosidade secundária cavidades (60%) e primária de intergranulares complexos (30%) e fissuras (10%).

Quanto ao material grosso, predominam ainda os grãos de quartzo, bem selecionados, com formatos sub arredondados a sub angular, esféricos, de rugosidade ondulada com fissuras na maioria dos grãos, cujo padrão de alteração é tipo D (pontilhado) e grau 1 (um) e 2 (dois) revelando a fissuração provocada pelo intemperismo. Ainda há presença de frações menores, que foram identificadas enquanto pequenos carvões angulosos com padrão de alteração tipo B e grau 0 (zero).

O material fino da lâmina é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro, de coloração vermelho alaranjada, sendo límpido. Nesta micromassa, foram identificados nos agregados de primeira ordem uma porosidade inter agregados de fissuras e microfissuras, que revelam o processo de formação dos agregados (peds) no solo.

(4C) **Horizonte Bw2**: razão entre material grosso e fino na ordem de 2/5, sendo a porosidade de aproximadamente 30%. A distribuição relativa da lâmina é quitônica gefúrica, com uma microestrutura complexa de blocos sub-angulares pouco desenvolvidos e grãos com películas/grãos com pontes. Onde respectivamente se dividem à nível terciário de agregados os blocos sub-angulares pouco desenvolvidos e a nível secundário, grãos com películas e grãos com pontes.

A porosidade terciária é de e cavidades (40%) câmaras (60%)e porosidade secundária câmaras (80%) e primária de fissuras (20%).

Quanto ao material grosso, predominam grãos de quartzo, moderadamente selecionados, com formatos arredondados a sub angular, pouco esféricos, de rugosidade lisa com fissuras na maioria dos grãos. O padrão de alteração do quartzo continua sendo do tipo D (pontilhado) e grau 1 (um), revelando a fissuração provocada pelo intemperismo. O material fino da lâmina ainda é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro, o que justifica a coloração vermelho alaranjada, sendo moderadamente límpido.

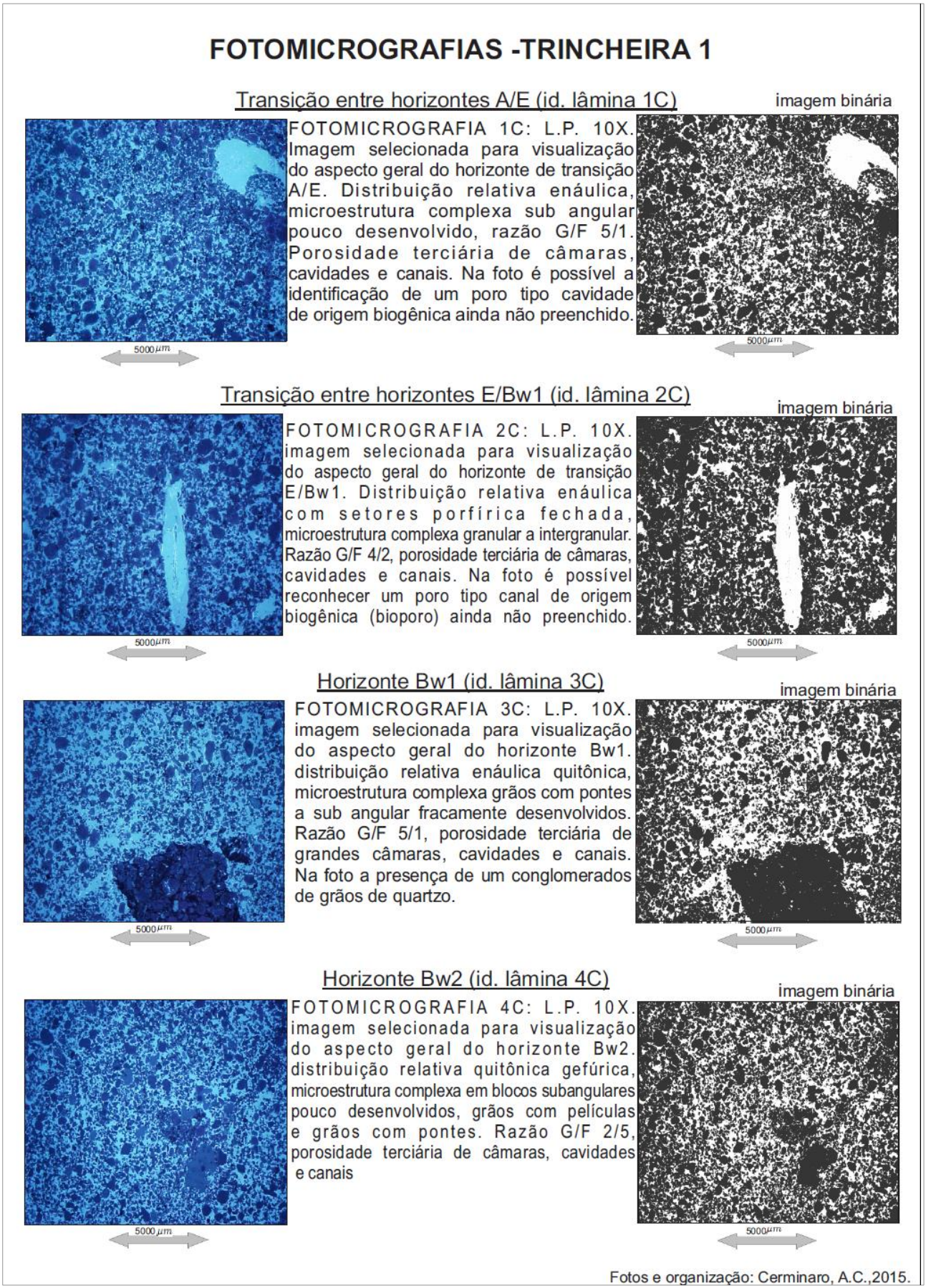


Figura 19: Fotomicrografias de setores representativos das lâminas delgadas de solo da trincheira 1. (Fotos e organização: CERMINARO, A.C., 2015).

TRINCHEIRA 2

(8C) Horizonte Bw2: apresenta razão entre material grosso e fino na ordem de 5/2, sendo a porosidade de 30%. A distribuição relativa da lâmina é enáulica com setores porfírica fechada, onde o material fino apresenta-se mais coalescido. A pedalidade é expressa em uma microestrutura complexa granular a sub angular.

A porosidade dominante trans agregados (nível terciário) é de cavidade tipo orto (100%), intra agregados são cavidades (tipo meta) (50%) e porosidade de empilhamento (50%), foi possível ainda a visualização do nível terciário de organização dos agregados, onde observou-se uma porosidade do tipo câmaras (não estimada).

Quanto ao material grosso, predominam os grãos de quartzo, moderadamente selecionados, com formatos sub arredondados a sub angular, pouco esféricos, de rugosidade ondulada com fissuras na maioria dos grãos. O padrão de alteração do quartzo é tipo D (pontilhado) e grau 0 (zero) e 1 (um). Há ainda a presença de um conglomerado de ferro com quartzo. O material fino da lâmina é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro, o que justifica a coloração vermelho escura, sendo moderadamente límpido.

(7C) Horizonte Bw1: com razão entre material grosso e fino na ordem de 5/2, e porosidade estimada em 30%, apresenta uma microestrutura complexa a sub-angular a complexa, em uma distribuição relativa enáulica gefúrica com setores porfírica quitônica, e preenchimento solto e descontínuo de argila nos agregados terciários.

A porosidade terciária é de câmaras (60%), e cavidades (40%) tipo meta nos setores porfírica, e a porosidade secundária de cavidades orto (40%) e câmaras grandes (60%), sendo visualizadas ainda porosidade intra agregado (nível primário) de fissuras nos setores porfíricos e empilhamento no restante da lâmina (não estimadas).

No material grosso, predominam grandes grãos de quartzo, bem selecionados, com formatos sub-arredondados a sub-angular, esféricos, de rugosidade lisa com fissuras na maioria dos grãos. O padrão de alteração do quartzo é tipo D (pontilhado) e grau 0 (zero). Foi sinalizada a presença de um conglomerado de ferro com quartzo. O material fino da lâmina é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro, de coloração alaranjada moderadamente límpido.

(6C) Transição E/Bw1: a razão entre material grosso e fino é de 5/3, sendo a porosidade estimada reduzida para 20%. A distribuição relativa da lâmina é gefúrica enáulica com setores porfíricos mais abundantes que as descritas na lâmina do horizonte Bw1. Realizada a divisão dos níveis de organização dos agregados, foram identificados à nível terciário e secundário, blocos sub angulares pouco desenvolvidos, e à nível primário uma estrutura granular coalescida. Deste modo a microestrutura pode ser definida como complexa, de blocos sub-angulares a granular coalescido.

A porosidade dominante trans agregados é de câmaras (70%) grandes com grãos de quartzo soltos

dentro, cavidades (40%) já a porosidade secundária é representada por cavidades tipo orto e câmaras pequenas, e a primária de porosidade por empilhamento e fissuras (não estimadas).

Quanto ao material grosso, predominam ainda grãos de quartzo, moderadamente selecionados, com formatos sub arredondados a sub-angular, pouco esféricos, de rugosidade ondulada com fissuras na maioria dos grãos bem selecionadas. O padrão de alteração do quartzo é tipo D (pontilhado) e grau 0 (zero) e 1 (um), revelando o início da fissuração provocada pelo intemperismo.

O material fino da lâmina é composto por argilas e oxi-hidróxidos de ferro, o que justifica a coloração vermelho escura, sendo moderadamente límpido. A presença de fissuras pode evidenciar um processo de contração e expansão do material, que contribui para formação dos agregados no solo. Quanto às feições pedológicas, cerca dos 20% dos totais observados, são revestimentos e preenchimento com argila orientada, denso e completo, com forte laminação e presença de zonas de distinção. Estas feições localizam-se na porosidade tipo câmaras e canais. Foram observadas ainda grandes feições de raízes (cerca de 20%), que se configuram em poros biogênicos.

(5C) **Transição A/E**: a razão entre material grosso e fino na ordem de 5/2, com 30% de porosidade. A microestrutura é complexa granular a bloco sub-angular, dividida em agregados terciários (granular-blocos sub-angulares, pouco acomodados e mal desenvolvidos) e secundários (granular). A distribuição relativa é enáulica gefúrica, com porosidade terciária tipo câmaras (40%) sendo os menores tamanhos observados no perfil, e cavidades tipo orto (30%). A porosidade secundária é de câmaras e primária porosidade de empilhamento (não estimada).

Relativo ao material grosso, predominam grãos de quartzo moderadamente selecionados, arredondados e sub-angulares, esféricos e lisos, cujo padrão de alteração identificados foram tipo D 0 (zero). Foi descrito um grão de carvão angular, e pouco rugoso, com padrão de alteração descrito em C2-1. No material fino, a coloração é vermelha alaranjada e foram observadas ainda a presença de fabricas birrefrigentes dos tipos poroestriada e granoestriada. Ainda há muitos poros tipo cavidade (antigos pedotúbulos) com preenchimento denso completo e incompletos.

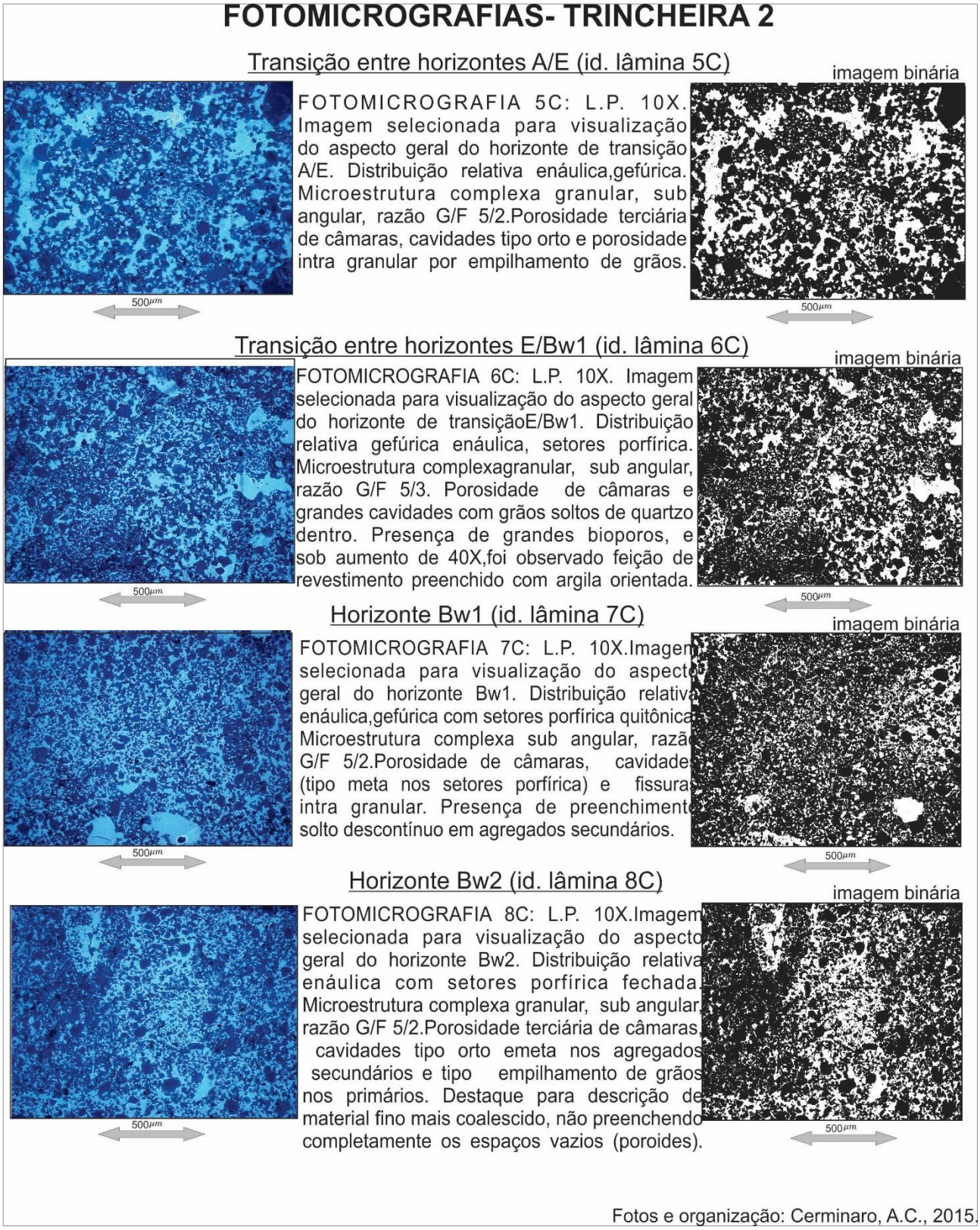


Figura 20: Fotomicrografias de setores representativos das lâminas delgadas de solo da trincheira 2. (Fotos e organização: CERMINARO, A.C., 2015).

