

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO**

KARLA THAIS BARRETO

**DINÂMICA PEDOGEOMORFOLÓGICA NA FORMAÇÃO FURNAS - BACIA DO
RIO VERDE/ PONTA GROSSA - PR**

PONTA GROSSA

2016

KARLA THAIS BARRETO

**DINÂMICA PEDOGEOGOMORFOLÓGICA NA FORMAÇÃO FURNAS - BACIA DO
RIO VERDE/ PONTA GROSSA - PR**

Dissertação apresentada para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa, para obtenção do título de Mestre.

Orientação: Maria Ligia Cassol Pinto

PONTA GROSSA

2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Barreto, Karla Thais
B273 Dinâmica pedogeomorfológica na formação
furnas - Bacia do Rio Verde/ Ponta Grossa
- PR/ Karla Thais Barreto. Ponta Grossa,
2016.
107f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do
Território - Área de Concentração: Gestão
do Território: Sociedade e Natureza),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientadora: Profª Drª Maria Lígia
Cassol Pinto.

1.Pedomorfogênese. 2.Planejamento
ambiental. 3.Compartimentação das
vertentes. 4.Atributos dos solos. I.Pinto,
Maria Lígia Cassol. II. Universidade
Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
Gestão do Território. III. T.

CDD: 551.1

TERMO DE APROVAÇÃO


Karla Thaís Barreto

“DINÂMICA PEDOGEO MORFOLÓGICA NA FORMAÇÃO FURNAS-BACIA DO RIO VERDE/ PONTA GROSSA - PR

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Prof^a Dra. Maria Ligia Cassol Pinto
UEPG


Prof. Dr. Valdir Adilson Steinke
(representado pelo Prof. Dr. Nicollas Floriani)
UNB


Prof. Dr. Gilnei Machado
UEL

Ponta Grossa, 19 de julho de 2016.

Dedico este trabalho a toda minha família
e ao meu amado esposo Ricardo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve comigo nos momentos mais difíceis, trazendo-me paz e tranquilidade ao coração.

Ao meu eterno companheiro, Ricardo, que sempre esteve pronto para me auxiliar no que fosse necessário, desde os trabalhos de campo até a revisão final da pesquisa.

Ao meu anjinho, Carlos Barreto Luz (*in memoriam*).

A minha orientadora, Prof.^a. Dr^a Maria Lígia Cassol Pinto, por todos os seus conselhos que tanto colaboraram para a execução desta pesquisa e, acima de tudo, pela paciência.

Aos meus pais, Carlos e Isa, que sempre me incentivaram e ajudaram nos momentos de dificuldades. A minha irmã, Lorena Barreto, sempre tão presente comigo. Ao meu querido avô, Carlos Barreto Cruz (*in memoriam*) e a todos os familiares.

Aos amigos queridos, minha gratidão pelo apoio sempre oferecido nas horas difíceis. Em especial, à Karen Aparecida de Oliveira, que esteve presente em todas as etapas da pesquisa me incentivando a nunca desistir. E também aos meus queridos sogros, Orlando e Lívia.

Aos amigos de laboratório, Diely Cristina Pereira, Marcos Marcondes Carneiro, Renato Oliveira Filho, Emerson Farias dos Santos, por tantas experiências compartilhadas.

Aos professores Carlos Hugo Rocha, Paulo Carrilho, Gilnei Machado, Mário Sérgio de Melo que contribuíram para o enriquecimento da pesquisa.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior – pelo apoio financeiro.

A todos, que direta ou indiretamente, colaboraram para a realização do trabalho.

RESUMO

A dinâmica pedogeomorfológica possibilita a compreensão da pedomorfogênese, pelo estudo do solo e relevo na gênese das paisagens, já que dependem dos mesmos fatores de formação. Esse estudo mostra-se uma importante ferramenta ao planejamento ambiental. A pesquisa foi conduzida na área de ocorrência da Formação Furnas, na bacia do rio Verde, município de Ponta Grossa (PR) com o objetivo de verificar o comportamento pedogeomórfico em vertentes convexas da referida Formação geológica, segundo padrão de drenagem e uso atual da Terra. Escolheu-se 4 toposequências representativas de uso agropecuário e procedeu-se com à compartimentação das vertentes em três segmentos para a caracterização dos solos até o 6º nível categórico. Foram amostrados 12 perfis em superfície e subsuperfície, material com o qual foram realizadas análises granulométricas e químicas de rotina. Os atributos físicos e químicos dos solos foram comparados entre as vertentes estudadas. Nestas, também, foram inferidas informações sobre a evolução da paisagem. Observou-se maior variabilidade de solos nas superfícies mais jovens e erosionais do que nas mais antigas e deposicionais. Os segmentos de vertente terço médio e topo, foram os que apresentaram maior e menor diferenciação de solos, respectivamente. Entre as vertentes, a área 03 foi a que demonstrou maior variabilidade dos solos. Detectou-se a ocorrência de um material de retrabalhamento da Formação Ponta Grossa na área de transição das duas litologias, que foi o responsável pelo comportamento diferenciado de vários atributos dos solos. Houve decréscimo regular nos valores de pH, % de argila e saturação por bases, e, elevação, da % de areia, saturação por alumínio, CTC/100g de argila e da relação silte/argila, dos solos mais evoluídos para os mais recentes. A identificação de alguns fatores, tais como: posição ocupada pelos solos na vertente, grau de evolução dos solos e formação de crostas ferruginosas em subsuperfície possibilitaram o entendimento das relações entre a dinâmica pedomorfogênica, principalmente pelo transporte de sedimentos que contribui para o assoreamento cada vez mais intenso nos rios da região.

Palavras-chaves: Pedomorfogênese; Planejamento Ambiental; Compartimentação das Vertentes; Atributos dos Solos.

ABSTRACT

The dynamics pedogeomorphological enables understanding of pedomorphogenesis by the study of soil and relief in the genesis of landscapes, since they depend on the same formation factors. This study shows itself as an important tool to environmental planning. The research was conducted in the Furnas Formation occurrence area in the basin of the Verde river in Ponta Grossa (PR) with the objective to verify the pedogeomorphic behavior on the convex slopes of the Formation, according to drainage pattern and current use of Earth. Was chosen four representative toposequences of agricultural use and proceeded with the compartmentation of the slopes into three segments for the characterization of soils until the 6th categorical level. Twelve profiles were sampled at the surface and subsurface material with which routine particle size and chemical analysis were performed. The physical and chemical properties of the soil were compared between the studied slopes. In these, also, were inferred information about the evolution of the landscape. A higher variability of soils was observed in the younger erosional surfaces than in the older and depositional. The middle third and top segments of the slopes were those with higher and lower differentiation of soils, respectively. Among slopes, area 03 was the one that showed greater variability of soil. Has detected the occurrence of a reworking material from the Ponta Grossa Formation in the transition area of the two lithologies, which was responsible for the different behavior of the various attributes of the soil. There was regular decrease in pH, % of clay and base saturation, and increase, % of sand, aluminum saturation, CTC/100g of clay and the relationship silt / clay, from the most evolved soils to the latest. The identification of some factors such as: position occupied by the soil on the slope, degree of evolution of soils and formation of ferruginous crusts in the subsurface enabled the understanding of the relationship between the dynamics pedomorphogenic, mainly by sediment transport that contributes to siltation increasingly intense in rivers of this region.

Key-words: Pedomorphogenesis; Environmental Planning; Compartmentation of the Slopes; Soil Attributes.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 01 | Fluxo d'água no plano de curvatura e no perfil da curvatura das vertentes..... | 20 |
| Figura 02 | Nove seções hipotéticas em um modelo de vertente..... | 21 |
| Figura 03 | Cadeia de alterações nas bacias hidrográficas com relação às atividades antrópicas..... | 24 |
| Figura 04 | Principais tipos padrões de drenagem..... | 26 |
| Figura 05 | Localização da área de estudo..... | 32 |
| Figura 06 | Geologia da bacia do rio Verde – Ponta Grossa, PR..... | 34 |
| Figura 07 | Lineamento Rio Verde e aterro construído entre dois canais..... | 35 |
| Figura 08 | Fluxograma apresentando a operacionalização da pesquisa..... | 40 |
| Figura 09 | Relação Declividade, morfologia, processo erosional e uso..... | 42 |
| Figura 10 | Localização dos pontos de amostragem dos solos na área de estudo..... | 48 |
| Figura 11 | Esboço topográfico da topossequência trabalhada em drenagem paralela..... | 50 |
| Figura 12 | Imagem de satélite do Google Earth da bacia do rio Verde..... | 53 |
| Figura 13 | Falhamento localizado próxima a nascente..... | 55 |
| Figura 14 | Perfil Longitudinal do canal principal do rio Verde..... | 56 |
| Figura 15 | Afloramentos rochosos em área de ocorrência de Neossolos Litólicos próximos a vertente 01..... | 57 |
| Figura 16 | Rede de drenagem e a ordem dos canais na bacia do rio Verde..... | 58 |
| Figura 17 | Área de acúmulo de sedimentos..... | 59 |
| Figura 18 | Erosão laminar em área de uso agropecuário..... | 60 |
| Figura 19 | Aspecto do rio onde se localiza a vertente 01, bacia do rio Verde..... | 61 |
| Figura 20 | Aspecto da vertente 02, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR..... | 62 |
| Figura 21 | Aspecto da vertente 03, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR..... | 62 |
| Figura 22 | Aspecto de canal de 1º ordem próximo as coletas de solo na vertente 04 em meio ao uso agrícola..... | 63 |
| Figura 23 | Usos da Terra na bacia hidrográfica do rio Verde entre os anos 2005 e 2015..... | 64 |
| Figura 24 | Formas do relevo típico da região dos Campos Gerais..... | 66 |
| Figura 25 | Cartograma de Declividade da bacia do rio Verde – PR..... | 67 |
| Figura 26 | Cartograma de Orientação das vertentes da bacia do rio Verde – PR..... | 69 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 27 | Cartograma de formas das vertentes da bacia do rio Verde – PR..... | 71 |
| Figura 28 | Índices Erosividade entre 2000 a 2015 e somente 2015..... | 72 |
| Figura 29 | Solos presentes na vertente 01..... | 75 |
| Figura 30 | Solos presentes na vertente 02 | 77 |
| Figura 31 | Solos presentes na vertente 03 | 79 |
| Figura 32 | Solos presentes na vertente 04 | 81 |
| Figura 33 | Depósitos de sedimentos na margem direita do rio Verde | 83 |
| Figura 34 | Capacidade de troca de cátions (CTC) de alguns coloides do solo sob condições tropicais..... | 88 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabela 01 | Parâmetros fisiográficos e morfométricos de uma bacia hidrográfica..... | 44 |
| Tabela 02 | Parâmetros fisiográficos e morfométricos da bacia hidrográfica do rio Verde..... | 52 |
| Tabela 03 | Relação dos canais da área de estudo por ordem, quantidade, comprimento total e comprimento médio de cada ordem..... | 54 |
| Tabela 04 | Uso do solo em 2005 a 2015 – Imagem SPOT e LANDSATOLI8 | 59 |
| Tabela 05 | Parâmetros geomórficos das vertentes estudadas – Bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR..... | 70 |
| Tabela 06 | Classificação dos índices de erosividade..... | 73 |
| Tabela 07 | Atributos físico-químicos referentes aos solos amostrados nas vertentes... | 84 |
| Tabela 08 | Diferenças entre as médias do teor de argila pelo Teste de Tukey..... | 86 |
| Tabela 09 | Diferenças entre as médias do teor de areia pelo Teste de Tukey..... | 87 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|------------------|--|----|
| Quadro 01 | Critérios para a escolha das áreas de estudo..... | 46 |
| Quadro 02 | Relação Paisagem /Dinâmica hídrica/Dissecação do relevo/ Classes de solos..... | 91 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| I - INTRODUÇÃO | 12 |
| II - PEDOGEOFOMORFOLOGIA: RELAÇÕES SOLO-RELEVO | 15 |
| 2.1.Sistema Solo-Paisagem | 17 |
| 2.2.Influência das características/padrões de drenagem na formação dos solos e relevo | 25 |
| 2.3 Indicadores determinantes na relação solo-relevo | 28 |
| III - PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE E AS RELAÇÕES SOLO-RELEVO | 31 |
| 3.1- Características físico-naturais | 31 |
| 3.2. Aspectos histórico-econômicos dos usos e ocupação dos solos | 37 |
| IV- PEDOGEOFOMORFOLOGIA: UMA PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO | 39 |
| 4.1- METODOLOGIA: TÉCNICAS DE PESQUISA | 41 |
| 4.1.1. Trabalho em Gabinete/Laboratórios | 41 |
| 4.1.2. Trabalhos em Campo | 47 |
| V- DECIFRANDO RELAÇÕES SOLO-RELEVO NA FORMAÇÃO FURNAS, BACIA DO RIO VERDE | 51 |
| 5.1- Padrões e hierarquia de drenagem na bacia do rio Verde | 53 |
| 5.2- Usos da Terra na Bacia do rio Verde | 59 |
| 5.3- Formas do relevo na Bacia do rio Verde | 65 |
| 5.4- Erosividade na Bacia do rio Verde | 72 |
| 5.5- Solos/Vertentes e os usos agropecuário na Bacia do rio Verde | 73 |
| VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS | 91 |
| REFERÊNCIAS | 94 |
| ANEXOS | 102 |

I – INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento entre o binômio solo-relevo [pedo + morfo], enquanto recurso natural, e os usos que dele se faz, deve passar pela concepção da análise geográfica. Análise, que requer escala espaço-temporal para que os fenômenos sejam percebidos numa rede de interações. Quando esta análise partir das inter-relações *pedogeomórficas*, numa dada bacia hidrográfica, as considerações feitas poderão ser extrapoladas para além de seus divisores de águas, se houverem similaridades geoecológicas entre ambas.

A bacia hidrográfica, quando analisada desde a sua dinâmica, pode ser considerada enquanto categoria *paisagem*: esta, entendida como sendo mais que-

“a simples adição de elementos geográficos, mas uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica, portanto instável, dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente, uns sobre os outros” (BERTRAND, 2007).

Aqui, a paisagem se constitui numa base física-natural sobre a qual ocorrem as transformações segundo os interesses socioeconômicos de cada sociedade. A crescente demanda por recursos naturais também tem sido acompanhada, nas últimas décadas, por uma preocupação com o processo de ‘degradação ambiental’. Exploração e conservação de tais recursos exigem, cada vez mais, propostas de uso do solo fundamentadas em diagnósticos físico-naturais e projetos de manejo, ou seja: um adequado planejamento. Nesse sentido, há compêndio de legislação voltada ao planejamento ambiental, aplicadas as diferentes unidades espaciais, p.ex. bacias hidrográficas ou unidades de conservação, pois são submetidas a significativas e constantes transformações. Isso explica o que afirmou Prigogine (1996), onde há ação antrópica há 'caos e incertezas' na dinâmica ambiental.

A análise da dinâmica socioambiental parte dos componentes físico-naturais, que, por sua vez detêm indicadores capazes de exprimir o processo de evolução da paisagem geomórfica do último milhão de anos. O estudo de um ou mais componentes de uma dada paisagem deve considerar as inter-relações/temporalmente mais importantes já conhecidas. Naturalmente são múltiplas e complexas as inter-relações processuais atuantes numa paisagem, sendo que a ação humana acelera alguns níveis das interações, neste caso, aquelas relativas à pedogeomorfogênica, tais como: preparação dos solos, mudança brusca de sua cobertura florestal, interrupção no escoamento superficial, introdução de insumos agrícolas ou substâncias tóxicas, entre outras. Isso resulta em alterações na velocidade dos mecanismos pedomorfogênicos, como adição, perda, translocação e transformação.

Este trabalho, realizado a partir da “paisagem pedogeomórfica desenvolvida no arenito Furnas”, interior da bacia hidrográfica do Rio Verde, Ponta Grossa/PR tem peculiaridades, em parte, semelhantes às paisagens criadas sobre a litoestrutura da Formação Furnas na região fitogeográfica dos Campos Gerais do Paraná. Portanto, é possível que as considerações deste trabalho possam ser extrapoladas para além dos divisores de água da referida bacia hidrográfica.

Fundamentado nisso, fez-se a caracterização das principais classes de solos em vertentes típicas dos relevos da “Formação Furnas”, sob as atividades agropecuárias, o uso predominante na bacia do rio Verde, isto para verificar as principais influências das interações solos/relevo-usos-clima/hidrografia, com a visão sistêmica da paisagem. Espera-se que, com tal estudo, se possa contribuir para o entendimento das relações entre a dinâmica pedomorfológica, principalmente pelo transporte de sedimentos (erosões) que contribui para o assoreamento, cada vez mais observado nas bacias hidrográficas da região dos Campos Gerais.

A bacia está localizada numa região que apresenta precipitações médias entorno de 1.500 mm/a, com maior concentração pluviométrica nos meses de verão, período de safra de soja e milho, fato que favorece o transporte de sedimentos dessas áreas até os canais fluviais.

O OBJETIVO PRINCIPAL deste trabalho foi: Verificar o comportamento pedogeomórfico em vertentes convexas da Formação Furnas, segundo padrão de drenagem e uso atual da Terra, na Bacia do Rio Verde, Ponta Grossa/PR.

Além disso, tem-se como objetivos específicos:

1. Discutir a relação solo/relevo em vertentes convexas, na concepção de pedogeomorfogênese;
2. Tratar os indicadores geomorfológicos: forma, comprimento, declividade e orientação das vertentes em sua relação com os processos erosivos e os lineamentos estruturais;
3. Relacionar os usos atuais do solo no interior da bacia do rio Verde com os indicadores geomorfológicos;
4. Caracterizar as unidades de mapeamento do solo relativas à formação Furnas, na bacia do rio Verde.

A área de estudo está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) da Escarpa Devoniana e em parte, no Parque Nacional dos Campos Gerais apresentando características morfoestruturais correspondentes à Formação Furnas, que é a área de recarga do aquífero

Furnas (aquífero estrutural). Por isso, esta paisagem é rica em águas límpidas, que além de proteger o manancial de águas subterrâneas que abastece as nascentes dos rios, abriga paisagens como escarpas, cânions, furnas, fendas, cavernas, lagoas, relevos ruiformes em arenitos que abrigam rica biodiversidade (MELO, 2015). Além disso, nas cabeceiras do rio Verde está localizado o mais significativo corredor ecológico ligando remanescentes nativos de campos entre as porções norte e sul da Área de Preservação Ambiental da Escarpa Devoniana (MORO *et al.*, 2007).

Segundo Melo *et.al* (2011), o relevo cárstico da região dos Campos Gerais possui importância para o patrimônio natural e arqueológico, educação ambiental e geoconservação. Cita que há a necessidade de medidas para sua preservação, devido a possibilidade de subsidências, colapsos do terreno e alteração de cursos d'água, serem comuns em ambientes cársticos.

Diante dessas características, a dinâmica pedogeomórfica desta área, merece atenção diante dos usos do solo e planejamento ambiental. Ao longo dos últimos anos, na bacia do rio Verde, vários empreendimentos geraram críticas pela comunidade científica devido a fragilidade do substrato rochoso que representa o maior potencial aquífero do município de Ponta Grossa, dentre eles: expansão urbana, aterro sanitário, drenagem de cabeceiras, agricultura intensiva, etc.

Sá (2007) comenta em seu trabalho sobre os principais solos na região dos Campos Gerais, os usos do solo nem sempre estão apropriados e/ou planejados para o nível de evolução de algumas classes de solo no meio em que se encontram, causando intensas erosões e assoreamentos de rios. Além disso, Lepsch (2002) cita que em muitos casos, a ação antrópica se esmera em acelerar a degradação dos solos com práticas não conservacionistas, tais como: encostas íngremes são aradas na direção da maior declividade, pastos são superlotados, os solos são exauridos pelos repetidos ciclos de monoculturas sem proteção contra o escoamento superficial, etc.

Como o solo funciona como mediador de fluxos de água entre a hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera, deve ser considerado uma importante ferramenta de análise aos gestores, pesquisadores e comunidade. Esta interação entre os componentes ecológicos e socioeconômicos de uma região é visualizada nas unidades de paisagem da bacia. Por isso, o desenvolvimento de políticas para a conservação dos recursos naturais e educação ambiental pode ser fundamentado nestas unidades (ANTROP, 2000; TRESS *et al*, 2004; ROCHA, 2009).

II. PEDOGEOMORFOLOGIA: RELAÇÕES SOLO-RELEVO

A relação entre a pedologia e a geomorfologia tem sido tratada, a princípio desde 1977, contribuindo para a compreensão da distribuição e dinâmica dos solos na paisagem. Diante dessa relação, Conacher e Dalrymple (1977) propõem uma nova disciplina chamada *Pedogeomorfologia*, que vem a ser basicamente uma relação genética entre os solos e a paisagem e tem como objetivo geral analisar o comportamento dos solos no modelado do relevo. Esta integração da Ciência Pedológica e Geomorfológica provavelmente cobre mais do que qualquer atributo do solo ou das formas do relevo estudados isoladamente (GERRARD, 1992).

A concepção pedogeomorfológica, segundo Bui *et al.* (1999), trata a paisagem como uma combinação dos aspectos da superfície da terra com os componentes de subsuperfície (material de origem), enquanto o solo é um corpo tridimensional e dinâmico que está inserido na paisagem. Com isso, a relação “solo-paisagem” pode ser entendida como o padrão de distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações de dependência com a disposição do relevo (SÁ, 1995).

Este ramo da ciência surgiu para integrar estudos geomorfológicos e pedológicos, pois a necessidade de caracterizar as propriedades dos solos com atributos do relevo (declividade e formas das vertentes) se faz importante para estudos acerca da evolução das vertentes relacionadas à erodibilidade ou pedogênese (SALGADO, 2005).

A Pedologia (do grego e latim *ped* ou *pedon* = terra onde se pisa; *logos* = estudo) é parte da ciência que estuda os solos do ponto de vista de sua gênese e evolução. O solo pode ser definido como o material, orgânico ou mineral, inconsolidado na superfície terrestre que durante certo tempo, sofreu a influência de fatores genéticos e ambientais do clima, de organismos e do relevo. Os solos são muito importantes do ponto de vista econômico, social e ambiental (LEPSCH, 2011).

Na década de 1930, a Pedologia começou a perceber a estreita relação de dependência entre solos e sua posição ocupada no relevo, já que, a posição topográfica determina a ação diferenciada da água sobre características do solo. Sendo nessas condições que a ação da água determina uma distribuição constante dos solos nas vertentes (QUEIROZ NETO, 2000).

Milne, em 1934, observou a partir de trabalhos com mapeamento de solos na África a sucessão repetitiva de solos nas vertentes, percebendo a relação entre os tipos de solos e formas de relevo propondo assim o conceito de Catena, que é definido como uma unidade prática de mapeamento que incorpora os solos por mais que estejam em pontos diferentes de um sistema

natural de classificação, tendo em vista que suas diferenças morfológicas estão relacionadas na sua ocorrência por condições topográficas e se repetem nas mesmas posições, sempre que tais condições estão presentes, reforçando assim que o conhecimento dos processos geomorfológicos é de fundamental importância no entendimento da origem e desenvolvimento do sistema solo-paisagem (MILNE, 1934; GERRARD, 1992).

Jenny (1941) expõe um modelo conceitual da formação dos solos, apresentando o solo como uma função do clima, influências biológicas, topografia, material de origem e tempo. Posteriormente em 1959, Simonson *apud* Jenny, cita os quatro processos de formação do solo, sendo eles a adição, a remoção, a translocação e a transformação.

Em 1973, Bocquier *apud* Jenny define o termo “toposequência”, que representa uma sequência de diversos tipos de solos distribuídos de maneira irregular e sistemática na paisagem em função da topografia, sobre o material de origem homogêneo. Posteriormente, percebeu-se a relação entre tipos de solos e formas de relevo, distinguindo que solos mais “jovens” ocorrem sobre relevos de evolução recente. Finalmente, a partir das duas últimas décadas do século XX, alguns pedólogos começam a perceber que a alteração das rochas pelo intemperismo e a formação dos solos são poderosos agentes na geração de formas do relevo (QUEIROZ NETO, 2003).

Para Tricart (1968), a pedologia relaciona-se com a geomorfologia numa situação paralela à da geomorfologia em relação à geologia estrutural. Muitos pedólogos quando procuram relacionar os solos com as rochas da carta geológica, sentem muita dificuldade, já que são raros os casos em que os mesmos se formam diretamente da rocha local. O autor ainda cita que os solos são geralmente elaborados a partir das formações superficiais, saprolito ou formações de vertentes, aluviões, coluviões, etc., pertencendo, portanto, o material de origem dos solos, mais ao meio geomorfológico do que ao meio geológico.

As formas do relevo são o objeto de estudo da Geomorfologia (do latim *geo* = terra, *morfo* = forma, *logos* = estudo), e sua estabilidade decorre das tendências evolutivas e de interferências dos componentes ambientais ou da ação antrópica que cada vez mais diversifica e intensifica sua atuação nas formas do relevo. O entendimento dessa dinâmica de processos e dos tipos de relevo deve ser estudado juntamente com as características geológicas, climáticas, pedológicas, hidrológicas, biológicas, topográficas e altimétricas de uma área (GUERRA e CUNHA, 2007).

Na segunda metade do século XX, a Geomorfologia passa a dar mais importância ao conhecimento dos produtos do intemperismo (solos, saprolito e formações superficiais) como influenciadores dos processos de morfogênese e evolução das formas de relevo. Torna-se

essencial o reconhecimento de que a formação dos relevos (morfogênese) é consequência de processos erosivos que afetam a pedogênese e que os solos fornecem os materiais para serem erodidos. Contudo, percebe-se que o entendimento dessas relações não é fácil.

Esse binômio (pedo + morfo) permite estabelecer relações de coincidência de aparecimento, isto é, perceber que determinada categoria de solo pode aparecer simultaneamente a um tipo de relevo. Essas relações de coincidência independem das escalas de observação. No entanto, por si só elas não conseguem explicar as causas do aparecimento conjunto de certo tipo de solo em determinada forma de relevo (QUEIROZ NETO, 2003).

Birkeland (1984) cita que ainda há muito que entender sobre tais relações, sendo que um dos principais objetivos que integram os estudos da geomorfologia, geologia e hidrologia é o de melhor compreender os atributos dos solos e sua distribuição na paisagem tendo em vista proporcionar elementos de predição de sua ocorrência.

2.1. Sistema Solo-Paisagem

A ciência pedológica aborda os processos de gênese e distribuição dos solos na paisagem, sendo estudados por Mcbratney *et al.* (2000) que sugeriram os seguintes fatores de formação do solo: clima, relevo, organismos, material de origem e tempo. Estes devem ser associados de acordo com a posição espacial (n), pois possibilitam maior rapidez e precisão aos mapeamentos de solos e suas propriedades, da seguinte forma:

$$Sc = f(s, c, o, r, p, a, n)$$

Onde, as classes do solo (Sc) são uma função do solo (s), clima (c), organismos (o), relevo (r), material de origem (p), tempo (a) e posição espacial (n). Com isso, busca-se explicar as relações entre os fatores de formação do solo, bem como predizer de forma quantitativa as relações entre as classes ou propriedades dos solos na paisagem, espacialmente.

Todos esses fatores são influenciadores da pedogênese e morfogênese. O clima, segundo Teixeira *et al.* (2003), é aquele que isoladamente, mais influencia no intemperismo. De acordo com Lepsph (2011), quanto mais úmido e quente for o clima, mais rápida será a alteração das rochas. Pode ser um fator determinante na quantidade de matéria orgânica dos solos porque o metabolismo dos micro-organismos que degradam os resíduos orgânicos está relacionado com a temperatura e umidade. Por outro lado, o mesmo material de origem pode formar solos completamente diferenciados em condições climáticas distintas.

Segundo Höfig (2014), a relação entre geologia e pedologia é clara. Os processos pedogenéticos determinam a formação dos solos a partir de rochas submetidas à meteorização ou intemperização (CAMARGO *et al.*, 1986). Os produtos do intemperismo (saprolito e o solo) ficam sujeitos aos processos de erosão, transporte e sedimentação que sofrem a ação da denudação, desgastando e reorganizando o relevo pelos agentes da água, do ar, das ondas e do gelo em movimento (CHRISTOPHERSON, 2012).

O material de origem pode condicionar muitas características ao solo. Assim, os arenitos dão origem a solos com textura média ou arenosa, enquanto os argilitos dão origem a solos de textura argilosa em pelo menos um horizonte. Nas propriedades químicas, a maior parte dos solos derivados de rochas claras, ricas em quartzo, é pobre em bases, enquanto que solos provenientes de rochas escuras ou areníticas com cimento calcário possuem maior quantidade de bases trocáveis (LEPSCH, 2011).

Outro fator pedogenético é o relevo, que explica a variabilidade dos solos na paisagem, transmitindo energia potencial, que funciona para mover a água e sedimentos a partir de posições mais elevadas do relevo para as posições inferiores. O movimento de materiais do solo é influenciado pelo gradiente de inclinação e a forma/grau de ligação das redes de drenagem. Assim, do ponto de vista pedológico, a topografia exerce uma forte influência sobre a distribuição de energia e matéria (JENNY, 1990).

De acordo com Mulla e Mcbratney (1999) e Park e Burt (2002), os aspectos topográficos do terreno são os indicadores mais importantes da variação das propriedades do solo. Por sua vez, o entendimento do solo como um corpo natural que possui variação tridimensional e que se origina a partir da inter-relação dos fatores de formação sob a ação dos processos pedogenéticos favorece a compreensão da geografia dos solos, assim como a predição do comportamento destes (BOCKHEIM *et al.*, 2005).

O comportamento dos distintos tipos de solos em diferentes posições do relevo corrobora com a ideia de que os processos de formação também são diferentes em cada segmento da vertente. Frequentemente, a porção superior se caracteriza pela maior ocorrência de erosão, a porção intermediária pelo transporte de sedimento, enquanto o sopé da vertente acumula material sedimentar, desse modo, as partes mais altas são bem drenadas em relação a partes mais baixas, originando as mudanças graduais nas propriedades dos solos (GERRARD, 1992).

