



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ESTEVÃO CONCEIÇÃO GOMES JUNIOR

**SEGMENTAÇÃO DE VERTENTES COMO FERRAMENTA  
AUXILIAR NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**

CAMPINAS  
2017

**ESTEVÃO CONCEIÇÃO GOMES JUNIOR**

**SEGMENTAÇÃO DE VERTENTES COMO FERRAMENTA  
AUXILIAR NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração Água e Solo.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Mara de Andrade Marinho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ESTEVÃO CONCEIÇÃO GOMES JUNIOR, E ORIENTADO PELO PROFA. DRA. MARA DE ANDRADE MARINHO.

**CAMPINAS  
MARÇO DE 2017**

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** CNPq, 132051/2015-0

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

G585s Gomes Junior, Estevão Conceição, 1991-  
Segmentação de vertentes como ferramenta auxiliar no mapeamento digital de solos / Estevão Conceição Gomes Junior. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Mara de Andrade Marinho.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Algoritmos. 2. Solos. I. Marinho, Mara de Andrade, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Slope segmentation as an auxiliary tool in digital soil mapping

**Palavras-chave em inglês:**

Algorithms

Soil

Digital Soil Mapping

Geomorphometry

**Área de concentração:** Água e Solo

**Titulação:** Mestre em Engenharia Agrícola

**Banca examinadora:**

Mara de Andrade Marinho [Orientador]

David de Carvalho

Marcilene dos Santos

**Data de defesa:** 02-03-2017

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Estevão Conceição Gomes Junior**, aprovada pela Comissão Julgadora em 02 de março de 2017, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

# FEAGRI

---

**Prof.ª Dr.ª Mara de Andrade Marinho – Presidente e Orientadora**  
FEAGRI/UNICAMP

---

**Prof.ª Dr.ª Marcilene dos Santos – Membro Titular**  
UNESP/Ourinhos

---

**Prof. Dr. David de Carvalho – Membro Titular**  
FEAGRI/UNICAMP

Faculdade de  
**Engenharia Agrícola**  
Unicamp

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do discente.

## RESUMO

Nos últimos anos, as pesquisas voltadas para o estudo quantitativo da variabilidade dos solos e de seus atributos ganhou destaque nas pesquisas em Ciência do Solo, proporcionada pelo avanço das Geotecnologias, Sistemas de Informação e dos recursos computacionais como um todo. Desta forma, a Pedometria desponta como a vertente em Ciência do Solo voltada à geração de informação pedológica quantitativa e geoespacial empregando modelos numéricos e variáveis ambientais correlacionadas com a distribuição dos solos na paisagem, como geologia e relevo. Com a proposição de utilização de variáveis ambientais para Mapeamento Digital de Solos (MDS), o fator pedogenético *relevo* e os parâmetros morfofisiográficos dele derivados podem ser empregados na predição de classes de solo, possibilitando a diminuição de trabalhos de campo e da densidade amostral de solos, reduzindo custos e otimizando a obtenção dos resultados. O presente trabalho visou testar e validar algoritmo computacional para segmentação automática de vertentes como variável auxiliar ao MDS. A área de estudo se situa na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHCC) em Piracicaba/SP. Tendo o Modelo Digital de Elevação (MDE) como dado de entrada, o algoritmo identificou para a MHCC todas as onze formas da superfície descritas na base conceitual do algoritmo, predominando nas sub-bacias as vertentes em sela, vertentes convexas e regiões de cumeeira. A segmentação em campo para obtenção da “verdade terrestre” acusou correspondência de 85% entre segmentação automatizada e a realizada em campo; as maiores declividades em 91% dos casos estavam relacionadas às regiões de ocorrência das vertentes convexas. Nas formas da superfície onde as declividades foram baixas ou nulas (inferiores a 1%) o algoritmo indicou áreas de planície ou sumidouro. A partir do cruzamento do Mapa de Solos detalhado da MHCC já publicado e as formas da superfície indicadas pelo algoritmo, verificou-se que as áreas de planície ocorriam unidades de mapeamento (UM) onde a ordem dos GLEISSOLOS ocorria como componente principal na UM, como esperado visto a condição de hidromorfismo dessa ordem de solos, indicando alta acurácia do algoritmo em mapear solos nesta condição; nas vertentes convexas com declividades superiores a 6% ocorreram à subordem dos NEOSSOLOS LITÓLICOS e/ou REGOLÍTICOS.