TRINCHEIRA 3

(11C) **Horizonte C1**: a razão entre o material grosso e fino decresce para 3/1, sendo a fração de espaços vazios (porosidade) na ordem de 60%. A microestrutura é complexa de grãos simples, com pontes. A porosidade terciária foi de difícil individualização, sendo classificada como apedal, com grãos de quartzo soltos em câmaras. A porosidade trans agregados é do tipo cavidades (70%) e porosidade de empilhamento (30%), e a intragregados do tipo empilhamento de grãos (não estimada). A distribuição relativa é enáulica mônica. A natureza do material grosso é de grãos de quartzo, mal selecionados com diferentes tamanhos, pequenos arredondados e grandes sub-angulares, esféricos e lisos, cujo padrão de alteração foi D 0 (zero). Foram descritos ainda pequenos carvões, bem selecionados, sub-angulares e de esfericidade angular. O material fino é de coloração alaranjada, com a presença de focos mais isolados de material fino de coloração escura e opaca.

(12C) Horizonte C2: a razão entre material grosso e fino é 5/1, sendo a porosidade na ordem de 40% em uma microestrutura complexa de grãos com pontes a simples. A distribuição relativa é enáulica gefúrica, em uma porosidade terciária de grandes câmaras (65%) com cavidades e empilhamento complexo (35%), secundária e primárias do tipo empilhamento complexo (não estimados). No material grosso predominam os grãos de quartzo menores moderadamente selecionados e bem arredondados e esféricos, sendo os grãos maiores pouco angulosos pouco esféricos, de rugosidade lisa e padrão de alteração tipo D (pontilhados) e grau 0 (zero) em ambos os tamanhos. Foram descritos a presença de grãos de carvão bem pequenos, angulosos e não esféricos, já o material fino apresenta coloração laranja, com alguns pontos mais avermelhados, pouco límpidos, sendo visualizadas em setores isolados a presença de um material fino escuro e não límpido.

10C Horizonte de transição E/C1: com uma porosidade estimada em 50%, a razão do material grosso e fino foi de 4/1em uma microestrutura complexa intergranular e grãos com pontes. A porosidade terciária é apedal com grandes câmaras (40%) e cavidades tipo orto (20%), já a secundária de empilhamento complexo (20%) e a primária de empilhamento (20%) em uma distribuição relativa enáulica gefúrica. Existem alguns focos de material fino escuro distribuídos por toda lâmina, ocupando a porosidade secundária, mas predominam a coloração alaranjada bem como alguns grandes poros biológicos preenchidos. A natureza do material grosso foi o quartzo, moderadamente selecionado, com grãos de diferentes tamanhos, sendo os maiores de arredondamento sub-angular, pouco esféricos e os pequenos arredondados e esféricos, ambos de rugosidade lisa, ambos com padrão de alteração D0 (zero).

9C Horizonte E: com razão entre material grosso e fino de 4/1, apresenta microestrutura complexa intergranular e grãos com pontes, com setores grãos com película. A agregação terciária é apedal, secundária granular-soltos e primária de grãos simples. Porosidade terciária, com grandes câmaras (40%) e empilhamento complexo (30%), secundária de empilhamento complexo (20%), e primária intergranular (10%), em uma distribuição relativa enáulica gefúrica em formação, onde existem

grãos quitônicos.

O material grosso é composto por quartzos mal selecionados, sendo os de tamanho maiores pouco arredondados, sub angulares e liso, e os grãos menores arredondados, esféricos e lisos, padrão de alteração D (0) e D (1). Enquanto o material fino apresenta coloração laranja avermelhada mais intensa quando comparada às lâminas subjacentes, límpido sem orientação e fábrica indiferenciada. Há ainda presença de material fino de coloração escura, isolados e de menos ocorrência em toda lâmina.

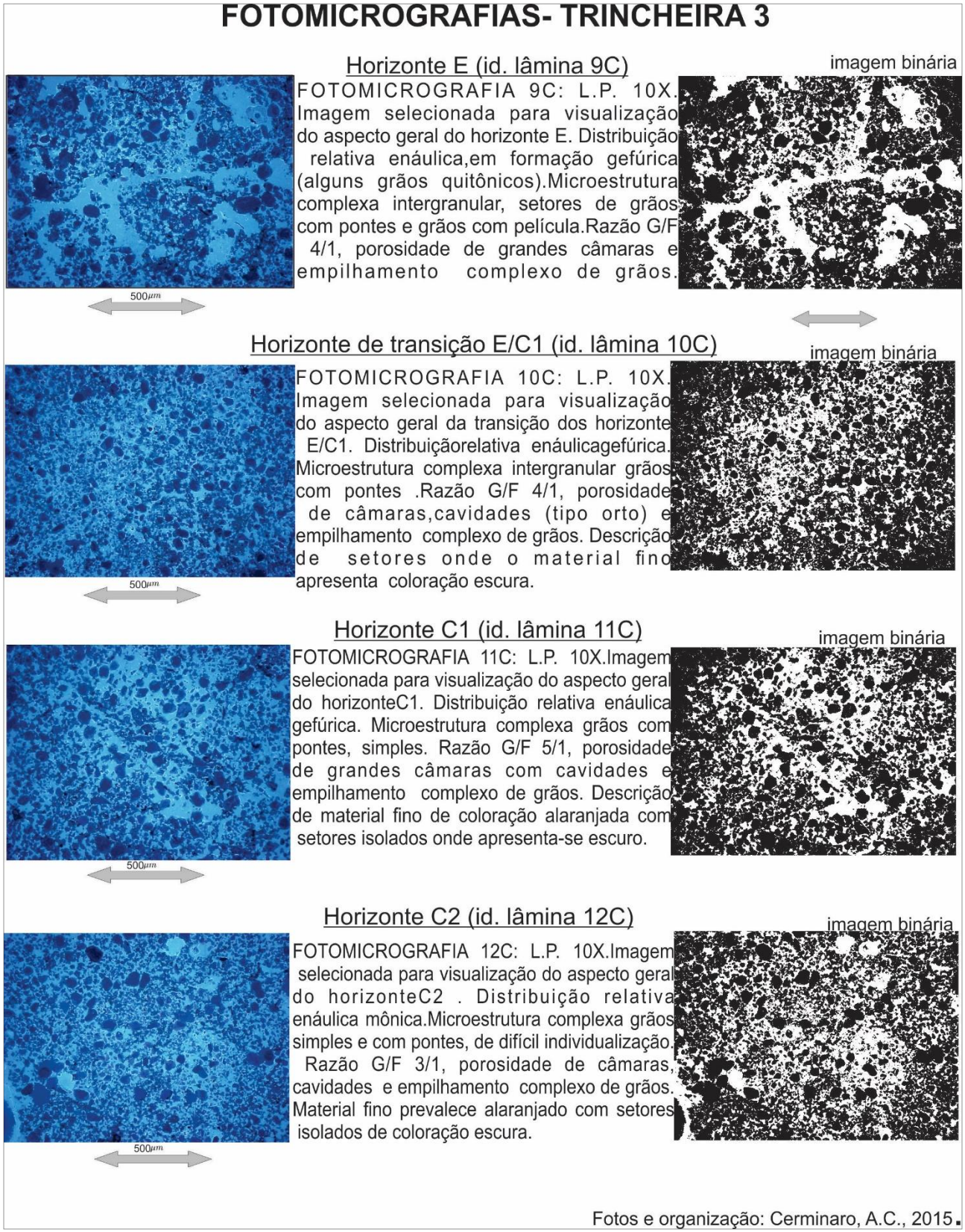


Figura 21: Fotomicrografias de setores representativos das lâminas delgadas de solo da trincheira 3. (Fotos e organização: CERMINARO, A.C., 2015).

Síntese micromorfológica da descrição dos volumes pedológicos- Topossequência Manacá

• O volume mais superficial amostrado em lâminas delgadas corresponde nos setores alto e média vertente a transição dos horizontes A/E com razão entre material grosso e fino na ordem de 5/1 e 5/2, e no terço inferior da vertente, ao horizonte E, onde esses valores se reduzem para 4/1, sendo a porosidade estimada em torno de 50%. O material grosso é constituído por grãos de quartzo moderadamente selecionados com padrão de alteração pontilhado entre graus 0 e 1. Já o material fino tem variação na coloração, sendo no topo vermelho escuro, média vertente vermelho alaranjado, com a descrição de fábricas birrefrigentes dos tipos poroestriada e granoestriada, da mesma coloração no terço inferior. A distribuição relativa se mantém enáulica, ainda em formação no terço inferior da vertente, reveladas pela presença de grãos quitônicos. A microestrutura é complexa sendo na média e alta vertente sub-angulares em desenvolvimento e no terço inferior, intergranular e grãos com pontes. Quanto à porosidade, predominam câmaras e cavidades, que são maiores no terço inferior da vertente, onde se diferenciam pela presença de porosidade de empilhamento complexo.

• A transição entre os horizontes E/Bw1, na alta e média vertente são diferenciadas já pela razão entre material grosso e fino, na ordem de 4/2 e 5/3, revelando um aumento de material fino e perda de porosidade total estimada no setor médio. A distribuição relativa é enáulica em ambas, com setores porfírica fechada mais abundantes na média vertente, que condicionam a microestrutura complexa de blocos sub-angulares a granular coalescido, diferenciando-se do setor mais alto, onde é complexa granular a intergranular.

Esta transição na T3 delimita o horizonte de transição E/C1, com razão entre material grosso e fino de 4/1, distribuição relativa enáulica gefúrica, expressas em uma microestrutura complexa intergranular e de grãos com pontes, sendo apedal na divisão terciária de agregados. A porosidade neste volume em toda vertente é de câmaras (de maior tamanho no setor inferior), cavidades e canais, com a presença de fissuras na agregação primária do terço alto e médio, e empilhamento de grãos na baixa vertente.

O material grosso é composto por grãos de quartzo, sem grandes diferenciações do volume subjacente, sendo observada a presença de grãos de carvão na T2. Já o material fino se diferencia por apresentar no setor inferior da vertente, focos isolados de coloração mais escura, contrastando com coloração vermelho alaranjada.

• Abaixo destes volumes transicionais, foram amostrados os horizontes diagnósticos identificados como Bw1e Bw2 na média e alta vertente.

Os volumes Bw1, apresentam relação material grosso e fino de 5/1 e 5/2 respectivamente, distribuição relativa enáulica quitônica com preenchimento solto e descontínuo de argila no setor superior

da vertente, e enáulica gefúrica (com setores porfírica quitônica no terço médio). Essa diferenciação influencia a microestrutura complexa descritas com grãos com pontes e sub-angulares, ambas com porosidade terciária predominante de câmaras e cavidades, e na agregação primária fissuras nos setores porfíricos e pequenas cavidades intergranulares complexa.

Já o volume abaixo, Bw2 apresentam grande diferenciação no setor superior, com relação entre material grosso e fino de 2/5, distribuição relativa quitônica gefúrica, que influenciam a microestrutura complexa de blocos sub-angulares pouco desenvolvidos com grãos com películas e grãos com pontes, em oposição a este mesmo volume na média vertente, que apresenta relação grosso/fino de 5/2, distribuição relativa enáulica com setores porfírica fechada, microestrutura complexa granular a sub-angular.

Quanto a natureza do material grosso, prevalecem os grãos de quartzo, com padrão de alteração pontilhado variando entre os graus 0, 1 e 2, com a presença de pequenos carvões distribuídos principalmente nas lâminas dos horizontes Bw1. O material fino tanto no Bw1 como Bw2 é de coloração vermelho alaranjada, e apresenta-se mais coalescido no Bw2 no terço médio.

• Os horizontes mais profundos amostrados em lâminas e descritos no terço inferior da vertente denominados C1 e C2 se diferenciam por apresentarem variação na razão entre material grosso e fino, sendo de 3/1 (C1) com porosidade estimada em 60% e de 5/1 (C2) com perda de porosidade pela maior presença de material fino, o que altera a distribuição relativa para enáulica gefúrica, em oposição a enáulica mônica da C1. A microestrutura é complexa de grãos simples com pontes em ambos, e a porosidade de grandes cavidades, câmaras e por empilhamento complexo de grãos. O material grosso é de grãos de quartzo mal selecionados, sem variações do até então descritos, e no C2 há a presença de material fino de coloração mais escura em pontos isolados que contrastam com o material fino alaranjado e límpido descritos tanto para os volumes C1 como C2.

7.6 Quantificação e forma da porosidade

A quantificação e caracterização quanto a distribuição, formas e classes de tamanho da porosidade do solo, é fundamental quando buscamos compreender a estabilidade estrutural e a micromorfologia que pode contribuir e/ou condicionar desequilíbrios revelados em feições erosivas.

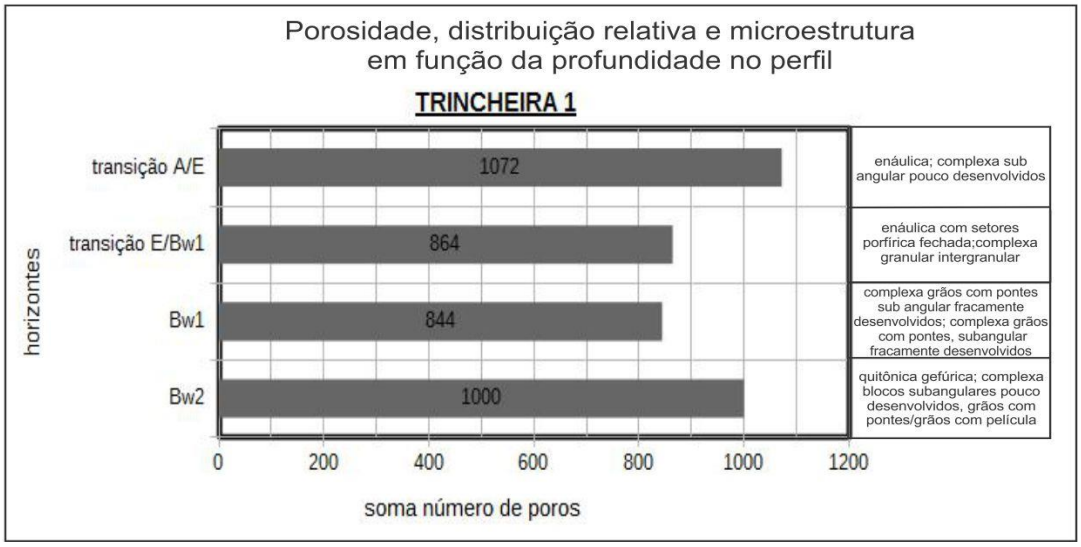
Importante ressaltar que a análise foi realizada através de uma imagem bidimensional, com a representação do espaço poroso desconsiderando aspectos tridimensionais de continuidade entre os poros, surgindo a definição de poroide por Moran *et.al*. (1988), utiliza o espaço poroso contabilizado em função da área e não do volume. Ainda, a análise de imagens realizada contabiliza apenas macro e mesoporos, conforme a classificação de Bullock *et.al.* (1985) os mesoporos possuem diâmetro entre 50 a 500um e os macroporos de 500 a 5000um, deste modo, eventuais microporos que tenham sido contabilizados são desprezíveis.