Atualmente existe uma constante tentativa de formular modelos para compartimentar a paisagem de forma a refletir sua dinâmica interna e suas interações, podendo citar os modelos que compreendem a associação do solo com as formas da paisagem (CRIVELENTI, 2009).

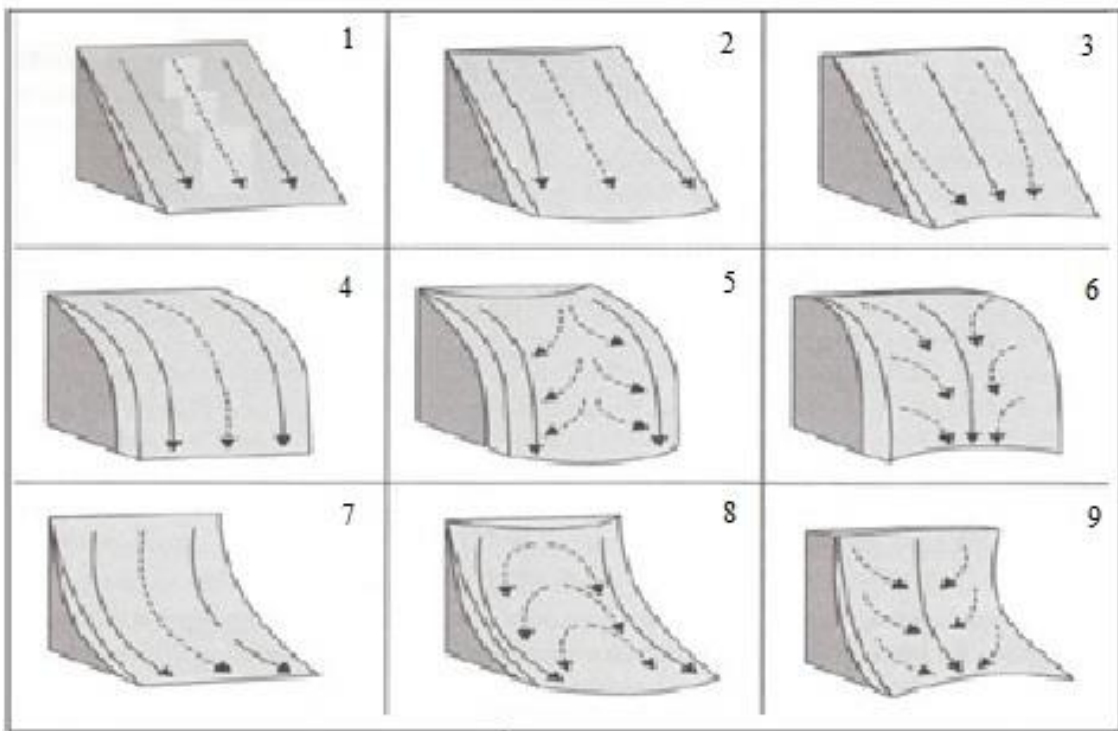
Dentre os diversos modelos que propõem em estudar e entender as relações solo-relevo destacam-se as três linhas que norteiam os trabalhos focados na relação solo-relevo, sendo: a) superfícies geomórficas, b) curvatura do terreno e c) segmento de vertente (CAMPOS *et al.*, 2006).

O modelo de paisagem solo-relevo que faz uso da aplicação das superfícies geomórficas parte dos trabalhos de Ruhe (1956) e Daniels *et al.* (1971). Ruhe (1956) propõe que as superfícies geomórficas seguem os princípios de que uma superfície é mais jovem do que qualquer outro material ou superfície que ela corta ou de que uma superfície é mais velha, ou da mesma idade, que os depósitos do fundo de vale inferior; ou ainda de que uma superfície é mais jovem do que as adjacentes situadas em posição superior, ou mais velha do que situadas em posição inferior; ou ainda de que uma superfície é mais velha ou de mesma idade aos depósitos situados sobre ela.

Já, Daniels *et al.* (1971) sugere que os processos de erosão e deposição de solos na paisagem estão correlacionados as superfícies geomórficas, sendo esses processos erosionais ou deposicionais que ocorrem de modo adjacente, e cita que os estudos dessa relação solo, superfícies geomórficas e geologia são importantes elementos na compreensão da ocorrência de solos na paisagem permitindo o mapeamento de sua distribuição.

O segundo modelo de paisagem solo-relevo é baseado na curvatura da vertente considera a influência do relevo na hidrologia da vertente, avaliando suas formas e o comportamento dos solos segundo seu posicionamento, este método utiliza equações que são adaptadas aos mapas planialtimétricos detalhados (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005).

Troeh (1965) foi um dos primeiros autores a utilizar desse modelo em seus estudos, analisando dados de elevação de duas *catenas* para derivar a declividade e curvatura da vertente. Assim, pelo aspecto do perfil de curvatura, as vertentes convexas facilitam o desenvolvimento do rastejamento – *creep* - (deslocamento de material pela influência da gravidade); e as vertentes côncavas favorecem a lavagem – escoamento superficial pela água da chuva. Hugget (1975) em seus estudos estabelece uma combinação de formas de vertentes relacionando a curvatura vista em perfil e em plano, propondo assim nove padrões típicos para as indicações das direções dos fluxos da água sobre as vertentes, dos quais as diferenças nos solos e nas paisagens são em parte resultantes do movimento da água e sua distribuição nas vertentes (FIGURA 01).



- 1 - Perfil de curvatura retilíneo e plano de curvatura planar;
- 2 - Perfil de curvatura retilíneo e plano de curvatura divergente;
- 3 - Perfil de curvatura retilíneo e plano de curvatura convergente;
- 4 - Perfil de curvatura convexo e plano de curvatura planar;
- 5 - Perfil de curvatura convexo e plano de curvatura divergente;
- 6 - Perfil de curvatura convexo e plano de curvatura convergente;
- 7 - Perfil de curvatura côncavo e plano de curvatura planar;
- 8 - Perfil de curvatura côncavo e plano de curvatura divergente;
- 9 - Perfil de curvatura côncavo e plano de curvatura convergente;

Figura 01 – Fluxo d’água no plano de curvatura (setas pontilhadas) e fluxo d’água no perfil da curvatura das vertentes (setas contínuas). Fonte: Adaptado de Hugget (1975)

O terceiro e último modelo de paisagem solo-relevo, destacado na literatura, refere-se aos segmentos/compartimentos de vertentes. Este modelo é apresentado por Dalrymple *et al.* (1968) e ilustra os processos geomorfológicos predominantes dividindo uma vertente em nove unidades de superfície, sendo que podem estar ausentes ou presentes de forma repetida na topossequência, na (FIGURA 02):

1. Interflúvio (0° - 1°) - onde ocorrem os processos pedogenéticos associados com o movimento vertical (infiltração) subsuperficial da água;
2. Declive de infiltração (2° - 4°) - em que ocorre o processo de eluviação química e mecânica pelo movimento lateral subsuperficial da água;
3. Declive convexo de rastejamento - onde há o movimento do solo com a formação de terraços;

4. Frente de queda (ângulo mínimo de 45°) - ponto onde a movimentação de massa acontece com o desgaste físico e químico do solo;
5. Meia encosta de transporte - ocorre movimento de massa e transporte de material, há formação de terraços com ação superficial e subsuperficial da água;
6. Sopé coluvial (ângulo entre 26°- 35°) - área de deposição de matéria por movimentos de massa e lavagem subsuperficial, transporte de material, rastejamento e ação superficial e subsuperficial da água;
7. Declive aluvial (0°-1°) - há deposição aluvial e processos resultantes da ação subsuperficial da água;
8. Canal barreira - ocorre os processos de erosão, afundamento e queda dos solos;
9. Canal leito - onde predomina o transporte do material pela ação da superfície da água, gradação e erosão periódicas (SILVA, 2012).

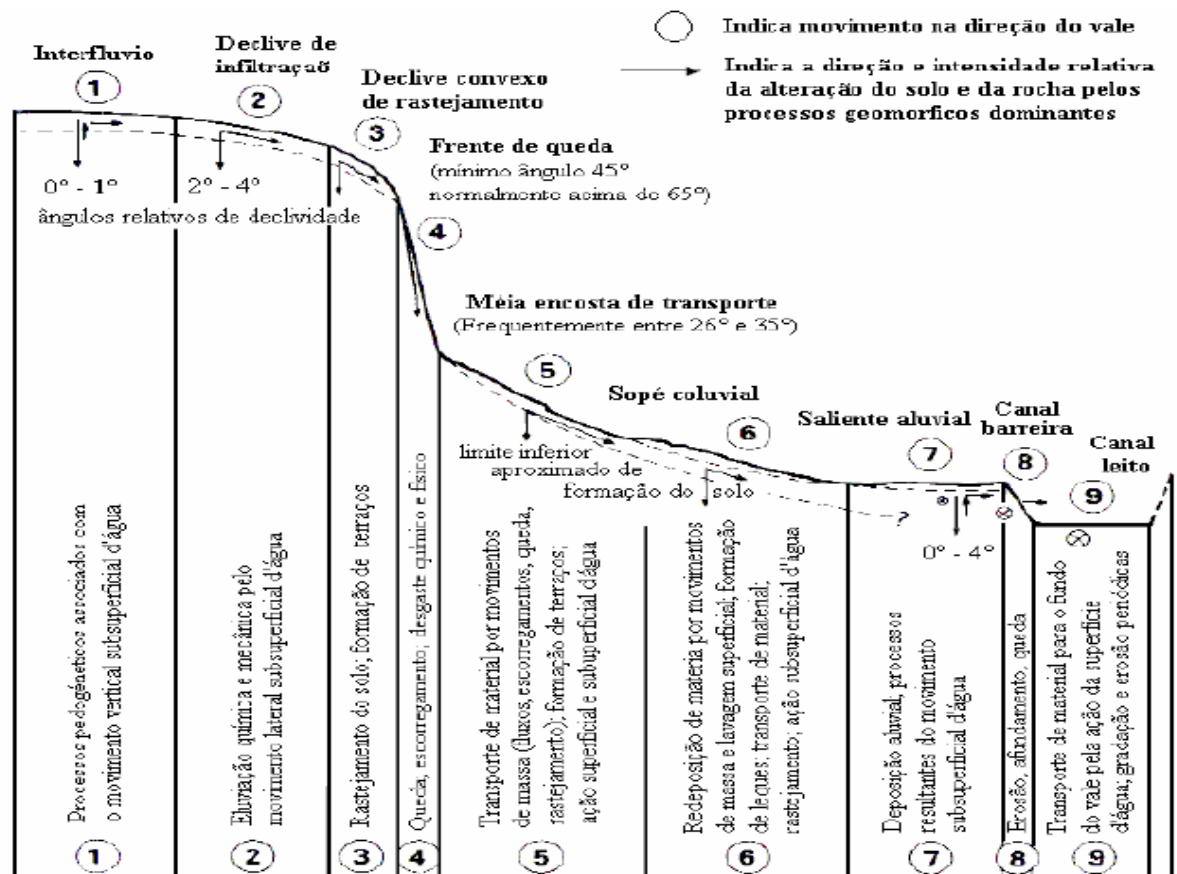


Figura 02 – Nove seções hipotéticas em um modelo de vertente (DALRYMPLE *et al.*, 1968).
Fonte: Adaptado de Gerrard (1992).

Este modelo explica que a distribuição das propriedades de solo varia com o relevo e a declividade afetando diretamente os atributos do solo, pois as taxas de escoamento superficial e erosão variam conforme o declive. Em áreas de terreno ondulado, nas áreas baixas ocorre

acumulação de água de escoamento e sedimentos, podendo ser influenciadas por um período de inundação e interferir nas características desses solos (BIRKELAND, 1990).

Os principais mecanismos de atuação do relevo referem-se à distribuição dos processos hidrológicos, erosivos e da temperatura do solo. Assumindo o desenvolvimento de solos como resposta a esses efeitos, Moore *et al.* (1993) relacionaram atributos pedológicos como variação do pH, do conteúdo de fósforo e da espessura do horizonte superficial (A) à variáveis topográficas. Gobin *et al.* (2001) afirmam que o movimento da água nas vertentes é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo. Por isso, compreender as formas do relevo permite fazer inferências e predições sobre os atributos do solo em diferentes segmentos de vertentes.

Nesse sentido Pachepsky *et al.* (2001) realizaram estudos com a finalidade de destacar essa importância da segmentação da vertente no entendimento dos processos que envolvem o movimento e armazenamento de água dentro do perfil do solo e, ainda, sua relação com o transporte e a deposição de sedimentos, de maneira a provocar variabilidade espacial nos atributos do solo.

É comprovado que os melhores resultados em estudos de variabilidade espacial do solo, levantamentos pedológicos e pedogênese são alcançados com a inclusão dos parâmetros geomorfológicos. Os trabalhos de Daniels *et al.* (1971) e Gerrard (1993), ressaltam essa importância através de: identificação da coluna lito-estratigráfica e do material de origem dos solos, identificação das superfícies geomórficas (que indicam as idades relativas dos solos) e relacionamento entre atributos do solo e do relevo, integrando os dois itens anteriores.

Além dessas interações, existe também a relação entre os organismos que são de grande importância para a pedomorfogênese, pois atuam acelerando o intemperismo. Compreendem desde os micro-organismos, vegetais superiores (macroflora), animais (macrofauna) e um dos mais atuantes “o homem”. Estudos entre solos e vegetação (MORISON *et al.*, 1948; WEBB, 1969; GOODLAND e POLLARD, 1973; GRUBB, 1977; GOLLEY *et al.*, 1978; ALBAN, 1982; GARTLAN *et al.*, 1986; HAASE, 1990; JOHNSTON, 1992) demonstram que diferentes padrões de vegetação e usos do solo proporcionam uma excelente oportunidade para estudar os efeitos da posição topográfica e vegetação nas propriedades do solo com as complicações e/ou benefícios das atividades antrópicas.

Segundo Christofolletti (2001), as atividades agrícolas e pastoris são responsáveis pela transformação paisagística em amplas áreas. Iniciam substituindo a cobertura vegetal e modificam o ritmo das relações entre as plantas e os solos. De acordo com Lepsch (2011), se estas atividades forem bem manejadas com adubações, os solos tornam-se mais férteis, e

consequentemente propiciam um bom desenvolvimento das plantas, fornecendo uma maior proteção à erosão.

Segundo Fraga e Salcedo (2004) a degradação intensa do ambiente está associada à exploração intensiva de áreas com agricultura ou pecuária, havendo perda da biodiversidade e na fertilidade do solo pela intensificação dos processos erosivos em relação às condições encontradas sob vegetação original (SANTOS, 2004). Os solos utilizados para culturas anuais são os que apresentam maior alteração em relação àqueles sob vegetação nativa (TIESSEN *et al.*, 1992; ALVARENGA e DAVIDE, 1999; FRAGA & SALCEDO, 2004).

A redistribuição de água e de sedimentos na paisagem é afetada pelo relevo que, por sua vez, influencia o tipo de uso do solo. Segundo Santos *et al.* (2002), em uma bacia hidrográfica localizada em relevo predominantemente ondulado, determinou-se que 82% da área se constituíam de encostas, 15% de várzeas e 2% de topos; sendo, nessas duas últimas posições que se encontra a atividade agrícola de maneira mais permanente, por se tratar de áreas planas e com distribuição hídrica mais favorável, enquanto que as encostas são, comumente, ocupadas por pastagens, após um curto ciclo agrícola inicial que se segue à derrubada da mata nativa (SANTOS *et al.*, 2002; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

Normalmente as pastagens sofrem alta pressão de pastejo, o que faz com que a superfície do solo fique exposta e vulnerável a processos erosivos, por isso, muitas vezes o horizonte B fica exposto à superfície (Santos *et al.*, 2002; Fraga e Salcedo, 2004). Grande maioria dos sedimentos e nutrientes é transportada nas vertentes e redistribuídos para os fundos de vale, o que pode contribuir para aumento na fertilidade dos solos das áreas de várzeas (GALVÃO *et al.*, 2005); entretanto, também há redistribuição de água e nutrientes das várzeas para as áreas com menor cota da bacia, ocupadas, em geral, por açudes ou barragens, o que representa perda líquida de nutrientes do sistema.

As plantas e animais também exercem forças que atuam sobre o solo. Os animais, principalmente o gado, ajudam a compactar o solo podendo provocar a formação de ravinas e voçorocas, que muitas vezes começam onde um animal pisou com a pata, iniciando o processo erosivo. Além disso, no caminho do pasto são os responsáveis pelos terraços que aceleram os processos erosivos (VELOSO, 2009).

Pires e Santos (1995) demonstram uma cadeia de alterações (Figura 03) que podem ocorrer nas bacias hidrográficas (recorte espacial dessa pesquisa) com relação às atividades antrópicas. Essas alterações são diversas, sendo visíveis nos solos, no relevo, na qualidade e quantidade de água para abastecimento e na biodiversidade.

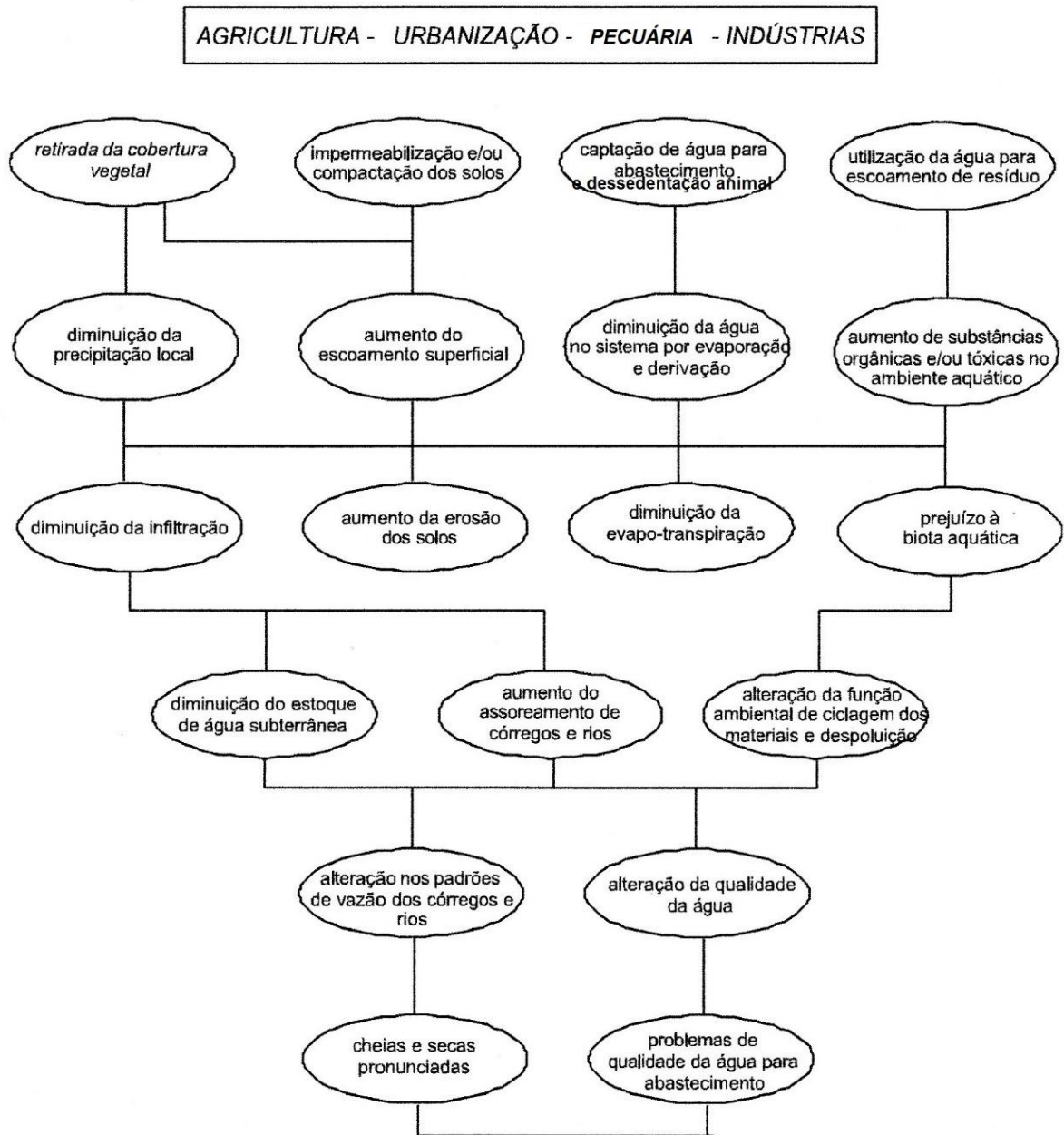


Figura 03 - Cadeia de alterações nas bacias hidrográficas com relação às atividades antrópicas.
Fonte: Adaptado de Pires e Santos, 1995.

As atividades que podem provocar alterações na paisagem e os estudos dos processos pedológicos levaram ao reconhecimento e definição dos sistemas pedológicos em equilíbrio dinâmico e em transformação, porém vários estudos alertam para as alterações ocorridas nas bacias hidrográficas e por sua vez, nas vertentes impactadas pelo uso da terra (COLLARES, 2000; PIRES e SANTOS, 1995).

2.2. Influência das características/padrões de drenagem na formação dos solos e relevo

As características da rede de drenagem, que podem compilar o resultado do trabalho erosivo das águas, são utilizadas em diversas pesquisas geomorfológicas e pedológicas como base ao entendimento da relação solo-superfície.

De acordo com as características - padrões de drenagem e morfometria das vertentes, algumas das propriedades do solo, como infiltração e escoamento superficial, podem ser inferidas.

- O padrão de drenagem, por si só, expressa uma estreita correlação com a litologia e estruturas geológicas. Em geral, os padrões da rede de drenagem permitem inferir sobre a topografia e o condicionamento litoestrutural das bacias hidrográficas em que se encontram. Algumas características da rede hidrográfica sofrem alteração concomitante à evolução da paisagem; seja por mudanças na sua estruturação de usos, seja pela aceleração no ganho ou perda de canais (COLLARES, 2000), e indicam o grau de dissecação da superfície. Estes padrões são determinados pela combinação de declive, solos, resistência rochosa, clima variável, hidrologia, relevo da região e controles estruturais (CHRISTOPHERSON, 2012).
- Em relação aos indicadores geomórficos – forma, comprimento, declividade e orientação de vertente, pode-se dizer que, expressam relações com tipo de o material parental; com a espessura do manto de intemperismo ou regolito; com as condições bioclimáticas, interferindo no escoamento superficial e processos erosivos.

Estas informações morfológicas determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, como citam os estudos clássicos desenvolvidos por HORTON (1945), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), CHRISTOFOLETTI (1978). Na evolução natural das vertentes todo esse processo é modificado por erosão e deposição, estabelecendo o equilíbrio entre a energia e resistência, formando a paisagem (TOY, 1988).

Em relação às classes de solo, as características da drenagem refletem o comportamento hidrológico e litológico de cada unidade de solo, sendo que, em locais onde a infiltração é dificultada, ocorre maior escoamento superficial, ocasionando uma maior esculturação da rede hidrográfica, tendo como consequência uma densidade de drenagem mais alta. Demattê e Demétrio (1996) em seus estudos sobre padrões de drenagem analisaram estas características na discriminação de unidades de solos e chegaram à conclusão de que há uma estreita correlação entre a densidade de drenagem e determinados atributos morfológicos, mineralógicos e químicos, ligados à intensidade de intemperismo dos solos estudados.

As formas exibidas na organização da rede de drenagem podem fornecer informações importantes quanto à estrutura geológica da área e de acordo com Schumm *et al.* (2000), cada padrão de drenagem apresenta um significado litoestrutural (OLIVEIRA, 2015). Segundo Howard (1967), a rede de drenagem se modifica apresentando padrões e formas de acordo com estruturas do modelado do relevo, apresentando um significado litoestrutural, morfoestrutural e morfotectônico. As classificações de padrões de drenagens são antigas e vários modelos são apresentados na literatura (ZERNITZ, 1932; HORTON, 1945; STRAHLER, 1952, HOWARD, 1967). Zernits (1932) classificou as seguintes formas: dendrítico, paralelo, treliça, retangular, radial e anelar, ainda que alguns desses padrões já houvessem sido classificados há muito tempo (FIGURA 04) (DAUBRÉE, 1879; DUTTON, 1882; WILLIS, 1895).

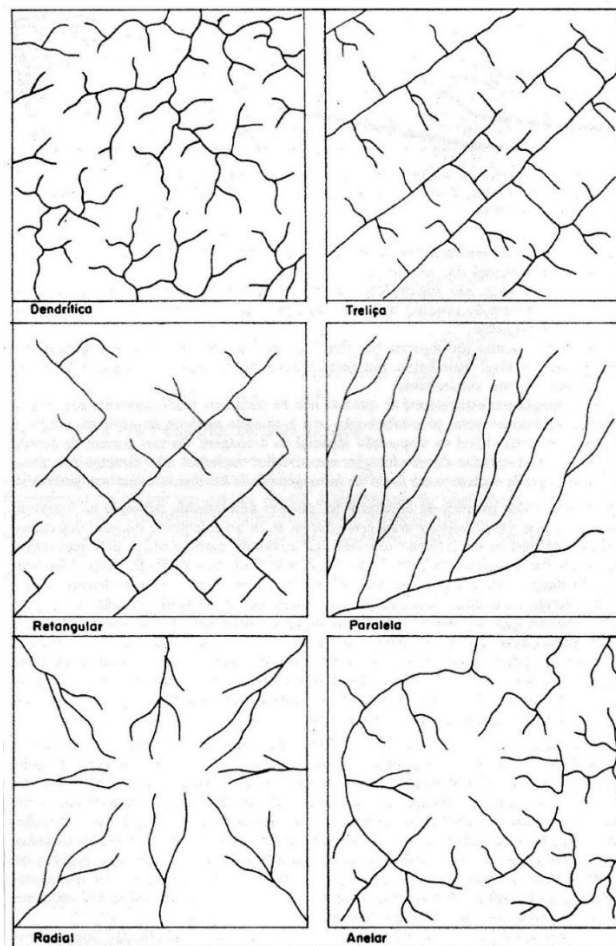


Figura 04 - Principais tipos padrões de drenagem. Fonte: CHRISTOFOLETTI (1980).

O controle exercido pelas estruturas geológicas pode ser visualizado com a determinação da densidade hidrográfica que expressa à quantidade disponível de rios para o escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1981). Esta técnica permite que as áreas sejam individualizadas, podendo refletir tanto um controle tectônico, dependendo das características inerentes ao substrato e ao tipo de clima predominante. Os principais fatores que influenciam

sobre as diferenças na densidade de drenagem são: declividade das vertentes, solos, cobertura vegetal, o tipo de substrato geológico e a precipitação.

A densidade de drenagem foi definida por Horton (1945) e relaciona o comprimento total da rede de drenagem com a área que a contém. Alguns trabalhos propuseram valores de densidade de drenagem (VILLELA; MATOS, 1975), porém essas estimativas não levam em consideração todos os aspectos do meio físico que podem causar mudanças na densidade de drenagem, sendo estes geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos ou vegetacionais da área.

Um dos fatores do meio físico que caracterizam a densidade são as características geológicas que possibilitam a esculturação de canais permanentes. Por exemplo, nas rochas areníticas, a infiltração é facilitada havendo menor escoamento superficial, menor densidade de drenagem e maior infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1978; 1980). Além da geologia, outros fatores podem influenciar na densidade de drenagem na bacia hidrográfica, tais como: topografia, clima, solo, relevo, declividade e vegetação. Entre os usos da Terra, a urbanização e a agropecuária causam alterações consideráveis na densidade de drenagem (COLLARES, 2000).

A drenagem é ainda, o primeiro elemento a dar uma resposta às alterações nas formas, associadas à assimetria de vales e controle deposicional, sugerindo as mudanças de base (HOWARD, 1967; SCHUMM, 1993; ETCHEBEHERE, 2000; SCHUMM *et al.*, 2000; OLIVEIRA, 2015). Os índices de sinuosidade da rede de drenagem podem ser classificados como curva, mista ou retilínea, sendo que os padrões retilíneos são os que apresentam maiores influência de controle estrutural.

A bacia de drenagem utilizada como recorte espacial, segundo Coelho Neto (2001), revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e pedogeomorfológicos, a partir da definição dos mecanismos erosivo-deposicionais preponderantes, da interação de fatores bióticos, abióticos e antrópicos que compõem o respectivo ambiente de drenagem, levando-se em consideração que alterações na composição desses fatores podem induzir modificações significativas na dinâmica tempo-espaciais do trabalho geomorfológico.

2.3 Indicadores determinantes na relação solo-relevo

Os indicadores topográficos ou geomorfométricos podem ser divididos em primários e secundários. Os primários são calculados diretamente do Modelo Digital de Elevação (MDE) e abrangem variáveis como altitude, declividade, orientação das vertentes, curvatura em perfil e curvatura planar. Os atributos secundários são calculados a partir de diferentes combinações dos primários e podem ser usados para caracterizar a variabilidade espacial de processos específicos na paisagem (MOORE *et al.*, 1993).

Os processos pedogenéticos e geomorfológicos são influenciados pelas formas de relevo e características dos depósitos sedimentares/solos (DANIELS e HAMMER, 1992). Com relação às características primárias, as formas do relevo podem ser indicadoras da variação dos atributos do solo, além do transporte e o armazenamento de água no perfil do solo (SANCHEZ *et al.*, 2009). Conforme o tempo passa, estes processos deixam impressões pedogênicas em diferentes partes da paisagem, alterando os materiais de origem e diferenciando a física, química e a biota dos solos de acordo com a posição topográfica.

Estes formatos alteram os processos hidrológicos e de erosão dos solos através dos fluxos de água, escoamento superficial e sedimentação, bem como a temperatura do solo afetando a intensidade da intemperização dos minerais, lixiviação, erosão, sedimentação, decomposição, formação dos horizontes e a distribuição dos atributos do solo (MOORE *et al.*, 1991).