**Palavras-chave:** morfometria, mapeamento de solos detalhado, unidades de vertente.

## ABSTRACT

In the last years, the researches focused on the quantitative study of the soil variability and its attributes gained prominence in the studies in Soil Science, provided by the advancement of Geotechnologies, Information Systems (GIS) and computational resources as a whole. In this way, Pedometrics emerges as the ground science strand geared towards the generation of quantitative and geospatial pedological information using numerical models and environmental variables correlated with the distribution of soils in the landscape, such as geology and relief. With the proposition of the use of environmental variables for Digital Soil Mapping (DSM), the pedogenetic relief factor and the morphophysiological parameters derived from it can be used to predict soil classes, making it possible to reduce field work and soil sample density, reducing costs and optimizing the achievement of results. The present work aimed to test and validate computational algorithm for automatic segmentation of slopes as an auxiliary variable to DSM. The study area is located in the Córrego do Ceveiro Watershed Stream (MHCC) in Piracicaba /SP. With the Digital Elevation Model (DEM) as input, the algorithm identified for MHCC all eleven surface shapes described in the conceptual basis of the algorithm, predominating in the sub-basins the saddle slopes, convex slopes and ridge regions. Field segmentation to obtain "earth truth" accounted for 85% correspondence between automated and field segmentation; the largest declivities in 91% of the cases were related to the regions of occurrence of the convex slopes. In the surface forms where the slopes were low or zero (less than 1%) the algorithm indicated areas of flat. From the crossing of the detailed Soil Map of the MHCC already published and the surface shapes indicated by the algorithm, it was verified that the lowland areas were mapping units (MU) where the order of the Aquents occurred as the main component in the MU, as expected as the hydromorphism condition of this order of soils, indicating high accuracy of the algorithm in mapping soils in this condition; in convex slopes with slopes greater than 6% occurred to the order of Entisols.

**Key-words:** morphometry, detailed soil mapping, hillsides.

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Definições e interpretações de algumas variáveis morfométricas <i>de forma</i> do relevo.....	17
<b>Tabela 2.</b> Definições e interpretações de algumas variáveis morfométricas de fluxo do relevo.....	18
<b>Tabela 3.</b> Classificação das formas da superfície gerados pelo algoritmo de Pellegrini.....	24
<b>Tabela 4.</b> Declividade, área (ha) e área relativa (%) da MHCC.....	28
<b>Tabela 5.</b> Áreas de ocorrência (em ha e % em relação à área total) das formas da superfície caracterizadas pelo TOPOSHAPE na MHCC.....	36
<b>Tabela 6.</b> Altitudes inicial (topo) e final (planície aluvial), desníveis e comprimentos de seis topossequências da MHCC.....	39
<b>Tabela 7.</b> Topossequência I: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.....	41
<b>Tabela 8.</b> Topossequência II: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.....	48
<b>Tabela 9.</b> Topossequência III: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.....	53
<b>Tabela 10.</b> Topossequência IV: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.....	57
<b>Tabela 11.</b> Topossequência V: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.....	60
<b>Tabela 12.</b> Formas da superfície e dados do meio físico na topossequência VI .....	64
<b>Tabela 13.</b> Topossequência I: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.....	67
<b>Tabela 14.</b> Topossequência II: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.....	68
<b>Tabela 15.</b> Topossequência III: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.....	69
<b>Tabela 16.</b> Topossequência IV: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.....	70
<b>Tabela 17.</b> Topossequência V: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.....	70
<b>Tabela 18.</b> Topossequência VI: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.....	71