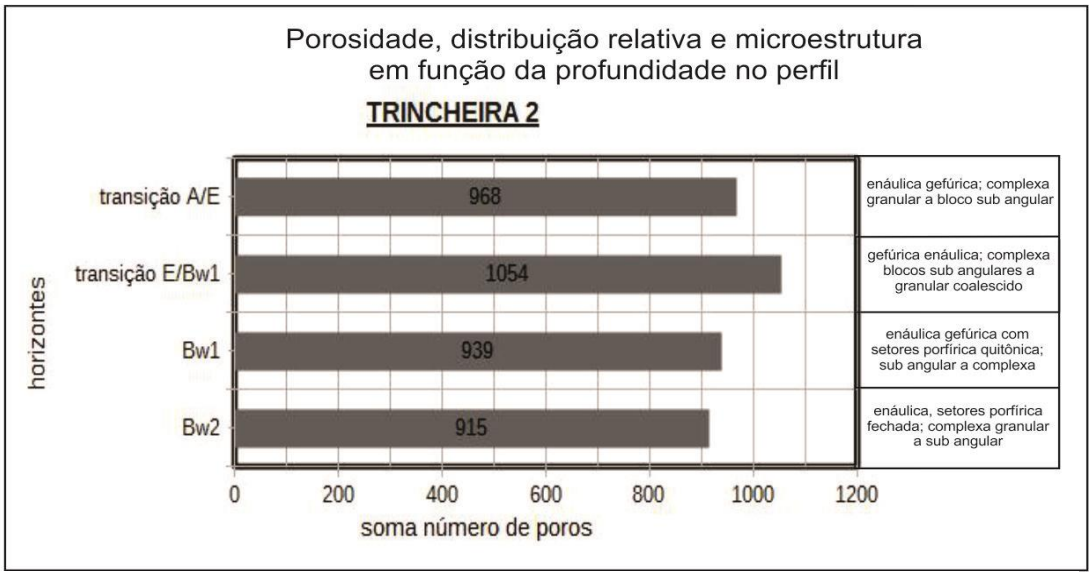
7.6.1Porosidade, distribuição relativa e microestrutura

Através da quantificação dos números de poros por lâminas analisadas foi possível estimar a soma total de poros para cada horizonte nos três perfis descritos, onde foram confeccionados gráficos (Figura 22) que relacionam essa distribuição de poros em profundidade, com a microestrutura e distribuição relativas, descritas na análise das lâminas.

No horizonte mais superficial amostrado, transição entre A/E do terço superior da vertente, a somatória de poros ultrapassa 1000 poros, o que revela uma forte atividade biológica (raízes e microfauna) que consequentemente criam mais espaços vazios no solo, onde interpretados com a distribuição relativa complexa sub-angular pouco desenvolvida, compreendemos a estruturação inicial que a presença de matéria orgânica oferece. Há diminuição desses valores no terço médio da topossequência, provavelmente em função do uso agrícola (plantios pretéritos e mais recentemente pisoteio de gado) mais intensivo da área. A soma de poros diminui ainda mais na T3, o que pode ser explicado também pela microestrutura enáulica gefúrica descrita em ambos setores (médio e inferior) para esse horizonte, onde o material fino encontra-se mais espacializado entre os agregados, formando pontes que ocupam os vazios do solo, com uma distribuição relativa complexa de granular a intergranular, com grãos com pontes e grãos com película.

A transição entre os horizontes E/Bw1 é marcada pela diminuição do número de poros na T1, explicado pela microestrutura enaúlica com setores porfírica, revelando a concentração de material fino neste setor. Em contrapartida, no setor médio da vertente há um aumento do número de poros quando comparado ao volume superior, mais compactado. Comportamento que se repete no terço inferior, ainda com uma microestrutura enáulica gefúrica, porém em uma distribuição relativa complexa intergranular, grãos com pontes.





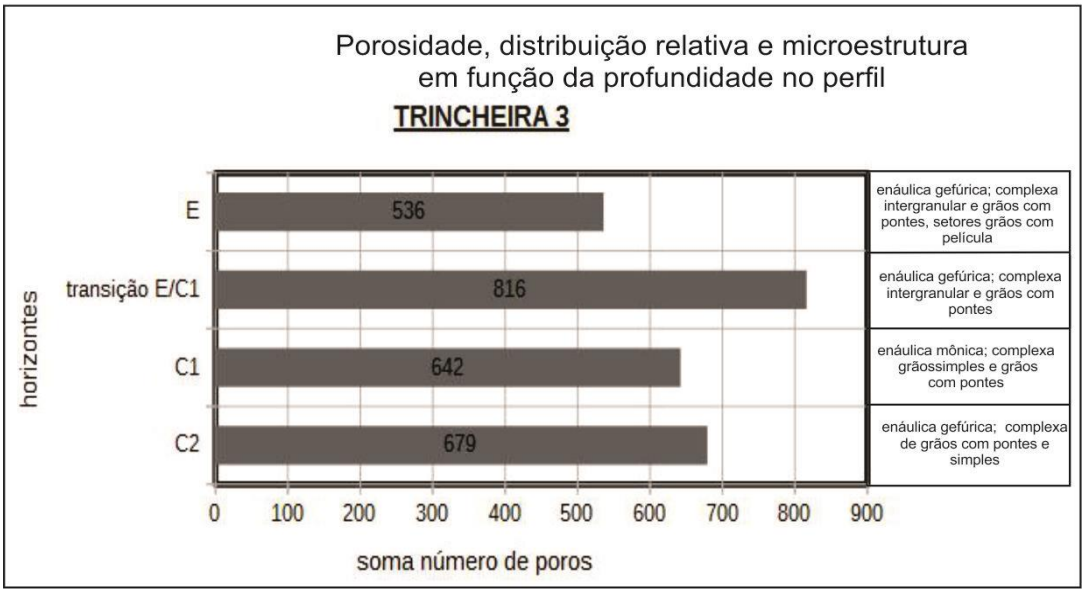


Figura 22: Gráficos de soma total de poros, distribuição relativa e microestrutura em função da profundidade do perfil, trincheiras 1,2 e 3.

O horizonte Bw1, apresentou um decréscimo da soma de número de poros, em ambos setores (T1 e T2) que pode ser explicado pelo aumento de densidade e incremento de material fino no solo, revelados pela microestrutura enáluca gefúrica, com setores porfírica e uma distribuição relativa complexa de grãos com pontes a subangular, ainda fracamente desenvolvida.

Esse decréscimo do número de poros em profundidade continua no eixo superior da topossequência, no Bw2 em uma microestrutura enáulica com setores porfírica fechada. Já em seu eixo médio da vertente, este mesmo horizonte apresenta um aumento significativo da soma de número de poros (quase 1000), com microestrutura quitônica gefúrica. O aumento de porosidade em profundidade pode ser explicado pela forma dos poros, que resultam do empilhamento complexo de grãos e agregados, e que serão melhor apresentados e discutidos nos próximos tópicos (Figura 25 a 27).

O decréscimo em profundidade da porosidade ocorre também no horizonte C1 no setor inferior da vertente onde o empilhamento de grãos simples de areia, estão arranjados em uma microestrutura enáulica mônica. Enquanto que no volume abaixo, C2, há um ligeiro aumento na soma de poros (de 642 no C1 para 679 no C2), com mudanças na microestrutura (enáulica gefúrica), e distribuição relativa complexa de grãos simples e grãos com pontes.

7.6.2.Relação entre porosidade total e forma do poro

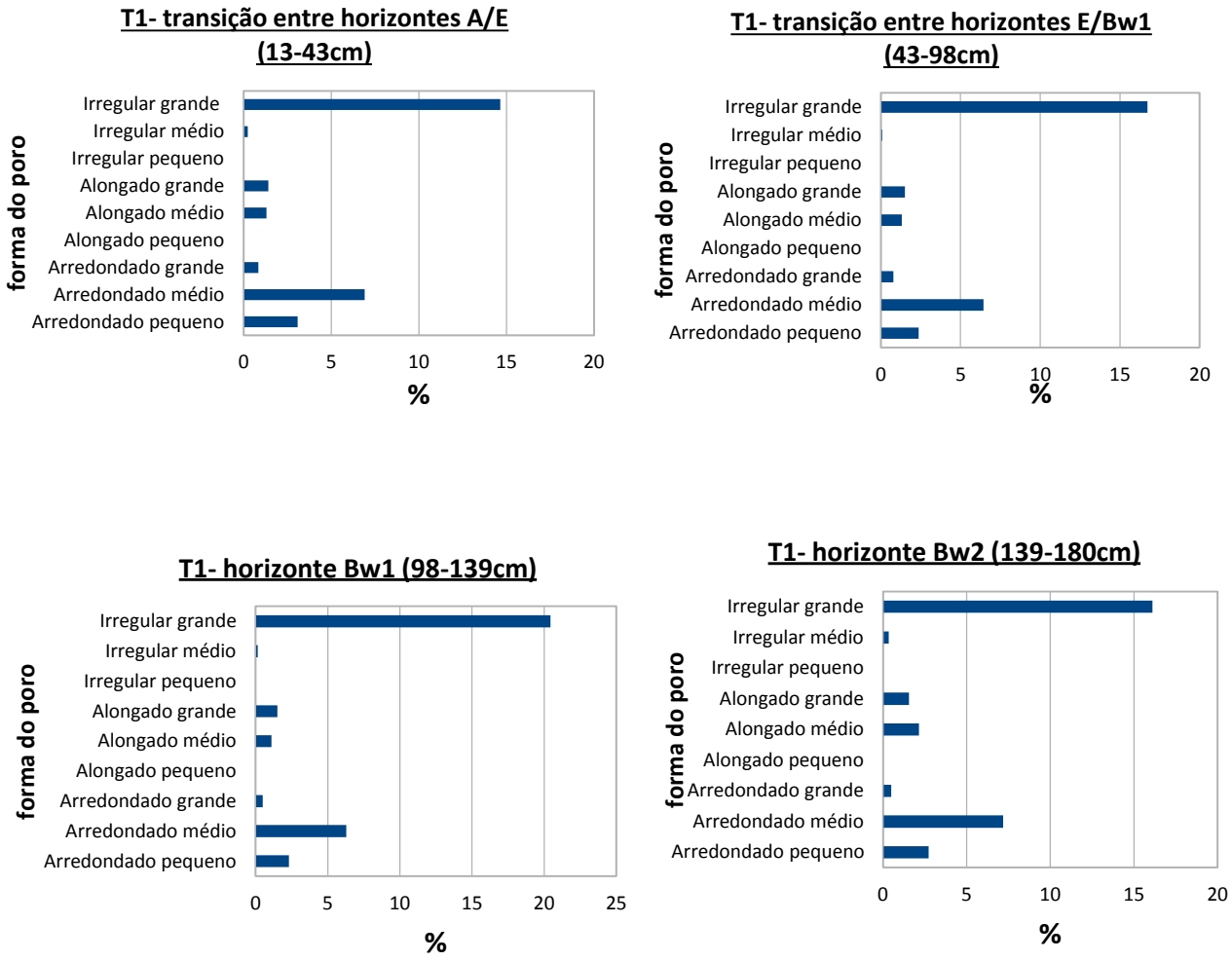
As figuras 23 a 25 fornecem informações sobre a porcentagem de poroides em função da classe de diâmetro equivalente (ou largura) e forma (arredondado, alongado e irregular) nos diferentes horizontes da topossequência Manacá.

Nos solos arenosos, como os da área de estudo, predominam poros de empilhamento simples, onde são formados pelo empilhamento de grãos de areia. Conforme define Ringrose- Voase (1991), essa porosidade expressa na análise bidimensional sob a forma de poros irregulares, podem s ser definidos como estruturais, pois definem as unidades estruturais do solo, no caso de empilhamento.

Em todos os volumes amostrados ao longo da trincheira, prevalecem poroides irregulares grandes (>156000µm). Nos horizontes mais superficiais, essa porosidade pode ser associada ao empilhamento simples e composto de grãos de areia e à presença de atividade biológica. Enquanto que, nos horizontes Bw1 e Bw2 do eixo superior e médio da vertente, essa expressiva ocorrência, obedece claro à granulometria arenosa do solo organizada agora em empilhamentos complexos de grãos de areia e agregados, ainda que pouco desenvolvidos.

Os poros de empilhamento que resultam de empacotamento de grãos simples e/ou agregados, têm como funções principais tornar a infiltração da água mais rápida em detrimento de seu armazenamento e facilitar a penetração de raízes. No entanto, a retenção da água pode ser prejudicada em função da área muito grande ocupada por este tipo de poroide. Podemos inferir ainda que, quanto menor a área ocupada

pelos indivíduos e maior sua quantidade, menor será a conectividade entre os poroides. Os microagregados aglomeram mais entre si e entre os grãos simples presentes, interceptando mais os espaços vazios, o que pode diminuir a conectividade interagregados aparente na imagem bidimensional.