De acordo com Guerra e Cunha (2007), os processos erosivos dos solos são controlados pelos seguintes fatores: erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das vertentes. Além disso, a intervenção humana pode alterar esses fatores. Hudson (1961) definiu o termo erosividade como “a habilidade da chuva em causar erosão”. Segundo Oliveira (2011) as precipitações são os agentes responsáveis pelo destacamento de sedimentos/solos expostos, expresso pelo índice-erosividade e o processo de assoreamento de um manancial hídrico encontra-se intimamente ligada aos processos erosivos; os usos do solo, em geral, são produtores naturais de sedimentos que chegam à calha do rio e, na sequência alcançam o manancial que abastece a população;

Os sedimentos desprendidos pela força da chuva – erosividade – salpicam sendo carregados pelo escoamento superficial até o corpo hídrico. Ali acarretam perda de qualidade dos mananciais, seja porque alteram a cor e a transparência das águas – o que impede a passagem da luz e interfere na realização da fotossíntese, seja porque aumentam a turbidez,

umentando o tempo e os custos de tratamento desse recurso que é destinado ao consumo humano.

Outra característica é a curvatura, um dos atributos do relevo que representa suas formas, ajudando na distinção de unidades geomorfológicas. Faz menção à forma da vertente, podendo ser convexa, côncava ou retilínea. A concavidade e a convexidade da superfície inclinada ajustam o fluxo hídrico e de materiais ao longo das vertentes (DEBELLA-GILO *et al.*, 2007). Este atributo demonstra a curvatura da superfície do terreno na direção da sua orientação (SIRTOLI, 2008).

Outro indicador do relevo é a declividade que Burrough (1986) definiu como um plano tangente à superfície, expresso como a alteração de elevação sobre uma dada extensão relacionando-se ao regime hídrico do solo e afetando o fluxo de água superficial e subsuperficial, a proporção e velocidade do escoamento superficial, a infiltração da água da chuva, o conteúdo de água no solo, a capacidade de uso dos solos, entre outros (WILSON & GALLANT, 2000).

A orientação das vertentes simula a direção para a qual a superfície do terreno está voltada. É expressa na forma do azimute, em graus, com valores que variam de 0° a 360° no sentido horário a partir do Norte (WILSON & GALLANT, 2000) e está diretamente relacionada com intensidades dos aspectos de: evapotranspiração, insolação e teor de água no solo (MOORE *et al.*, 1993).

A gênese do solo e a distribuição de sua ocorrência na paisagem são determinadas pela sua distância da rede de drenagem, pois descrevem importantes aspectos relacionados ao regime hídrico, erosão e deposição de sedimentos, concentração de matéria orgânica, profundidade do horizonte A, entre outros (FLORINSKY *et al.*, 2002).

A integração dos fatores de forma, comprimento e declividade resultam em maior escoamento superficial e conseqüentemente em erosão laminar ou linear, ficando mais ou menos suscetível de ocorrer nas distintas formações geológicas, tornando-se um excelente método de análise de vertentes (CUNHA & GUERRA, 2007).

A erosão dos solos remove parte de materiais e nutrientes das vertentes redistribuindo para fundos de vale, que são áreas de deposição. A caracterização das áreas quanto às classes texturais, níveis de fertilidade do solo e uso atual é a primeira etapa para entender a dinâmica das transferências de solos e sedimentos nas diferentes superfícies das bacias hidrográficas (GALVÃO *et al.*, 2005).

As propriedades do solo controlam os processos relacionados à sua variação espacial e temporal, de tal forma que qualquer alteração pode afetar diretamente a sua estrutura e a

atividade biológica e, conseqüentemente, a sua qualidade (CARNEIRO *et al.*, 2009). Alterações nas propriedades do solo, advindos de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais, podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa original (CARDOSO *et al.*, 2011).

III. PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE E AS RELAÇÕES SOLO-RELEVO

3.1- Características físico-naturais

O município de Ponta Grossa se localiza na porção centro-leste do Estado do Paraná, e segundo IPARDES (2012) está na região Centro Oriental Paranaense (FIGURA 05). Também faz parte da região fitogeográfica conhecida por Campos Gerais do Paraná (MAACK, 2002).

A área de estudo se situa na porção nordeste do município de Ponta Grossa inserida na bacia hidrográfica do rio Verde, entre as coordenadas UTM SG22 581672m/7226413m e 603729m/7220512m.

O rio Verde é afluente da margem esquerda do Rio Pitangui, que por sua vez é tributário do rio Tibagi (Sistema Pitangui-Tibagi-Paranapanema-Paraná). Sua paisagem pode ser caracterizada como rural-urbana com predomínio de usos agropecuário e urbano. Segundo Cruz (2009), este rio e seus afluentes cortam a área urbana do município e merecem destaque pois como em sua maioria são encaixados em vales que exercem um papel fundamental para o clima de Ponta Grossa. Neles, há uma dinâmica particular quanto aos ventos, insolação e umidade relativa que afetam direta ou indiretamente na temperatura do ar, umidade e precipitação.

Para o melhor entendimento da dinâmica pedogeomorfológica da área de estudo apresenta-se uma caracterização descritiva da paisagem na área de estudo, contemplando as características físico-naturais - Geologia, Geomorfologia, Solos e Clima, bem como do processo de uso e ocupação do município de Ponta Grossa.

A bacia do rio Verde, no aspecto de sua Geologia, ocupa as seguintes litologias: Grupo Paraná (Formações Furnas e Ponta Grossa) e Grupo Itararé (Formação Campo Mourão), mas a Formação Furnas apresenta a maior abrangência na referida área.

A Formação Furnas é representada por rochas sedimentares, formada por arenitos finos, médios a muito grossos, feldspáticos e ou caulínicos, quartzosos de coloração esbranquiçada, com estratificação cruzada, ocorrendo níveis conglomeráticos (ASSINE, 1999). Acrescentando a isso, a MINEROPAR (2005) caracteriza o arenito Furnas como: Arenitos brancos, de granulação média a grossa, micáceos, feldspáticos, de matriz caulínica e estratificação cruzada com níveis conglomeráticos. Melo (2013) descreve que a coloração clara

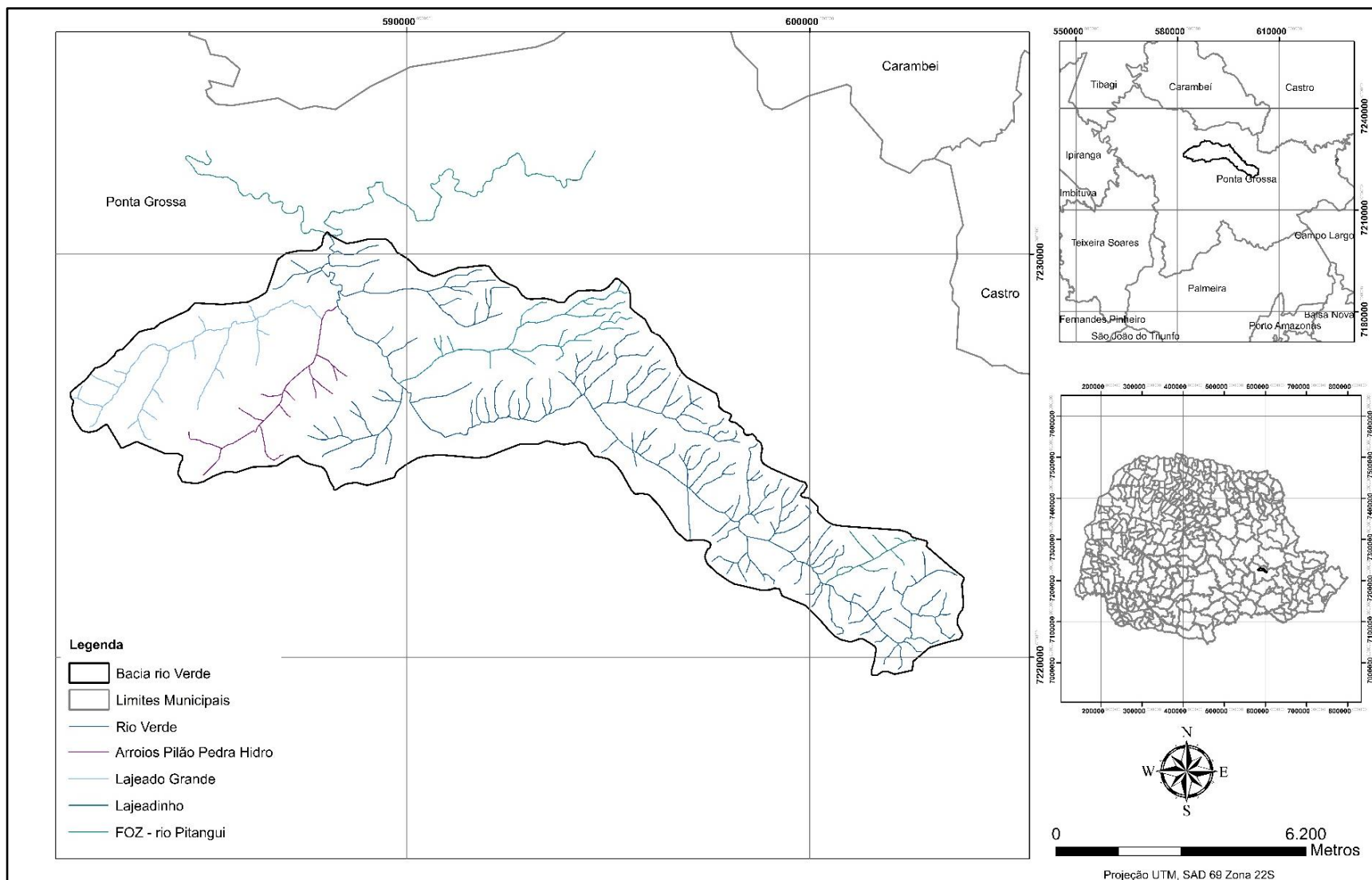


FIGURA 05: Localização da área de estudo. Org: Barreto, K.T. (2016)

do arenito é devida à presença da caulinita e illita que agem como agente cimentante dos grãos de quartzo e feldspato. Os arenitos da Formação Furnas dão sustentação ao degrau topográfico representado pela Escarpa Devoniana e são a unidade geológica dominante no reverso da escarpa, constituinte da área de estudo (FIGURA 06).

A textura das rochas da Formação Furnas imprime boa permeabilidade, dando-lhe a capacidade de se comportar como aquífero, onde cerca de 300 poços profundos nas cercanias de Ponta Grossa são utilizados em hospitais, escolas, indústrias, etc. A água flui constantemente em nascentes e numa série de canais de 1ª ou 2ª ordem (MELO, 2009).

Inclui-se na área de estudo, feições morfológicas tipicamente ruiniformes, além de outras feições e formas peculiares, como as Furnas, feições de desabamento desenvolvidas no teto de erosões subterrâneas. Os arenitos sofrem o processo de dissolução sendo tratado como carste não carbonático (MELO *et al.*, 2011).

Estas feições subterrâneas, possuem grande importância para a reserva hídrica do aquífero Furnas, com crescente demanda por água de qualidade, porém com grande risco de contaminação que aumenta com o uso de agrotóxicos e lançamento de efluentes (MELO, 2009).

Em termos de estruturas, a região é marcada pela influência das reativações de estruturas do embasamento e com a atividade mesozoica do arqueamento (Arco de Ponta Grossa) e todos os lineamentos estruturais que apresentam direção noroeste-sudeste estão relacionados ao Alinhamento São Alonzo (anomalia paralela ao eixo do arco) (PONTES, 2014). Fato que pode ser observado em campo e em imagens orbitais, através do controle de drenagem.

Alguns cursos d'água têm seus cursos controlados por estruturas de falhas, fraturas, diques, originando, inclusive, quedas de água. Em termos geomórficos a área de estudo inclui um forte controle estrutural, que favorece a ação da erosão diferencial (BIGARELLA, 2003). Isto explica, em parte, o padrão retangular dos canais fluviais acompanhando as linhas de fraqueza estruturais e orientadas pela direção do mergulho das camadas que mantem a estratificação cruzada.

Pontes (2014) cita em seu trabalho, que o lineamento do rio Verde é relacionado ao Arco de Ponta Grossa. Além disso, nessas áreas há ocorrência de diversas depressões e o CTR Furnas (proposta de aterro que possui diversos empasses de acordo com a legislação ambiental). Neste lineamento (FIGURA 07), o rio segue encaixado em uma falha definida segundo a Folha Geológica de Ponta Grossa (MINEROPAR, 2005).

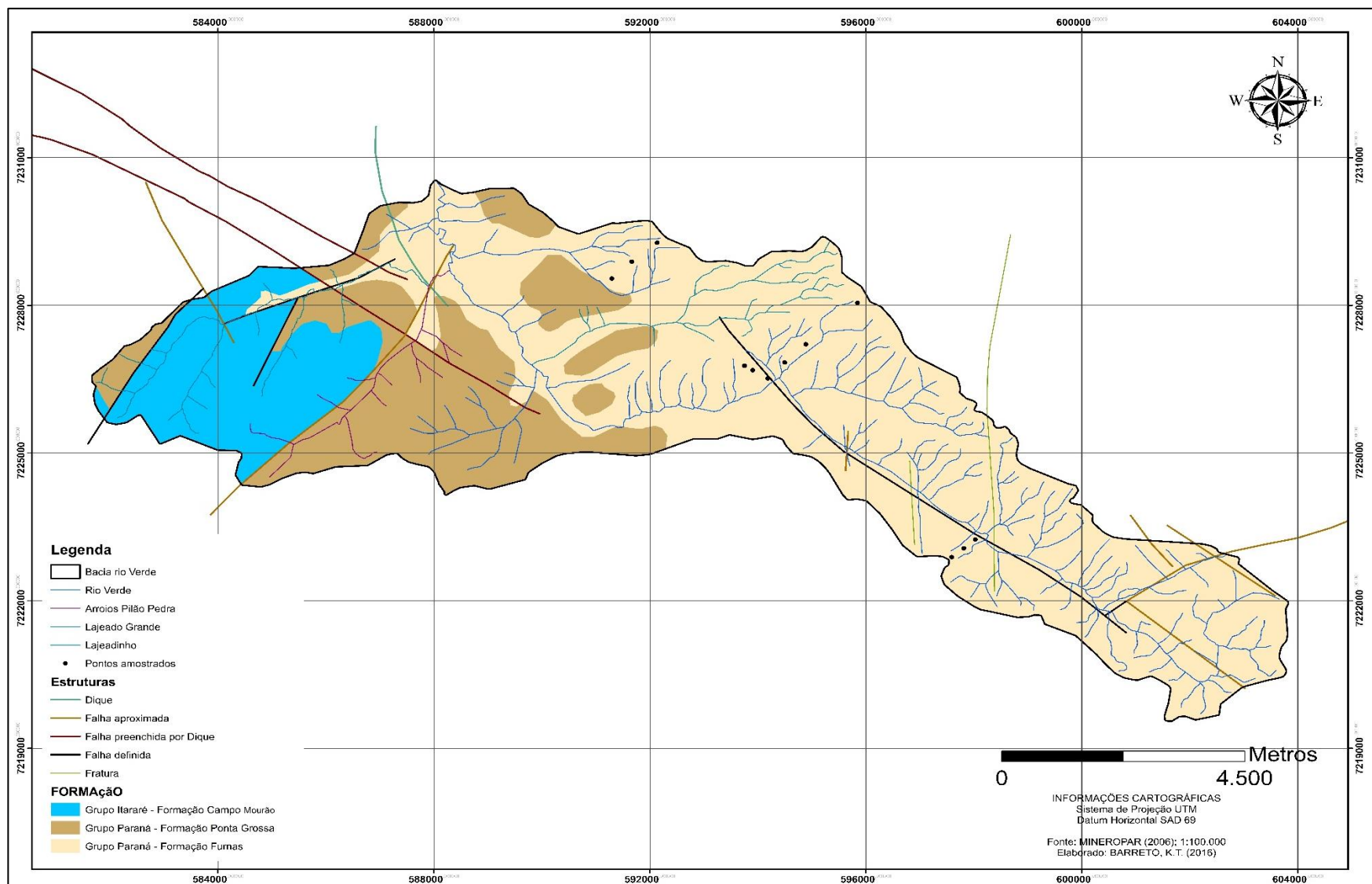


FIGURA 06: Geologia da bacia do rio Verde – Ponta Grossa, PR. Org: a autora (2016)



Figura 07: Lineamento Rio Verde (Falha definida) e aterro (CTR Furnas) construído entre dois canais. Fonte: a autora 05/2016 na Fazenda Escola Capão da Onça.

Neste sentido, o relevo que constitui essa paisagem é fortemente dissecado pelo rio Verde, estando o topo mais elevado no divisor de águas na margem direita do rio Verde, o rio São Jorge. Estes fazem parte da bacia do rio Pitangui, responsável pelo abastecimento hídrico do município de Ponta Grossa. Na margem esquerda do divisor, o rio Botuquara. (SÁ, 1995).

A porção rural da bacia está inserida na Subunidade Morfoescultural do Planalto De São Luiz Do Purunã, situada no Segundo Planalto Paranaense (MINEROPAR, 2006) apresentando dissecação baixa e altitude com variação de 400 metros e variando entre 800 (mínima) e 1.000 (máxima) m.s.n.m. As formas predominantes são topos aplainados, vertentes convexas e vales em calha muito encaixados.

A área apresenta segmentos fortemente encaixados, com vales retilíneos e padrão retangular, apontando a presença de linhas de descontinuidades, como fraturas, diáclases e às vezes, falhas. Ambas aparecem na bacia do rio Verde, exibindo uma similaridade morfológica que resulta em vertentes geralmente convexas de topos aplainados com vales muito encaixados sobre a Formação Furnas. Ali, as estruturas tectônicas de direção Noroeste/Sudeste estão relacionadas ao arco e as estruturas Nordeste/Sudoeste referem-se a reativações de estruturas de descontinuidades associadas a faixa Taquara/Itaouiraouã do Embasamento Proterozoico (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2014).

Na borda leste da Bacia do Paraná, ocorreu um soerguimento da crosta terrestre, ativo principalmente no Mesozoico (130 milhões de anos). O “Arco de Ponta Grossa” apresentou forma alongada, com eixo na direção NW-SE com caimento no sentido NW, passando próximo à cidade de Ponta Grossa, da qual emprestou sua denominação. Além do levantamento da crosta, o arqueamento das rochas originou feixes subparalelos de fraturas profundas, que deram passagem a magma basáltico, o qual consolidado formou os enxames de diques de direção NW-SE, constituídos de diabásio. Este evento impactou diretamente no uso e ocupação dos solos na região (VIEIRA, 1973; ZALÁN et al., 1990).

Segundo Carvalho (2004), os solos dos Campos Gerais, localizados nas proximidades da Escarpa Devoniana, são litólicos, secos ou hidromórficos. Sá (2007) esclarece que as classes de solos de maior ocorrência na região dos Campos Gerais são: Latossolos, Cambissolos, Neossolos, Argissolos, Gleissolos e Organossolos, comentando que com o desaparecimento da cobertura permanente, problemas com erosão hídrica vem ocorrendo, pois a maioria dos solos originários da Formação Furnas que já eram pobres (com Capacidade de Troca de Cátions reduzida e baixa saturação por bases), ficam submetidos aos cultivos anuais, erosão intensa, degradação da estrutura e conseqüentemente redução da produtividade.

Com repetidos usos de intensa utilização dos solos, a erosividade é facilitada. Leprum *apud* Carvalho (1994), cita que na região dos Campos Gerais tem uma classificação média de 700 a 750, sendo considerada erosividade moderada a forte. Por isso, problemas com erosão e degradação de solos associados aos tipos de relevos mais acentuados vêm ocorrendo cada vez mais nessa região.

Nas áreas urbanas, assim como nas áreas rurais, ocorre graves problemas de erosões de acordo com Santos e Westphalen (2014), pois a impermeabilização dos solos favorece a concentração do escoamento superficial e o desenvolvimento de processos.

O relevo, a cobertura vegetal e processos pedogeomórficos estão sendo conduzidos, nestes últimos milhares de anos por um clima subtropical úmido. De acordo com a classificação climática, proposta por Köppen, é Cfb, caracterizado como clima subtropical, úmido sem estiagem, com temperatura média durante o mês mais frio inferior a 18°C, os verões são frescos com temperatura média abaixo de 22°C (CRUZ, 2007). Segundo o mesmo autor (2009), o clima no município de Ponta Grossa é caracterizado por subtropical, com verões quentes e invernos frios, além da atuação das massas de ar. A precipitação pluviométrica média entre os anos 1946 e 2009 é de 1511mm, sendo, normalmente, bem distribuída durante as estações do ano (PIETRO, 2010).

A região fitogeográfica dos "Campos Gerais do Paraná" foi consagrada por Maack (1948), que a definiu como uma zona fitogeográfica natural, com campos limpos e matas de galerias ou capões isolados de Floresta Ombrófila Mista, onde aparece o Pinheiro Araucária. Nessa definição, a região é ainda limitada à área de ocorrência desta vegetação e que está situada sobre o Segundo Planalto Paranaense, no reverso da Escarpa Devoniana, a qual o separa do Primeiro Planalto, situado a leste. Ao longo dos 300 anos de ocupação, essa vegetação foi degradada por cultivos intensivos anuais de verão (milho e soja), anuais de inverno (trigo e aveia) e pastagens. Essa forma de uso do solo é presente até os dias atuais.

Moro *et al.* (2007) cita que nas cabeceiras do rio Verde está localizado o mais significativo corredor ecológico ligando remanescentes nativos de campos entre as porções norte e sul da Área de Preservação Ambiental da Escarpa Devoniana. Além disso, a borda leste voltada para a margem direita da bacia do rio Verde está inserida na ZEPI (Zona Especial de Proteção Integral) e na ZPM (Zona de Proteção de Mananciais) no Plano Diretor (2005) vigente atualmente no município. Nesse zoneamento de Uso e Ocupação do solo, na margem esquerda estão as classes ZEUS (Zona Especial de Uso Sustentável) e ZUA2 (Zona de Uso Agrosilvipastoril2).

A área de estudo, possui a maior estação de tratamento de esgoto (ETE Verde) do município de Ponta Grossa, responsável por tratar aproximadamente 50% do esgoto coletado da cidade. O lodo resultante do processo de tratamento é utilizado como fertilizante agrícola (SANEPAR, 2015). Porém, é de suma importância o bom gerenciamento desse subproduto pois pode ser uma fonte de poluição ao solo, água e ao ambiente por meio de substâncias inorgânicas, orgânicas e agentes patogênicos nele presentes (CONAMA, 2006).

3.2. Aspectos histórico-econômicos dos usos e ocupação dos solos

A ocupação das terras dos Campos Gerais se iniciou logo na primeira década do século XVIII. Local próprio para o desenvolvimento da pecuária, os Campos Gerais tornaram-se então passagem obrigatória na rota do comércio que levava gado e muars do Rio Grande do Sul para o abastecimento do estado de São Paulo e das Minas Gerais (LOWEN, 1990).

O povoamento dos Campos Gerais iniciou-se em 1704, por iniciativa dos paulistas: José Gois de Moraes e Pedro Taques de Almeida. No mencionado ano requereram grandes sesmarias no território paranaense, abrangendo desde a margem esquerda do rio Itararé às cabeceiras do Tibagi (SCHEFFER, 2006).

Ligadas ao tropeirismo, ainda no século XVIII, pequenas povoações começaram a surgir ao longo do Caminho das Tropas. Nos locais em que as tropas fixavam pouso, fazendo seus pequenos ranchos para descanso, fundando casas de comércio, interessado em atender às necessidades dos tropeiros. Dessa forma, pequenas freguesias e vilas, como Ponta Grossa, tiveram seu desenvolvimento inicial dependente das fazendas e do movimento das tropas (SCHEFFER, 2006).

Ao longo do século XIX que as vilas adquiriram uma conformação urbana, deixando de ser um complemento da vida rural. Tornaram-se centro de resoluções de questões políticas e polo de atração de populações, inclusive das fazendas. Diversificaram-se ali as atividades econômicas.

Sendo assim, as últimas décadas do século XIX foram marcadas pela contraposição entre a consolidação dos núcleos urbanos e a retração da economia rural nos Campos Gerais (GOMES, 2003).

Com a transformação do uso da propriedade, partilhada entre o criatório e a invernagem, com a predominância desta, que acompanhou a mudança do fazendeiro em tropeiro, e com a ampliação da economia monetária que a isso se seguiu, desenvolveu-se o comércio contra a autossuficiência das fazendas, começando o domínio das cidades (GOMES, 2003, p.12).

Esse mesmo autor, descreve em crônica Ponta Grossa de Hoje que o crescimento urbano traz novas necessidades à cidade: calçamento das ruas - para aliviar os problemas causados pelo pó e pela lama principalmente aos estabelecimentos comerciais; os serviços de água e esgoto - compatível com as novas concepções de higiene e conforto; a construção de um mercado e de um matadouro - com capacidade para atender às reais necessidades da população (GOMES, 2015).

Nas últimas décadas do século XX, a urbanização expandiu rapidamente em Ponta Grossa, alterando o seu perfil com novas concentrações populacionais (SCHEFFER, 2006). No plano diretor do município na década de 90, as áreas onde houve recente expansão de residenciais, dentro da bacia, eram áreas que deviam ser destinadas a outros usos com maior preservação, onde hoje, a população residente nesses locais, em sua maioria, de classe econômica baixa, passa por diversos problemas como alagamento de suas casas. Atualmente, a estimativa populacional residente é de 337.865 pessoas no município (IBGE, 2015).

Segundo Rosas (2015), no final da década de 1960, a modernização da agricultura tomou conta da região dos Campos Gerais, que transformou o município de Ponta Grossa na “capital da soja” e até os dias atuais, a região é grande produtora de commodities.

IV- PEDOGEOMORFOLOGIA: UMA PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO

A temática em questão neste trabalho exige uma metodologia que incluiu métodos e técnicas que respondam a sua complexidade. Isto porque, a pesquisa enquadra-se como “estudo de uma unidade empiricamente verificável”, ou como diz Vilson (2007) “unidade espacial de exploração”. A pesquisa caracteriza-se como descritivo-explicativa, a partir de um estudo de caso, na perspectiva da ciência geográfica, com enfoque sistêmico, quali-quantitativo, voltada à Gestão do Território.

Para verificar o comportamento pedogeomórfico em vertentes convexas, considerando a litoestrutura e o padrão de drenagem como condicionantes dos usos do solo, fazem-se necessários dois momentos de pesquisa (FIGURA 08) realizados concomitantemente.

Ressalta-se que, o Referencial Teórico foi de suma importância durante todo o desenvolvimento da pesquisa, pois os procedimentos metodológicos – métodos e técnicas – fundamentaram-se na revisão de literatura. A pesquisa considerou a leitura dos clássicos Conacher e Dalrymple (1977), Milne (1934), Jenny (1941), até os mais atuais pesquisadores na área de Solos e de Geomorfologia.

Dentre os clássicos das Geociências, escolheram-se alguns autores da escola Anglo-Americana para atender itens relacionados com as questões morfométricas. Por outro lado, nas análises dos resultados buscou-se privilegiarem-se os autores cuja linha de pensamento é relacionada com a Escola Geomorfológica Germânica, pois no atual estado de compreensão das questões ambientais faz-se necessário uma Análise Integrada (sistêmica) dos processos em Geografia (BERTRAND, 2007), dentre outros.



FIGURA 08: Fluxograma representando a operacionalização da pesquisa

4.1- METODOLOGIA: TÉCNICAS DE PESQUISA

Neste item descreve-se, como metodologia, o conjunto de atividades e técnicas realizadas durante a pesquisa. Atividades estas que foram divididas em trabalho de gabinete e campo.

4.1.1 Trabalho em Gabinete / Laboratório

Concomitantemente com a revisão de literatura e a construção do estado da arte pertinente ao tema e a área estudada, seguiu-se o trabalho de cartografia.

O material cartográfico da bacia do rio Verde (cartogramas em geral) foi preparado a partir da digitalização das cartas topográficas (SG- 22-X-C-II-2 de Ponta Grossa, e SG- 22-X-C-III-1 de Passo do Pupo/PR), na escala 1:50.000, no sistema de projeção UTM, Datum vertical Imbituba – Santa Catarina e Datum horizontal SAD-69, no Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná (ITCG, 2006). Complementados os cartogramas com o uso de Ortoimagem do Sensor SPOT 5 de resolução espacial de 5m do site do Paranacidade (2005), Landsat OLI8 de resolução de 15m do site da USGS (2015).

O preparo dos cartogramas foi realizado em ambiente digital com o uso do software ArcGIS 10.3.1, e seus respectivos bancos de dados. A análise estatística foi realizada por meio do *software Past*.

Os cartogramas gerados foram:

- a) Padrão de Drenagem: baseou-se na interpretação da rede hidrográfica nas cartas topográficas, vetorizada na escala 1:50.000, com auxílio bibliográfico de CHRISTOFOLETTI (1982). A hierarquia de drenagem foi obtida conforme HORTON (1945) para relacionar rios e vertentes. Conforme discutido no referencial teórico, o padrão de drenagem permite inferir sobre o grau de dissecação da superfície e sobre o padrão litoestrutural.
- b) Indicadores geomorfológicos: Todos os indicadores foram processados nas ferramentas inseridas no *Spatial Analyst Tools* do software ArcGis 10.3.1.