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Classificação da superfície topográfica de Gaussian.....	19
<b>Figura 2.</b> Modelo de vertente proposto por Dalrymple et al. (1968), explicitando as unidades de vertente e os processos geomórficos dominantes (modificado de Cristofolletti, 1974).....	21
<b>Figura 3.</b> Uma janela 3x3 plano quadrática com grid, onde w representa o grid espacial em metros (1 a 9); x e y os eixos cartesianos.....	23
<b>Figura 4.</b> Localização da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro.....	27
<b>Figura 5.</b> Mapa de declividades em porcentagem da MHCC derivado do Modelo Digital de Elevação.....	28
<b>Figura 6.</b> Litologia da MHCC.....	29
<b>Figura 7.</b> Modelo digital de elevação dentro dos limites da MHCC.....	31
<b>Figura 8.</b> Medição digital da declividade do terreno com o aparelho DNM 120L Professional.....	33
<b>Figura 9.</b> Modelo polinomial do vizinho mais próximo nas células geradas a partir do MDE.....	35
<b>Figura 10.</b> Formas da superfície na MHCC conforme classificação automática pelo algoritmo TOPOSHAPE (Pellegrini, 1995).....	37
<b>Figura 11.</b> Disposição do ponto sela (em verde) associado à planície (em azul) na MHCC.....	37
<b>Figura 12.</b> Disposição da forma de superfície “Planície (P)” (em azul) e a associação com os cursos hídricos da MHCC (em lilás).....	38
<b>Figura 13.</b> Perfil topográfico da Topossequência I, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos.....	43
<b>Figura 14.</b> Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da topossequência I.....	44
<b>Figura 15.</b> Litologia da MHCC (extraída de OLIVEIRA, 1999), com a localização da topossequência I. No detalhe, aspecto do folhelho do Grupo Passa Dois, associado à unidade de mapeamento RLe4 (NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura argilosa + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, textura média), próximo ao ponto de amostragem 6).....	45
<b>Figura 16.</b> Em <b>a.</b> , coloração variegada composta de amarelo (10YR 6/6, úmido), bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido), bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmido); em <b>b.</b> , coloração variegada composta de amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido), bruno-amarelo-escuro (10YR 4/6, úmido), bruno (10YR 4/3, úmido).....	47
<b>Figura 17.</b> Perfil topográfico da Topossequência II, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e locais de amostragem dos solos.....	49
<b>Figura 18.</b> Representação esquemática da feição em sela no terreno segundo Ab’Sáber (2003), adaptada.....	48
<b>Figura 19.</b> Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da topossequência II.....	50
<b>Figura 20.</b> Perfil topográfico da Topossequência III, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e locais de amostragem dos solos.....	54
<b>Figura 21.</b> Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da topossequência III.....	55

	Página
<b>Figura 22.</b> Perfil topográfico da Topossequência IV, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e locais de amostragem dos solos.....	58
<b>Figura 23.</b> Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da topossequência IV.....	59
<b>Figura 24.</b> Perfil topográfico da Topossequência V, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e locais de amostragem dos solos.....	61
<b>Figura 25.</b> Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da topossequência V.....	62
<b>Figura 26.</b> Ponto 41: Fragmentos de rocha dispostos à superfície do solo (a) e no material recolhido com o trado (b).....	63
<b>Figura 27.</b> Perfil topográfico das unidades de vertente delineadas em campo e a forma da superfície adotada pelo algoritmo na topossequência VI.....	65
<b>Figura 28.</b> Solos amostrados dispostos em pedocomparadores em suas respectivas unidades de vertente – topossequência VI.....	66
<b>Figura 29.</b> Categoria “inflexão da vertente”; em vermelho o elemento convexo e em amarelo o elemento côncavo. O círculo em azul realça a presença de água na unidade.....	68
<b>Figura 30.</b> Associação das unidades de mapeamento GX1 e GX2 com as formas da superfície planície na MHCC.....	73