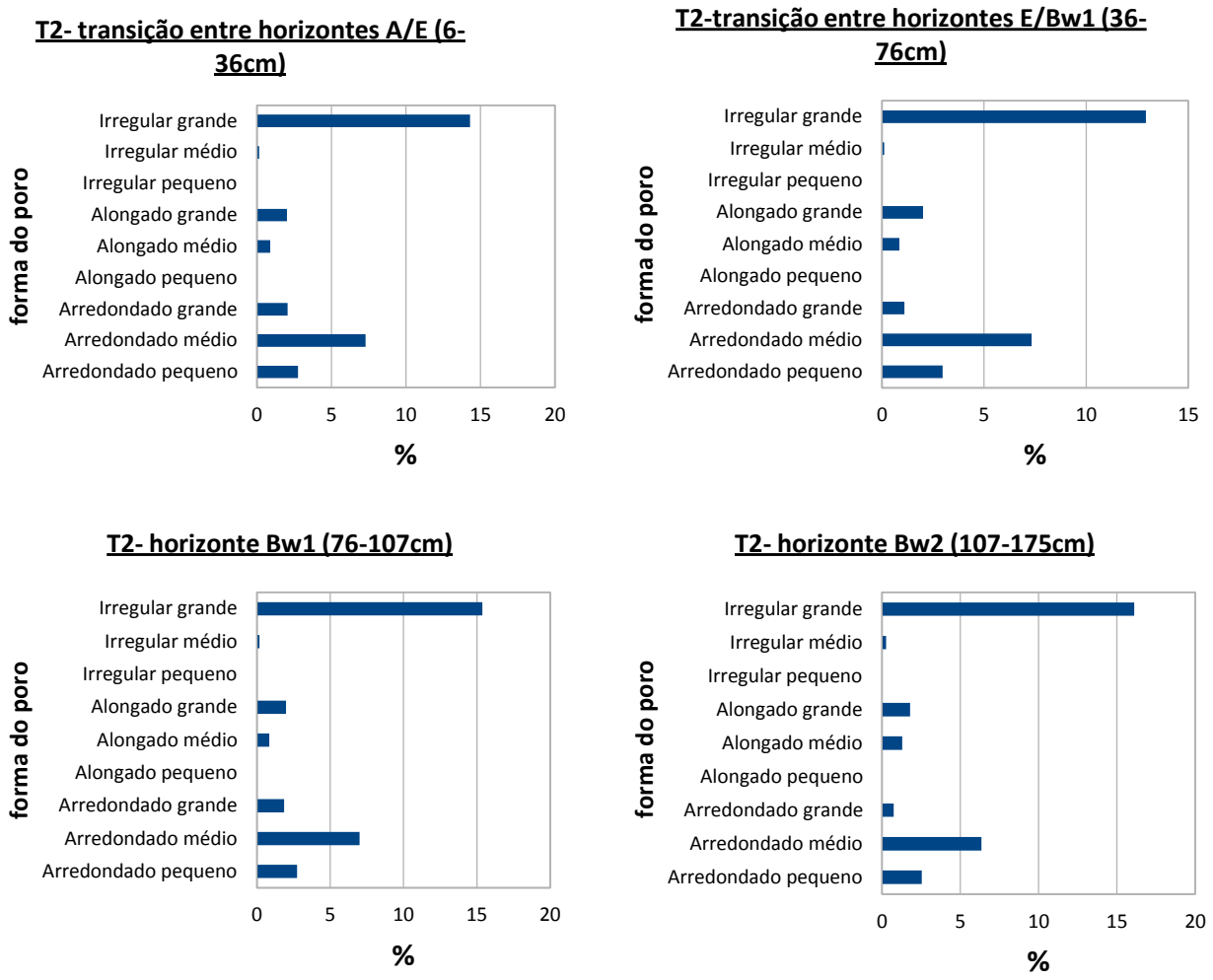


Onde: pequeno 156-15600µm; médio: 15600-156000µm.; grande: > 156000µm.

Figura 23: Gráficos de relação entre total de porosidade e forma do poro na trincheira 1

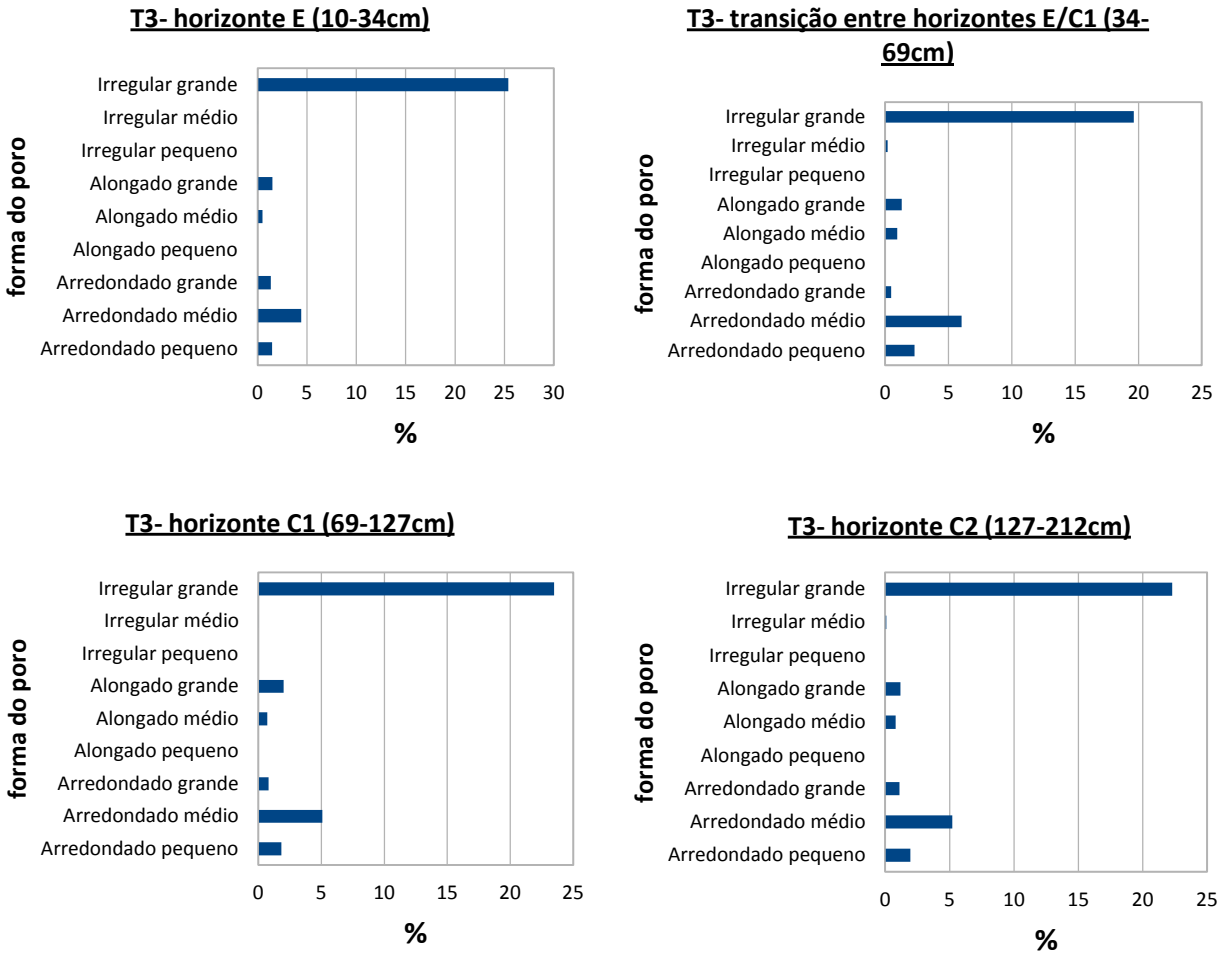
Correlacionando a microestrutra e distribuição relativa do solo, quando no horizonte ocorre uma mistura de grãos e agregados o tipo de poro formado por esta combinação é denominado de empilhamento complexo (Bullock, *et. al*.,1985). Na topossequência a distribuição relativa complexa de grãos simples e/ou grãos com pontes, que forma essa porosidade estrutural de empilhamento de grãos, ocorre nos volumes mais profundos em toda topossequência, associada a microestruturas enáulicas com setores porfírica e enáulica gefúrica.

.



Onde: pequeno 156-15600µm; médio: 15600-156000µm.; grande: > 156000µm.

Figura 24: Gráficos de relação entre total de porosidade e forma do poro na trincheira 2.



Onde: pequeno 156-15600µm; médio: 15600-156000µm.; grande: > 156000µm.

Figura 25: Gráficos de relação entre total de porosidade e forma do poro na trincheira 3.

A segunda forma mais presente na porosidade total em toda vertente foram os poroides arredondados de tamanho médio (15600-156000µm), seguidos por arredondados pequenos (156-15600µm). Os valores são aproximados no eixo superior e médio da vertente, havendo um decréscimo na baixa vertente. Esta forma representa cavidades bem delimitadas e pouco interconectadas, e podem revelar um maior desenvolvimento no processo de formação de agregados e consequentemente estruturação do solo, condicionando outras velocidades e forças (potenciais) na dinâmica da água em sub superfície. Também apresentam redução nas porcentagens totais no sopé da vertente, os poroides alongados, significativos no transporte de água.

7.6.3 Quantificação de número de poros e classes de formas

A distribuição do número de poros em função das classes de forma e diâmetro (média e desvio padrão) possibilita comparativos do modo de organização e arranjamento dos poróides (Figuras 26 a 28). Os maiores valores de número de poros são em toda topossequência relativos a forma arredondada, com diâmetros entre 50-100µm. Realizando uma comparação com os dados acima apresentados e discutidos, acerca da porcentagem de porosidade total e formas dos poroides predominantes, percebe-se que dominam os irregulares grandes. Essa aparente contradição de resultados nos revela que, os maiores vazios do solo são formados por poroides irregulares grandes, que ocupam em porcentagem a maior área soma de porosidade total. No entanto, a morfologia mais abundante em quantidade (soma de número de poros) são os em formatos arredondado, de diâmetro entre 50-100µm.

No terço inferior da vertente, o número de poros contabilizados na análise de imagem é menor, e a quantificação dos arredondados também decresce, indicando a ausência de cavidades bem formadas, provavelmente explicadas pelo predomínio de material grosso e menores teores de material fino, que afetam os graus de desenvolvimento estrutural do solo e seus vazios. Ainda, a inexpressiva ocorrência de poros arredondados com diâmetro entre 500-1000µm em vertente, evidencia o empilhamento de grãos simples sem os espaços vazios estarem bem interceptados, devido a granulometria arenosa predominante. Por fim, os poroides alongados, significativos na movimentação de água no solo, ocupam área desprezível e pouco contribuem para a porosidade total nos volumes pedológicos analisados.

TRINCHEIRA 1:

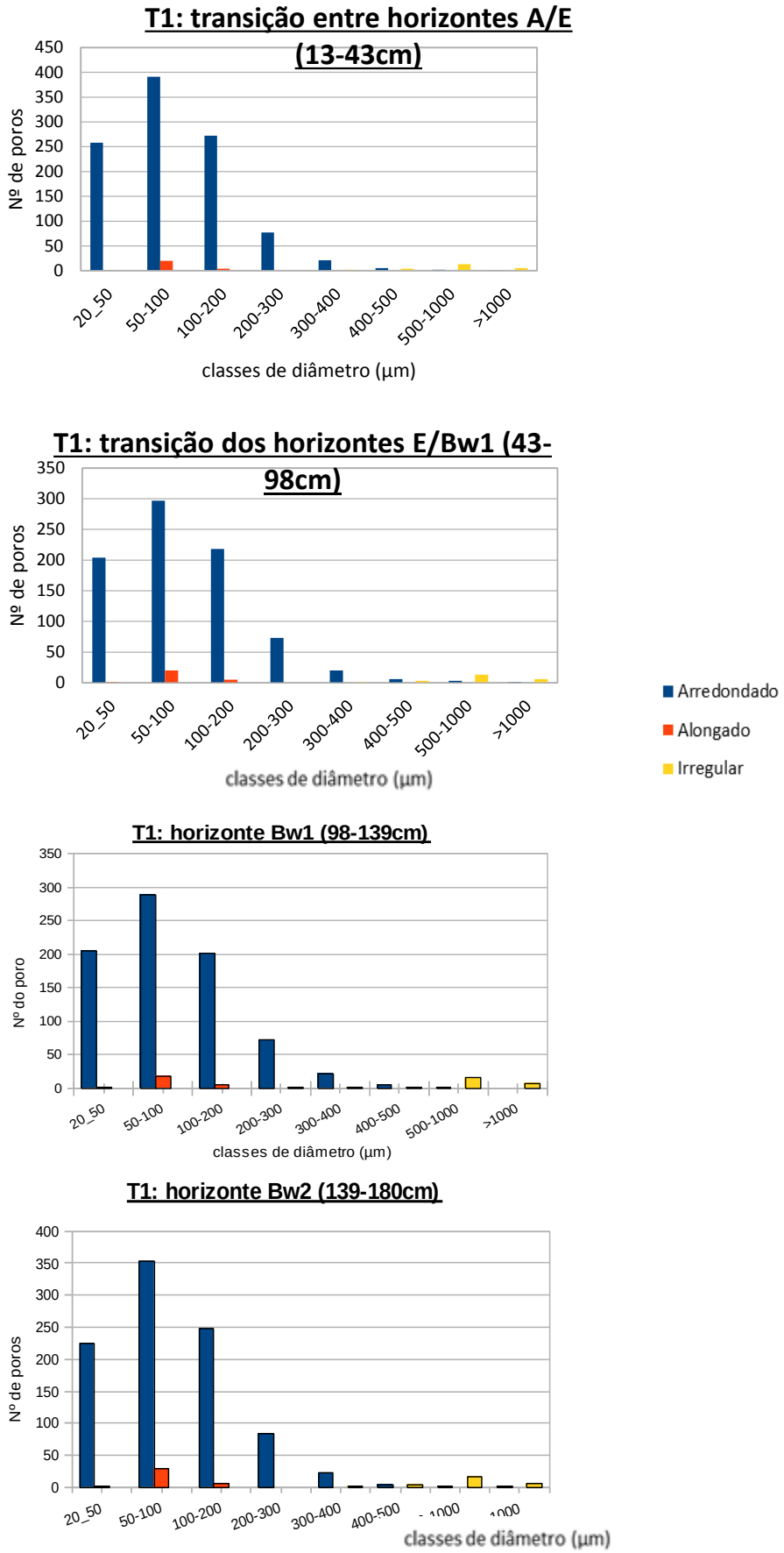
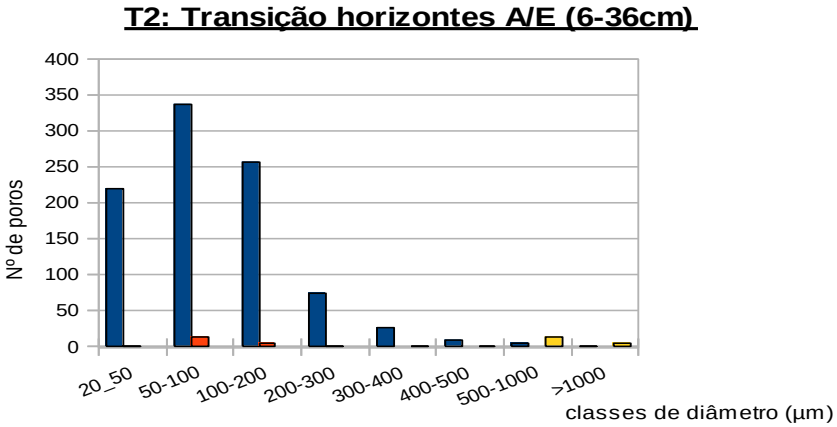
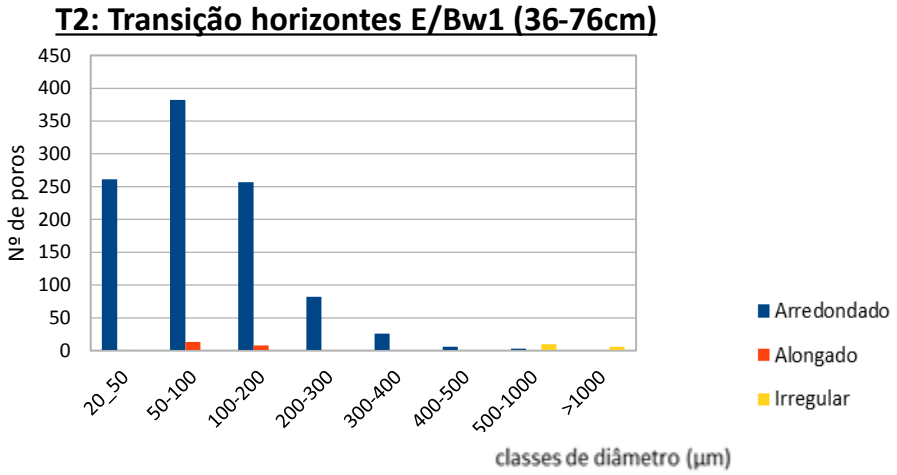
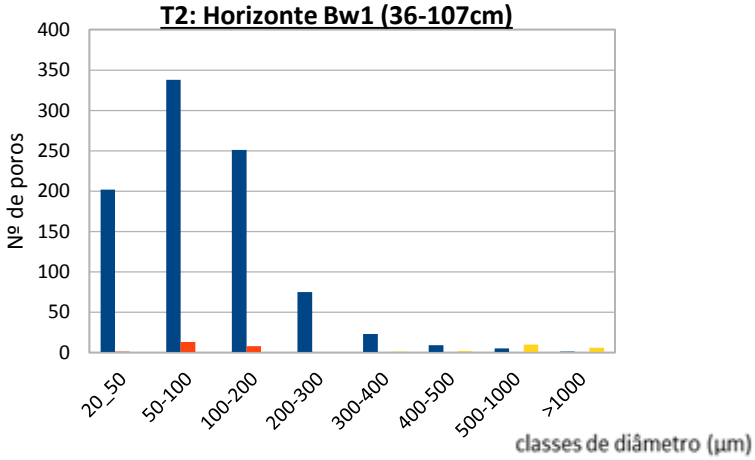