A declividade foi elaborada digitalmente sobre o modelo digital do terreno (TIN) na ferramenta *Slope* com base na ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) com resolução de 30 m, dividindo-se o terreno em seis classes, conforme EMBRAPA (2006): 0 - 3 % (plano), 3 - 8% (suave ondulado), 8 - 20 % (ondulado), 20 - 45 % (forte ondulado), 45 -75% (montanhoso) e > 75% (escarpado). Para as vertentes, foi

utilizado a relação entre a variação altimétrica e distância reduzida no cálculo da declividade, segundo Granell Pérez (2004), com o objetivo de caracterizar as vertentes e compreender os processos ocorrentes de acordo com a figura 09.

| Declividades | Morfologia | Processo de Erosão | Atividades |
|--|---|---|---|
| 0° - 2°. 0% a 3,5%. Terreno plano ou quase plano. | Planície aluvial (várzea), terraço fluvial, superfície de erosão. | Sem perdas de solos e escorregamentos. | Agricultura mecanizada, urbanização, infra-estruturas viárias. |
| 2° - 5°. 3,5% a 8,7%. Declividade fraca. | Ondulações suaves, fundos de vale, superfícies tabulares. | Início de solifluxão, escoamento difuso e laminar. Sulcos. | Agricultura com conservação ligeira. Aceitável para urbanização. |
| 5° - 15°. 8,7% a 26,8%. Declividade média a forte. | Encostas de morros, relevos estruturais monoclinais do tipo cuesta. | Movimentos de massa, escoamento laminar, creep, escorregamentos. Sulcos, ravinas. | Agricultura com conservação moderada a intensiva. Mecanização impossível >7°. Pouco apto para urbanização e infra-estruturas. |
| 15° - 25°. 26,8° a 46,6%. Declividade forte a muito forte. | Encostas serranas, escarpas de falha e de terraços. | Erosão linear muito forte, destruição de solos, escorregamentos, queda de blocos. | Pecuária, florestamento. Não apto para urbanização e infra-estruturas. |
| 25° - 35°. 46,6% a 70%. Terreno íngreme ou abrupto. | Relevos estruturais tipo hogback, alcantilados costeiros, cristas. | Erosão linear muito forte, escorregamentos, queda de blocos, avalanches. | Uso florestal. |
| >35° >70°. Terreno muito íngreme ou escarpado | Paredões e escarpas em canhões ou vales muito encaixados, cornijas. | Quedas em massa, escorregamentos, colapsos. | Limite para uso florestal. |

Figura 09: Relação Declividade, morfologia, processo erosional e uso.

Adaptado de GRANELL PÉREZ (2004).

As formas das vertentes foram obtidas através da interpretação das formas das vertentes foi realizada utilizando o banco de dados do TOPODATA (plano de informação Forma do Terreno – FT) de resolução espacial de 30 metros da missão SRTM, disponíveis no website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O comprimento das vertentes foi medido no software e validados nas cartas topográficas (escala 1:50.000) e a orientação das vertentes foi elaborada na ferramenta *Aspect* do software supracitado. Esses indicadores servem como base para a discussão e trabalho de campo, tornando-se possível a compreensão da dinâmica pedogeomorfológica da área de estudo.

c) Uso da Terra: A distribuição espacial dos sistemas de usos da Terra na bacia e sua correlação com os demais componentes da paisagem foram vetorizadas a partir da interpretação visual da imagem do satélite LandsatOLI8 (2015). As imagens do Google Earth (2015) foram utilizadas para solucionar as dúvidas temporais e espaciais de usos/processos, que associadas

ao trabalho de campo mostram os ambientes e a sua transformação, destacando os impactos causados por fenômenos naturais como a erosão do solo e/ou antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou mudanças (redução ou expansão) de determinado uso e ocupação da Terra (FLORENZANO, 2002).

d) Perfil longitudinal do rio principal: foi representado graficamente, pela inserção dos dados de cotas e comprimento do rio, em escala 1:50.000 e curvas de nível com equidistância de 20 metros, no programa *Advanced Grapher 2.2* com coordenadas cartesianas, onde a variável dependente refere-se a altitude do talvegue e a variável independente corresponde à extensão do canal. A análise do perfil permite a comparação da incisão vertical e o recuo lateral das vertentes.

e) Índice erosividade da bacia, onde foram necessários os seguintes procedimentos:

- Identificar as estações pluviométricas mais próximas da área de estudo e buscar informações sobre os índices de precipitações mensais (mm), num período de 15 anos;
- Aplicar o polígono de Thiessen para determinar a área de influência de cada estação;
- Sabendo as estações pluviométricas com maior influência, aplicar a equação desenvolvida por Bertoni e Moldenhauer utilizada por Beltrame (1994):

$$E = 6,886 (r^2 / P)^{0,85}$$

Onde:

E: média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h);

r: precipitação média mensal (mm)

P: precipitação média anual (mm)

Os dados utilizados foram fornecidos pela SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pertencente ao Governo do Estado do Paraná, de quatro estações pluviométricas: ITAIACOCA, SANTA CRUZ, CATANDUVA DE FORA E BOCAÍNA (ANEXO 01).

Para a melhor compreensão da dinâmica na bacia e conseqüentemente dos solos e relevo, foram calculados índices morfométricos, tais como: relação de bifurcação (HORTON, 1945), densidade de rios e drenagem (GRANEL-PEREZ, 2004) e relação do relevo (SCHUMM, 1956), índice de rugosidade (MELTON, 1957).

Tabela 01 - Parâmetros fisiográficos e morfométricos de uma bacia hidrográfica

| Variável | Fórmula / Unidade | Significado |
|-----------------------------|--|---|
| Área | Km ² | Área da bacia drenada |
| Perímetro da bacia | P/km | |
| Hierarquia do rio Verde | Horton | Informa a ordem do canal principal e de seus respectivos afluentes. |
| Comprimento do rio Verde | Km | |
| Comprimento axial | Km | |
| Cota altimétrica máxima | H máx | |
| Cota mínima | H min | |
| Amplitude topográfica | H= Hmáx - Hmin | |
| Coefficiente de compacidade | $K_c = 0,28 \cdot P/\sqrt{A}$ | Relaciona a forma da bacia com um círculo. |
| Fator de forma | $F = A/L^2$ | Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia |
| Índice de Circularidade | $I_c = A/A_c$ | Informa o potencial de escoamento da bacia. Quanto mais próximo de 1, mais circular a Bh. |
| Densidade de drenagem | $D_d = L_t/A$ | Informa o comprimento (km) de canais disponíveis para drenar cada unidade de área |
| Densidade de rios | $D_r = N_c/A$ | Capacidade que a bacia tem de gerar novos cursos hídricos |
| Relação de bifurcação | $R_b = N_u/N_{u+1}$ | Indica o grau de dissecação do relevo |
| Textura Topográfica | $\log T_r = 0,219649 + 1,115 \times \log \frac{\sum L_i}{A_B}$ | Grau de dissecação ou entalhamento do relevo, revelando o poder de energia da drenagem na esculturação da paisagem |
| Relação de relevo | $R_r = H_m/L$ | Relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, |
| Índice de rugosidade | $I_r = H \cdot D_d$ | Associa declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. |
| Coefficiente de manutenção | $C_m = 1/D_d$ | Indica a área necessária para manter ativo um quilômetro de canal fluvial |

- Análises laboratoriais:

A análise física do solo é composta pelos seguintes parâmetros: granulometria, profundidade, textura e estrutura. Em seguida, da escolha das áreas e coleta dos solos a campo, a análise granulométrica foi realizada, sendo que as amostras do perfil de solo de cada topossequência primeiramente foram secas em forno mufla à 105°C, durante 24 horas, e posteriormente passadas através de uma peneira de 2 mm. Na sequência, fez-se a homogeneização e o quarteamento das devidas análises. As malhas de peneiras utilizadas foram: 1,18mm, 500 µm, 300 µm, 125 µm e 63 µm.

Em relação a análise granulométrica da fração areia usou-se a técnica da agitação mecânica em peneiras de alta rotação, por 20 minutos. A separação da fração argila seguiu o método do densímetro que se baseia na sedimentação das partículas que compõem o solo. Após a adição de um dispersante químico, fixa-se um tempo único para a determinação da densidade da suspensão que admite ser a concentração total de argila. A fração silte foi calculada por diferença para 100%. Todas as análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Geografia Física (LaGeF).

A relação silte/argila foi calculada dividindo-se os teores de silte pelos de argila, resultantes da análise granulométrica, geralmente analisando o horizonte subsuperficial B. Esse indicador serve como base para avaliar o estágio de desenvolvimento (intemperismo) dos solos. Assim, valores inferiores a 0,7 nos solos de textura média são indicativos de intemperismo mais acentuado sendo empregada em solos de textura franco arenosa ou mais fina. Se apresentar baixos teores de silte, ou seja, alto grau de intemperismo. Essa relação é utilizada para diferenciar horizonte B latossólico, do B incipiente, quando eles apresentam características morfológicas semelhantes (EMBRAPA, 2006).

Por último, a análise química, para fins de classificação de solos, considerou as seguintes variáveis: pH em CaCl₂, bases trocáveis, fósforo, carbono orgânico pelo método Walkley-Black, CTC a pH 7 e efetiva, saturação por bases e alumínio.

Conforme EMBRAPA (1997), a leitura de pH é realizada utilizando 10 g de solo em solução com 25 ml do reagente. Após o repouso da suspensão, é medido com os eletrodos o valor de pH da amostra. As bases trocáveis (Cálcio e Magnésio) foram realizadas pelo método de KCl 1N, onde se pesa 7,5g de solo, colocando-o em erlenmeyer de 250ml e adicionando

150ml de solução de KCl N. Agita-lo várias vezes ao dia, e posteriormente, pipeta-lo para erlenmeyer de 200ml duas alíquotas de 50ml da parte sobrenadante da solução, para determinação do alumínio trocável, magnésio e cálcio trocáveis. Já o Potássio e o Fósforo, por Mehlich.

- As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo Interpartner / Responsável Técnico: Evaldo Billerbeck Júnior.

- Seleção de áreas de aplicação e estudo

Foram interpretados os cartogramas de Forma e Declividade de Vertentes, bem como o padrão geral da drenagem da bacia para dar suporte à escolha das áreas de aplicação e estudo pedogeomórfico. Fez-se necessário ir ao campo para o reconhecimento das áreas pré-selecionadas, e uma classificação do solo nas referidas vertentes selecionadas. Os indicadores geomorfológicos permitem representar as formas do relevo e da rede de drenagem e as aferições dos solos a campo demonstram a dissecação do relevo no tempo.

A partir dos dados obtidos, no banco de dados, com a confecção dos cartogramas e reconhecimento em campo, foram escolhidas 04 topossequências, de acordo com o conjunto de critérios demonstrados no quadro 01:

Quadro 01 – Critérios para a escolha das áreas de estudo.

| CRITÉRIO | VARIÁVEL |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Padrão de drenagem | Paralelo |
| Litoestrutura | Formação Furnas |
| Forma dominante da vertente | Convexa |
| Comprimento médio | Longa (+ de 500 até 1.000 m)* |
| Declividade (8-20% - Embrapa,2006) | Ondulada |
| Uso da Terra | Agropecuária |

*A escolha foi resultado da aplicação das fórmulas de medidas de DISTÂNCIA GEOMÉTRICAS e DISTÂNCIAS REDUZIDAS, cfe. GRANELL-PEREZ, 2004: p. 62

Com isso, tornou-se possível, juntamente com o trabalho de campo, a verificação de padrões e características que potenciam a evolução do relevo.

**O estudo da integração dos fatores: forma + declividade + comprimento foi realizado de acordo com Cunha e Guerra (2007).

4.1.2. Trabalhos em Campo

Estão incluídas neste item, as atividades realizadas a campo na área da bacia do rio Verde no município de Ponta Grossa – PR. Para isso, foram amostrados os horizontes A e B ou A e C de solos em quatro topossequências localizadas na região dos Campos Gerais – reverso da cuesta da Escarpa Devoniana, na bacia do rio Verde (FIGURA 10). As vertentes estão numeradas de 01 e 04 na direção montante à jusante.

Estas atividades foram divididas em: levantamento de dados primários como observação, registro fotográfico das vertentes selecionadas; abertura de trincheiras e coletas de amostras de solo com o Sistema Brasileiro de classificação de Solos (Embrapa, 2006). As vertentes estudadas se situam na litoestrutura da Formação Furnas localizadas, em parte, na APA da Escarpa Devoniana desde 1992 e no mais recente Parque Nacional dos Campos Gerais criado em 2006.

Os materiais levados a campo foram: GPS de marca *Garmin Etrax Venture*, trena para medição dos perfis de solo, fita métrica, caderneta de campo, máquina fotográfica, trado holandês, pá-cortadeira para sondagens de solos e geologia.

Na escolha das vertentes tornou-se impossível abordar vertente e rio separadamente porque, como membros de um sistema aberto que é a bacia de drenagem, estão continuamente em interação (CHISTOFOLETTI, 1974). Além disso, a premissa do método de análise está baseada no fato de que solos, relevo e hidrografia mantêm íntima relação. O reconhecimento das áreas baseou-se principalmente no critério declividade do terreno por topossequências. Este seguiu o modelo de Dalrymple et al. (1968), em três pontos da vertente (terço superior, médio e inferior), cuja finalidade é estabelecer relações entre as unidades de vertente e suas correlações com as superfícies geomórficas.

Além disso, a escolha dos pontos foi orientada pela facilidade de acesso (os demais critérios já foram citados).

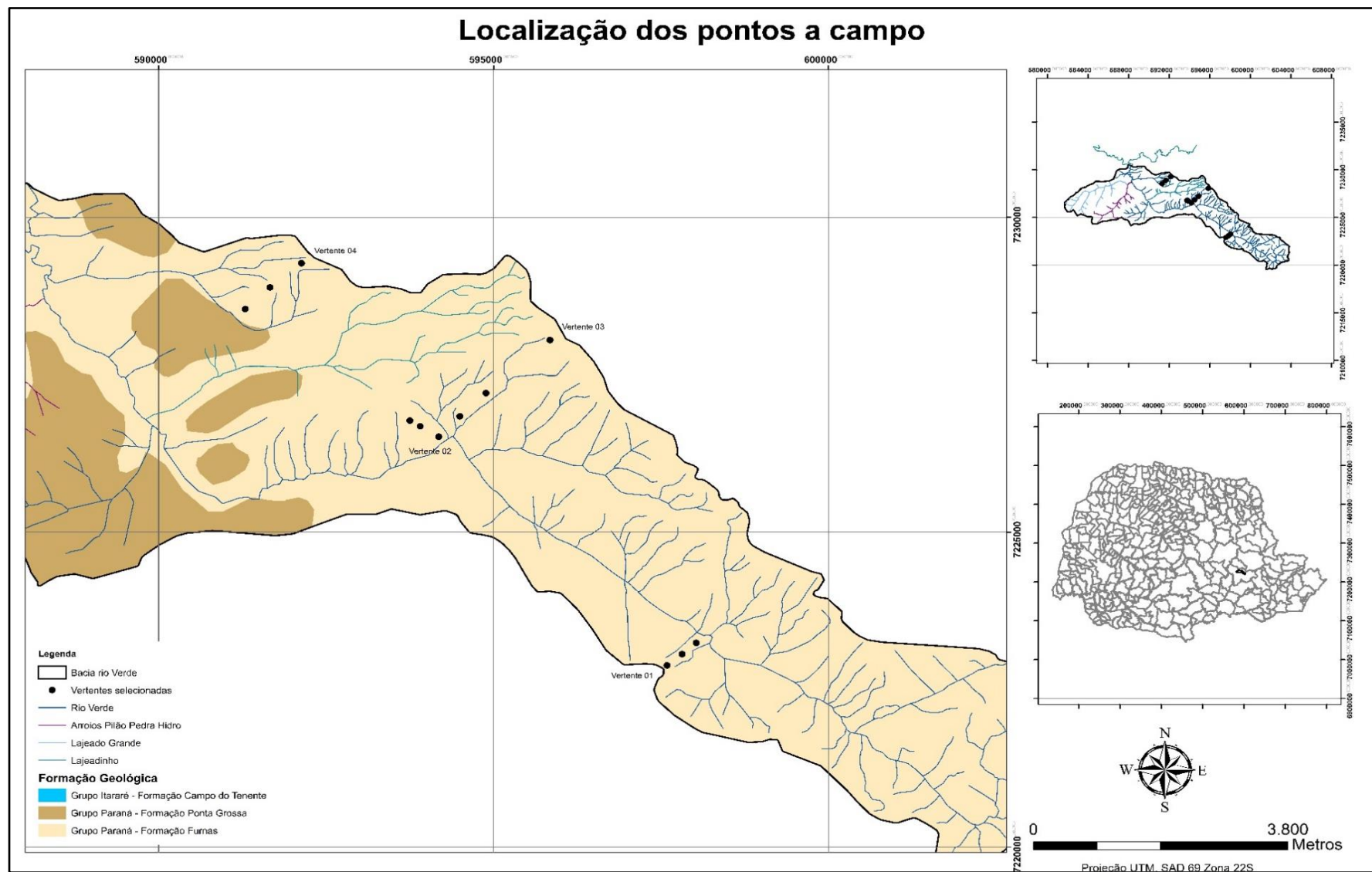


FIGURA 10: Localização dos pontos de amostragem dos solos na área de estudo (Org: a autora, 2016)

Feita a definição das vertentes (áreas de aplicação e estudo), foram abertas as trincheiras e realizadas as coletas de amostras de solo. Tais procedimentos foram realizados em acordo com as seguintes técnicas:

- a) Abertura de trincheiras (nos terços inferior, médio e superior) de medidas de 1,5 a 2 m de altura e 1,5m de largura. Posteriormente, fez-se a descrição, a identificação e as coletas de amostras de solo em profundidades de 0-0,25m e 0,80-1,00m. Esse critério de escolha das profundidades foi utilizado porque na primeira profundidade há grande influência do manejo e a segunda é menos influenciada pelo uso e mais próxima dos horizontes pedogenéticos (CAMPOS *et al.*, 2007). Houve solos em que não foi possível a coleta nestas profundidades, pela presença da camada R (ex. Neossolos Litólicos).
- b) As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos em quantidade de aproximadamente 2 kg, com etiquetagem de identificação, anotando as respectivas profundidades dos horizontes (ou camadas) e o respectivo número do perfil.
- c) Nas áreas amostradas foram realizados caminhamentos, partindo-se do divisor de águas, da área de topo até o sopé de deposição. As diferentes superfícies geomórficas existentes foram identificadas e delimitadas, conforme critérios topográficos, material de origem, além de observações “in situ” (RUHE, 1969; DANIELS *et al.*, 1971).
- d) Caracterização morfológica do solo: foi realizada pela identificação dos horizontes e a sua descrição conforme Santos *et al.* (2005). Os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Solo - SiBCS (Embrapa, 2006). Também se analisa as variações de cor pela Carta de Munsell (1974), textura, estrutura, cerosidade (se ocorrer), consistência e transição, começando pelos horizontes ou camadas mais profundas, até os horizontes mais superficiais, para evitar a contaminação entre as amostras de horizontes, o que poderia ocorrer caso a amostragem fosse feita no sentido inverso.

As coletas foram realizadas em trincheiras inseridas nas topossequências, conforme o esboço topográfico a seguir (FIGURA 11):

- A:** Topo e terço superior: vertentes convexas com declividade maior que 5%.
- B:** Terço médio: vertentes convexas com declividade entre 5 e 10%.
- C:** Terço inferior: vertentes convexas com declividade igual ou menor 15%.



FIGURA 11: Esboço topográfico da topossequência trabalhada em drenagem paralela.

Na figura acima, está demonstrado como foram realizadas as coletas e classificação dos solos de acordo com os critérios, já mencionados anteriormente. Nota-se que o ponto A, encontra-se mais próximo do rio e que os processos pedogeneticamente são menos evoluídos que nos pontos B e C, onde encontra-se solos mais profundos e que podem ser utilizados pela agricultura e pecuária (uso mais recorrente na bacia).

V- DECIFRANDO AS RELAÇÕES SOLO-RELEVO NA FORMAÇÃO FURNAS, BACIA DO RIO VERDE

O Rio Verde drena uma área de 85,72 Km² e suas nascentes se posicionam numa altitude de 1115 m localizada no Reverso da Escarpa Devoniana, e deságua a 845 m no Rio Pitanguí (município de Ponta Grossa), perfazendo uma amplitude altimétrica de ordem de 270 metros. As características fisiográficas e morfométricas da bacia do Rio Verde, pode ser observado na Tabela 02.

Os valores de Densidade de drenagem (Dd) encontrados na bacia do rio Verde referem-se a um valor intermediário, segundo Christofolletti (1980), de 2,16 rio/km², pois relevos mais dissecados e com amplitudes topográficas maiores geralmente apresentam esse padrão, assim como encontrado em Hiruma e Ponçano (1994). Embora os valores de Dd sejam considerados intermediários, verifica-se que porção oeste da bacia (mais próximo ao exutório), na qual há o predomínio de Argissolos Vermelho distróficos típicos, proveniente da F. Ponta Grossa (composta por folhelhos e siltitos). Esta classe de solo apresenta menores taxas de permeabilidade e, juntamente com sua posição na paisagem, favorece o surgimento do escoamento superficial, condicionando o desenvolvimento da rede de drenagem.

Com isso, há a necessidade de práticas conservacionistas, a fim de se evitar grandes picos de cheia e transporte de sedimentos pelos processos erosivos. A permeabilidade dos solos da F. Furnas é alta, favorecendo os processos de infiltração e percolação. Esta confirmação da permeabilidade dos solos, está descrita no *sub cap.5.5*.

Com relação ao índice de densidade de rios (Dr), verificou-se um comportamento hidrográfico médio, conforme Christofolletti (1980). Uma bacia é considerada bem drenada quando tem um canal por km², segundo Marcuzzo *et al.*, (2012).

Para o parâmetro textura topográfica (TT), a classificação desse parâmetro é de grosseira para $TT \leq 4,0$, média para TT entre 4,0 e 10,0 e fina para $TT \geq 10,0$; portanto, a bacia estudada enquadra-se na classe de textura topográfica grosseira, conforme França (1968).

Os *coeficientes de manutenção* (Cm) que representam a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Segundo Calil *et al.* (2012), este comportamento pode ser explicado quando da ocorrência de chuvas de grandes intensidades nas áreas planas, quando o escoamento superficial tende a se concentrar, formando fluxos preferenciais e gerando, desta forma, os canais que compõem a rede de drenagem.

Tabela 02 – Parâmetros fisiográficos e morfométricos da bacia hidrográfica do rio Verde

| Variável | Fórmula / Unidade | Valor obtido |
|-----------------------------|--|--------------------------|
| Área | Km ² | 85,72 Km ² |
| Perímetro da bacia | P/km | 60 Km |
| Hierarquia do rio Verde | Horton | 5ª ordem |
| Comprimento do rio Verde | Km | 25,27 Km |
| Comprimento axial | Km | 17,8 Km |
| Cota altimétrica máxima | H máx | 1.115 m |
| Cota mínima | H mín | 845 m |
| Amplitude topográfica | H = H _{máx} - H _{mín} | 270 m |
| Coefficiente de compacidade | $K_c = 0,28 \cdot P/\sqrt{A}$ | 1,81 |
| Fator de forma | $F = A/L^2$ | 4,82 |
| Índice de Circularidade | $I_c = A/A_c$ | 0,3 |
| Densidade de drenagem | $D_d = L_t/A$ | 2,16 rio/km ² |
| Densidade de rios | $D_r = N_c/A$ | 2,08 c/km ² |
| Textura Topográfica | $\log T_r = 0,219649 + 1,115 \times \log \frac{\sum L_i}{A_B}$ | 0,594 |
| Comp. Médio das vertentes | m | 945,8 m |
| Declividade média da bacia | % | 7,8% |
| Relação de relevo | $R_r = H_m/L$ | 10,7 m/km |
| Índice de rugosidade | $I_r = H \cdot D_d$ | 583,2 |
| Coefficiente de manutenção | $C_m = 1/D_d$ | 5,4 |

No relevo mais acidentado, o escoamento superficial tende a seguir a declividade natural do terreno escavando o solo nos pontos de menor resistência ao cisalhamento, proporcionando uma concentração maior de canais naturais e, por sua vez, a maior densidade de drenagem. O valor do índice de C_m para a bacia é de 5,4 metros. Este coeficiente é o inverso

da Dd, demonstrando que para manter ativo um metro de canal fluvial são necessários 5,4 metros.

O *índice de rugosidade*, proposto por Melton (1957), associa as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. Para a bacia do rio Verde é 583,2. Os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores, da amplitude topográfica e da distância média dos interflúvios, são extremamente elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas (STRAHLER, 1958). Com isso, pode se inferir que as vertentes estão sofrendo altas taxas de erosão lateral, pois essa relação demonstra um relevo dissecado e canais mais encaixados.

O *coeficiente de compacidade* (Kc) para a bacia hidrográfica do rio Verde é de 1,81 e o *Índice de circularidade* (IC) demonstra que possui um formato mais alongado e estreito, pois o valor obtido foi de 0,3, apresentando um escoamento melhor distribuído temporalmente no canal principal, procedente das vertentes e dos tributários e permanecendo o nível de vazão alta mais durável.

5.1- Padrões e hierarquia de drenagem na bacia do rio Verde

Da observação avaliativa do comportamento da rede hidrográfica no conjunto da bacia (FIGURA 12), obteve-se o seguinte resultado:

- a) Alto curso: predomínio do padrão paralelo (forte controle estrutural)
- b) Médio curso: paralelo (controle estrutural) - destaque para o Arroio Lajeado com padrão dendrítico, com orientação perpendicular ao Arco de Ponta Grossa.
- c) Baixo curso, porção mais ampla da bacia (sem controle estrutural) padrão dominante: dendrítico

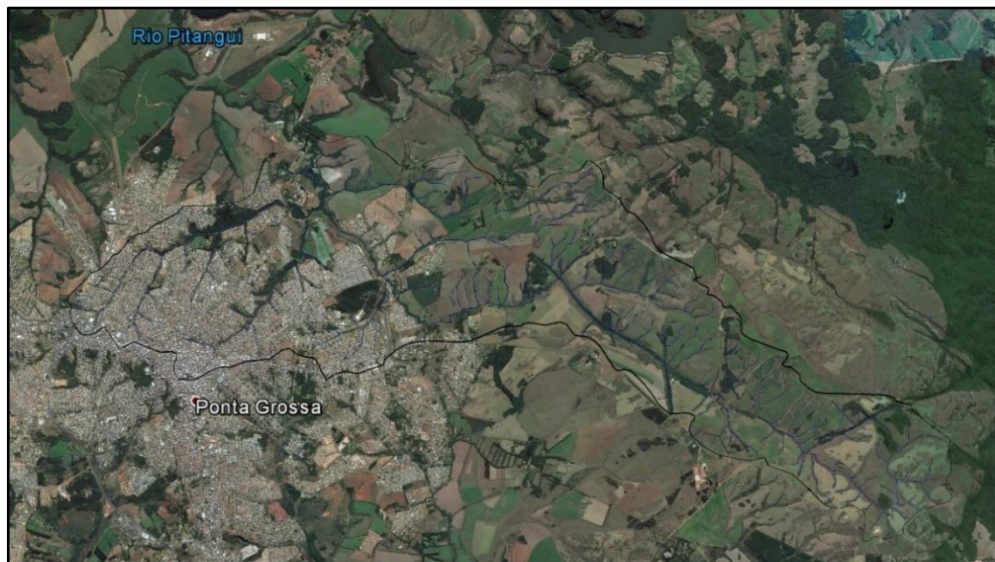


Figura 12 – Bacia hidrográfica do rio Verde. Fonte: Satélite Google, 2015.

A bacia do rio Verde, segundo a classificação de Horton (1945), sobre carta topográfica na escala 1:50.000, é uma bacia de 5ª ordem, conforme tabela 03. Os canais de primeira e segunda ordem predominam na bacia, isto se deve ao fato do relevo ser bem dissecado.

Tabela 03: Relação dos canais da área de estudo por ordem, quantidade, comprimento total e comprimento médio de cada ordem.

| Ordem de Drenagem (Horton) | Nº de canais | Comprimento total (km) | Relação de Bifurcação |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1º ordem | 141 | 86,13 | 5,22 |
| 2º ordem | 27 | 37,85 | 3,38 |
| 3º ordem | 8 | 28,36 | 8 |
| 4º ordem | 1 | 7,95 | 1 |
| 5º ordem | 1 | 25,27 | |
| Total | 178 | 185,56 | |

É de grande importância dos 141 canais de 1º ordem, correspondendo 79,2% do total de rios, pois são responsáveis pela dissecação do terço superior e médio das vertentes. Além disso, atuam na dissecação dos interflúvios. Estes, ainda estão submetidos à ação do intemperismo químico (carstificação ou dissolução do cimento caulínico da F. Furnas) ampliado pela presença significativa de depressões úmidas e campos brejosos. Tal situação foi descrita por Rocha (1995) para a bacia do rio São Jorge, contígua à bacia do rio Verde, pela margem direita.

A relação de bifurcação da bacia do Verde apresentou valor de 1 para os canais de 4º ordem indicando que se trata de uma bacia com alto grau de dissecação do relevo. Em trechos de 1º ordem, esse valor é de 5,22, mostrando que as nascentes se encontram em relevo bem dissecado com morros desenvolvidos. Segundo Machado e Souza (2005), índices mais elevados da relação de bifurcação, como o resultado obtido para a 3º ordem, correspondem a substratos rochosos com menor infiltração de água pluvial e maior escoamento superficial, e índices menores correspondem aos substratos de maior permeabilidade e de menor escoamento superficial, a variação normal fica entre 3,0 e 5,0.

Sobre a Forma da Bacia: a morfometria permite apurar que a bacia do rio Verde possui um *formato retangular*, com orientação geral SE-NW (a mesma do Arco de Ponta Grossa. Esta é a orientação marca o alto curso do rio, apresentando forte controle estrutural (lineamentos = cânions), encaixado em uma falha por mais de 8 km, mudando sentido para E-W, a partir do Km 13 (nas proximidades das áreas 2 e 3), até receber, pela margem direita, as águas do arroio

Lajeadinho. Deste ponto em diante, o canal principal retoma a orientação SE-NW até encontrar o rio Pitangui.

A drenagem possui um forte controle por estruturas de falhas e fraturas, originando quedas d'água e cânions (FIGURA 13). Esse conjunto de falhas e fraturas, exerce um forte controle estrutural sobre a rede hidrográfica, propiciando o desenvolvimento de vales encaixados que cortam os sets de rochas sedimentares, gerando um relevo acidentado com topos aplainados.

A influência morfoestrutural na região dos Campos Gerais - transição entre o Primeiro e o Segundo Planalto Paranaense - propicia que, rios como São João, São Jorge e Verde, todos pertencentes ao sistema hidrográfico do Pitangui, apresentem um relevo caracterizado por uma drenagem em cânions, entremeada de cachoeiras e paredões rochosos e, em consequência, pequenas faixas de planície (PEREIRA *et al.*, 2014).



Figura 13: Falhamento localizado próxima a nascente. Fonte: a autora 04/2014.