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	Hipóteses.....	13
1.2.	Objetivo geral.....	13
1.2.1.	Objetivos específicos.....	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.	Levantamentos de solos.....	14
2.2.	Informatização em Solos, Pedometria e Mapeamento Digital de Solos.....	15
2.3.	Relação solo x relevo.....	18
2.3.1.	Variáveis morfométricas do relevo.....	19
2.3.2.	Formas e Segmentação de Vertentes.....	22
2.3.3.	Algoritmo de segmentação de vertentes.....	25
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1.	Área de estudo.....	31
3.1.1.	Localização.....	31
3.1.2.	Relevo e vegetação.....	31
3.1.3.	Litologia.....	33
3.2.	Materiais cartográficos básicos e mapas temáticos.....	34
3.3.	Banco de dados digitais.....	35
3.4.	Métodos.....	36
3.4.1.	Classificação da Segmentação das vertentes.....	36
3.4.2.	Segmentação em campo das vertentes em sequencias de solo selecionadas (verdade terrestre) 36	
3.4.3.	Caracterização dos solos.....	38
3.4.4.	Algoritmo morfométrico – TOPOSHAPE.....	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1.	Caracterização automática das formas de superfície empregando o algoritmo TOPOSHAPE (Pellegrini, 1995). .....	41
4.2.	Caracterização em campo de unidades de vertentes e respectivos solos associados... 44	
4.2.1.	Caracterização da Sequência I.....	45

4.2.2.	Caracterização da Sequência II .....	50
4.2.3.	Caracterização da Sequência III .....	55
4.2.4.	Caracterização da Sequência IV .....	59
4.2.5.	Caracterização da Sequência V .....	63
4.3.6.	Caracterização da Sequência VI .....	66
4.3.	Análise comparativa entre as formas da superfície identificadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo (‘verdade terrestre’)..	70
4.4.	Análise comparativa entre as unidades de vertente e os solos associados .....	75
5.	CONCLUSÕES .....	77
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
ANEXO 1.	Mapa pedológico detalhado da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Silva, 2000). .....	85
ANEXO 2.	Mapa pedológico semidetalhado da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Silva, 2000), extraído de Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo (Oliveira e Prado, 1989). .....	86
ANEXO 3.	Legenda expandida do Mapa pedológico detalhado da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Silva, 2000). .....	87

## 1. INTRODUÇÃO

O recurso natural *solo* possui importância ecológica pelos serviços ambientais que presta, como também pela manutenção do equilíbrio e qualidade ambiental local, regional e global (Doran et al. 1996). Assim, a temática pedológica abrange um vasto universo de estudos, que cada vez mais requerem informações detalhadas e quantitativas, abrindo possibilidades para aplicação de novos modelos e métodos de análise da informação pedológica.

O aprimoramento das geotecnologias, como as dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), da tecnologia da informação, das técnicas e produtos de sensoriamento remoto e proximal têm disponibilizado dados e novas ferramentas que tornam possível realizar diagnósticos mais detalhados e quantitativos acerca dos recursos naturais, e em particular dos solos. O mapeamento digital de solos (MDS) é parte das atividades do ramo mais novo da Ciência do Solo referido por Pedometria, que visa a “*criação de sistemas espaciais de informação de solos empregando modelos numéricos, que correlacionam o conhecimento dos solos com a de outras variáveis ambientais*” (LAGACHERIE e MCBRATNEY, 2007).

Como parte das variáveis auxiliares ou covariáveis utilizadas no MDS, salientam-se as variáveis topográficas ou morfométricas derivadas do relevo e relacionadas com medidas de curvatura, declividade e ângulo de orientação. A relação entre relevo (fator pedogenético) e desenvolvimento do solo foi e continua sendo objeto de estudo de expressivos acadêmicos de abrangência internacional. Trabalhos pioneiros incluem os de Penck (1953), Davis (1899), Milne (1935), King (1963) e Ruhe (1956). Trabalhos mais recentes, já no âmbito da Pedometria, incluem os de Ten Caten (2011), Giasson (2011), Silva (2012), Hofig (2014), entre outros.