Figura 26: Distribuição do número de poros em classes de diâmetro (média e desvio padrão) trincheira 1.

TRINCHEIRA 2:







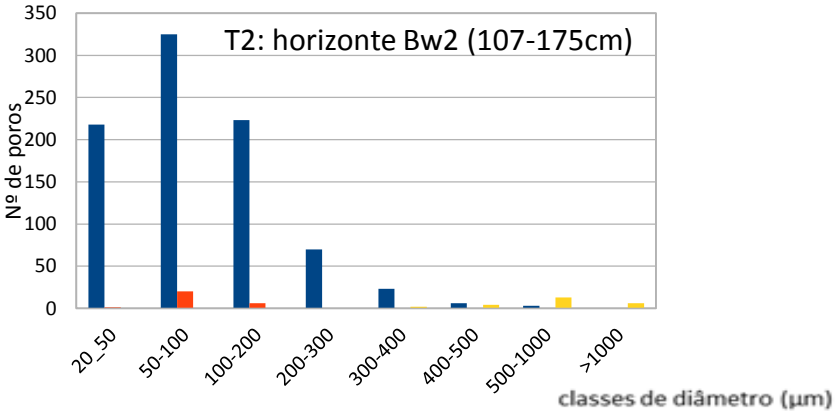


Figura 27: Distribuição do número de poros em classes de diâmetro (média e desvio padrão), trincheira 2.

TRINCHEIRA 3:

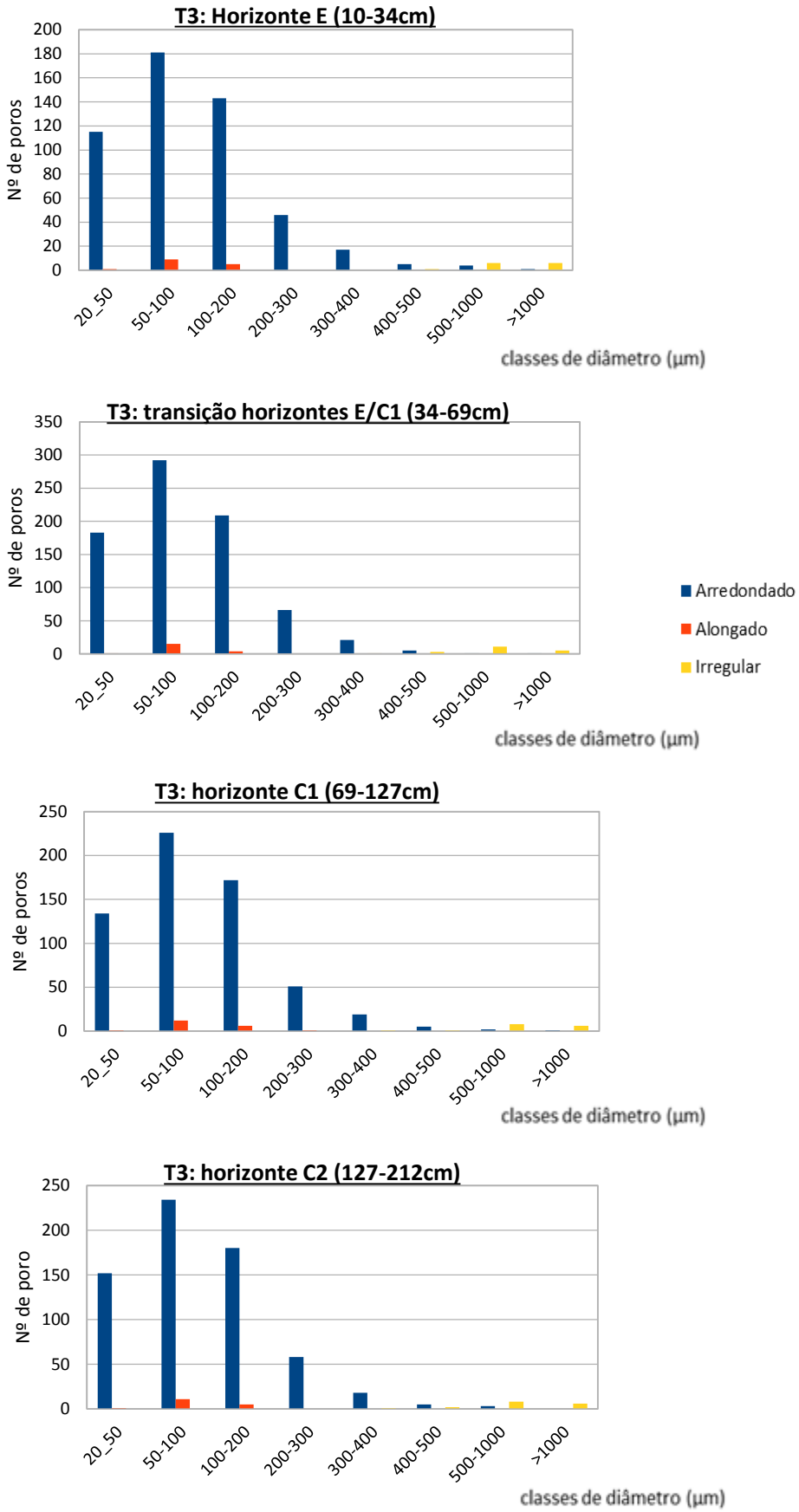


Figura 28: Distribuição do número de poros em classes de diâmetro (média e desvio padrão), trincheira 3.

Utilizando as informações acerca das microestruturas descritas nas análises das lâminas podemos ainda avaliar o grau de pedalidade, proposto por Bullock *et.al*., (1985), e definido como: forte para unidades de material sólido envolvidos totalmente por espaços vazios; moderado, para unidades conectadas a outras em menos de um terço de seu diâmetro; e fraco, para unidades conectadas em um a dois terços do seu diâmetro. A avaliação do estágio de desenvolvimento da formação dos agregados, que influi diretamente em sua microestrutura e visualizada a partir da quantidade, forma e tamanho dos espaços vazios, fornece importantes correlações para compreender o deslocamento da água e a instabilidade estrutural dos volumes, sob o ponto de vista morfológico.

Nos volumes pedológicos estudados, os graus de pedalidade encontrados foram moderados em profundidade nos volumes do terço superior e médio da topossequência (Bw1 e Bw2), com estrutura em blocos sub-angulares sob escala macromorfológica de descrição e microestrutura complexa de grãos com pontes a blocos sub-angulares pouco desenvolvidos. Nos horizontes mais superficiais (A, A/E) e no sopé da vertente, os graus de pedalidade pode ser descrito como fraco, em uma estrutura de grãos simples e microestrutura complexa de grãos simples a grãos com pontes.

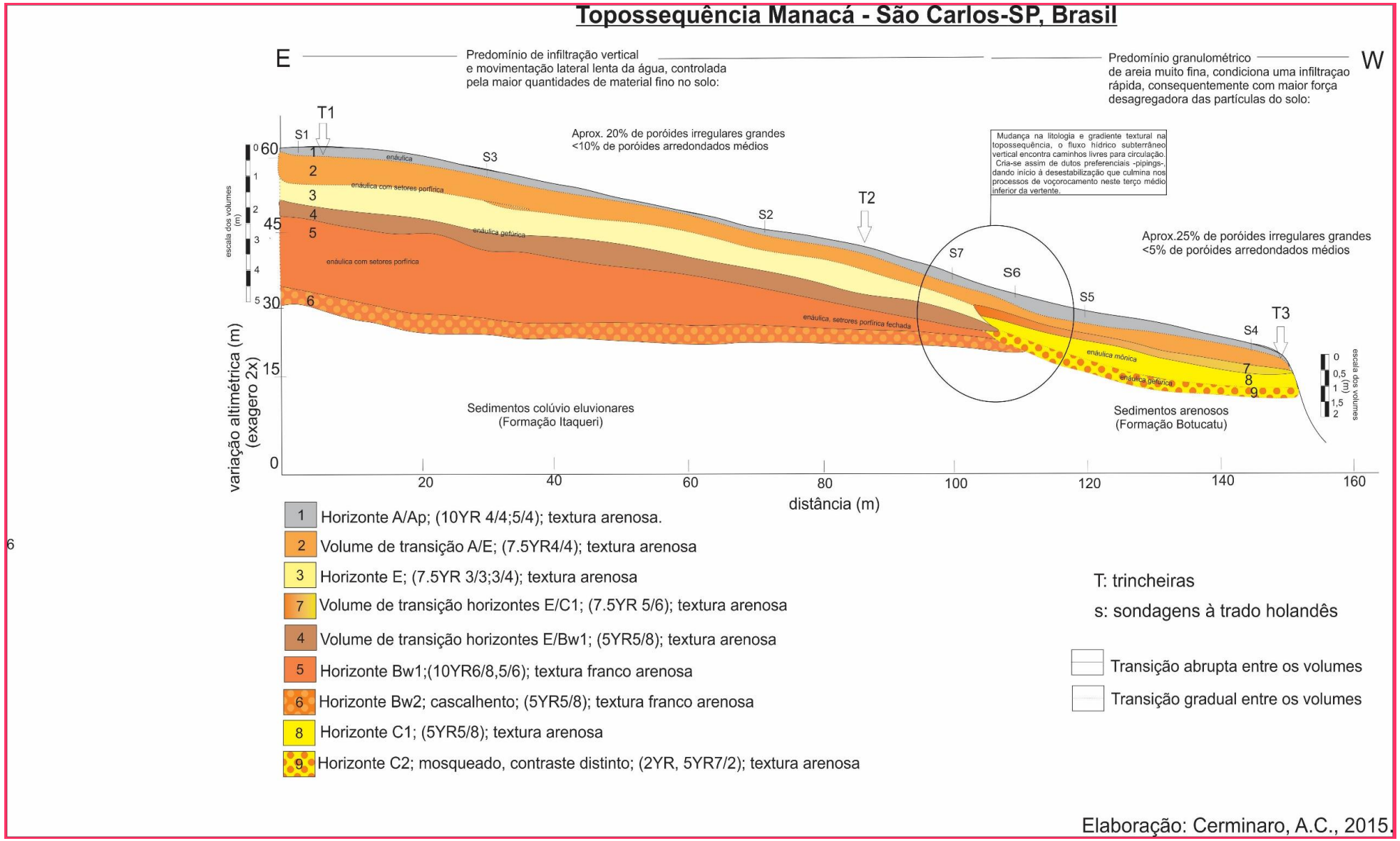


Figura 29: Topossequência Manacá com informações macro/micromorfológicas e inferências acerca da dinâmica erosiva.

7.7 Relatos da intervenção dirigida para contenção das voçorocas no Sítio Manacá

Conforme exposto, o sítio onde se localiza a área de estudo é um espaço de educação popular aberto e acolhedor a diferentes atividades que visem a intervenção com o espaço, tanto físico (construído) como a paisagem, e práticas integrativas do ser humano. Com a execução da pesquisa e contato com os moradores e visitantes do local a problemática do crescimento e alargamento das voçorocas existentes foi sempre tema de debate e trocas de informações. Deste modo, com a finalização da pesquisa e compilação de diferentes pessoas que também pesquisam o tema foi proposta e executada uma vivência com duração de três dias para compreensão teórica e intervenção prática na paisagem em degradação do sítio Manacá. Nos dias 05, 06 e 07 de setembro de 2015, foi realizada esta atividade tendo como foco a relação entre solos, paisagem e recursos hídricos no sítio Manacá.