O rio apresenta um perfil longitudinal (FIGURA 14) com dois trechos destacados, um trecho acima da linha de melhor ajuste (logarítmica) entre as cotas 1100 - 940 m com comportamento ascensional (anomalias positivas - soerguimento) considerada a área de coleta de água e erosão, sofrendo o entalhamento e regressão das cabeceiras. O outro trecho abaixo de 940m em processo de subsidência (anomalias negativas) onde torna-se comum áreas de

deposição e sedimentação. Entre os Km 3 e Km 11 contados a partir da nascente, ocorre uma maior ocorrência de linhas de fraqueza (canal bem encaixado). Como o rio Verde está localizado no reverso da cuesta da Escarpa Devoniana ainda está sendo bastante erodido.

Os desequilíbrios perante a curva logarítmica, para cima ou para baixo, podem configurar anomalias morfométricas e processos deformacionais neotectônicos, incluindo falhas que são muito comuns na área de estudo e soerguimentos, como o Arco de Ponta Grossa, ou subsidências localizadas (ACKLAS *et al.*, 2003).

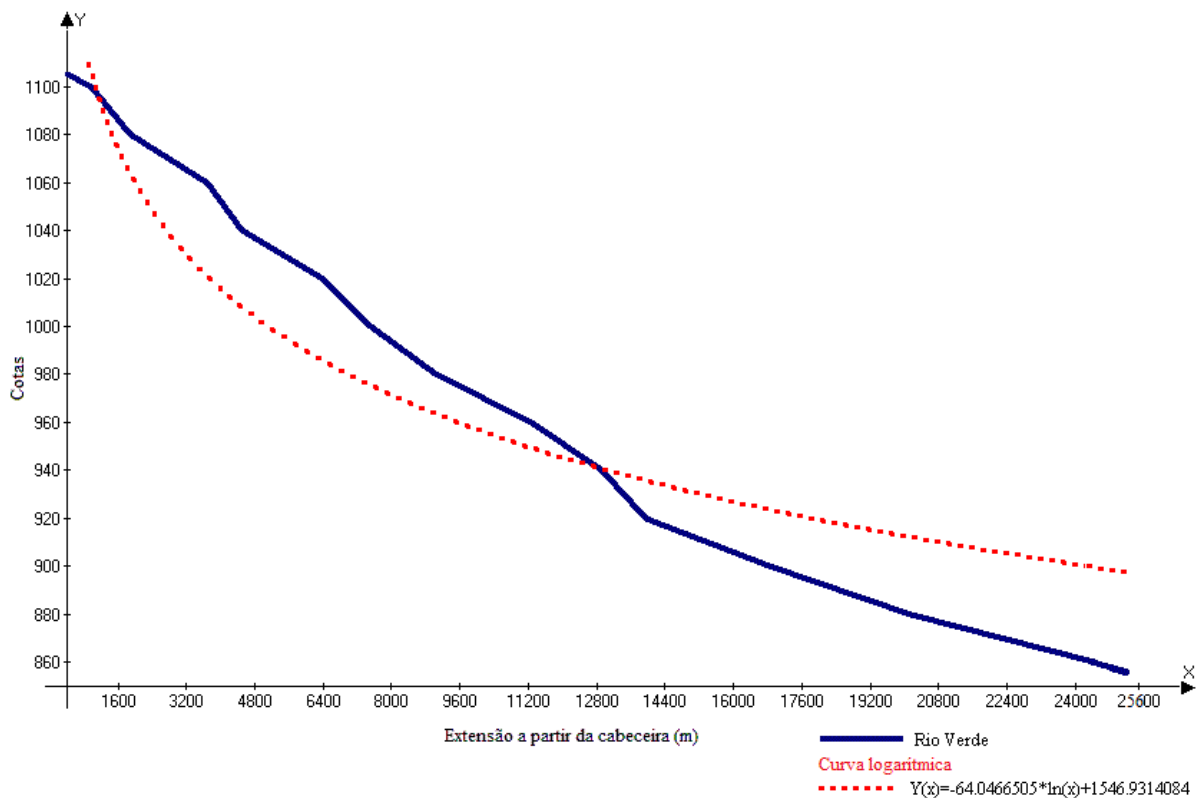


Figura 14: Perfil Longitudinal do canal principal do rio Verde

Como já visto, o canal principal segue bem encaixado em linhas de fraqueza nos primeiros 13 Km de extensão e do ponto de vista da fragilidade ambiental, estes ambientes devem ser manejados cautelosamente pois os solos são frágeis e pertencentes a área recarga do Aquífero Furnas. Após este trecho, segue com planícies de inundação que aumentam gradativamente, depositando sedimentos nessas planícies. Além disso, a partir do Km 16 do canal principal, o material de origem dos solos é proveniente do folhelho Ponta Grossa, que origina solos com textura argilosa.

Na área de estudo, as análises de solo das vertentes 01 a 03 foram feitas entre o km 5 a km 11 no comportamento ascensional do perfil longitudinal, sobre as rochas da Formação

Furnas. Já, na vertente 04, as coletas das amostras não foram realizadas no curso principal, e sim, em tributário de 3ª ordem.

Nos solos menos evoluídos pedogeneticamente, a erosão é acelerada à medida que os usos avançam nas vertentes, principalmente a agricultura intensiva (*monoculturas*, ex. soja, milho, etc.) e pecuária. Isto porque, os solos característicos desses ambientes são, geralmente, rasos e quando as condições climáticas são favoráveis para a formação de solos extremamente frágeis que apresentam alto teor de matéria orgânica, em função de sua capacidade de atuar como estocadores de carbono e filtros biológicos. Áreas onde estes solos ocorrem devem ser, prioritariamente, destinadas à conservação.

Os Neossolos (FIGURA 15), comuns nas áreas convexas, possuem forte limitação ao uso agropecuário, sendo que, estas atividades são incompatíveis com as características ambientais destes sítios causando erosão desses solos e com isso, o assoreamento dos canais tem sido maior, facilitando o transporte dos sedimentos aos canais fluviais.



Figura 15: Afloramentos rochosos em área de ocorrência de Neossolos Litólicos próximos a vertente 01. Fonte: a autora, 05/2015 (UTM:597765/7223016)

Com o levantamento dos parâmetros geomórficos foi possível uma caracterização sobre os padrões, direções e formas da bacia de drenagem, bem como na identificação do controle estrutural e sistemas que condicionam a sua evolução pedogeomórfica. Foram reconhecidos na bacia do rio Verde dois padrões da rede de drenagem: paralelo e dendrítico (FIGURA 16).

O padrão de drenagem mais recorrente na área é o paralelo. Segundo Camolezi (2013), esta característica está influenciada pelo controle estrutural, podendo ser associado a estruturas dobradas e/ou falhadas. Esse padrão está mais associado ao Domínio das Escarpas, formando uma rede de canais de pequena extensão orientados seguindo uma direção perpendicular da direção das formas que os controlam, no caso do rio Verde, influenciadas pelo Arco de Ponta Grossa. O padrão do tipo dendrítico encontra-se próximo a foz sobre rochas da Formação Ponta Grossa.

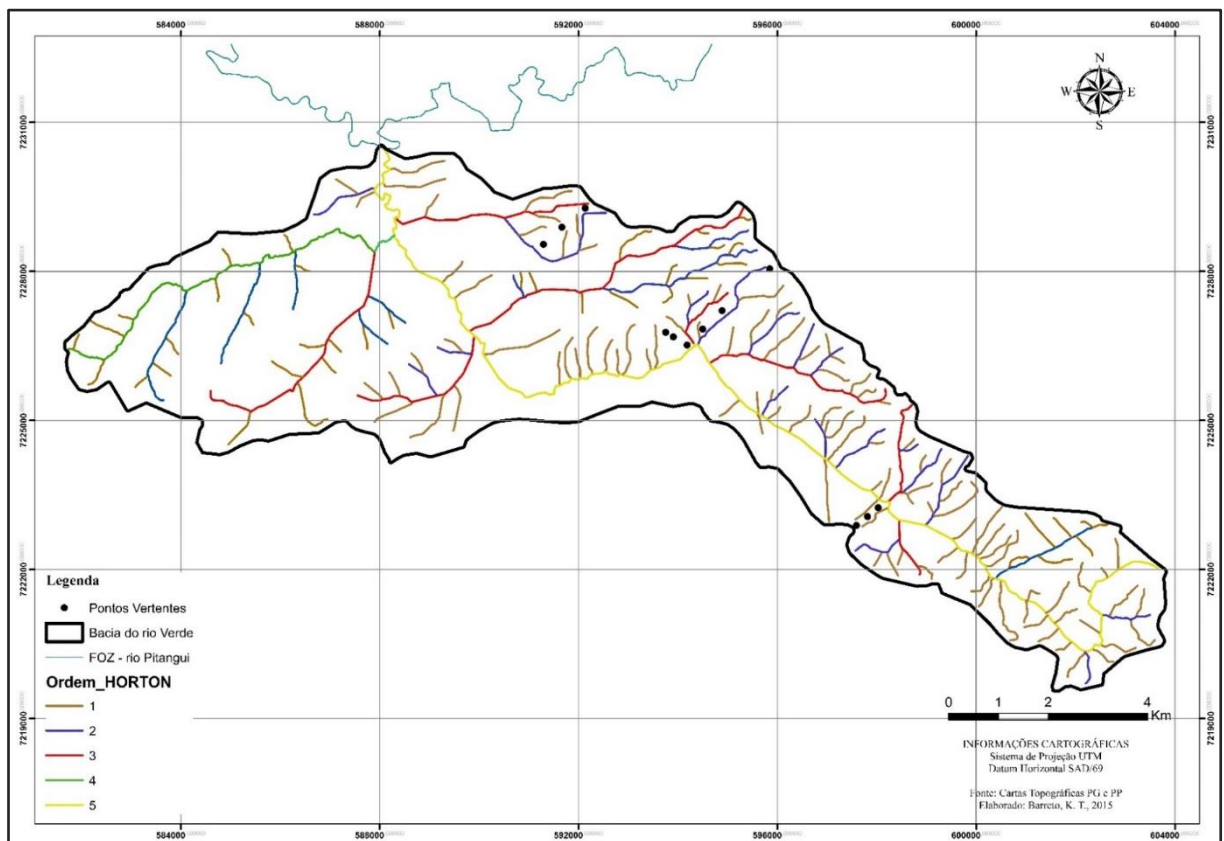


FIGURA 16: Rede de drenagem e a ordem dos canais segundo Horton (1945) na bacia do rio Verde – Ponta Grossa, PR.

5.2- Usos da Terra na bacia do rio Verde

Os usos da Terra que predominam na bacia do rio Verde são as classes de agricultura intensiva e urbanização. Os remanescentes naturais (23,37% da superfície total da bacia) são compostos por vegetação campestre e/ou pastagem (30,22%), e áreas cobertas por floresta, que ocupam posições distintas na paisagem (5,47%). O uso compreende principalmente sistemas intensivos de produção agrícola (22,8%) e reflorestamento (3,99%); a área urbana ocupa 33,7% da superfície total.

Tabela 04: Uso do solo em 2005 a 2015 – Imagem SPOT 2005 e LANDSATOLI8 (2015). Bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR.

| Usos | 2005 | | 2015 | |
|------------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Área (km ²) | Área (%) | Área (km ²) | Área (%) |
| Agricultura | 31,88 | 37,2 | 19,53 | 22,78 |
| Área Urbana | 27,31 | 31,85 | 28,97 | 33,8 |
| Reflorestamento | 2,31 | 2,69 | 3,41 | 3,98 |
| Pastagem e campo | 19,86 | 23,18 | 25,91 | 30,22 |
| Floresta | 4,15 | 4,84 | 4,7 | 5,48 |
| Cemitério | 0 | 0 | 0,5 | 0,58 |
| Solo exposto | 0,21 | 0,24 | 2,7 | 3,16 |
| Total | 85,72 | 100 | 85,72 | 100 |

A agricultura ocupa 22,78% da área da bacia, estando situada em declividades que variam de suavemente a fortemente ondulado, oferecendo um risco na escala de muito alto até médio para o solo, como destacado em Oliveira (2011), afirmando que são indicadores e contribuintes para a produção de sedimento e assoreamento do rio (FIGURA 17).



Figura 17 – Área de acúmulo de sedimentos. Fonte: a autora 05/2016

O manejo agropecuário, na área da bacia e na região, apresenta o predomínio de cultivo agrícola intensivo, que geralmente empregam o uso de insumos químicos, em particular agrotóxicos e fertilizantes químicos e orgânicos, que devem ser cautelosamente manipulados pelo risco potencial de contaminação do sistema hídrico (ONGLEY, 1996). Estas práticas, embora potencialmente degradantes dos ecossistemas naturais, se mostram lucrativas aos produtores, que exploram os recursos naturais com fins essencialmente lucrativos (MELO et al., 2007).

O assoreamento resultante dessa condição, e que se forma (inicialmente) nos cursos d'água mais próximos às erosões (onde atenuações da declividade favorecem a deposição dos sedimentos), acaba por entulhar os vales, alargar os leitos dos cursos d'água e reduzir sua profundidade (ALMEIDA FILHO, 2008).

Nos últimos 10 anos, houve um acréscimo de aproximadamente 23% para 30% na bacia em áreas pastoris-campo, com a crescente presença da bovinocultura de corte. A conversão de agricultura para pastagem é uma prática comum adotada para a rotação de culturas. Isso contribui na cobertura do solo que fica menos exposta ao impacto direto das gotas de chuva, reduzindo a velocidade hídrica e a desagregação de partículas, portanto aumentando a taxa de infiltração de água. Contudo, a compactação e erosão que áreas com solos rasos sofrem com o pisoteio animal tornou-se um problema comum na bacia do rio Verde (FIGURA 18).



Figura 18: Erosão laminar em área de uso agropecuário. Fonte: a autora 05/2016.

Diante dessa situação, onde as propriedades rurais dispõem em grande parte da classe Neossolos, Melo (2009) cita que as áreas de afloramento da Formação Furnas no município de Ponta Grossa são áreas de recarga do Aquífero da Formação Furnas (*popularmente Aquífero Furnas*), que abastece muitos poços profundos na área urbana. Tais áreas deveriam ser de proteção de mananciais superficiais e subterrâneos. Cuidados estes, que muitas vezes não existem, colocando em risco a qualidade hídrica.

A área urbana segue expandindo e ocupa 33,8% da bacia, merecendo atenção particular dos gestores, pois a litologia da Formação Furnas é extremamente frágil. O padrão de uso da Terra escolhido para a descrição dos solos nas quatro vertentes foi o agropecuário.

Na vertente 01 (FIGURA 19), há belezas cênicas típicas, representada pelo leito rochoso e ocorrência de corredeiras, que são propícias às atividades de turismo e lazer. Situa-se próximo à localidade do Capão da Onça.



Figura 19: Aspecto do rio onde se localiza a vertente 01, bacia do rio Verde, Ponta Grossa- PR. Fonte: a autora 05/2014.

A localização da vertente 02 está em uma granja com produção de suinocultura e bovinocultura de corte. Os segmentos amostrados se inserem em uso de pastagem, com grande influência da bovinocultura de corte. Acima destes pontos, há um capão florestal, onde o gado descansa durante as horas mais quentes do dia (FIGURA 20).

Nessa área observa-se a presença de afloramentos rochosos, assim como, na vertente 01. Algumas espécies arbustivas se desenvolvem no terço inferior da vertente em solos rasos.



Figura 20: Aspecto da vertente 02, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR. Fonte: a autora 01/2016.

Já a vertente 03 (FIGURA 21), localiza-se em propriedade particular com uso predominante agrícola. É notável a presença significativa de afloramentos rochosos no terço inferior, e assim como em toda a bacia, o avanço de espécies invasoras, como o *Pinus* sp.



Figura 21: Aspecto da vertente 03, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR. Fonte: a autora 05/2016.

A vertente 04, possui uso agrícola com preparo convencional (soja), com práticas não conservacionistas, visto que está pratica reflete-se em alguns pontos do rio que se encontram assoreados. Próximo dos segmentos amostrados, se fazem presentes canais de 1° ordem que estão assoreados, com baixa vazão e não possuem Área de Preservação Permanente (APPs) segundo Código Florestal Brasileiro – Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 que prevê para as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura.

Devido ao preparo da área para a agricultura (soja) com práticas não conservacionistas, como a aração, percebe-se que o uso do solo impede a incisão vertical do canal de ordem 0, ocorrendo assim o processo de exfiltração na lavoura. Quando há o impedimento pela rocha, pouco abaixo do ponto amostrado no terço inferior da vertente, o canal passa a ser de 1° ordem, como se vê, na figura 22. Este canal é intermitente, ficando visível no período pós-chuva.



Figura 22: Aspecto de canal de 1° ordem próximo as coletas de solo na vertente 04, em meio ao uso agrícola. A seta indica a zona de recarga do canal. Fonte: a autora 01/2016.

Algumas medidas em áreas com situações semelhantes a esta, devem ser tomadas, com relação a readequação ambiental, tais como: implantação de mata ciliar, manejo sustentável e práticas conservacionistas.

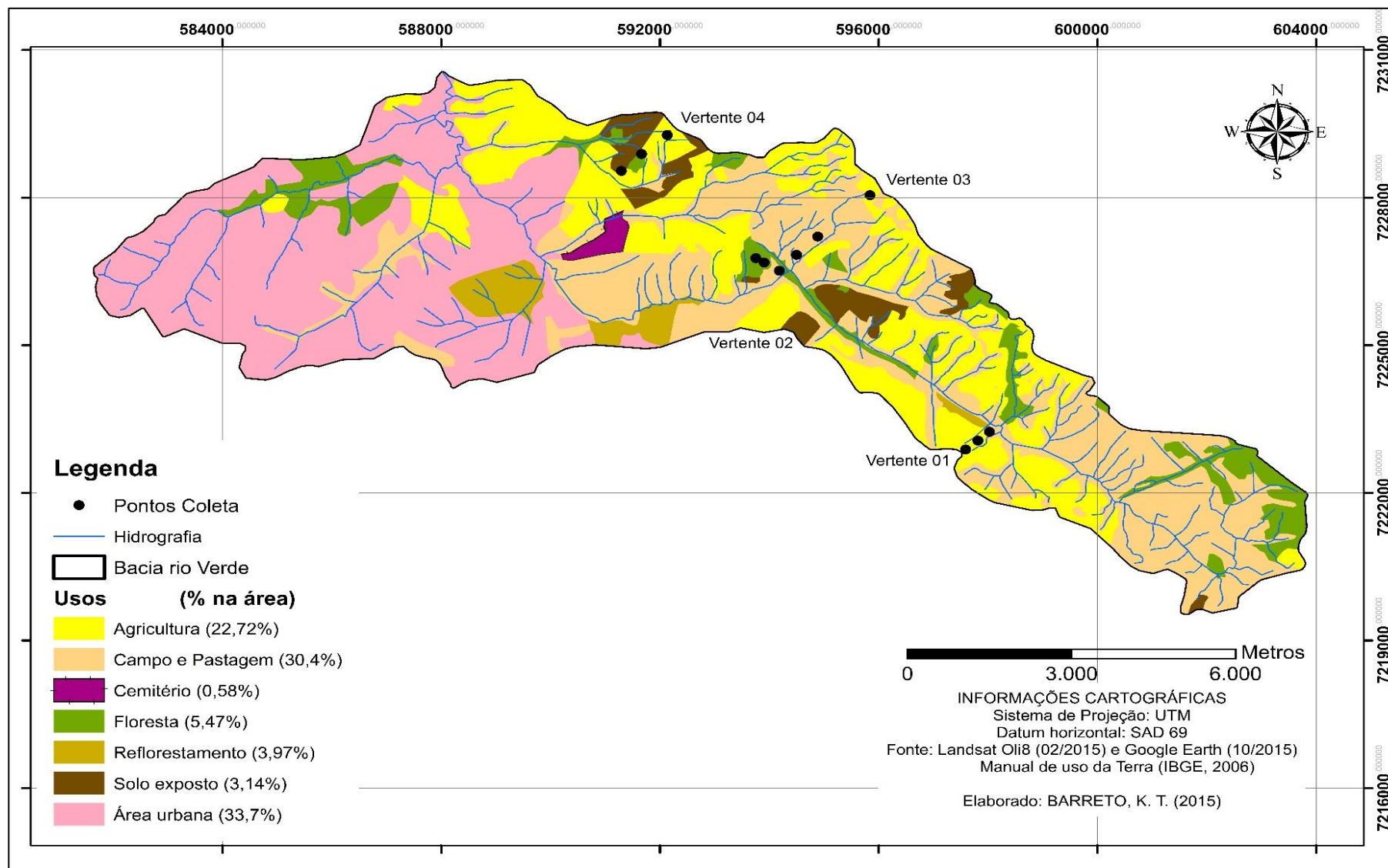


FIGURA 23: Usos da Terra na bacia hidrográfica do rio Verde entre os anos 2005 e 2015.

5.3- Formas do relevo na bacia do rio Verde

Conforme já descrita em sua localização, cabe ressaltar que as formas predominantes são topos aplainados, vertentes convexas e vales em calha muito encaixados. A direção geral da morfologia é NW-SE, no sentido do Arco de Ponta Grossa, modelada por rochas da Formação Furnas que são favoráveis aos processos de erosão laminar ou areal. Neste caso, a Relação de relevo (Rr) segundo Schumm (1956), cujo valor na bacia do rio Verde é de 10,7 (m/km) considerado como valor médio, indicando que a mesma possui um relevo bem dissecado e com muitos canais entalhados.

Com isso, o escoamento superficial da água é alto e conseqüentemente, os processos morfogenéticos (erosões) podem ser acelerados se o relevo, solos, clima e usos forem propícios. Esse carregamento das partículas dos solos ocasiona perda do recurso natural, ao produtor rural (produtividades reduzidas) e o assoreamento cada vez mais intenso nos rios da região.

Segundo Lepsch (2011) os solos arenosos possuem boa infiltração e conseqüentemente o escoamento superficial é menor. Porém, este fato, depende da erosividade (sub cap. 5.4 desta pesquisa) e de diversos aspectos edáficos, como a profundidade, pois quanto mais profundo for o solo menor será o escoamento superficial, mas é visto em diversos trabalhos na região dos Campos Gerais e no *sub cap. 5.5* deste trabalho que algumas classes de solos originados do Arenito Furnas são solos rasos e litólicos, assim como descrito em Sá (2007), apresentando assim uma rápida saturação e um maior escoamento superficial que aliado a condições de relevo e manejo (uso) podem ser acelerados rapidamente.

A paisagem dos Campos Gerais e, em particular da bacia do rio Verde pode ser reconhecida pela presença de feições e formas de relevo resultante da ação combinada entre fatores endógenos e exógenos (tectônicos), que passiva e ativamente influenciam a evolução da paisagem. Sua topografia é caracterizada por um relevo que varia de plano a suave ondulado na bacia, como observado na figura 24. Nas áreas de topos (mais plano), os solos presentes são mais profundos e com a pedogênese facilitada. Já nas áreas de encosta, os solos são mais rasos, litólicos, podendo ou não apresentar grau hidromórfico. Nesses, os processos de morfogênese são mais acentuados.



Figura 24: Formas do relevo típico (convexidade) da região dos Campos Gerais. Fonte: a autora 05/2016.

A declividade influencia a velocidade do escoamento superficial ao longo da vertente, condicionando uma maior ou menor capacidade de infiltração da água da chuva e afeta a suscetibilidade para erosão dos solos. Conforme figura 25, a bacia é caracterizada por um relevo ondulado a suavemente ondulado ou mesmo plano, com declividade entre 0 e 20%. Algumas áreas possuem relevo classificado como montanhoso que geralmente são destinadas à agricultura.

As vertentes 01, 02 e 03 com declividade ondulada em vales encaixados em forma de V apresentam-se constantes na área estudada e em caso de precipitações, a água pode atingir maiores velocidades em pouco tempo, podendo causar relativa perda dos solos. No terço inferior da vertente 01, há vegetação campestre, o que condiciona uma maior estabilidade do relevo. Porém, na vertente 02, o uso em forma de pastagem associado ao pisoteio animal e a declividade ondulada, seu canal fluvial se encontra assoreado.

Os vales de formatos abertos, mais ocorrentes na porção oeste, com planícies fluviais maiores, predisõem menores velocidades de escoamento superficial devido ao menor gradiente de declividade das vertentes do entorno. A vertente 04 apresenta declividade plana no terço superior e suave ondulada nos terços médio e inferior.

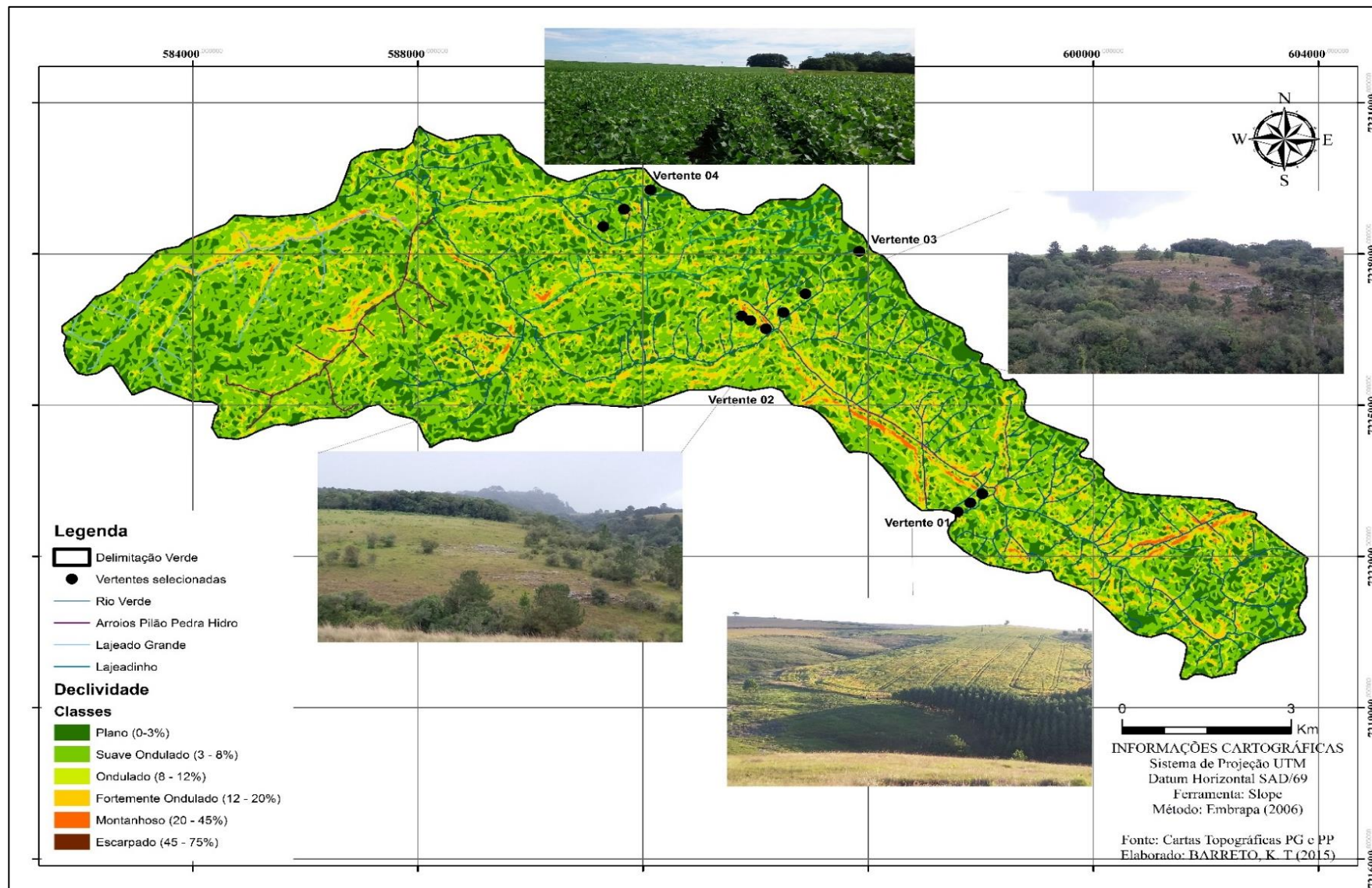


FIGURA 25: Cartograma de Declividade da bacia do rio Verde – PR.

O aspecto define a direção do fluxo das vertentes, refletindo assim o caminho que a água de chuva percorre. Na área da bacia a orientação do relevo é marcada no sentido NW-SW (Figura 26). A variável orientação das vertentes mostra um predomínio das classes Noroeste (13,96%), Sudeste (8,22%), Oeste (11,46%), Norte (10,79%), Sul (11,94%), Nordeste (9,47%), Leste (5,75%), Sudoeste (18,51%) e 9,9% Plano.

Na área de estudo, segundo Cruz (2009), o aquecimento é mais acentuado do que nas demais vertentes de orientação definida sobre os divisores de água e nos fundos de vale abertos, onde o relevo é plano, exceto das vertentes com exposição no quadrante Norte que são mais influenciadas pelas variações de temperatura, em função de que a quantidade de insolação tem relação direta com o quadrante de exposição da vertente e, conseqüentemente, são áreas com menor umidade natural.

Já as áreas orientadas para o sul, sudeste e sudoeste recebem menor incidência de radiação solar e retêm ao longo do dia e do ano uma quantidade maior de umidade no solo e nos materiais inconsolidados superficiais.

Estas áreas de acúmulo de umidade, quando associadas a declividades mais acentuadas, possibilitam pontos de instabilidade potencial da superfície por ocasião da ocorrência de eventos pluviométricos mais significativos, e podem permitir a instalação de processos erosivos, que eventualmente viriam a promover uma maior velocidade no assoreamento natural dos rios.

As curvaturas das vertentes influenciam nos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade (VALERIANO et al., 2007). Os resultados obtidos apresentam a predominância nas classes de forma convexa com 15,5 km² da bacia correspondendo a 18,09%. As áreas côncavas representam 17,3 km² e 20,19% da área. As formas retilíneas apresentam a predominância de 61,76% com 53,02 km².