A utilização de variáveis auxiliares no mapeamento de solos tem por base as correlações entre variações de solos na paisagem e aquelas associadas aos fatores de formação, em particular do relevo. Os algoritmos morfométricos surgem como uma metodologia de apoio ao estudo da variabilidade espacial dos solos, sendo possível verificar diferentes formas da superfície associadas às classes de solo.

Como observado por Chagas et al.(2010), os recursos financeiros destinados aos levantamentos de solos no Brasil têm diminuído muito, embora poucas áreas do território brasileiro apresentem levantamentos em média escala, entre 1:100.000 e 1:50.000. Assim, a predição de solos e de seus atributos por meio do aproveitamento da informação de solos

disponível nos levantamentos de solos já realizados e da adoção de variáveis auxiliares e de técnicas e metodologias de MDS permite o levantamento de dados quantitativos e mais detalhados acerca dos solos e promove redução de custos e do tempo para os trabalhos de campo.

Este trabalho teve por objetivo central testar e validar um algoritmo morfométrico aplicável em base digital em plataforma SIG para segmentação automática de unidades de vertente para serem usadas como variáveis auxiliares no mapeamento digital de solo.

### **1.1. Hipóteses**

- I. A segmentação automática de unidades de vertentes empregando algoritmos morfométricos e geotecnologias possui alta correlação com a segmentação realizada em campo;
- II. Há forte correlação entre os segmentos de vertente classificados pelo algoritmo morfométrico e as classes de solo neles encontradas.

### **1.2. Objetivo geral**

Testar e validar algoritmo morfométrico do relevo e a segmentação automática de vertentes em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em uma microbacia hidrográfica.

#### **1.2.1. Objetivos específicos**

- a. Aplicar algoritmo morfométrico de segmentação do relevo em áreas selecionadas da área de estudo e validar os resultados por meio de caracterização em campo das unidades de vertentes selecionadas (verdade terrestre);
- c. Identificar as classes de solos de ocorrência nos diferentes segmentos das vertentes selecionadas buscando identificar padrões de associação solo-relevo;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Levantamentos de solos

Como descrito em Embrapa (2013), o objetivo principal dos levantamentos de solos é a divisão de áreas heterogêneas em parcelas homogêneas, empregando parâmetros de classificação definidos e características diagnósticas para distinção dos solos de acordo com a escala de mapeamento.

Um mapa de solos vem a ser a representação espacial de todos os solos delineados em uma área que apresentam alguma similaridade, estabelecida por um conjunto de características (VAN WAMBEKE e FORBES, 1986). Os limites entre os delineamentos de solo são estabelecidos pelo pedólogo, mas não de forma arbitrária. Esses limites nos mapas de solo são delimitados por diferenças observáveis na morfologia do solo, como tipos de horizonte pedogenéticos, textura, espessura, etc. (WYSCOKI et al., 2011) e em dados analíticos físicos, químicos e mineralógicos (EMBRAPA, 2013).

Escala maiores permitem um maior número de informações e maior detalhamento da informação pedológica. Por outro lado, escalas menores tendem a generalizar as informações e agrupar solos, sendo menores, porém, o tempo e os custos para o levantamento de dados (BOUMA, 1989).

Trazendo informações acerca da distribuição espacial dos solos na paisagem, os levantamentos pedológicos possuem grande importância do ponto de vista do planejamento, uma vez que, como observado por Oliveira et al., (2008), esses documentos constituem peças vitais a todos aqueles que utilizam a terra, e, por conseguinte, os solos nela compreendidos sob o ponto de vista agrícola ou não.

Os levantamentos de solos se compõem do Mapa de Solos ou Pedológico e do Relatório Técnico, do qual constam dados da paisagem onde os solos ocorrem, as descrições morfológicas e resultados analíticos (físicos, químicos e mineralógicos) das unidades taxonômicas, bem como as descrições dos métodos de trabalho de campo, de escritório e analíticos, e referência ao sistema de classificação de solos empregado (IBGE, 2007; OLIVEIRA, et al.,2011).