Participaram cerca de 40 pessoas, de diferentes formações profissionais e interesses onde foram apresentados os resultados de mapeamento das voçorocas do sítio realizados nesta pesquisa, bem como o conhecimento da geologia e relevo do entorno, já com considerações acerca de como os processos erosivos lineares são condicionados pelos fatores físicos da paisagem e condicionados pelo uso antrópico do solo. A discussão foi alimentada ainda pelo momento político de redefinições de uso sobre o território, onde está acontecendo a revisão do Plano Diretor e há uma intensa pressão imobiliária para instalação de indústrias, nesta área que hoje pertence a uma APREM (Área de Proteção e Recuperação de Mananciais).

Quanto as atividades práticas, foram definidos locais prioritários para intervenção nas voçorocas, localizadas mais próximas das casas, onde foram realizadas a construção de terraços em nível com plantio de espécies selecionadas para diminuir velocidade do escoamento das águas. Ainda a construção de canaletas de drenagem dentro de uma voçoroca, para direcionamento do fluxo superficial e barreiras de contenção no topo das mesmas.

Através da realização desta vivência a presente pesquisa alcançou uma dimensão de práxis, conceito elaborado por Marx que, compreende uma ação transformadora realizada pelo ser humano, pela qual transforma o mundo e também se transforma. A práxis educativa popular, conceito de Paulo Freire, definido como a ação de ensinar-e-aprender coletivamente com a finalidade de transformação libertadora, trouxe a pesquisa essa dimensão articuladora de repassar os conhecimentos adquiridos e sintetizados em uma ação política de intervenção e forma de organização. Para além dos muros da universidade, unindo o conhecimento teórico com a prática coletivamente organizada e intervindo de fato no local e pessoas envolvidas nesta paisagem em transformação.

CAPÍTULO 8: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição dos solos na Topossequência Manacá está estritamente correlacionada à transformação vertical do material de origem em solo, em cuja vertente existe uma diferenciação litológica, que condiciona a morfologia diferenciada, tanto em escala macromorfológica quanto micromorfológica.

Confirmando a hipótese inicial da pesquisa, existe um contato de formações geológicas em vertente, onde a porção superior e média está associada à depósitos colúvio-eluvionares da Formação Itaqueri, descrita como coberturas de serra de granulometria arenosa, onde foi descrito um Latossolo Vermelho Amarelo, em desenvolvimento. Já o terço inferior da vertente, corresponde a um solo formado a partir dos arenitos da Formação Botucatu, o que explica a granulometria dominante de areia fina, características desta formação, sendo enquadrado enquanto Neossolos Quartzarênicos Álicos.

A descrição macromorfológica realizada em campo, demonstrou assim dois sistemas distintos: nas trincheiras 1 e 2, foi descrito um horizonte Bw diagnóstico (onde admite-se < 15% de gradiente textural entre os horizontes: OLIVEIRA, 2001), de coloração mais avermelhada, maior umidade e textura ligeiramente mais argilosa, com boa circulação hídrica vertical e lateral. Essa maior presença de argilas (material cimentante) provê agregação do solo, em uma microestrutura complexa de grãos com pontes nos agregados terciários e sub-angular fracamente desenvolvidos nos agregados secundários, chegando a complexa granular a sub angular no horizonte Bw2 em média vertente.

A distribuição relativa em microescala no topo da vertente, sob relevo mais plano, para transição dos horizontes A/E, E/Bw1 foi enáulica, típica de ambientes estáveis tropicais, característica em Latossolos, onde prevalecem processos de pedogênese geoquímica, desenvolvida por mecanismos de floculação, visualizados na dissociação dos agregados de material fino do material grosso. Essa condição apresenta-se associada com a distribuição relativa gefúrica, nas transições na alta e média vertente nos volumes A/E e Bw1, o que nos permite considerar o movimento de microestruturas em agradação por eluviação e cimentação parcial (horizontes Bw) ou em degradação por lessivagem (transição A/E).

No volume Bw2 em média vertente a distribuição enáulica foi descrita em conjunto com setores porfírica fechada, que sinalizam a condição de agregados com elevado grau de cimentação pelo material fino presente, destarte que, a presença de fissuras revela o processo de formação de agregados. Tal concentração de material fino neste setor da topossequência nos indicam a existência tanto do fluxo vertical de infiltração e translocação do material fino, como a movimentação lateral e mesmo a transformação dos minerais.

Pela própria diferenciação litológica que ocorre na topossequência, a distribuição relativa do volume C1 é enáulica mônica, indicando não a dissociação do material fino com grosso, mas sim o grau incipiente de seu desenvolvimento, com predomínio de material arenoso sem cimentação, devido a proeminência de processos litodependentes.

Claramente que essa diferenciação litológica, formando dois tipos de solos distintos em vertente, se expressa também na quantificação e morfologia do sistema poroso. Apesar de em toda topossequência prevalecer a granulometria arenosa, condicionando poros de empilhamento simples e complexos de grãos de areia em toda vertente, ocorrem variações a depender da posição do volume no continuum pedológico. Os volumes mais superficiais, pela maior presença de atividade biológica apresentam maiores valores na soma de número de poros totais, principalmente no topo da vertente, com redução no eixo médio em virtude da compactação superficial do solo de origem antrópica.

Em todos os volumes amostrados ao longo da trincheira, prevalecem poroides irregulares grandes (>156000μm), seguidos por poroides arredondados de tamanho médio (15600-156000μm) e arredondados pequenos (156-15600μm). Os valores são aproximados no eixo superior e médio da vertente, havendo um decréscimo na baixa vertente. Esta forma representa cavidades bem delimitadas e pouco interconectadas e podem revelar um maior desenvolvimento no processo de formação de agregados e consequentemente estruturação do solo, o que nos permite concluir seu grau incipiente que decresce ao longo da topossequência.

A presença de quantidades maiores de agentes cimentantes no terço médio da vertente condicionam um comportamento diferencial no movimento subsuperficial de água, com maior potencial matricial (adsorção e capilaridade) interferindo no potencial osmótico e obviamente na capacidade do solo em fornecer ou não a morfologia ideal para infiltração lenta e equilibrada em função do potencial hidráulico, que sofre alterações. As relações solo/água são essencialmente dinâmicas pelo conjunto de forças atuantes e condicionados pela morfologia, onde a perda de carga que representa a dissipação de energia devido à resistência que o meio oferece ao fluido, sofrendo diferenciações em função da micromorfologia e porosidade associada ao longo da topossequência.

A ocorrência de voçorocas neste terço médio inferior (visualizadas nesta posição em quatro grandes voçorocas na área de estudo) é a materialização em forma de processo erosivos, deste comportamento diferencial da massa do solo. A distribuição porfirica em profundidade no setor médio, sinaliza a dificuldade do potencial gravitacional predominar, surgindo assim os fluxos laterais que, em determinado setor se deparam com a litologia extremamente arenosa da Formação Botucatu, encontrando assim caminhos livres para sua translocação, criando com facilidade linhas preferenciais de fluxo da água, os chamados pipings. A velocidade dos fluxos em pipings é muito mais rápida quando comparada a velocidade dos outros fluxos em subsuperfície, havendo perturbação no gradiente hidráulico e onde os processos morfogenéticos erosivos se instalam.

Tais agentes condicionantes próprios dos fatores físicos que compõe essa paisagem (litologia, forma do relevo e tipo de solo), são agravados por práticas deflagradoras como o desmatamento da cobertura vegetal e uso do solo para pastagens, surgindo assim processos acelerados e desequilibrados de morfoesculturação, visualizados na presença de voçorocas que se instalam e avançam sob recuo paralelo

da vertente, evoluindo por solapamento de suas laterais, tendenciando para a intercepção do lenços freático, ainda não ocorrente na área de estudo.

Sob a ótica da escala da paisagem em que a vertente está inserida, a perda de solo por processos erosivos lineares contribui para criação e alimentação de depósitos colúvio-eluvionares expressivos nos setores mais baixos da sub-bacia do Laranja Azeda. Este material transportado, continuamente alimentam as áreas mais baixas da sub-bacia e demandam ainda mais atenção visto o risco de assoreamento desequilibrado dos corpos d´água próximos. Esta fragilidade repousa no fato de que nesta região encontram-se numerosas nascentes, que abastecem o Ribeirão Laranja Azeda, área de manancial vital para o município de São Carlos, e que vivencia um momento de pressões por parte do setor imobiliário para uso e ocupação do solo, instalado na atual revisão do Plano Diretor, onde estão sendo consideradas apenas a escala geológica de processos e ignorado o comportamento dinâmico da paisagem.

Diante deste cenário, onde o poder público municipal e órgãos reguladores ambientais anulam-se de ações concretas acerca da fragilidade dos ambientes, as inciativas de contenção e estabilização dos processos erosivos, como a realizada pelos moradores e visitantes do Sítio Manacá são essenciais para garantir mesmo que em pequena escala, o agravamento do processo de voçorocamento, aliando a consciência da importância de um uso planejado e equilibrado do solo.

Conclui-se assim, o papel essencial de análises multiescalares e multidiciplinares sobre o ambiente, que permitem a compreensão sistêmica evolutiva da paisagem, oferecendo subsídios para o entendimento da maneira que se comporta os sistemas ambientais físicos. A micromorfologia como instrumento para correlação da escala da paisagem à escala estrutural do solo nos permite considerar que na Topossequência Manacá, a busca de equilíbrio dinâmico na vertente, é induzida pela dinâmica genético evolutiva das formações geológicas que sustentam a paisagem, e que condicionam o comportamento de atributos morfológicos do solo, desencadeando em processos erosivos que tendem a progredir em desequilíbrio, a depender do manejo estabelecido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M de. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1964. 99p.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality.** In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. *Madison: Soil Science Society of America*, 1996. p. 123-142. (SSSA. Special publication, 49).

AZEVEDO, A.A. & FILHO, J.L.A. **Águas subterrâneas**. In: OLIVEIRA, A.M.S & BRITO,S.N.A. (org). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1998.

BACCARO,C.A.D. **Processos Erosivos no domínio do Cerrado.** In: *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações* (Guerra, A.J.T., Silva, A.S. & Botelho, R.G.M, eds.). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999,.p.141-168.

BARREIROS, A.M. **Estudo sobre a pedogênese na transição arenitos-basalto na bacia do córrego Guarupá (Floraí/PR).** São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2013 (Dissertação de Mestrado).

BENNEMA, J.; CAMARGO, M.N. **Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros: subsídios a IV Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de janeiro: Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias, 1964

BERTONI,J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba, Livro Ceres, 1985.

BERTALANFFY, L. von. **Teoria Geral dos Sistemas.** Tradução de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes, 1973.

_____.. **An outline of the General System Theory**. British Journal of Philosophical Science. 1: 1950,. 134-165.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo,1993.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** 1. ed. Florianópolis: Ed. UFSC. 2003. p. 877-1436.

BIGARELLA, J. J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**.In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 3,1985, Maringá. Anais, Maringá: ABGE-ADEA.332 p.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods.** Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BLOOM, A. **Superfície da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BREEMEN, N. Van. & BUURMAN, P. **Soil Formation**. Kluwer Academic Publishers, Second Edition, 2002.

BOULET, R. Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. Anais do III Congresso ABEQUA. Belo Horizonte, 1992,, p.43-51.

_____. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: A responsabilidade social da Ciência do Solo, Campinas: SBCS, XXI Cong. Ciência do Solo.1998.

_____.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X.; LUCAS. Y. **Analyse structurale et cartographie en pédologie.** Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. v. 19, n.4, 1982, p. 309-321, 323-339, 341-351.

BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação do solo**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7.ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BREWER, R**. Fabric and mineral analysis of soil**. New York, Robert E. Krieger, 1976. 428p

BUOL, S.W.; SOUTHARD, R.J.; GRAHAM, R.C. & McDANIEL, P.A. **Soil Genesis and Classification.** John Wiley & Sons. Sixt edition. 2011.

BÜDEL, J. Die doppeleten Einebnungsflächen in den feuchten Tropen. Zeitschrift für Geomorphologie, Stuttgart, n. 1, 1957., p. 201-288.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. TURSINA, T. **Handbook for Soil Thin Section Description**. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985. 152p.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; MARTINS, S.V. e SOARES, C.P.B. **Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.2, 2006. p.249-256.

CARNEIRO, L.R.S.; ANTONELLO, L.L. & BEZERRA, T.C.L. **Estudo micropedológico e pesquisa sobre a gênese de Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico da região do Vale do Rio Doce-Minas Gerais**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1977. 137p

CARSON, H.A. & KIRKBY, M.J. **Hilllslope form and process.** Cambridge, Univ. Press, 1972.

CASSETI, V. . **Geomorfologia.** [S.l.]: [2005]. Disponível em:<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 23 de agosto de 2014.

CASTRO, S.S. **Micromorfologia: base para descrição de lâminas delgadas**. UFG-IESA; UNICAMP-IG-DGEO. Goiânia; Campinas 2002 (CD ROOM)

_____.. **Sistema de Transformação Pedológica em Marília, SP: B latossólico em B textural.** São Paulo, 1989. 274 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento Geografia.

_____. **Micromorfologia de Solos aplicada ao diagnóstico de erosão.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.; Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Cap.4 Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

CASTRO, S.S.; CURMI,P. **Bandas onduladas em solos podzólicos da Formação Marília: estruturas de transformação pedológica**. Resumo. Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Campinas, 1987.

CASTRO, S.S.de; SALOMÃO, F.X.T. **Compartimentação Morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas**. GEOUSP. Departamento de Geografia.FFLCH/USP, São Paulo, 2000. n°7, p.27-37

CEAPLA. Centro de Estudos e Planejamento Ambiental. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. 2000. (CD Rom).

CERMINARO, A.C.; OLIVEIRA, D. de.; "**As relações solo relevo através da Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão, nos municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina no estado de São Paulo-BR: ordenações de unidades para uso e ocupação adequado**s". Revista Brasileira de Geografia Física, 2015. No prelo.

CHAUVEL, A. R**echerches sur la transformation des sols ferralitiques de la zone tropicale à saisons contrastées**. Paris, 1977. 532 p. Tese - Université de Strasburg.

CHRISTOFOLETTI, A. & QUEIROZ NETO, J.P. 1966. **Os sedimentos da Serra de Santana**, SP. BoI. Paran. Geogr., 18- 20:231-245.