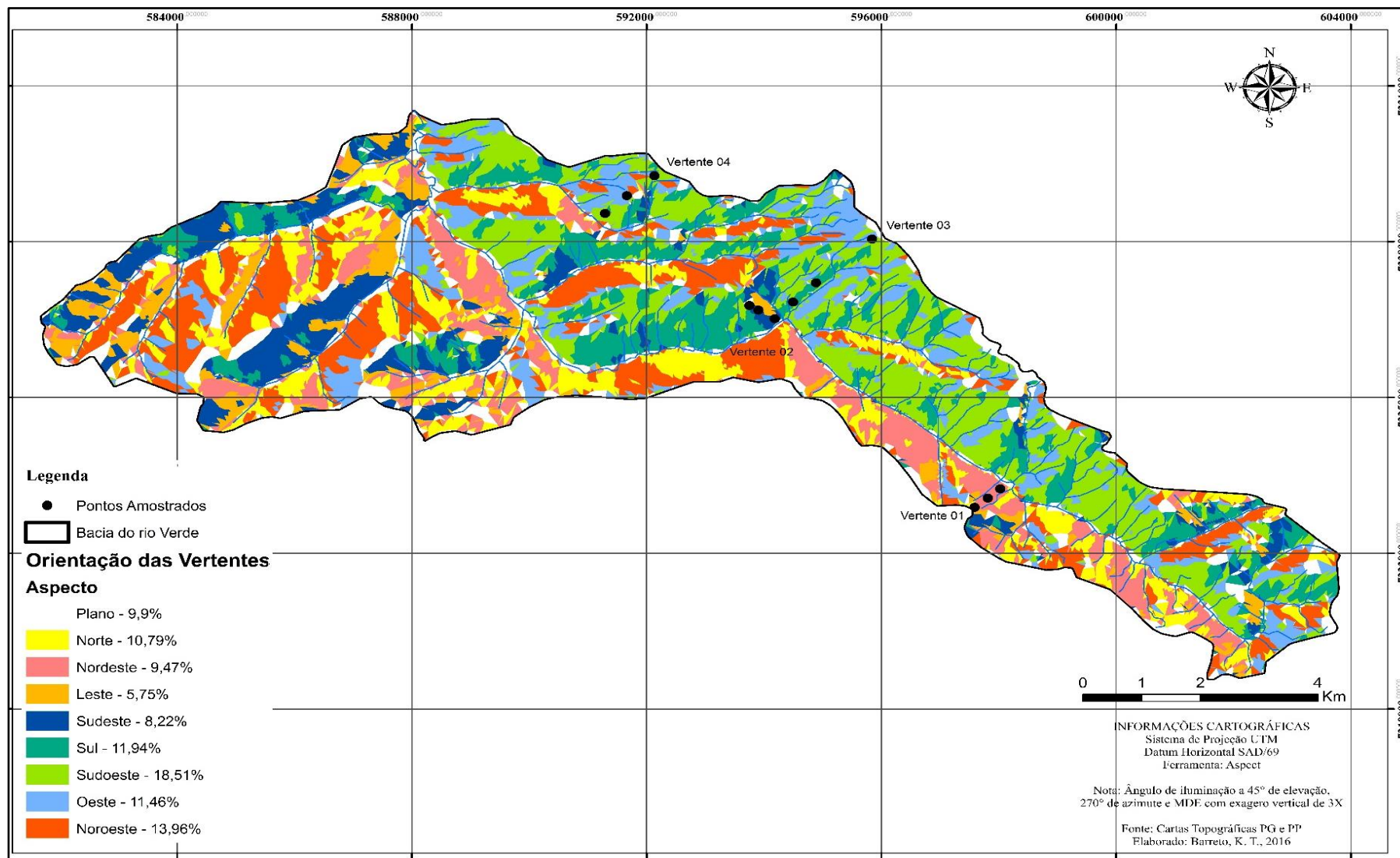


FIGURA 26: Cartograma de Orientação das vertentes da bacia do rio Verde – PR.

Na tabela 05, observa-se que a vertente 01 possui curvatura planar convergente e as 02, 03 e 04 são divergentes, direcionando os fluxos hídricos e o transporte de partículas ao longo das vertentes. A curvatura do relevo é analisada para descrever os processos erosivos. O valor da curvatura pode ser usado para encontrar os padrões de erosão dos solos assim como a distribuição de água no solo. A curvatura em perfil afeta a aceleração e desaceleração do fluxo e, portanto, influencia na erosão e na deposição. A curvatura em plano influencia na convergência e divergência do fluxo.

Tabela 05: Parâmetros geomórficos das vertentes estudadas – Bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR.

| | Altura da vertente (m) | Comprimento (m) | Forma | Orientação | Declividade média |
|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|------------|----------------------|
| <i>Vertente 01</i> | 70 | 830 | Convexa convergente | NE | 8,43% |
| <i>Vertente 02</i> | 65 | 656 | Convexa divergente a planar | SE | 9,91% |
| <i>Vertente 03</i> | 95 | 985 | Convexa divergente | SW | 9,64% |
| <i>Vertente 04</i> | 40 | 1312 | Convexa/Retilínea divergente | SW | 3,05% |

Em relação as formas de vertente, não há diferenciação acentuada, mas quanto a declividade e o comprimento apenas a vertente 04 se destaca por seu declive mais suave e extenso comprimento de rampa de 1312m. Porém, práticas que ocasionam desestruturação dos solos (ex. aração) são comuns todos os anos, deixando o solo desnudo. Com chuvas bem distribuídas nos meses posteriores aos procedimentos de aração, aumentam as chances de perdas de solo por erosão.

A curvatura (FIGURA 27) pode ser usada para compreender os processos de erosão e de escoamento pois a curvatura no perfil afeta de aceleração e desaceleração de fluxo e, portanto, influencia a erosão e deposição. Já a curvatura no plano influencia convergência e divergência do fluxo.

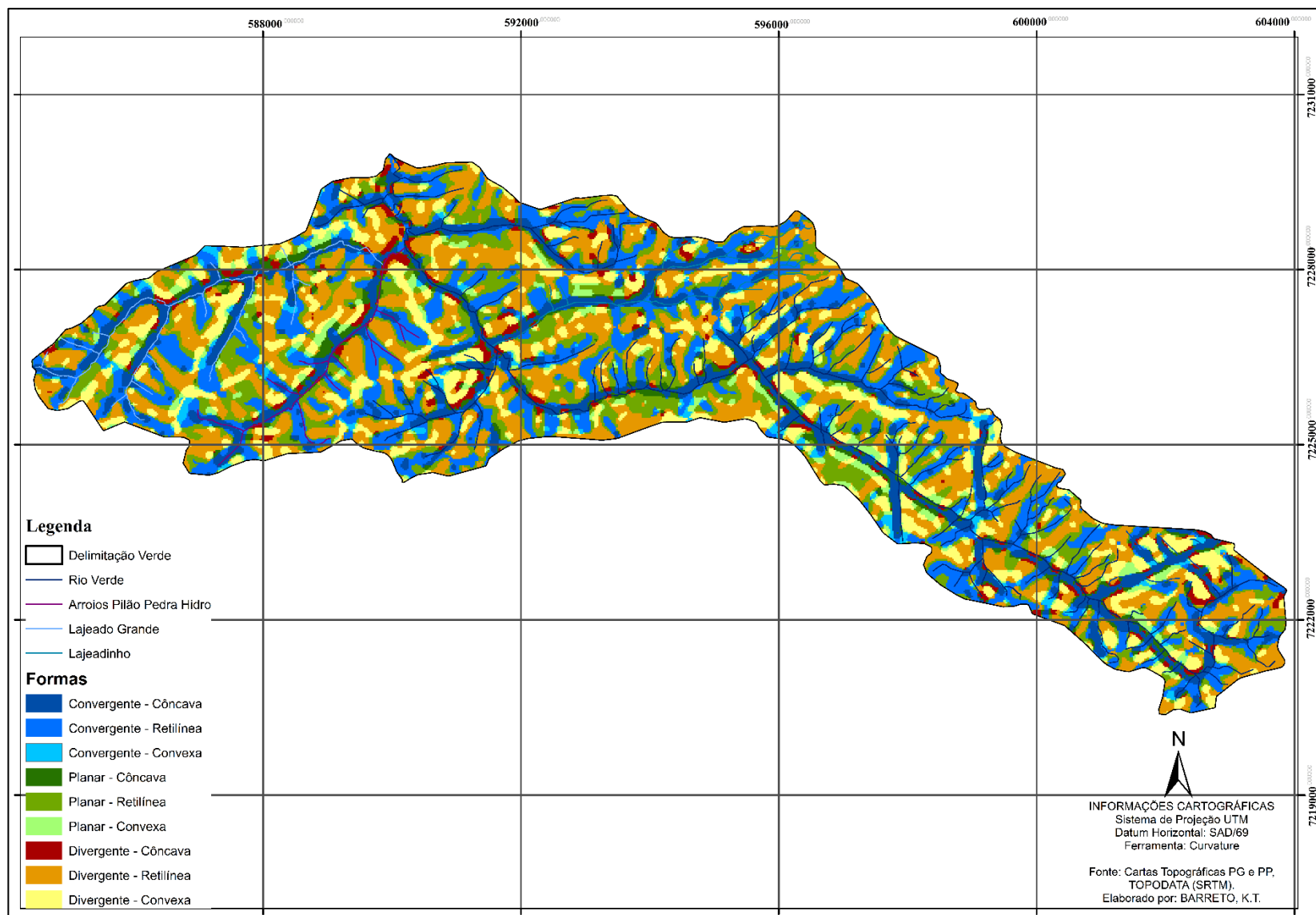


FIGURA 27: Cartograma de formas das vertentes da bacia do rio Verde – PR

5.4- Erosividade na bacia do rio Verde

A capacidade de erosão hídrica pode ser avaliada usando dados baseados nas precipitações pluviométricas de cada região, pois o solo exposto e/ou descoberto é vulnerável à ação da chuva por erosividade, resultando no carregamento de partículas que são transportadas até o canal fluvial, ou depressões e lagoas (CARVALHO, 1994). Atualmente, é amplamente debatido sobre a redução da capacidade produtiva dos solos (com a perda do horizonte pedogenético superficial pelo escoamento) e o comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, que são diretamente influenciados pelo fator erosividade.

Para Carvalho (2008), entre 70 a 90% dos sedimentos transportados pelos rios ocorre no período de chuva, principalmente, durante as fortes precipitações. Para a análise calculou-se o índice de erosividade média mensal para um período de 15 anos (2000 a 2015) e 2015 particularmente, como é possível observar na figura 28 abaixo:



Figura 28: Índices Erosividade entre 2000 a 2015 e somente 2015.

Observa-se que, para o período de 2000 a 2015, o índice de Erosividade é maior que para o período de 2015. Sendo que, para o período de 2000 a 2015, este índice foi maior nos meses correspondentes a abril e junho, já no período de 2015 os maiores índices de erosividade ocorreram com intervalos mensais, exemplo do período transição primavera-verão, quando novembro e dezembro apresentou índices pouco superiores a janeiro e fevereiro, e agosto menor que outubro e dezembro.

Segundo Leprun *apud* Carvalho (1994) o índice de erosividade pode ser classificado partindo da erosividade fraca a muito forte, como mostra a tabela 06.

Tabela 06 - Classificação dos índices de erosividade

| Valor | Classificação |
|-------------------------|------------------------------|
| R<250 | Erosividade fraca |
| 250<R<500 | Erosividade moderada |
| 500<R<750 | Erosividade moderada a forte |
| 750<R<1000 | Erosividade forte |
| R>1000 | Erosividade muito forte |

Então, a erosividade em t/ha.mm.h da bacia foi classificada entre erosividade fraca a forte para o período de 2000 a 2015, sendo que o mês de erosividade fraca foi agosto; de erosividade moderada os meses de abril, maio, julho, setembro e outubro; erosividade moderada a forte os meses de março, junho e novembro. Os meses de janeiro, fevereiro e dezembro apresentaram erosividade forte, mostrando assim a necessidade de manejo cultural como plantio direto e menores impactos da pecuária nesses meses.

E para o ano de 2015 a erosividade em t/ha.mm.h é classificada como erosividade muito forte, devido ao fenômeno El nino, que em julho foi de 1472,2, seguido do mês de agosto em t/ha.mm.h que é classificado como fraca, pois o fator erosividade é de 79,5.

5.5- Solos/Vertentes e os usos agropecuário na Bacia do rio Verde

Os solos encontrados nas vertentes selecionadas para este estudo são desenvolvidos sobre os arenitos da Formação Furnas, Grupo Paraná. As características desses solos indicam haver diferentes graus de dissecação do relevo e permitem afirmar que as estruturas (lineamentos), pela ação morfotectônica, controlam e orientam a organização e distribuição da rede de drenagem e conseqüentemente dos sistemas pedológicos na área, bem como o

desenvolvimento dos processos erosivos, visto que as observações e estudos realizados até o momento indicam que a taxa de erosão é maior na margem esquerda do rio Verde quando comparada a margem direita.

Na vertente 04 é visível o arenito Furnas, porém solos de textura argilosa (Latosolos e Cambissolos) confirmam que o folhelho Ponta Grossa, já intemperizado, forneceu quantidades altas de argila como produto do intemperismo. No município há uma vasta área com esse padrão de solos e se inserem na zona de transição das duas litologias.

A vertente 01, localiza-se na margem esquerda do rio, apresenta um relevo ondulado, com vertente convexa de topo a base com declividade média de 8,43%. Nos terços superior com declividade de 7% e médio com 11%, o solo predominante é o Latossolo Vermelho Tb distrófico típico, com textura arenosa e horizonte A moderado. No terço inferior, a declividade é de aprox. 7%, encontrando-se o Cambissolo Háptico Tb distrófico típico com textura arenosa, A proeminente (Ap) demonstrado na Figura 29. Todos com baixa saturação por bases e caráter álico, sendo que são solos muito pobres, ou seja, o teor de Al^{3+} trocável é igual ou maior que $0,3 \text{ cmolc/dm}^3$ e saturação por alumínio (m%) igual ou maior que 50%.

As relações estabelecidas entre declividade, formas, processos erosivos são descritos no item 4.1.1, e demonstra que essa vertente está em relevo caracterizado por ondulações suaves que requerem agricultura conservacionista. Os processos morfogênicos, que podem ocorrer, nesse relevo, são: início de solifluxão, escoamento difuso/laminar e sulcos.

Os latossolos não possuem limitações ao uso, porém, práticas conservacionistas, como o plantio direto, devem ser mantidas, pois a área da vertente 01 está localizada em relevo ondulado e com índices de maior erosividade, a perda de solo pode ser facilitada. No terço superior há presença de formação de crostas ferruginosas em subsuperfície.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), a perda de solo pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$T = 0,018 D^{1,18} C^{1,63}$$

Onde: T é a perda de solo, D é a declividade em % e C é o comprimento de rampa

O cálculo da perda de solo na vertente 01 foi de 12,76 ton/ha considerando somente a declividade e o comprimento de rampa. Apesar desses parâmetros, tem-se que a os solos arenosos tendem a estar mais sujeitos a erosão por possuírem baixa proporção de partículas agregantes (argilominerais) demonstrando a importância dos agentes cimentantes (substâncias húmicas) nos solos presentes na vertente.

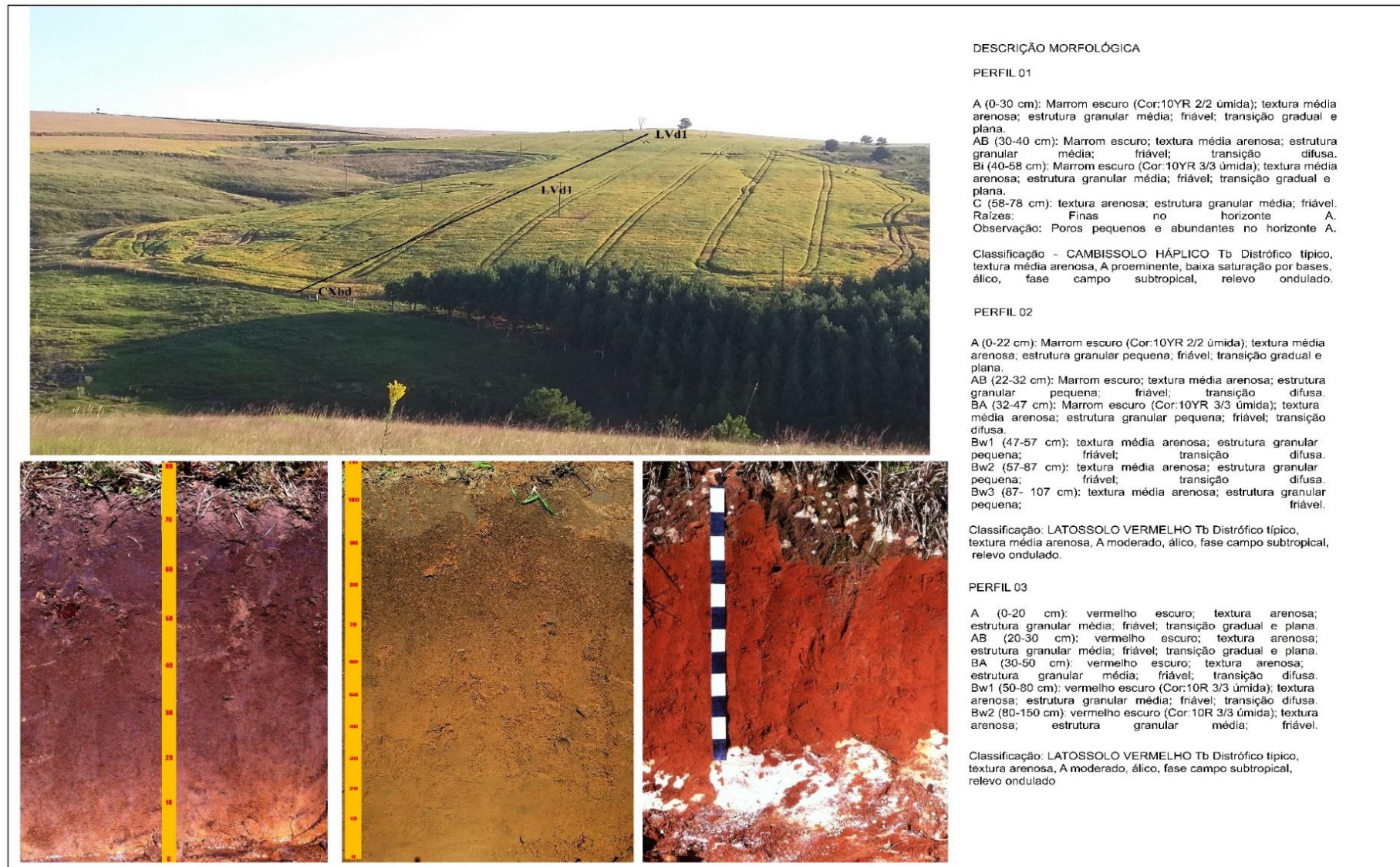


FIGURA 29: Solos presentes na vertente 01, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR.

A vertente 02 (FIGURA 30), situada na margem direita do canal principal, encontra-se no relevo ondulado em forma convexa de topo a base com declividade média de 9,91%. No segmento do terço superior (declividade 8,56%) predomina o Neossolo Litólico distrófico com textura arenosa, onde o processo atuante é mais de ação morfogênica do que pedogênica, sendo que, o constante tráfego do gado auxilia na aceleração de processos erosivos. No terço médio, com declividade de aprox. 11%, encontra-se o Cambissolo Háplico Tb Distrófico textura arenosa, álico. No terço inferior desta superfície está inserido o Neossolo Litólico em declividade de 9,44%. Aqui, os processos pedogenéticos seguem dificultados pela ação do relevo e clima, gerando solos rasos e com uma gênese pouco desenvolvida, porém o alto teor de carbono orgânico auxilia na estabilidade dos agregados desses solos.

Conforme as relações estabelecidas por Granell-Pérez (2004), essa vertente está em relevo caracterizado por estruturais monoclinais do tipo cuesta geralmente em encostas de morros que requerem agricultura conservacionista moderada a intensiva. A mecanização não deve ser utilizada. Os processos morfogênicos, que podem ocorrer, são movimentos de massa, escoamento laminar, rastejamento, sulcos e ravinas.

O cálculo da perda de solo na vertente 02 foi de 10,52 ton/ha considerando somente a declividade e o comprimento de rampa. Apesar desses parâmetros, tem-se que a os solos arenosos tendem a estar mais sujeitos a erosão por possuírem baixa proporção de partículas agregantes (argilominerais) demonstrando a importância dos agentes cimentantes (substâncias húmicas) nos solos presentes na vertente.

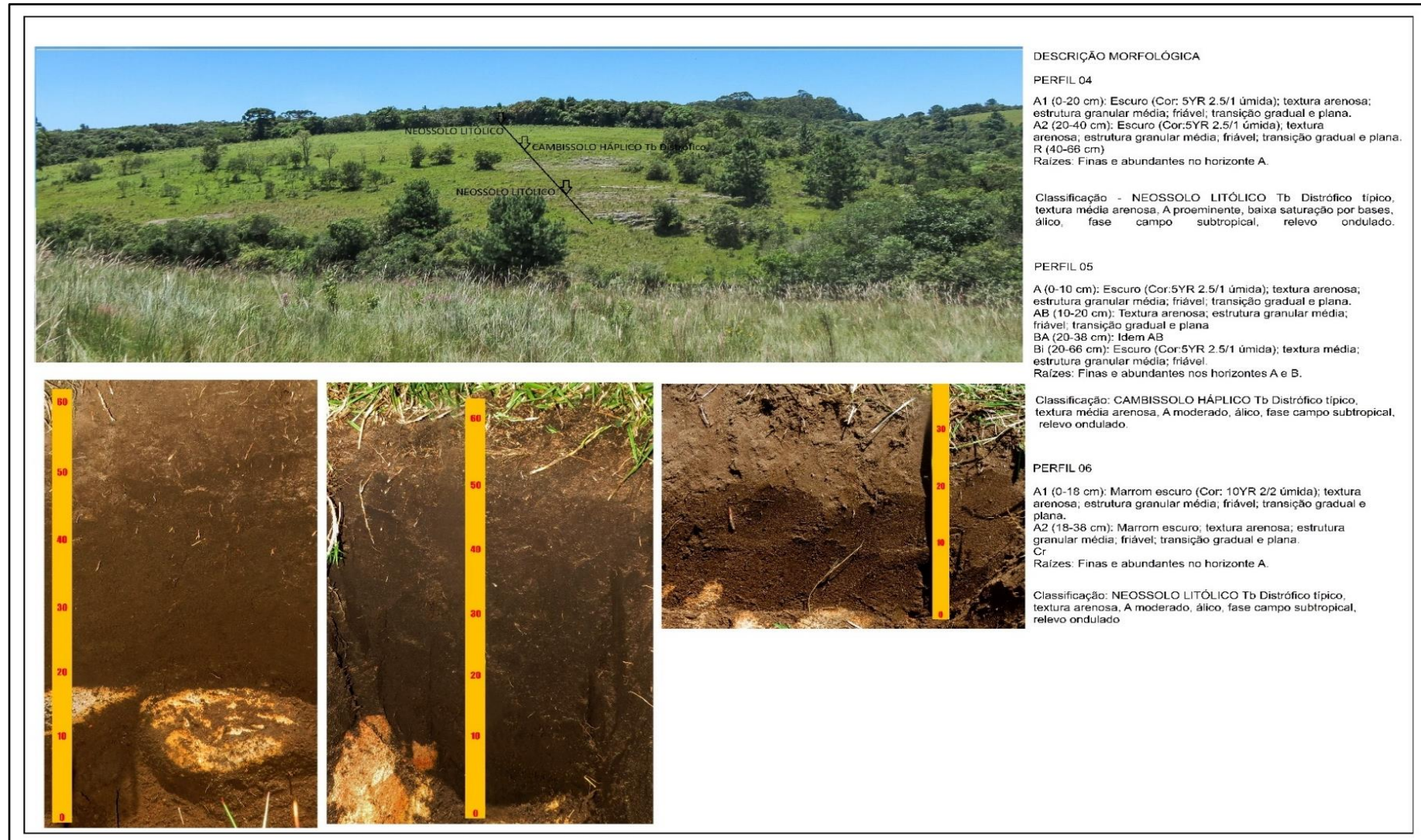


FIGURA 30: Solos presentes na vertente 02, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR.

A vertente 03 (FIGURA 31), localiza-se na margem direita com relevo ondulado, sendo predominantemente convexa nos terços médio e inferior com declividade média de 9,64%. Nesta vertente, no segmento do terço superior encontra-se o Latossolo Vermelho Tb Distrófico típico com textura arenosa e declividade de 17,78%. No terço médio apresenta-se o Cambissolo Háptico Tb Distrófico com textura arenosa e declividade de 7,41/% e no terço inferior um Gleissolo Melânico Tb Distrófico típico com textura arenosa e declividade de 11,43%.

Assim como a área 02, esta vertente localiza-se em relevo caracterizado por estruturais monoclinais do tipo cuesta geralmente em encostas de morros que requerem agricultura conservacionista moderada a intensiva. A mecanização não deve ser utilizada. Os processos morfogênicos, que podem ocorrer, são movimentos de massa, escoamento laminar, creep, sulcos e ravinas.

Além disso, solos frágeis como Gleissolos, desenvolvem-se nos terços inferiores desta área, apresentando horizonte A proeminente e em seguida horizonte glei de profundidade rasa. Esse horizonte diagnóstico é caracterizado por redução de ferro e prevalência do estado reduzido, em parte, devido à estagnação de água, pois é fortemente influenciado pelo lençol freático e regime de umidade redutor, livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica (Embrapa, 2005). Com isso, o risco de contaminação do aquífero por este solo é alto, se práticas conservacionistas não forem adotadas.

O cálculo da perda de solo na vertente 03 foi de 19,76 ton/ha considerando somente a declividade e o comprimento de rampa. Apesar desses parâmetros, tem-se que a os solos arenosos tendem a estar mais sujeitos a erosão por possuírem baixa proporção de partículas agregantes (argilominerais) demonstrando a importância dos agentes cimentantes (substâncias húmicas) nos solos presentes na vertente.



FIGURA 31: Solos presentes na vertente 03, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR.

A vertente 04 se caracteriza por uma declividade média de 3,05% mais suave que as anteriores, portanto apresenta caráter erosional residual (FIGURA 32). O solo que predomina no terço superior e inferior da vertente é o Latossolo Vermelho Tb Distrófico de textura argilosa, com declividade de 1,65%. Isso porque nessa área, a pedogênese possibilita que sejam desenvolvidos solos bastante profundos e intemperizados. Foram classificados como B latossólicos os horizontes formados por blocos subangulares de grau moderado ou fraco e nenhuma cerosidade ou cerosidade fraca e comum. No terço médio apresenta-se o Cambissolo Háplico Tb Distrófico, com textura argilosa, apresentando declividades de 4,95% e 4,92%, respectivamente.

O Latossolo do terço superior representa o solo de maior potencial agrícola da área amostrada, devido às condições de relevo plano, profundidade do *solum* e atributos químicos. Essa classe de solo ocorre, predominantemente, em relevos suaves, maduros ou senis, com drenagem interna boa quando argilosos, ou excessiva, quando de textura média (15 a 35% de argila) (ESPINDOLA, 2010).

Essa vertente pela interpretação de Granell-Pérez (2004), está situada em relevo plano formando uma superfície erosional, com poucas perdas de solo, se bem manejada.

O cálculo da perda de solo na vertente 04 foi de 8,11 ton/ha considerando somente a declividade e o comprimento de rampa (maior comprimento entre as vertentes). Apesar desses parâmetros, tem-se que a os solos argilosos tendem a estar menos sujeitos a erosão por possuírem alta proporção de partículas agregantes (argilominerais) nos solos presentes na vertente.



FIGURA 32: Solos presentes na vertente 04, bacia do rio Verde, Ponta Grossa, PR.

A estrutura pode influenciar na infiltração da água e na resistência à desagregação das partículas durante o impacto da chuva (CAPECHE, 2008). Em termos de estrutura dos solos, todos os solos amostrados das vertentes 01 a 03 possuem estrutura granular tamanho pequena a média, ou seja, quando os grãos têm aspecto de esferas, ou se a maior parte das faces é arredondada. Com isso, uma maior agregação das partículas, que está diretamente ligada com a estrutura do solo (LOSS et al., 2009; COUTINHO et al., 2010). Os Latossolos possuem uma estrutura forte e os Cambissolos moderada. Já os Neossolos têm estruturação fraca, ocorrendo em duas posições na vertente 02. A agregação das partículas do solo, nesse caso, associa-se principalmente aos teores de matéria orgânica (AZEVEDO, 2004).

Segundo o mesmo autor, a estabilidade dos agregados também é melhorada com o conteúdo de argila (agente cimentante). A estrutura em blocos subangulares de grau moderado a fraco foi verificada na vertente 04, por causa do conteúdo de argila nos horizontes. Percebe-se a perda de estrutura do solo, pelo fato de ser realizado práticas de plantio convencional (aração e gradagem). Isso possibilita maiores taxas de erosão, já que os solos são revolvidos e ficam por um período exposto e sem cobertura vegetal.

Os resultados referentes aos atributos físicos e químicos, estudados nos perfis acima descritos, são apresentados na tabela 07. Observa-se que a soma de bases (SB), apresenta valores superiores nos terços superiores. A capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) apresentaram tendência crescente nos solos mais intemperizados (Latosolos) que geralmente são utilizados para a agricultura e manejados com adubações periódicas.

A comparação entre os segmentos de vertente mostrou que a CTC das áreas de terço superior apresentou valores maiores que a das áreas sopé de transporte, resultado atribuído aos maiores teores de matéria orgânica e/ou argila das superfícies planas.

A matéria orgânica também apresenta o mesmo comportamento, exceto no terço médio da vertente 02, que se faz presente o Cambissolo Háptico. Observando o seu perfil percebe-se a coloração escura referente ao valor de 19,69 g/dm³ de matéria orgânica. Este atributo é um agente cimentante e neste caso propicia maior estabilidade aos agregados, e por consequência maior resistência ao impacto das gotas de chuva. Além disso, a capacidade de infiltração dos solos tende a aumentar resultando num menor escoamento superficial.