Dentre as diversas formas de representação espacial dos fenômenos, o *mapa* é uma representação cartográfica da ocorrência “real” dos eventos em uma dada escala. *Escala* de um mapa vem a ser a “relação entre a medida de uma porção territorial representada no mapa

e seu tamanho real na superfície terrestre” (IBGE, 2007). Os mapas de solo podem ser de diversas escalas, de acordo com o grau de detalhamento (ou de generalização) dos levantamentos.

O número necessário de observações dos solos em campo é definido para cada nível de detalhamento/generalização. Assim, na escala de 1: 100.000, a recomendação é de 0,02 a 2 observações por hectare, e área mínima mapeável de 40 ha, devendo ser descrito 1 perfil completo por unidade de mapeamento simples ou componente de associação, que deve ser de subgrupos de solos (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2015). Já em uma escala detalhada (1: 10.000), a recomendação é de 0,2 a 4,0 observações por hectare, área mínima mapeável de 1,6 ha, devendo ser descrito 1 perfil completo e 2 complementares por classe de solo no nível taxonômico mais baixo (série); nessa escala, predominam as unidades de mapeamento simples; associações e complexos quando ocorrem agrupam solos em níveis de Família e/ ou de Séries de solos (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2015).

Nos mapas pedológicos, as classes de solo são representadas por unidades de mapeamento geograficamente distribuídas em polígonos ou “manchas de solos” no jargão pedológico. Os limites entre as unidades de mapeamento são abruptos, o que comumente não corresponde à realidade, uma vez que os solos se alteram gradativamente na natureza.

Em adição às cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite foram incorporadas aos levantamentos de solos para auxiliar na diferenciação de padrões fisiográficos aplicados ao delineamento preliminar das unidades de mapeamento (DEMATTÊ, 1993). A consideração de variáveis auxiliares no levantamento de solos pode contribuir para redução de custos e de tempo gastos nos trabalhos de campo quando alta densidade de amostras é requerida (CHAGAS et al., 2010). Tal redução se faz necessária tendo em vista que, como atestam Chagas et al. (2010), os recursos financeiros destinados aos levantamentos de solos no Brasil têm diminuído muito.

## **2.2. Informatização em Solos, Pedometria e Mapeamento Digital de Solos**

De acordo com Zinck (1990), as pesquisas em metodologias de mapeamento de solos direcionaram esforços para desenvolvimento de aplicações em geoestatística, sistemas geográficos, sensoriamento remoto e processamento digital, com melhoria do processo de

coleta de dados e organização das etapas do levantamento de solos como um verdadeiro sistema de informação.

O georeferenciamento, tratamento e combinação de dados (solos, classes de declive, uso das terras, outros) possibilitados pelo uso de sistemas de informação geográfica (SIG's) trouxeram um salto na qualidade da representação cartográfica dos solos, além de permitir o armazenamento, atualização e exibição de dados e mapas. A incorporação das geotecnologias no estudo de solos se constitui uma importante ferramenta no diagnóstico, planejamento e gestão do uso da terra, à tomada de decisões (BURROUGH, 1986).

Com base nos estudos fundamentados pelo naturalista Vasily Dokuchaev (1846-1903), Hans Jenny (1941) trouxe para o ocidente o modelo que expressa o solo como sendo o produto da interação de cinco fatores de formação, conforme expressos na equação a seguir:

$$S = f(cl, o, r, p, t)$$

**Onde:**

S= solo

cl= clima

o= organismos

r= relevo

p= material de origem

t= tempo

A equação *clorpt* ilustra que uma vez correlacionados os fatores de formação do solo, estes podem ser interpretados para verificar e prever a ocorrência de atributos do solo em novas localizações. Baseado nos pressupostos de Jenny (1941), McBratney et al. (2003) atualizaram o modelo original considerando além dos fatores de formação do solo, dados de localização espacial do fenômeno, configurando o modelo *scorpan*:

$$S = f(s, c, o, r, p, a, n) \quad (\text{McBratney et al., 2003})$$

**Onde:**

S= classe de solo ou atributo do solo a ser “predito”

s= dados pré-existentes acerca do solo ou do atributo em questão

c= clima ou dados climáticos

o= relativo a dados do sensoriamento relativo à vegetação e ao uso da terra

r= parâmetros do relevo, extraídos do modelo digital de elevação (MDE)

p= dados acerca do material de origem

a= tempo ou idade do solo

n= posição geográfica (XY)