_____ . **Modelagem de Sistemas Ambientais.** IGC-UNESP, Editora Edgard Blucher, 1ªedição, 1999.235p.

_____. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. **Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em Geografia.** In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (org). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 89-110.

CUNHA, J.E; CASTRO,S.S. **Características fisíco hídricas e micromorfológicas da topossequência Córrego Longe em Umuarama-PR**. Resumo. Congresso Latino Americano de Ciência do Solo. Águas de Lindóia, 1996, p.5-58..

CUNHA, J.E.; CASTRO,S.S.; SALOMÃO,F,X,T. **Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Paraná**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, volume 23, 1999, p. 943-951.

CUNHA,J.E**. Funcionamento hídrico e suceptibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município Cidade Gaúcha-PR.** Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo: São Paulo, 2002.

CUSTÓDIO, E. & LHAMAS, M.R. (orgs). **Hidrologia subterrânea**. 2º Ed. Ediciones Omega, Barcelona, 1996.

COELHO NETO, A.L. **Surface Hifology and Soil Erosion in a Tropical Moutainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro**. Leuven (Belgium): 1985.181f. Tese de Doutorado. Katholike Universiteit Leuven. .

COOPER, M; VIDAL-TORRADO, P.; GRIMALDI, M. E**strutura do solo transformações de ferralic para horizontes nítico em uma toposseqüência na região sudeste do Brasil**.. Rev. Bras.Ciênc. Solo [online]. 2010, vol.34, n.5, pp. 1685-1699.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizonte**

B latossólico e B textural sobre diabásio. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999, 132p.

DANIELSON, R. E. & SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis: Part 1 –Physical and mineralogical methods.** Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.443-460.

DANIELS, R.B.; NELSON, L.A. **Future variability and productivity: Future developments.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 51. n.2, 1987,. p.279-291.

D´AGOSTINI, L.R. **Erosão: o problema mais que o processo.** Ed. UFSC: Florianópolis, 1999.

DALRYMPLE, BLONG e CONACHER. **A hypothetical nine unit land surface model**. 1968

DIAS FERREIRA, R.P.D. **Solos e morfogênese em São Pedro, SP**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas- Departamento de Geografia, Tese de Doutorado, 1997, 157p..

DYLIC, J. Notion du versant en geomorphologie. Bull. Acad.Pol. Sci. Série des Sc.Geol.Geogr., 16(2) 198, p. 125-132.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997.

_____, **Sistema Brasileiro de Classificação**. 3ª. Edição revista e ampliada. 2013. 353p.

ENCIDE, A. P. **Métodos não convencionais para avaliação da porosidade e da densidade do solo de um latossolo vermelho**.Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade.de Ciências Agronômicas.., Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005, 78p.

FALCI S.C., MENDES A.C.T. **Identificação de cutans em perfis de latossolo roxo e terra roxa estruturada**. Anais da ESALQ, 1973, 30:49-70

FILIZOLA,, H.F. **O papel da Erosão geoquímica na Evolução do modelado da Bacia de Taubaté-SP.** -. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. São Paulo, 1993, 2 v.

FOX, D. M.; BRYAN, R. B.; FOX, C. A. C**hanges in pore characteristics with depth for structural crusts**. Geoderma, Amsterdan, 2004,. v.120, p.109-120 .

FURIAN DIAS, S.M. **Morphogénèse et pedogenénèse en milieu tropical humide de la Serra do Mar, Brésil: contribution de l´alterátion et de la pedogenénèse á une dynamique actuelle de glissement**. Thèse Doctorat. Université de Caen, France. 1994

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. S**oil Erosion by water: some measures for its control on cultivated lands**. Rome: FAO, 1965. 284p.

GERRARD, J.. **Soils Geomorphology.** New York, 1992, Chapman & Hall.

GUERRA, A.J.T;., CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1994. 458p

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

GUERRA, A.T. & GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico Geomorfológico**. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1997.

GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, J.K.S. **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental**. IN:. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. VITTE, A.C.; GUERRA, J.T. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A.J.T. **O início do processo erosivo**. In: Guerra, A.J.T., SILVA, A.S., e BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação do solo**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

_____. **Processos Erosivos nas Encostas**. GUERRA, J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.) Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**.** Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 1998, p.36-52.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194p.

HALL, A.M. **Cenozoic weathering covers in Buchan, Scotland and their significance**. Nature, 1985, p. 315, 392.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia**, 2ª Edição. 2007

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Controle de Erosão**. Secretaria de Energia e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica/SP. 2º Ed. 1990.

JAHN, A**. Denudational balance of slope**. Geogr. Polonica, 1968.

JENNY, H. . Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Republished in 1994. New York: Dover Publications. 1941.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta.** Editora Agronômica "Ceres" Ltda: São Paulo-SP, 1979.

KLAR, A.E.**Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991.

LADEIRA, F.S.B. **Estudo micromorfológico de um Latossolo Roxo no município de Guaira, São Paulo.** Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Dissertação de Mestrado, 1995.

LEPSCH, I.F**. Formação e conservação dos solos.** São Paulo: ... Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 104 p.

_____. **19 Lições de Pedologia**. Oficina do texto, 2011. 456p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba, 2000. 509p.

LIMA, H. V. et al. **Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 5, 2005, p.677-684.

LIMBERGER, L. **Abordagem sistêmica e complexidade na geografia.** Revista Geografia - v. 15, n. 2, jul./dez. 2006. Disponível em http://www.uel.br/revistas/geografia
Acesso em: 23 de outubro de 2014.

LUCAS, Y. **Systemes pédologiques em Amazonie brésilienne: equilbre, désequlibre et**

transformations. Thèse Sci., Uni. De Poitier, 1989. 157p.

MAFRA, N. M. C. **Erosão e planificação de uso do solo**. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap. 8, p. 301 - 322.

MARQUES, J.S. **Ciência Geomorfológica.** In: CUNHA, Sandra B. da. GUERRA, Antonio José Teixeira. (Orgs). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

McFADDEN, L.D.; KNUEPFER, P.K. S**oil Geomorphology: the linkage of pedology and surficial processes**. Geomorphology, v.3, 1990., p.197-205.

MENDES A.C.T., Falci S.C., DEMATTÉ J.L.I. **Secções delgadas de solos: método de impregnação.** Anais da ESALQ, 1973, 30:35-48

MENDES, J. C. Sobre os paleoambientes deposicionais do Grupo Passa Dois. Revista do Instituto de Geociências, 5,1984, 15-24.

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

MILANI E.J. ; RAMOS V.. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. Rev Bras Geoc., 28 (4): 1998., 473-484.

MIKLOS, A.A.W. B**iodynamique d´une couverture pédologique de la region de Botucatu (São Paulo, Brésil)**. Rennes: École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 1v., 1995 (Tese de Doutorado).

MORAES, M. H. **Porosity of a red latosol soil under different use and management systems**. In: V Congreso internacional de ingenieria agricola, 2006, Termas de Chillán, Chile.

MOREIRA, C.V.R. **Fatores condicionantes das voçorocas na sub bacia do rio Santo Antonio, bacia do Rio Grande-MG**. Dissertação de Mestrado, UFMG: Belo Horizonte, 1992.

MORAN, C.J.; KOPPI, A.J.; MURPHY, B.W. & MCBRATNEY A.B. **Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments**. Soil Use Manag., 1988. 4:96-102.

MOURA FILHO W., BUOL S.W. **Studies of a Latosol Roxo (Eutrustox) in Brazil: Micromorphology effect on ion release**. Experientiae, 1976, 21:161-177

MURPHY, C. P.; BULLOCK, P.; TURNER, R. H. T**he measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis**. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, 1977, v. 28, n. 3, 1p. 498-508.

NASCIMENTO, W.M. do. ;VILLAÇA, .G. B**acias Hidrográficas: planejamento e gerenciamento**.IN: Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros- Seção Três Lagoas-MS. n°7 -ano 5, Maio de 2008, p.1-20

NETTO, M.M.;SOBREIRA, F.G. **Os processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do Ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus condicionates principais: observações preliminares.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2006, Ano 7, n.2, p 13-21

OLIVEIRA, D. **Estudo macro e micro morfológico de uma topossequência na bacia do córrego do Retiro em São Pedro-SP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Dissertação de Mestrado. 1997.

OLIVEIRA, C.J.F. **A suceptibilidade dos solos aos processos erosivos lineares nas subbacias do Alto Rio Araguaia e Rio Babilônia**.. Monografia. IESA-UFG, 1999.

OLIVEIRA, J.B. de. **Pedologia aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 414 p

PAGLIAI, M. E**ffects of different management practices on soil structure and surface crusting. Microphologie des sols – soil micromorphology.** In: Internacional working meeting in soil micromophology. Proceedings. Plasir : Association Française pour L' Étude du Sol, 1987, p. 415-421.

PEDRO, g. **Soil Science and Micropedology**. In: International Working Meeting on Soil Micromorphology,7. Paris, 1987.

PERECIN, D. **Observações micromorfológicas em sete perfis de solos do município de Piracicaba**, Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1973. 95p. (Tese de Mestrado)

PERECIN, D. & CAMPOS, D.A.F. **Argila iluviada e gênese em solos podzolizados de Lins e Marília**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DOS SOLOS, 15, 1976, Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.461-474.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: C.I.,1996.

QUEIROZ NETO, J.P. A**nálise Estrutural da Cobertura Pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa.** Revista do Departamento de Geografia, 15, 2002, p. 77–90. Disponível em: http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_15/77-90.pdf Acesso em 02 de março de 2015.

_____. **Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. Anais. Campinas, CBCS, p. 415-430

QUEIROZ NETO, J.P. **Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. Anais. Campinas, CBCS, 1988. p. 415-430.

QUEIROZ NETO, J.P.; CASTRO, S.S.; FERNANDES BARROS, O.N.; MANFREDINI, S.; PELLERIN, J.; RUELLAN, A.; TOLEDO, G.S. U**m estudo de dinâmica de solos: formação e transformação de perfis com horizonte B textural.** In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Resumos. Salvador, vol.I, 1981.

PENTEADO ORELLANA, M. **A Geomorfologia no Contexto Social.** In "Geografia e Planejamento, n. 34, 1981.

PORTA, C.J., M. LÓPEZ-ACEVEDO R. y C. ROQUERO D.L. . E**dafología, para la agricultura y el medio ambiente**. 1999. 2a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España

RINGROSE-VOASE, A. J. O**ne dimensional image analysis of soil structure I: principles.** Journal of Soil Science, Oxford, v. 41, p. 499-512, 1990. RINGROSE-VOASE, A. J. Measurement of soil macrospore geometry by image analysis of sections through impregnated soil. Plant and Soil, Dordrecht,

1996v. 183, p. 27-47.

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

RIOU, G. L'eau et lês sols. Dans lês géosystèmes tropicaux. Paris. Masson, 1990. 221p. (Colletion Géographie)

ROBERTS, J. **Forest transpiration: A conservative hydrological process?** Journal Hydrology., Amsterdam, 1983, v.66, p.133-141.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S.F. **Técnicas de Hidrografia**. IN: Praticando Geografua: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula. cap.3,p.52-82. Editora Sarandi. São Paulo, 2011.

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p.

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental**. Oficina de Texto, São Paulo, 2006. 537P.

RUELLAN, A; QUEIROZ NETO, J.P.; PELLERIN, J. **Analyse structurale de la couverture pédologique: une experience d'enseignement et de recherche au Brésil**. Paris, Cah. ORSTOM, sér. Pédol. v. 19, n. 4, 1984. p. 253-256.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.; FRITSCH, E. **L'analyse structurale de la couverture pédologique. Science du Sol**, 1989, v. 27, p. 319-334.

SALOMÃO, F.X.T. P**rocessos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural.** São Paulo. Tese de Doutoramento FFLCH-USP. Departamento de Geografia, 1994, 200p.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4ª Ed. 2009.

_____. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: Erosão e conservação dos solos. (Org.) GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTOS, L.J.C. E**studo morfológico da topossequência da Pousada da Esperança,em Bauru-SP: subsídio para compreensão da gênese, evolução e comportamento atual dos solos.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas-Universidade de São Paulo: São Paulo, 1995.

_____; CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. **Organização micromorfológica e sua relação com a circulação hídrica e os processos erosivos lineares: o exemplo de Bauru**. In: V Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru, 1995.

SANTOS, R.D., LEMOS, R.C., SANTOS, H.G., KER, J.C. ANJOS, L.H.C., SHIMIZU, S.H. . M**anual de descrição e coleta de solos no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2013, 100p.

SÃO CARLOS, LEI Nº 13.944 de 12 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município** - APREM e dá outras providências.

SILVA, A.S. **Análise Morfológica dos Solos e Erosão. IN: Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Cap.3 p.101-126. Editora Bertrand Brasil. 1999.

SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, P.C. & DUARTE, M.N. **Micromorfologia de horizontes B de latossolos brasileiros**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 25., 1995. Viçosa, Resumos Expandidos. Viçosa, UFV, 1995. v.3. p.1610-1613.

SCHAEFER, C.E.G.R. **Microstructure of Latosols as long-term biotic constructs**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Anais. Águas de Lindóia, USP/SBCS/SLCS, 1996. CD-ROM

SCHAETZL, R. & ANDERSON, S. **Soils: Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press. New York, 2005. 817p.

SILVA, A.S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. IN: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO,R.G.M. **Erosão e conservação dos solos.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasi, 1999.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; PEREIRA, W. L. M. **Physical properties of soil under intensive agricultural management**. Sci. Agric., Piracicaba, v.62, n.2, p.165-172, 2005.

SOUTHORN, N.J. **The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies**. Advances in Geoecology, 35, 2002 163–170.

SOUZA, Z., M.,; JÚNIOR, J.,M.,.; COOPER, M.,.; PEREIRA, G.,T,.**Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.3, p.487-492, mar. 2006 Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n3/29121.pdf (Acesso em 09 de abril de 2015.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. Soil Sci. Soc. Am., Madison. 2003.

STRAHLER, AN. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. IM: Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Company, New York, Section 4II.

SUGUIU, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais**, 2º Ed, Florianópolis. Editora da UFSC, 1990.

TOLENTINO, M. Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos. São Carlos: 1967

TORRADO, P.V. ; LEPSCH, I.F.; CASTRO, Selma Simões. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. Tópicos em Ciência do solo, 2005, 4: 145-192.

TRICART, J. **As relações entre a morfogênese e a pedogênese.** Noticia Geomorfol., 8:5-18, 1968.