Quanto aos resultados dos segmentos de vertente, apresentaram os valores mais elevados de SB, CTC e V, quando comparados aos demais segmentos, o topo da paisagem (terço superior) (TABELA 07). Os valores do pH também apresentaram o mesmo comportamento.

Os resultados dos atributos granulométricos nos perfis mostraram o comportamento das amostras laterais. Observa-se que os conteúdos de argila do horizonte B foram crescentes dos solos dos terços superior e médio, fato que está associado à ação do intemperismo, conforme ressaltam Graham e Buol (1990). No tocante aos conteúdos de areia, o comportamento foi contrário a essa tendência, apresentando conteúdos crescentes no terço inferior pela deposição das partículas de areia, que pela ação da gravidade, pode ser facilmente transportada ao canal fluvial (FIGURA 33).



Figura 33: Depósitos de sedimentos na margem direita do rio Verde. Fonte: a autora 05/2016.

Tabela 07: Atributos físico-químicos referentes aos solos amostrados nas vertentes.

| Vertentes | Terço Superior | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------|--------------|------------------|------|------------------|-------------------|-------|----------|------|--------|-------|-------|------------------|
| | Atributo Físico | | | Atributo Químico | | | | | | | | | | |
| | Areia | Argila | Silte/Argila | Mg ²⁺ | K | Ca ²⁺ | Corg | MO | pH | SB | CTC | V % | m% | Al ³⁺ |
| % | | | cmolc/Kg | | | | g/dm ³ | | cmolc/Kg | | | | | |
| <i>Profundidade 0,0 - 0,25m</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 70 | 20 | 0,5 | 0,5 | 0,26 | 1,4 | 14 | 14 | 4,9 | 2,16 | 51,1 | 42,3 | 4,4 | 0,1 |
| 2 | 79,2 | 18,5 | 0,12 | 0,49 | 0,32 | 0,95 | 15,78 | 27,2 | 4,4 | 1,76 | 77,36 | 22,75 | 34,45 | 0,92 |
| 3 | 66,55 | 28,9 | 0,16 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 10,25 | 17,67 | 4 | 2,2 | 87,25 | 2,52 | 88,57 | 0,17 |
| 4 | 36,35 | 53,3 | 0,19 | 2,3 | 0,63 | 0,45 | 21,27 | 36,67 | 5,3 | 3,38 | 113,14 | 66,02 | 0 | 0 |
| <i>Profundidade 0,8 - 1,00 m</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 82 | 12 | 0,5 | 0,2 | 0,07 | 0,4 | 16 | 16 | 4,2 | 6,7 | 46,4 | 14,4 | 62,1 | 1,1 |
| 2 | 75,45 | 21,3 | 0,15 | 0,36 | 0,05 | 0,27 | 6,7 | 11,55 | 4,5 | 0,68 | 39,02 | 17,43 | 26,49 | 0,24 |
| 3 | 63,75 | 31,05 | 0,17 | 0,8 | 0,03 | 0,3 | 7,48 | 12,9 | 4,1 | 4,1 | 69,37 | 5,91 | 75,08 | 0,12 |
| 4 | 42,35 | 50,1 | 0,15 | 0,69 | 0,02 | 0,65 | 11,03 | 19,02 | 4,4 | 13,6 | 68,31 | 19,91 | 22,06 | 0,38 |
| Terço Médio | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Profundidade 0,0 - 0,25m</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 75 | 18 | 0,39 | 0,4 | 0,18 | 0,7 | 15 | 15 | 4,2 | 12,8 | 62,4 | 20,5 | 41,3 | 0,9 |
| 2 | 78,1 | 19,25 | 0,14 | 0,5 | 0,21 | 0,12 | 11,42 | 19,69 | 4,2 | 19,1 | 78,86 | 24,22 | 30,04 | 0,82 |
| 3 | 66,8 | 25,55 | 0,3 | 0,22 | 0,37 | 0,33 | 16,87 | 30,08 | 4,2 | 2,6 | 73,89 | 3,52 | 61,98 | 0,15 |
| 4 | 64,15 | 30,85 | 0,16 | 0,11 | 0,07 | 0,8 | 17,45 | 29,08 | 4 | 9,2 | 94,25 | 9,76 | 88,59 | 0,71 |
| <i>Profundidade 0,8 - 1,00 m</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 70 | 20 | 0,5 | 0,1 | 0,08 | 0,2 | 10 | 10 | 4,4 | 3,8 | 40,7 | 9,3 | 72,5 | 1,0 |
| 2 | 66,45 | 28,9 | 0,16 | 0,6 | 0,05 | 0,8 | 8,3 | 14,31 | 4 | 1,9 | 61,66 | 3,08 | 86,9 | 1,3 |
| 3 | 67,9 | 24,9 | 0,29 | 1,2 | 0,03 | 0,9 | 6,12 | 10,55 | 4,3 | 2,4 | 48,26 | 4,97 | 87,21 | 1,6 |
| 4 | 60,1 | 32,35 | 0,23 | | | | | 16,44 | 4,4 | 11,1 | 59,44 | 18,67 | | |
| Terço Inferior | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Profundidade 0,0 - 0,25m</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 75 | 16 | 0,56 | 0,1 | 0,09 | 0,2 | 17 | 17 | 4,1 | 3,9 | 57,4 | 6,8 | 79,4 | 1,5 |
| 2 | 80,05 | 17,85 | 0,12 | 0,4 | 0,03 | 0,7 | 11,42 | 19,69 | 4,1 | 1,4 | 72,69 | 1,93 | 92,11 | 0,16 |
| 3 | 75,25 | 20,35 | 0,22 | 0,6 | 0,05 | 0,4 | 24,78 | 42,72 | 4,1 | 1,5 | 112,32 | 1,34 | 93,55 | 0,22 |
| 4 | 52,25 | 39,85 | 0,2 | 0,7 | 0,05 | 11,5 | 16,95 | 29,22 | 4,2 | 19,2 | 104,25 | 18,42 | 38,06 | 0,12 |
| <i>Profundidade 0,8 - 1,00 m</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 85 | 12 | 0,25 | 0,3 | 0,09 | 0,4 | 11 | 11 | 4,5 | 7,9 | 50,7 | 15,6 | 47,0 | 0,7 |
| 2 | 93,3 | 4,85 | 0,38 | 0,3 | 0,17 | 0,5 | 0,82 | 1,41 | 4,5 | 9,4 | 23,96 | 39,23 | 25,4 | 0,32 |
| 3 | 75 | 20,1 | 0,24 | 0,2 | 0,02 | 0,2 | 10,56 | 18,21 | 4,3 | 0,6 | 60,36 | 0,99 | 97,1 | 2,01 |
| 4 | 51,95 | 41,6 | 0,16 | 2,8 | 0,02 | 4,8 | 9,08 | 15,65 | 4,1 | 7,8 | 85,67 | 9,1 | 64,22 | 1,4 |

A relação silte/argila, que auxilia na mensuração do grau de intemperização de solo (Anjos *et al.*, 1998), apresentou valores crescentes no sentido das áreas de terço médio e inferior. Entre os segmentos de vertente, os maiores valores da relação silte/argila foram encontrados nos solos da área 01 nos terços superior e médio (Latosolo Vermelho), influenciados grandemente pelo declive mais acentuado, o que dificulta a ação do intemperismo. Anjos *et al.* (1998), estudando a gênese de solos e suas relações com as paisagens no Sudeste do Brasil, afirmaram que as superfícies geomórficas definem as taxas de intemperismo, o grau de desenvolvimento do *solum* e o comportamento dos fluxos de água, que, por sua vez, coordenam os processos de iluviação e acúmulo de cátions.

Segundo Demattê *et al.* (1991), o comportamento da cor é dependente do movimento de água no sentido do declive, por ação do fluxo superficial e subsuperficial e, portanto, influenciado pela posição do solo na paisagem. As cores dos solos variaram do vermelho, na área de topo alto, ao marrom na encosta, com matiz de 7,5YR nos horizontes superficiais, passando a vermelho amarelado nas áreas terço inferior, corroborando com a afirmação de Peterschmitt *et al.* (1996), de que solos vermelhos dominam as posições de topos, bem drenados, e solos marrons são mais comuns em posições de encosta, moderadamente drenados.

No terço superior, verificou-se que, a textura dos solos das vertentes 01 a 03 possuem teores próximos da fração areia em torno de 66 a 79%, variando entre 18 a 28% da fração argila, isso porque os solos derivados da Formação Furnas são bastante arenosos. Somente na vertente 04 que o teor de argila se mostra alto, devido aos fragmentos intemperizado da Formação Ponta Grossa.

Nos terços médio, as vertentes possuem teores de areia entre 78 a 60% e argila variando de 18 a 32%. Já nos terços inferiores, a areia varia de 52% na vertente 04 a 93,3% na vertente 02. A fração argila é de 4,85% na vertente 02 e 41,6% na vertente 04.

A superfície da vertente 03 foi aquela que apresentou maior variabilidade dos seus atributos (predomínio de várias classes de cores), e o topo da paisagem foi a mais estável e de menor variação espacial, concordando com os conceitos de Daniels *et al.* (1971). Esse comportamento foi semelhante em ambas as profundidades (0,00–0,25 m e 0,80–1,00 m), evidenciando a ação determinante dos fatores e processos pedogenéticos no comportamento dos solos, com destaque principalmente para o relevo, que coordena e direciona os fluxos de água no perfil do solo, e para o material de origem, que dita as condições químicas e físicas do solo (Anjos *et al.*, 1998). Entretanto, segundo Cunha *et al.* (2005), o tempo e o material de

origem são os principais fatores responsáveis pelo padrão de comportamento dos atributos do solo.

Os horizontes superficiais sofrem os primeiros impactos decorrentes do manejo e impacto da água de chuva, e a remoção de sedimentos pelo escoamento superficial afeta a pedogênese. Nota-se que as profundidades do horizonte A (superficial) nos perfis amostrados varia entre 30 a 5 cm de espessura. Com exceção dos Neossolos Litólicos que foram classificados na descrição morfológica com duas subdivisões do horizonte A (A1 e A2).

A vertente 03 é a mais heterogênea em relação às unidades de solos, por compreender diferenças no comportamento da dinâmica da água nos três segmentos. Localizam-se, dentro da área ocupada por esta superfície, as unidades de solos LVd, CX e GM.

Aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, à análise do conteúdo de argila nos solos das áreas estudadas, foram obtidos os resultados expostos na Tabela 08:

Tabela 08: Diferenças entre as médias do teor de argila pelo Teste de Tukey

| | 1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|----------|
| P1 | - | 0,969 | 1 | 0,999 | 0,393 | 0,917 | 0,889 | 0,271 | 0,0446* | 0,00085* | 0,02332* | 0,00018* |
| P2 | - | - | 0,999 | 0,722 | 0,966 | 1 | 1 | 0,889 | 0,2948 | 0,00467* | 0,1658 | 0,00024* |
| P3 | - | - | - | 0,981 | 0,663 | 0,995 | 0,990 | 0,502 | 0,0982 | 0,00159* | 0,05182 | 0,00019* |
| P4 | - | - | - | - | 0,158 | 0,596 | 0,550 | 0,102 | 0,0155* | 0,00042* | 0,00821* | 0,00017* |
| P5 | - | - | - | - | - | 0,991 | 0,995 | 1 | 0,9167 | 0,03409* | 0,7392 | 0,00066* |
| P6 | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,954 | 0,3931 | 0,00658* | 0,2297 | 0,00027* |
| P7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,969 | 0,4333 | 0,00745* | 0,2573 | 0,00028* |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,9784 | 0,05392 | 0,8749 | 0,0009* |
| P9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,3176 | 1 | 0,0047* |
| P10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,5158 | 0,295 |
| P11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,0087* |
| P12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

* As médias, cujas estimativas estão assinaladas (*) diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Verifica-se assim, que o Latossolo Vermelho Tb Distrófico típico, no terço superior da vertente 03 apresentou conteúdo de argila significativo em seus horizontes. Acredita-se que seja, devido a posição espacial do terço superior. As três posições da vertente 04 também apresentaram o mesmo comportamento, comprovando estatisticamente que os resquícios da Formação Ponta Grossa existentes na área, colaboram com o aumento do conteúdo de argila destes solos.

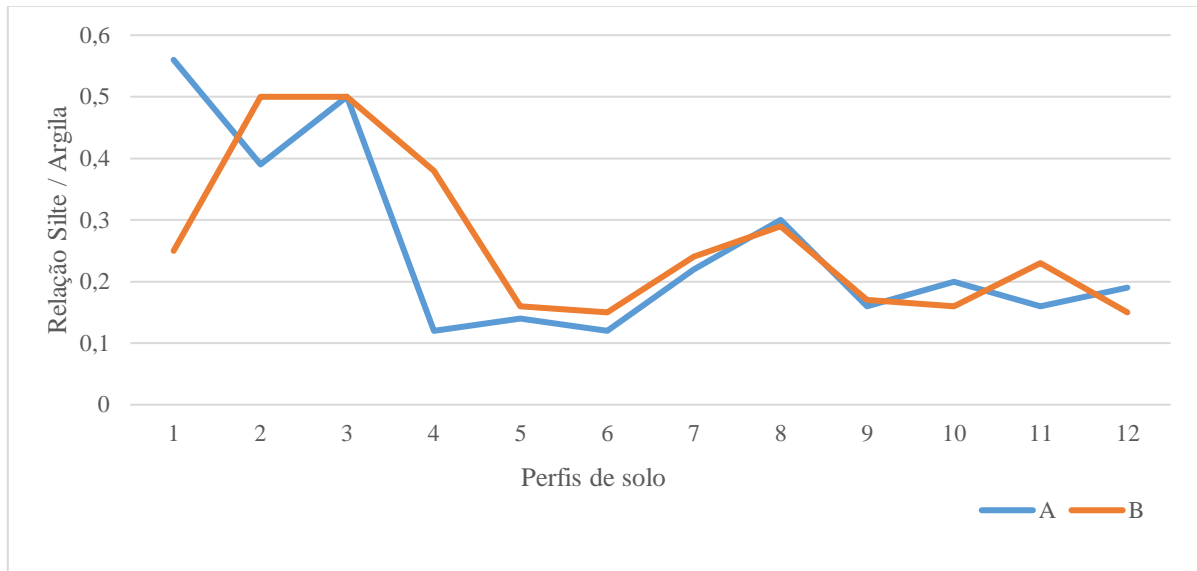
Para o conteúdo da fração areia, os resultados permitem verificar-se que o mesmo comportamento, diferindo-se nas três posições da vertente 04 (TABELA 09).

Tabela 09: Diferenças entre as médias do teor de areia pelo Teste de Tukey

| | 1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
|-----|---|------|------|------|-------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
| P1 | - | 0,93 | 0,99 | 0,97 | 0,92 | 1 | 0,99 | 0,4577 | 0,2712 | 0,0059* | 0,1177 | 0,00032* |
| P2 | - | - | 0,99 | 0,32 | 1 | 0,99 | 1 | 0,9951 | 0,941 | 0,05573 | 0,6962 | 0,00143* |
| P3 | - | - | - | 0,66 | 0,999 | 1 | 1 | 0,8585 | 0,6459 | 0,0194* | 0,3459 | 0,00065* |
| P4 | - | - | - | - | 0,304 | 0,7982 | 0,571 | 0,07685 | 0,0397* | 0,0010* | 0,0159* | 0,00019* |
| P5 | - | - | - | - | - | 0,995 | 1 | 0,9966 | 0,9511 | 0,05962 | 0,7195 | 0,00151* |
| P6 | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,7374 | 0,5055 | 0,0130* | 0,2475 | 0,00050* |
| P7 | - | - | - | - | - | - | - | 0,9186 | 0,7374 | 0,0252* | 0,4239 | 0,00078* |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 0,2443 | 0,9945 | 0,0058* |
| P9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,4192 | 1 | 0,011* |
| P10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,7323 | 0,4479 |
| P11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,0272* |
| P12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,00032* |

* As médias, cujas estimativas estão assinaladas (*) diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Percebe-se que os solos das vertentes 01, 02, e 03 (terço médio e inferior) apresentam textura arenosa a franco arenosa em seus horizontes diferindo do terço superior da vertente 03 e de todas as posições da área 04. No gráfico 01, é notável a diferença de graus de intemperismo pela relação silte/argila dos três perfis de solo da vertente 01, sendo que estes demonstram o maior valor desse índice e com isso, o maior grau de intemperismo.

Gráfico 01: Relação silte/argila para os perfis amostrados

Obs: A= horizonte superficial

B= horizonte subsuperficial

Em relação a matéria orgânica e CTC (Capacidade de Troca Catiônica), o horizonte A, dos solos amostrados, apresentou um padrão de dispersão significativo dos dados, demonstrando que as substâncias húmicas (húmus) em função de determinada superfície de troca (FIGURA 34) são os principais coloides responsáveis pelo processo de troca catiônica (CTC).

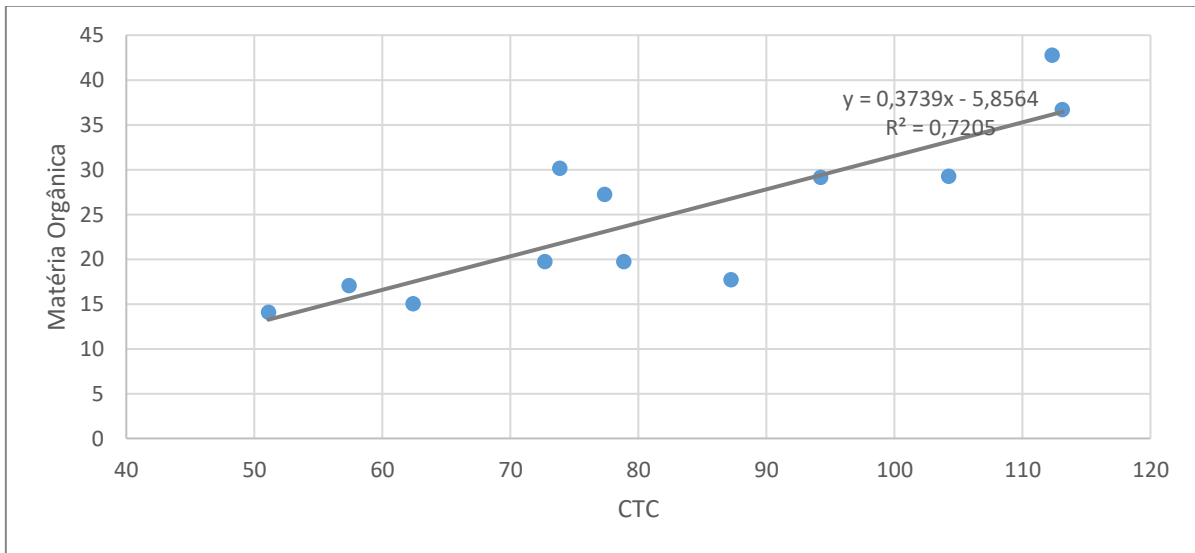
| Coloide | CTC – mmol _c dm ⁻³ |
|---------------------|--|
| Caolinita* | 50 - 150 |
| Montmorilonita* | 500 - 1.000 |
| Ilita* | 100 - 500 |
| Vermiculita* | 1.000 - 1.500 |
| Alofana* | 250 - 700 |
| Óxidos de Fe e Al | 20 - 50 |
| Substâncias húmicas | 1.500 - 5.000 |

* Argilas minerais.

Figura 34 - Capacidade de troca de cátions (CTC) de alguns coloides do solo sob condições tropicais. Adaptada de Mello et al. (1983).

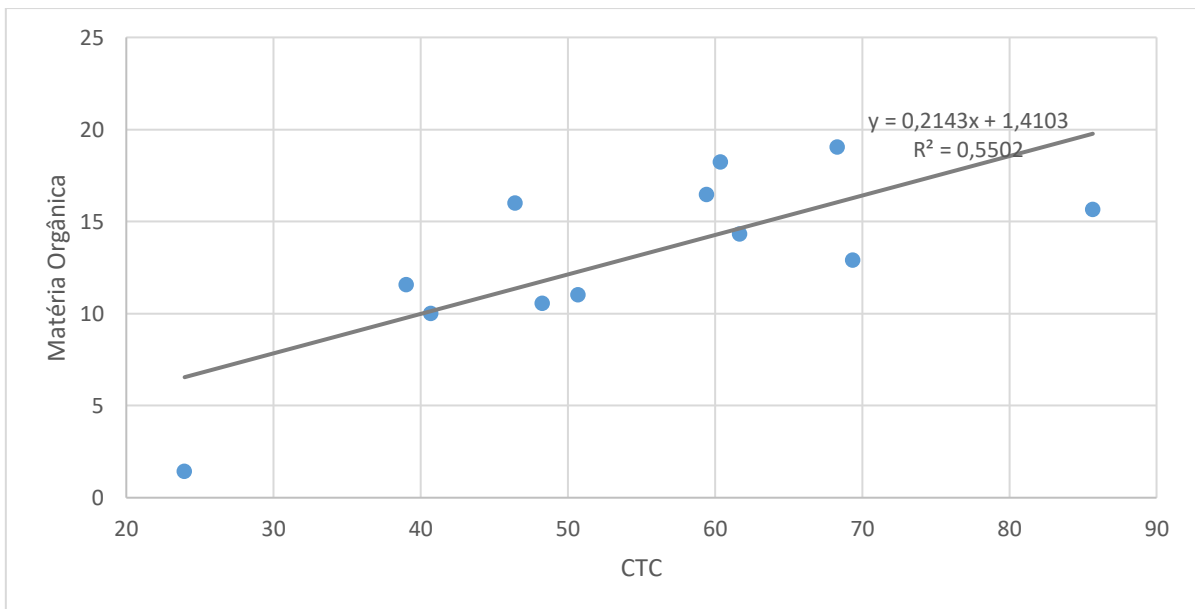
Em razão do maior número de cargas negativas (-) do que positivas (+) desses coloides, a adsorção é principalmente de cátions e, quanto maior apresenta-se este índice (matéria orgânica), diretamente proporcional será o aumento da CTC e da estabilidade dos agregados do solo. Houve desvios com relação ao terço superior da vertente 02 (Neossolo) e terço médio da vertente 03 (Cambissolo).

Gráfico 02: Dispersão entre matéria orgânica e CTC no horizonte superficial dos solos.



No horizonte subsuperficial, o padrão apresentou-se menor tanto para matéria orgânica como para a CTC, já que houve diminuição dos teores de matéria orgânica conforme aumento da profundidade, como o apresentado em Carmo *et al.* (2012).

Gráfico 03: Dispersão entre matéria orgânica e CTC no horizonte subsuperficial dos solos



Em seguida, no quadro 02, estão inseridas as características da relação Paisagem - Dinâmica hídrica - Dissecação do relevo - Classes de solos na bacia hidrográfica do rio Verde.

| Distância a partir da nascente | Superfície | Paisagem | Processo Hídrico Relevante | Intensidade Relativa do Processo Hídrico | Relevo | Processo de Dissecação | Classes de Solos | Usos predominantes | Média Comprimento de rampa (m) | Forma da vertente |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--|--|-----------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 0-11 Km | Superfícies Aplainadas de Interflúvio | Topos | Infiltração/ ressurgência | Rápida | Plano a Suave Ondulado | pouco dissecada | LVd1; LVd2; | Agropecuária | 300 | Retilíneo |
| | Vertentes | Margem dir. Verde | Escoamento subsuperficial, ressurgência, infiltração | Moderado/ Rápida | Suave Ondulado a Ondulado | Dissecacação lateral/ fraturas | LVd1; RL; CX | Agropecuária | 1800 | Convexa |
| | | Margem esq. Verde | Escoamento subsuperficial, ressurgência, infiltração | Moderado/ Rápida | Suave Ondulado a Montanhoso | Dissecacação lateral/ fraturas | LVd1; RL; CX | Agropecuária | 800 | Convexa |
| | Fundos de Vale | | Escoamento canalizado, ressurgência | Rápida | Plano a Suave Ondulado | Dissecacação lateral/ fraturas | RL; CX; g; HO | APPs | | Convexa-Côncava |
| 11-24 Km | Superfícies Aplainadas de Interflúvio | Topos | Infiltração/ ressurgência | Rápida | Plano a Suave Ondulado | pouco dissecada | LVd1; LVd2; | Agropecuária | 100 | Retilíneo |
| | Vertentes | Margem dir. Verde | Escoamento subsuperficial, infiltração | Moderado/ Rápida | Plano a Suave Ondulado | Dissecacação lateral do rio | RL; CX | Agropecuária | 800 | Convexa |
| | | Margem esq. Verde | Escoamento subsuperficial, infiltração | Moderado/ Lento | Plano a Suave Ondulado | Dissecacação lateral do rio | LVd1; RL; CX | Agropecuária e área urbana | 600 | Convexa |
| | Fundos de Vale | | escoamento canalizado, ressurgência. | Rápida | Plano a Suave Ondulado | Dissecacação lateral do rio | RL; CX; g; HO | APPs e área urbana | | Convexa-Côncava |

Quadro 02: Relação Paisagem /Dinâmica hídrica/Dissecação do relevo/ Classes de solos. (Adaptado de ROCHA, 1995).

VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS

I: Da área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Verde, inserida totalmente no município de Ponta Grossa, reflete, do ponto de vista estrutural, uma forte influência do arqueamento tectônico mais expressivo da porção sul-oriental da América do Sul: o Arco de Ponta Grossa (ZALAN et al, 1987), expressa pelo controle estrutural de sua drenagem. O padrão de drenagem predominante é o paralelo.

Com uma amplitude topográfica em torno de 270 metros para um relevo moderadamente dissecado, têm-se a presença de diferentes classes de solos desenvolvidos sobre a litologia do material do Grupo Paraná, predominantemente na Formação Furnas, material sedimentar depositado em ambiente flúvio marinho, na Era Paleozoica (Devoniano). Dado as suas propriedades, essa Formação apresenta características de aquífero, exigindo, por isso, controle de uso para garantir a qualidade hídrica.

II. Dos Resultados da Pesquisa

Quando a pesquisa é sobre Pedogeomorfogênese, alguns itens foram indispensáveis, como:

- a) Características litológicas e indicadores geomórficos das vertentes: morfometria da área e da drenagem
- b) Características bioclimáticas: usos da Terra e clima (precipitação, temperatura, etc.)
- c) O índice Erosividade, obtido pelo método de Thiessen, foi maior para o ano de 2015 em relação ao período compreendido entre 2000/2015. Isto reflete o comportamento das precipitações e em parte o estágio de uso do solo. As variações altimétricas locais não devem alterar, de modo significativo, os resultados obtidos. Sabe-se que o comportamento orográfico interfere diretamente no potencial erosivo, mas o método empregado desconsidera tal influencia.

O comportamento dos segmentos das vertentes (comprimento, declividade e forma) favorecem as variações nos atributos dos solos; ou seja, neste caso, a presença de solos distróficos nos terços superiores (Latosolos Vermelho Distrófico típico) e solos menos evoluídos pedogeneticamente nos terços inferiores (Cambissolos, Neossolos e Gleissolos). Também as variáveis pH, relação silte/argila, saturação por bases (V %) e por alumínio (m%) indicando solos mais intemperizados nas áreas de terço superior das vertentes e solos em menor

grau de evolução nos terços médio e inferior. Estes solos são os que apresentam maiores percentuais de saturação por alumínio (m%), de mais baixa fertilidade e maior susceptibilidade à erosão, merecendo atenção especial quanto ao manejo.

Considerou-se que a textura dos solos pode auxiliar como indicadores do grau de influência da formação Furnas e na pedomorfogênese. Observou-se o efeito destes materiais no perfil de solo como um todo, e supõe-se que os mesmos contribuíram igualmente na formação dos horizontes de superfície e subsuperfície. A mudança do material de origem também explica, em parte, as mudanças de alguns atributos químicos dos solos ao longo da encosta.

Nas vertentes analisadas, a passagem lateral de horizonte A moderado para A proeminente coincide com a transição terço médio para inferior, nas porções das vertentes onde crostas ferruginosas recobrem as rochas da formação Furnas, provocando impedimento de drenagem.

Por outro lado, entende-se que, a ocorrência da rede de drenagem com controle do falhamento de origem tectônico, favoreceu a ocorrência de vales em "V", fechados, e estes influenciam na formação de solos recentes como Cambissolos e Neossolos nos segmentos médio e inferior das vertentes que se apresentam-se mais próximos ao rio.

As vertentes de uso agropecuário analisadas, nesta pesquisa, são vertentes representativas na bacia hidrográfica do rio Verde e no município de Ponta Grossa. Desta forma, o trabalho contribui para a gestão adequada dos recursos naturais e das áreas de uso agropecuário.

Na vertente 01, são utilizadas práticas como o plantio direto, e de todas as áreas, é a que apresenta maior profundidade dos perfis de solo e adequação à Área de Preservação Permanente (APP). Porém, na mesma propriedade, o reflorestamento de espécies exóticas (*Pinus* sp.) na área de APP estão causando intensa dispersão desta espécie causando a supressão da vegetação nativa, fato bastante comum, na região dos Campos Gerais.

Já a vertente 02, apresenta solos frágeis (Neossolos nos terços superior e inferior) e intensamente impactados pelo uso pecuário (bovinocultura extensiva). Com isso, demonstrou-se que o manejo da área vem causando grande perda dos solos por transporte (fato observado no sopé de deposição da vertente), devido a declividade acentuada e elevados índices de erosividade. Nesta área, percebe-se a ocorrência de processos erosivos (do tipo laminar) mais intensos, e com isso, há a necessidade de conservação desses solos que são mais propícios à erosão, pois são arenosos, secos, ácidos, pouco coesivos e porosos. A topografia, a forma e o comprimento da vertente influenciam muito na velocidade de pedomorfogênese.

A vertente 03 apresenta a maior declividade dentre as demais. Percebe-se que a área agrícola possui práticas conservacionistas de solo (plantio direto), porém sua declividade acentuada e a presença de solos frágeis no terço inferior (ex. Gleissolos e Neossolos), exigem a implantação de zonas de manejo com base na variabilidade espacial dos solos.

Na vertente 04, recomenda-se a recomposição florestal em áreas de preservação permanente (APP) e a implantação do Sistema de Plantio Direto na área de produção agrícola, pois o revolvimento do solo causado pelo plantio convencional, que faz presente na área, agride o mesmo, acelerando o processo erosivo.

Os resultados obtidos pelas análises de solos das vertentes estudadas (estas selecionadas segundo os critérios pré-estabelecidos para esta pesquisa) permitem reafirmar a estreita relação solo-relevo, também para a área de abrangência da Formação Furnas, inserida no interior da Bacia Hidrográfica do Rio Verde, município de Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais do Paraná.

III: Da possibilidade de uso dos resultados

Acredita-se na importância de abordar a descrição e a análise de alguns atributos dos solos em relação a sua posição na vertente, pois esta leitura permite-nos indicar usos mais adequados à fragilidade desta litologia, ou seja, usos com maior aproveitamento econômico e sustentável do ponto de vista da gestão ambiental. Isto porque, os usos predominantes nesta porção da bacia, são o agropecuário com expansão para o uso urbano.

Após conclusão das análises teve-se uma compreensão maior sobre a distribuição pedomorfogênica, e principalmente sobre a relação dos solos com os três principais segmentos das vertentes, nesta área, que, por sua posição em relação à expansão urbana, tem merecido uma atenção especial por parte dos órgãos da gestão municipal de Ponta Grossa. Além disso, a Formação Furnas sustenta o aquífero de mesmo nome e comporta os dois principais mananciais- reservatório das águas que abastecem a população urbana: fazendo-se, por si só, necessárias políticas públicas efetivas em relação aos usos atuais e futuros das suas terras. Isto porque, o que se encontra (pedomorfogênese) na bacia do Rio Verde, também pode ocorrer ao longo da região dos Campos Gerais, nos domínios da Formação Furnas.

Espera-se que tais resultados venham a servir de subsídios à elaboração de futuros projetos voltados ao adequado manejo dos demais recursos naturais ali presentes, em especial: solo-água. Deseja-se que essas informações contribuam para a conservação de áreas ainda preservadas e disponíveis ou à recuperação de áreas já degradadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, G. S. de. Processos erosivos urbanos (p. 40-63). In: **Ambiente e Sedimentos**. POLETO, C. (Org.). Porto Alegre: ABRH, 2008, 404p.
- ANJOS, L.H.; FERNANDES, M.R.; PEREIRA, M.G. & FRANZMEIER, D.P. **Landscape and pedogenesis of na Oxisol-Inceptisol-Ultisol sequence in Southeastern Brazil**. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:1651-1658, 1998.
- ANTROP, M. Background concepts for integrated landscape analysis. **Agriculture Ecosystems & Environment**, 2000.
- ASSINE, M.L.; **Fácies, Icnofósseis, Paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no Flanco Sudeste da Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências 29(3):357-370, 1999.
- ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer 2011. Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>, Acesso em: 06/07/2014.
- AZEVEDO, A.C. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos, **Rev. Ciência Rural**, vol.34 n.2 Santa Maria, 2004.
- BERTRAND, G.; BERTRAND, C;. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008.
- BIRKELAND, P. W. Soil-geomorphic research – a selective overview. **Geomorphology**, London, n.3,1990.
- BIRKELAND, P. W. **Soils and geomorphology**. New York: Oxford University Press, 1984, 430p.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Volume 3. Editora UFSC, Florianópolis, 2003.
- BRASIL. **Código Florestal**: Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.
- BOCKHEIM, J.G.; GENNADIYEV, A.N.; HAMMER, R.D. & TANDARICH, J.P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, 24:23-36, 2005.
- BOCQUIER, G. Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation byogéodynamique. Paris, ORSTOM, 1973.
- BURNS, S.F. & TONKIN, P. J. Soil-geomorphic models on the spatial distribution and development of alpine soils. In: THORN, C. E. ed. Space and Time in Geomorphology. London: **Allen Unwin**, 1982.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems of land resources assesment**. Francis & Taylor, 1986.
- CALIL, P.M., OLIVEIRA, L.F.C., KLIEMANN, H.J., OLIVEIRA, V.A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.433-442, 2012.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas.** Campinas, Instituto Agrônomo, 94p, 1986.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.06, n.01, p.104-114, 2006.

CAMPOS, M.C.C.; JUNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L.A.; **Relações Solo-Paisagem em uma litosequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP.** R. Bras. Ci. Solo, 31:519-529, 2007.

CAPECHE, C. L. **Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista.** Comunicado Técnico n° 51, Embrapa, Rio de Janeiro, 2008.

CARDOSO, E.L., SILVA, M.L.N., CURI, N., FERREIRA, M.M e FREITAS, D.A.F.; Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal Sul-mato-grossense. **R. Bras. Ci. Solo**, v.35, 2011.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S. e AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, 2009.

CARVALHO, N. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro. CPRM,1994.

CARVALHO, S. M. **O Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) como subsídio à Gestão Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Quebra-Perna, Ponta Grossa – PR.** 2004. 183f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GURRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** 4. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001. p. 415-440.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Morfologia de bacias de drenagem.** Not. Geomorfol., 18:130-132, 1978.

CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas: Uma introdução à geografia física.** 7^{ed}, Bookman, 2012.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) **Geomorfologia: uma Base de Atualização e Conceitos.** 4^a ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacia como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: Aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari – SP.** Tese de Doutorado. USP, São Carlos, 2000.

CONACHER, A. J. & DALRYMPLE, J. B. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research. **Geoderma**, London, n. 18., 1977.

CRIVELENTI, R. C. **Mineração de dados para inferência da relação solo-paisagem em mapeamento digitais de solo.** Dissertação (Mestrado em Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais) Instituto Agronômico - Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico de Campinas, 2009.

CRUZ, G. C.F. **Alguns Aspectos do Clima dos Campos Gerais.** In: MELO, M.SM; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G. B. (Org.) Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007.

CRUZ, G.C.F. **Clima urbano de Ponta Grossa-PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade media subtropical brasileira.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual de São Paulo, 2009.

DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J. & CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit land a surface model. *Z. Geomorphology*, 12:60-76, 1968.

DANIELS, R. B. & HAMMER, R. D. Soil Geomorphology. New York, **John Wiley & Sons**, 1992.

DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.F. & CADY, J.G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Adv. Agron.**, 1971.

DAUBRÉE, A. Geologie expérimentéle. **Paris Dunod**, Paris, p. 357, 1879.

DEBELLA-GILO, M.; ETZELMULLER, B.; KLAKEGG, O. **Digital soil mapping using digital terrain analysis and statistical modeling integrated into GIS: Examples from Vestfold county of Norway.** In: Scandinavian Research Conference on Geographical Information Sciences, ScanGIS, 2007.

DEMATTÊ, J.A.M. & DEMÉTRIO, V.A. **Fotointerpretação de padrões de drenagem em amostras circulares na caracterização de solos basálticos do estado do Paraná.** R. Bras. Ciência do Solo, 20:109-115, 1996.

DEMATTÊ, J.L.I.; MARCONI, A.; SPAROVEK, G. ; VIDALTORRADO, P. **Estimativa da evolução do intemperismo mediante ganhos e perdas de íons numa seqüência de solos desenvolvidos de diabásio e influenciados pela drenagem em Piracicaba, SP.** R. Bras. Ci. Solo. 15:69-73, 1991.

DUTTON, C. E. **Tertiary history of the Grand Canyon district.** U. S. Geological Survey Mon, 422 p. 1882.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de Análise de Solo.** Rio de Janeiro, 1997.

ETCHEBEHERE, M.L.C. **Terraços neoquatrenários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas.** Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

ESPINDOLA, C.R. 2010. Descompassos entre a geomorfologia e a pedologia no estudo da evolução da paisagem. In: **UGB, Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 7, Recife, Palestra - Mesa Redonda “Relação Morfogênese x Pedogênese”.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

FLORINSKY, I.V.; EILERS, R. G.; MANNING, G.; FULLER, L.G. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. **Environmental Modelling and Software**, v. 17, 2002.

FRANÇA, G.V. **Interpretação fotográfica de bacias e de rede de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba, SP**. (Tese de Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1968. 151p.

GERRARD, A. J. Soil geomorphology – present dilemmas and future challenges. **Geomorphology**, London, n.7, 1993.

GERRARD, J. **Soil geomorphology**. An integrated of pedology and geomorphology. London, Ed. Chapman e Hall, 1992.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN J. SoilLandscape modelling to quantify spatial sariability of soil texture. **Physics and Chemistry of the Earth. Oxford**, v.26, 2001.

GRAHAM, R.C.; BUOL,S.W; Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge Front: Soil characteristics and pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am.* 54: 1367-1376, 1990.

GRANELL-PÉREZ, M.D.C. **Trabalhando Geografia com as Cartas Topográficas**. Unijuí, 2.ed., Rio Grande do Sul, 2004.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B.; **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7°ed, Bertrand Brasil, 2007.

GUIMARÃES et al. **Geologia dos Campos Gerais**. In: MELO, Mário Sergio; MORO, Rosemeri Segecin; GUIMARÃES, Gilson Burigo (Ed.). Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa, PR: Ed. UEPG, 2007. p. 23-32.

HÖFIG, P. **Mapeamento digital de solos e o mapa de solos como ferramenta para classificação de aptidão de uso das terras**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2014.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56:275-370, 1945.

HOWARD, A.D. **Drainage analysis in geologic interpretation: summation**. *Bulletin American Association of Petroleum Geologist*, 51 (11): 2246-2259, 1967.

HUGGET, R. J. **Soil Landscape Systems: A model of soil genesis**. *Geoderma*, v.13, p.01-22, 1975.

HUGGETT, R. J. **Geocology – An Evolutionary approach**. Routledge, 1995.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia do Brasil**, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 2ºed, 182p., 2009.

IPARDES – INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Relação dos municípios do estado ordenados segundo as mesorregiões e as microrregiões geográficas do IBGE - Paraná – 2012**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/relacao_mun_micros_mesos_parana.pdf > Acesso em 28/02/2016.

ITCG – INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. **Produtos Cartográficos**, 2006. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=55>. Acesso:18/07/2015.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill. 281 p., 1941.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo. Ed. Oficina de Textos, 2011.

LOWEN, C.L. **Favelas: um aspecto da expansão urbana de Ponta Grossa – PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1990.

MAACK R. **Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná**. Curitiba, Arquivos de Biologia e Tecnologia, v. 02, p.102-200, 1948.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3.ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MACHADO, G.; SOUZA, J.O.P. **Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Chôco – Ibaíti – PR**. In: Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, São Paulo, 2005.

McBRATNEY, A. B. et al. **An overview of pedometric techniques for use in soil survey**. Geoderma, v.97, p.293-327, 2000.

MELLO, F. A.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRANETO, A.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MELO, M.S.; **Perfurações de cupins e geomorfogênese em arenitos paleozoicos da região dos Campos Gerais do Paraná**. Quaternary and Environmental Geosciences; 04:25-33, 2013.

MELO, M.S.; **Aquífero Furnas - Urgência na Proteção de Mananciais Subterrâneos em Ponta Grossa, PR**. In: **Seminário Internacional “Experiências de Agendas 21: Os desafios do nosso tempo**. Ponta Grossa, 2009.

MELO, M.S.; GUIMARÃES G.B.; PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FIGURIM, I.; BAGATIM, H.Q.; GIANNINI, P.C.F.; **Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná/ Brasil e as implicações para a região**. Espeleo-Tema, v. 22, n.1, p. 79-95, 2011.

MELO, M.S.; **Perrengas Princesinas**. Ponta Grossa. Ed. Todapalavra, 2015.

MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Ed. UEPG, p. 59-72, 2007.

MELTON, M. A. **An analysis of the among elements of climate, surface properties and geomorphology**. Technical Report. 11:23-41, 1957.

- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Londres, **Soil Research** v. 4, n. 2, p.183-98, 1934.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Atlas geológico e geomorfológico do estado do Paraná**: escala base 1:250.000, Curitiba: MINEROPAR/UFPR, 2006.
- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON G. A. **Soil attribute prediction using terrain analysis**. Soil Science Society American Journal, Madison, v. 57, p. 443 - 452, 1993.
- MULLA, D.J. & MCBRATNEY, A.B. Soil spatial variability. In: **SUMMER, M.E. Handbook of soil science**. New York, CRC Press, 1999.
- MUNSELL, Munsell® **Soil Color Charts**. Baltimore. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975.
- OLIVEIRA, K.A. **Estado atual das condições físico-naturais da zona de confluência do Alto curso do rio Pitangui-Represa do Alagados, PR**. 2011, 96f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2011.
- OLIVEIRA, K.A. **A influência morfoestrutural da rede de drenagem na Bacia do Alto Curso do Rio Pitangui – Paraná**. 2015, 172f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2015.
- OLIVEIRA, K.A. e CASSOL PINTO, M.L. Correlação morfoestrutural da rede de drenagem na bacia do Alto curso do rio Pitangui – Paraná. **Revista Geoinfórmica**, v. 7, n. 1, p. 25-41, 2015.
- OLIVEIRA FILHO, R.; BARRETO, K.T.; PINTO, M. L. PEREIRA, D. C.; RIBEIRO, C.A. **Controle estrutural e processos de carstificação na bacia hidrográfica do rio Verde, Ponta Grossa, Paraná**. In: XIV Colóquio Ibérico de Geografia, Guimarães, Portugal, 2014.
- PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J.; RAWLS, W. J. **Soil water retention as related to topographic variables**. Soil Science Society American Journal. Madison, v. 65, 2001.
- PARK, S.J. & BURT, T.P. **Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope**. Soil Sci. Soc. Am. J., 2002.
- PEREIRA, D.C., OLIVEIRA FILHO, R., CARNEIRO, M. M., LIMA, D., CASSOL PINTO, M.L. Lineamentos estruturais da borda oriental da Bacia Sedimentar do Paraná: um estudo entre Carambeí e Ponta Grossa, nos Campos Gerais do Paraná. **Revista Geonorte**, 2015.
- PETERSCHMITT, E.; FRITSCH, E.; RAJOT, J.L. e HERBILLON, A.J. Yellowing, bleaching and ferritisation processes in soil mantle of the Western Ghâts, South India. **Geoderma**, 74:235-253, 1996.
- PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo: UNESP, 1996.
- PONTA GROSSA. **Plano Diretor de Ponta Grossa**. Curitiba: Fortes Neto, 1992.
- PONTA GROSSA. **Plano Diretor Participativo do Município de Ponta Grossa**, 2006.
- PONTES, H.S.; **Espacialização de feições cársticas da Formação Furnas: ferramenta para Gestão do Território no Município de Ponta Grossa (PR)**. 2014, 165f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2014.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 01, p. 59-67, 2000.

ROCHA, C.H. **Ecologia da paisagem e manejo sustentável em bacias hidrográficas: estudo do rio São Jorge nos Campos Gerais do Paraná**. 1995, 188f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Paraná, 1995.

ROCHA, C.H.; WEIRICH NETO, P.H. Padrões de uso das terras e implicações ambientais. In: GEALH, A. M.; MELO, M. S.; MORO, R. S. (Orgs.) **Pitangui, rio de contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente**. Ponta Grossa: UEPG, 2010.

RUHE, R.V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil science**, v. 82, p. 441-455, 1956.

SÁ, M.F.M.; **Influência do material de origem, superfícies geomórficas e posição na vertente nos atributos de solos da região dos Campos Gerais, PR**. 1995, 204f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995.

SÁ, M.F.M.; Os solos dos Campos Gerais. In: **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: UEPG, 2007.

SALGADO, C.M. Pedogeomorfologia: uma nova disciplina para a análise ambiental. **Tamoios**, 2005.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SANTOS, J.E; PIRES, J.S.R. Bacias Hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, v.19, 1995.

SCHEFFER, S.D. Espaço urbano e Política Habitacional: uma análise sobre Ponta Grossa. **Emancipação**, p. 257-278, 2006.

SCHUMM, S. A. **River response to baselevel change: Implications for sequence stratigraphy**, *Journal of Geology*, v.101, p. 279-294, 1993.

SCHUMM, S. A.; DUMONT, J.F.; HOLBROOK, J.M. **Active tectonics and aluvial Rivers**. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

SILVA, C.C. **Mapeamento digital de classes de solo: aplicação de metodologia na folha Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3) e validação de campo**. Dissertação. (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Campinas: Instituto Agrônomo, 2012.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio de atributos do terreno, índices espectrais e geologia integrados por redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra. Curitiba, 2008.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. *Trans. Am. Geophys. Un.*, 38:913-920, 1957.

TEIXEIRA, W. et al. (2003). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos. 558 p.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.38, n.3, p.139-151, 1992.

TOPODATA – **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil (2009)**. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>, acessado no dia 30/10/2015.

TOY, T.J. Topographic reconstruction: the foundation of reclamation. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, SBRAD, 1988. 251p.

TRESS, G.; TRESS, B.; FRY, G. Clarifying integrative research concepts in landscape ecology. **Landscape Ecology**, v. 20, n.4, p.479-493, 2005.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. Campinas, **Geomorfologia**, 1968.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v.263, p.616-627, 1965.

VELOSO, A. J. G. **Importância do Estudo das Vertentes**. Universidade Federal Fluminense, 2009.

VILSON, L. **Ciência e Pesquisa: livro didático**. 2ªed, Palhoça, 2007.

USGS - U.S. Geological Survey. **Imagens do satélite Landsat Oli 8**. 2015. Disponível em: <http://www.usgs.gov/> Acesso em: 03/03/2015.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.04, p.85-144, 2005.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

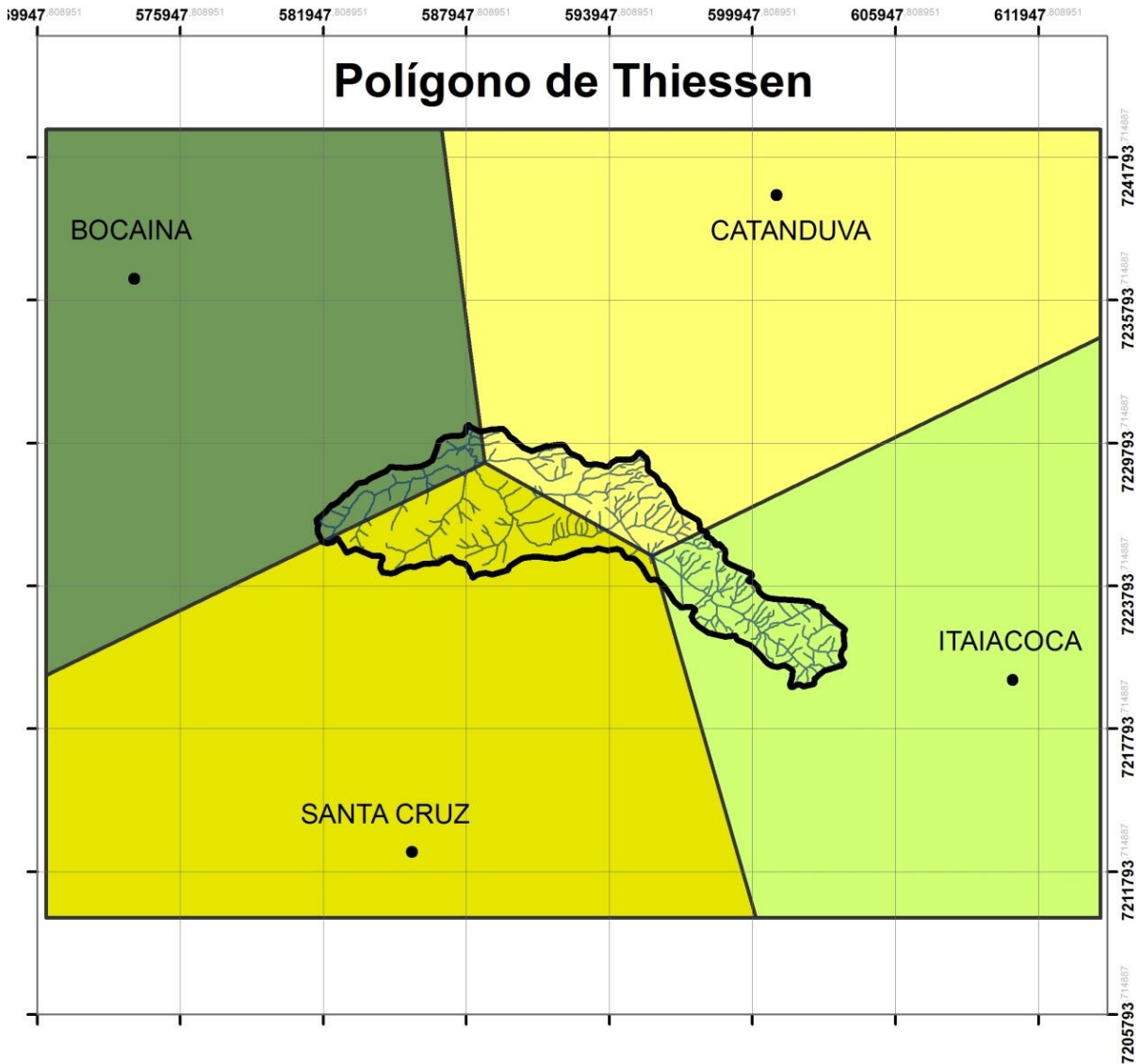
WILLIS, B. The northern Appalachians. **National Geographic Society Mon.** v. 1, n. 6, p. 169-202, 1895.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain Analysis: Principles and Applications**. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2000.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. **Bacia do Paraná**. In: GABAGLIA, G.R.; MILANI, E.J. (Eds.) **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1991.

ZERNITZ E.R. Drainage patterns and their significance. **J. Geology**, 1932.

ANEXOS



Legenda

● Postos Pluviométricos

— Rio Verde

▭ Delimitação Verde

Postos

■ Bocaina

■ Catanduva

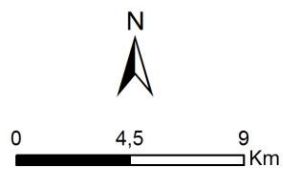
■ Itaiacoca

■ Santa Cruz

Informações Cartográficas

Localização: Bacia Hidrog. do Rio Verde - P. Grossa (PR)
Área: 85,706 Km²

Sistema de Projeção: UTM
Datum Horizontal: SAD 69



ANEXO 01 - Polígono de Thiessen referente a bacia hidrográfica do rio Verde

| Vertente 01 | | | |
|---|--|--|---|
| | <i>Perfil n° 1</i> | <i>Perfil n° 2</i> | <i>Perfil n° 3</i> |
| Data | 11/06/2015 | 11/06/2015 | 11/06/2015 |
| Localização | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 598065m – 7223273m; | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 594160m-7226559m | Município de Ponta Grossa. Coordenadas SG22 597859m-7223007m |
| Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil | Corte no terreno situado no terço inferior da vertente 01, 14% de declive, Pastagem. | Corte em terreno situado no terço médio vertente 02, 10% de declive, Pastagem. | Corte em terreno situado em terço superior da vertente 01, 8% de declive, culturas anuais de inverno (trigo). |
| Altitude | 958 metros | 974 metros | 1011 metros |
| Litologia | Arenito | Arenito | Arenito |
| Formação Geológica | Grupo Paraná, Formação Furnas | Grupo Paraná, Formação Furnas | Grupo Paraná, Formação Furnas |
| Período | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano |
| Material Originário | Produto intemperizado do material supracitado | Produto intemperizado do material supracitado | Produto intemperizado do material supracitado |
| Pedregosidade | Não pedregoso | Não pedregoso | Não pedregoso |
| Rochosidade | Não rochoso | Não rochoso | Não rochoso |
| Relevo local | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa |
| Relevo regional | Suave ondulado | Suave ondulado | Suave ondulado |
| Erosão | Não aparente | Não aparente | Não aparente |
| Drenagem | Moderadamente drenado | Bem drenado | Bem drenado |
| Vegetação Primária | Campo Subtropical | Campo Subtropical | Campo Subtropical |
| Uso | Pecuária | Agrícola | Agrícola |
| Clima | Cfb | Cfb | Cfb |
| Talude de corte | 78 centímetros | 107 centímetros | 150 centímetros |
| Descrito e coletado por | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz |
| Auxílio para classificação | Paulo Carrilho | Paulo Carrilho | Paulo Carrilho |

| Vertente 02 | | | |
|---|---|--|--|
| | <i>Perfil n° 4</i> | <i>Perfil n° 5</i> | <i>Perfil n° 6</i> |
| Data | 11/01/2016 | 11/01/2016 | 11/01/2016 |
| Localização | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 594260m-7226477m | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 594160m-7227587m | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 594114m-7226559m |
| Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil | Corte no terreno situado em terço inferior da vertente 02, 8% de declive, Pastagem. | Corte em terreno situado no terço médio vertente 02, 10% de declive, Pastagem. | Corte no terreno situado no terço superior da vertente 02, 10% de declive, Pastagem. |
| Altitude | 932 metros | 944 metros | 952 metros |
| Litologia | Arenito | Arenito | Arenito |
| Formação Geológica | Grupo Paraná, Formação Furnas | Grupo Paraná, Formação Furnas | Grupo Paraná, Formação Furnas |
| Período | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano |
| Material Originário | Produto intemperizado do material supracit. | Produto intemperizado do material supracit. | Produto intemperizado do material supracit. |
| Pedregosidade | Não pedregoso | Não pedregoso | Não pedregoso |
| Rochosidade | Presente abaixo dos 60 cm. | Presente abaixo dos 66 cm. | Presente abaixo dos 33 cm |
| Relevo local | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa |
| Relevo regional | Suave ondulado | Suave ondulado | Suave ondulado |
| Erosão | Não aparente | Não aparente | Não aparente |
| Drenagem | Moderadamente drenado | Moderadamente drenado | Moderadamente drenado |
| Vegetação Primária | Campo Subtropical | Campo Subtropical | Campo Subtropical |
| Uso | Pecuária | Pecuária | Pecuária |
| Clima | Cfb | Cfb | Cfb |
| Talude de corte | 60 centímetros | 66 centímetros | 33 centímetros |
| Descrito e coletado por | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz |
| Auxílio para classificação | Paulo Carrilho | Paulo Carrilho | Paulo Carrilho |

| Vertente 03 | | | |
|---|--|--|---|
| | <i>Perfil nº 7</i> | <i>Perfil nº 8</i> | <i>Perfil nº 9</i> |
| Data | 11/06/2015 | 11/06/2015 | 11/06/2015 |
| Localização | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 598065m – 7223273m; | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 597960m-7223559m | Município de Ponta Grossa. Coordenadas SG22 597859m-7223007m |
| Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil | Corte no terreno situado no terço inferior da vertente 03, 14% de declive, Pastagem. | Corte em terreno situado no terço médio vertente 03, 10% de declive, Pastagem. | Corte em terreno situado em terço superior da vertente 03, 8% de declive, culturas anuais de inverno (trigo). |
| Altitude | 958 metros | 974 metros | 1011 metros |
| Litologia | Arenito | Arenito | Arenito |
| Formação Geológica | Grupo Paraná, Formação Furnas | Grupo Paraná, Formação Furnas | Grupo Paraná, Formação Furnas |
| Período | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano |
| Material Originário | Produto intemperizado do material supracitado | Produto intemperizado do material supracitado | Produto intemperizado do material supracitado |
| Pedregosidade | Não pedregoso | Não pedregoso | Não pedregoso |
| Rochosidade | Não rochoso | Não rochoso | Não rochoso |
| Relevo local | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa |
| Relevo regional | Suave ondulado | Suave ondulado | Suave ondulado |
| Erosão | Não aparente | Não aparente | Não aparente |
| Drenagem | Moderadamente drenado | Moderadamente drenado | Bem drenado |
| Vegetação Primária | Campo Subtropical | Campo Subtropical | Campo Subtropical |
| Uso | Pecuária | Pecuária | Agrícola |
| Clima | Cfb | Cfb | Cfb |
| Talude de corte | 78 centímetros | 90 centímetros | 200 centímetros |
| Descrito e coletado por | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz |
| Auxílio para classificação | Paulo Carrilho | Paulo Carrilho | Paulo Carrilho |

| Vertente 04 | | | |
|---|---|--|---|
| | <i>Perfil nº10</i> | <i>Perfil nº11</i> | <i>Perfil nº12</i> |
| Data | 13/01/2016 | 13/01/2016 | 13/01/2016 |
| Localização | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 591269m – 7228265m; | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 591402m – 7228503m; | Município de Ponta Grossa. Coordenadas: SG22 592011m – 7229546m; |
| Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil | Corte de estrada situado em terço inferior da vertente 04, 5% de declive, Leguminosas (soja). | Corte de estrada situado em terço médio da vertente 04, 5% de declive, Leguminosas (soja). | Corte em terreno situado no terço superior da vertente 04, 3% de declive, solo arado (sem cobertura vegetal). |
| Altitude | 931 metros | 948 metros | 1000 metros |
| Litologia | Arenito | Arenito | Arenito |
| Formação Geológica | Grupo Paraná, Transição Formação Fumas e Ponta Grossa | Grupo Paraná, Transição Formação Fumas e Ponta Grossa | Grupo Paraná, Transição Formação Fumas e Ponta Grossa |
| Período | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano | Silurio-Devoniano |
| Material Originário | Produto de retrabalhamento intemperizado de arenito e folhelho | Produto de retrabalhamento intemperizado de arenito e folhelho | Produto de retrabalhamento intemperizado de arenito e folhelho |
| Pedregosidade | Não pedregoso | Não pedregoso | Não pedregoso |
| Rochosidade | Não rochoso | Presente abaixo dos 68 cm | Não rochoso |
| Relevo local | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa | Ondulado, vertente convexa |
| Relevo regional | Suave ondulado | Suave ondulado | Suave ondulado |
| Erosão | Não aparente | Não aparente | Não aparente |
| Drenagem | Moderadamente drenado | Moderadamente drenado | Bem drenado |
| Vegetação Primária | Campo Subtropical | Campo Subtropical | Campo Subtropical |
| Uso | Pecuária | Pecuária | Agrícola |
| Clima | Cfb | Cfb | Cfb |
| Talude de corte | 140 centímetros | 120 centímetros | 85 centímetros |
| Descrito e coletado por | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz | Karla Thais Barreto, Ricardo Botelho Luz |
| Auxílio para classificação | Paulo Camilho | Paulo Camilho | Paulo Camilho |