_____. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 91p

_____ ;KILIAN, J. **La Eco-Geografia y La Ordenación el médio natural**. Barcelona, Editorial Anagrama, 1979. 288p.

VIEIRA, N.M. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese de Doutoramento, Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo,: São Carlos, 1978.

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. **Abordagem Sistêmica e Geografia**. Geografia. Rio Claro: v. 28, n.

3, 2003, p. 345-362.

VITTE, A.C.M**etodologia para cálculo de perdas de solo em bacias de drenagem.** In: Boletim Paranaense de Geociências. Nº 45. Ed, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

VHAHOS,N.; HERBST,J. **Prioritizing watershed land for conservation: a case study in the Hammonasset watershed, Connecticut.** Journal of New England Water Works Association, 2000, v.144.p. 10-25.

ZAPAROLI, F.C. **As transformaçãoes pedológicas identificadas na topossequência Sitio São José na bacia do córrego Aratu, Floraí-PR**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, Dissertação de Mestrado. 2009.

ANEXOS

ANEXO I:

Tabela 8: Síntese das descrições macromorfológicas T1;T2 e T3:

Trincheira 1								
Horizonte	**Profundidade (cm)**	**Cor**	**Textura**	**Estrutura**	**Porosidade**	**Consistência**	**Pegajosidade**	**Transição**
Ap	0-13	5YR 3/2 úmida	Arenosa	Granular fraca e pequena	Abundantes bioporos, de tamanhos vatiados	Seca dura; úmido friável	Não plástica; não pegajosa	Plana e gradual
A	13-43	5YR ¾ úmid	Arenosa	Granular fraca e pequena	Abundantes bioporos, de tamanhos variados	Seca dura; úmido friável	Não plástica; não pegajosa	Plana e gradual
E	43-89	5YR 4/6 seca e úmida	Arenosa	Blocos subangulares; fraco;pequeni	Bioporos menores	Seca macia, úmida friável	Não plástica; não pegajosa	Plana e difusa
Transição E/Bt	89-139	5YR 5/8 úmida	Franco arenosa	Blocos subangulares; fraco; pequeno	Poucos bioporos e porosidade estrutural	Seca solta; úmida firme	Ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa	Plana e difusa
Bt	139-180	2.5YR 4/8 úmida;	Franco arenosa	Blocos subangulares; moderado; pequeno presença de cascalhos arredondados e pequenos	Poucos poros estruturais e raízes profundas	Seca solta; úmida firme	Ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa	-

Trincheira 2								
Horizonte	**Profundidade (cm)**	**Cor**	**Textura**	**Estrutura**	**Porosidade**	**Consistência**	**Pegajosidade**	**Transição**
Ap	0 - 6	7.5YR ¾ úmido	Franco arenosa	Blocos subangulares, fraco, pequeno	Abundantes bioporos, de tamanhos variados	Seca ligeiramente dura; úmida firme	Ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa	Plana e gradual
A/E	6 – 36	7.5YR 3/3 úmido	franco	Blocos subangulares	Bioporos	Seca macia; úmida solta	Ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa	Plana e gradual
E/Bt	36 - 76	7.5YR 4/4 úmida	arenosa	Blocos subangulares; fracos pequenos	Bioporos menores	Seca macia; úmida friável	Ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa	Plana e gradual
Bt1	76 - 107	5YR 4/6 úmida	Franco argiloarenosa	Blocos subangulares; moderado; pequenos	Poucos bioporos e porosidade estrutural	Seca macia; úmida friável	Ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa	Plana e gradual
Br	107 -175	5YR 5/8 úmida	Argiloarenosa	Cascalhenta com blocos subangulares; moderada; mpedia	Poucos poros estruturais e raízes profundas	Seca macia; úmida muito friável	Plástica; pegajosa	

Trincheira 3								
Horizonte	**Profundidade (cm)**	**Cor**	**Textura**	**Estrutura**	**Porosidade**	**Consistência**	**Pegajosidade**	**Transição**
A	0-10	seca úmida: 7.5YR 4/3	Franco arenosa	Grãos simples, fraco, pequeno	Abundantes bioporos de tamanhos variados	Seca solta; pumida muito friável	Não plástica; não pegajosa	Plana e gradual
A/E	10-34	seca e úmida 7.5YR 4/4	areia	Granular fraca e pequena	Bioporos de tamanhos variados	Seca solta; úmida friável	Não plástica; não pegajosa	Plana e gradual
E/C1	34 - 69	7.5YR 5/6 seca e 4/6 úmida	areia	Grãos simples, fraca, pequena	Poucos bioporos	Seca solta; úmida muito friável	Não plástica; não pegajosa	Ondulada e clara
C1	69 - 127	10YR 6/6 seca 5/6 úmida	areia	Grãos simples	Poucos bioporos	Seca solta; úmidamuito friável	Não plástica; não pegajosa	Plana e gradual
C2	127 - 212	10YR 6/8 seca 5/6 úmida mosqueado comum, tamanho médio, contraste distinta; 5YR 5/8	Franco arenosa	Grãos simples	Poucos bioporos	Seca macia úmido friável	Ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa	

ANEXO II:

Tabela 9: Síntese das análises químicas realizadas, T1, T2 e T3:

Análises Químicas -T1													
Profundidade (cm)	**pH**		**M.O**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**SB**	**CTC**	**V**	**m**
	H2O	KCL	gk- 1	mg.kg-¹	mmolc.kh-¹							%	
13-43	6,1	4,9	9	2	<0.3	14	5	<0.1	14	19	33	58	0
43-89	5,5	4,3	6	2	<0.3	5	5	2	13	10	23	43	17
89-139	4,5	3,9	5	1	<0.3	2	1	11	19	3	22	14	79
138-180	4,7	4	6	1	<0.3	3	1	9	18	4	22	18	69

Análises Químicas -T2													
Profundidade (cm)	**pH**		**M.O**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**SB**	**CTC**	**V**	**m**
	H2O	KCL	gk-¹	mg.kg-¹	mmolc.kh-¹							%	
6-36	6,3	5,1	10	1	<0.3	22	9	<1	15	31	46	67	3
36-76	6,1	4,9	7	1	<0.3	13	12	<1	14	25	39	64	0
76-107	5,4	4,1	5	1	<0.3	2	10	6	25	12	37	32	33
107-175	4,8	3,8	6	1	<0.3	<2	1	12	23	2	25	8	86

Análises Químicas -T3													
Profundidade (cm)	**pH**		**M.O**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**SB**	**CTC**	**V**	**m**
	H2O	KCL	gk-¹	mg.kg-¹	mmolc.kh-¹							%	
10-34	4,7	3,9	2	2	<0.3	<1	<1	12	28	3	31	10	80
34-69	4,8	3,9	1	1	<0.3	<1	<1	12	24	4	28	14	75
69-127	4,8	3,9	1	1	<0.3	<1	<1	10	19	4	23	17	71
127-212	4,7	3,9	1	1	<0.3	<1	<1	8	17	3	20	15	73

ANEXO III

Tabela 10: Descrições de cor e textura das sondagens realizadas em campo (S01-S07):

S01		
Profundidade (cm)	**COR (seca/úmida)**	**Textura**
0-10	7.5YR 4/3	arenosa
10 a 20	7.5YR 4/3	arenosa
20-30	7.5YR 4/2	arenosa
30-40	5YR 5/2	arenosa
40-50	7.5YR 4/1	arenosa
50-60	5YR 4/2	arenosa
60-70	5YR 4/2	arenosa
70-80	5YR 5/2	arenosa
80-90	5YR 5/1	arenosa
90-100	5YR 5/1	arenosa
100-110	5YR 5/2	arenosa
110-120	5YR 5/2	arenosa
120-130	5YR 5/2	arenosa
130-140	5YR 5/2	arenosa
140-150	5YR 5/1	arenosa
150-160	5YR 5/2	arenosa
160-170	5YR 5/2	arenosa
170-180	5YR 5/2	arenosa
180-190	5YR 5/1	arenosa
190-200	5YR 4/2	arenosa
200-210	5YR 5/1	franco arenosa
210-220	5YR 5/2	franco arenosa
220-230	5YR 5/2	franco arenosa
230-240	5YR 5/2	franco arenosa
240-250	5YR 5/2	franco arenosa
250-260	5YR 5/2	franco arenosa
260-270	5YR 5/2	franco arenosa
270-280	5YR 5/2	franco arenosa
280-290	5YR 5/2	franco arenosa
290-300	5YR 5/2	franco arenosa
300-310	5YR 5/2	franco arenosa
310-320	5YR 5/1	franco arenosa
320-330	5YR 5/1	franco arenosa
330-340	5YR 4/1	franco arenosa
340-380	5YR 4/1	franco arenosa
380-400	5YR 4/2	franco arenosa
S02		
Profundidade (cm)	**Cor (seca/úmida)**	**Textura**
0-20	10YR 4/6	arenosa
20 - 30	10YR 4/4	arenosa
30-50	7.5YR 3/3	arenosa
50-70	7.5YR 3/3	arenosa
70-90	7.5YR 3/4	arenosa
90-110	7.5YR 4/2	arenosa
110-130	5YR 4/2	arenosa
130-150	5YR 4/2	arenosa
150-160	5YR 5/1	arenosa

160-180	5YR 5/1	arenosa
180-210	5YR 5/1	arenosa
210-240	5YR 5/1	franco arenosa
240-270	5YR 5/1	franco arenosa
270-300	5YR 5/1	franco arenosa
300-320	5YR 5/1	franco arenosa
S03		
Profundidade (cm)	**COR (seca/úmida)**	**Textura**
0-10	10 YR 4/4	arenosa
10 a 20	10 YR 4/6	arenosa
20-30	10 YR 4/4	arenosa
30-40	7.5 YR 4/3	arenosa
40-50	7.5 YR 5/3	arenosa
50-60	7.5 YR 4/3	arenosa
60-70	7.5 YR 4/2	arenosa
70-80	7.5 YR 4/2	arenosa
80-90	5YR 4/2	arenosa
90-100	5YR 4/2	arenosa
100-120	5YR 4/2	arenosa
120-140	5YR 5/1	arenosa
140-160	5YR 4/2	arenosa
160-180	5 YR 4/2	arenosa
180-200	5 YR 5/1	arenosa
200-240	5 YR 5/1	arenosa
240-250	5 YR 4/1	franco arenosa
250-280	5 YR5/1	franco arenosa
280-300	5YR5/1	franco arenosa
300-320	5 YR 4/1	franco arenosa
320-360	5YR6/1	franco arenosa
360-390	5 YR 5/1	franco arenosa
360-390	2.5 YR 4/1	franco arenosa
390-420	2.5 YR 4/2	franco arenosa
420-450	2.5YR 4/2	franco arenosa
S04		
Profundidade (cm)	**COR (seca/úmida)**	**Textura**
0-10	10 YR 5/4	arenosa
10 a 20	10YR 5/4	arenosa
20-40	10 YR 5/3	arenosa
40-50	10 YR 5/3	arenosa
50-60	10 YR 5/3	arenosa
60-80	7.5 YR 5/4	arenosa
80-100	7.5 YR 5/3	arenosa
100-110	7.5 YR 5/2	arenosa
110-130	7.5 YR 5/3	arenosa
130-150	7.5 YR 5/2	arenosa
150-180	7.5 YR 5/2	arenosa
180-200	7.5 YR 5/2	arenosa
200-230	7.5 YR 5/1	arenosa
230-260	7.5 YR 5/1	arenosa
260-290	7.5 YR 5/1	arenosa
290-340	7.5 YR 7/1	arenosa
340-370	7.5 YR 7/1	arenosa

370-400	7.5 YR 6/1	arenosa
S05		
Profundidade (cm)	**COR (seca/úmida)**	**Textura**
0-10	7.5YR 4/3	arenosa
10 a 20	7.5YR 5/2	arenosa
20-30	7.5YR 5/2	arenosa
30-50	7.5YR 5/2	arenosa
50-70	7.5YR 5/1	arenosa
70-90	7.5YR 5/1	arenosa
90-120	5 YR 5/1	arenosa
120-140	5 YR5/2	arenosa
140-160	5 YR 5/1	arenosa
160-190	5 YR 5/1	arenosa
190-210	5 YR 5/1	arenosa
210-230	5 YR 5/1	arenosa
230-250	5 YR 5/1	arenosa
250-270	5 YR 5/1	arenosa
270-290	5 YR 5/1	arenosa
290-310	5 YR 5/1	arenosa
310-330	5 YR 6/1	arenosa
330-350	5 YR 6/1	arenosa
350-370	5 YR 7/2	arenosa
370-400	5 YR 7/2	arenosa
400-430	5 YR 7/2 mosqueado 2.5 YR 7/1	arenosa
430-460	5YR 5/2	arenosa
460-500	5YR 6/2	arenosa
S06		
Profundidade (cm)	**COR (seca/úmida)**	**Textura**
0-10	10YR 3/4	arenosa
10 a 20	10YR 3/4	arenosa
20-30	10YR 3/4	arenosa
30-40	7.5YR 2.5/3	arenosa
40-50	7.5YR 3/2	arenosa
50-60	7.5YR 3/3	arenosa
60-70	7.5 YR 2.5/3	arenosa
70-80	7.5 YR 3/3	arenosa
80-90	7.5 YR 4/3	arenosa
90-100	7.5 YR 4/2	arenosa
110-120	7.5YR 4/2	arenosa
120-140	7.5 YR 5/2	arenosa
140-160	5 YR 5/2	arenosa
160-190	5 YR 5/2	arenosa
190-210	5 YR 5/2	arenosa
210-230	5 YR 7/2	arenosa
230-250	5 YR 7/2	arenosa
250-270	2.5YR 5/1/ 5YR 7/2	arenosa
270-290	2.5YR 5/1/ 5YR 7/2	arenosa
290-310	2.5YR 5/1/ 5YR 7/2	arenosa

S07		
Profundidade (cm)	**Cor (seca/úmida)**	**Textura**
0-20	10YR 4/5	arenosa
20 - 30	10YR 4/4	arenosa
30-50	7.5YR 3/4	arenosa
50-70	7.5YR 3/3	arenosa
70-90	7.5YR 3/2	arenosa
90-110	7.5YR 4/2	arenosa
110-130	5YR 4/2	arenosa
130-150	5YR 4/2	arenosa
150-160	5YR 5/2	arenosa
160-180	5YR 5/2	arenosa
180-210	5YR 5/1	franco arenosa
210-240	5YR 5/1	franco arenosa
240-270	5YR 5/1	franco arenosa
270-300	5YR 5/1	franco arenosa
300-320	5YR 5/1	franco arenosa