O grande avanço e difusão da tecnologia de informação permite a construção de grandes bancos de dados referentes aos recursos naturais e desenvolvimento de novas ferramentas para uso em diversos campos de estudo. Quanto aos solos, os bancos de dados existentes não são vastos e nem possuem dados suficientes para promover uso extensivo e preciso das informações (LAGACHERIE e McBRATNEY, 2007).

Pedometria foi o termo designado por McBratney et al. (2003) para o estudo quantitativo da variabilidade dos solos e de seus atributos. Para Grunwald (2006), a Pedometria se destaca na Ciência do Solo por incorporar em seus métodos de abordagem, para além dos métodos tradicionais dos levantamentos de solo, geotecnologias como a dos Sistemas de Informação Geográficas (SIG's) e modelagem matemática e estatística. Na mesma direção, Heuvelink (2003) define Pedometria como sendo o produto de métodos matemáticos e estatísticos para estudo da gênese e distribuição dos solos em dada área.

O Mapeamento Digital de Solos (MDS) foi definido por Lagacherie e McBratney (2007) como sendo “*a criação e a população de sistemas de informação espacial de solos por meio de modelos numéricos visando inferir as variações espaciais e temporais de classes e propriedades do solo, a partir de observações, conhecimento e dados de covariáveis ambientais relacionados*”. Na concepção de Coelho (2010), o MDS se baseia em estabelecer relações matemáticas entre variáveis ambientais e classes de solo, com o objetivo de prever a distribuição espacial das classes de solos e gerar mapas pedológicos detalhados baseados em mapas já publicados anteriormente.

Em menção às vantagens do MDS, Ten Caten et al. (2012) comentam que dentre as oportunidades para a Ciência do Solo estão as várias técnicas e métodos já disponíveis aos cientistas de solos, além dos softwares e hardwares que necessitam serem explorados e melhorados.

Quanto às variáveis ambientais aplicadas ao MDS, destacam-se as variáveis relacionadas com o fator de formação *relevo* (Ten Caten, 2011), que podem ser extraídas a partir dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), conforme será visto mais adiante.

### 2.3. Relação solo x relevo

A variação das classes de solo em determinada área está condicionada pela atuação combinada dos cinco fatores pedogenéticos: clima, relevo, organismos, material de origem e tempo. A pedogênese – formação e desenvolvimento dos solos – compreende o estudo dos processos pedogenéticos, que são determinados por fatores ambientais, os quais vão produzir solos, com características dispostas à mostra no perfil do solo (SCHROEDER, 1984).

O relevo é uma qualidade geométrica da superfície, produto da sua história climática, geológica e biológica, por esta razão este oferece indicações sobre diversas variáveis ambientais importantes na delimitação do terreno e no mapeamento do solo e em vários níveis de detalhe (SILVEIRA, 2010).

O relevo enquanto fator controlador da pedogênese controla a dinâmica da água em superfície e subsuperfície, a energia oriunda da radiação solar atuante sobre o material de origem do solo e ainda o direcionamento da quantidade de radiação solar incidente na superfície (orientação das vertentes). Dessa forma, o relevo pode condicionar má drenagem, algo capaz de mudar a natureza dos minerais de argila formados, o teor de matéria orgânica do solo e mesmo o estado de oxidação dos íons em solução (LEPSCH, 2011).

Como mencionado por Vidal Torrado et al. (2005), dentre os autores pioneiros na interpretação da relação solo x relevo em escalas de detalhe, destaca-se Geoffrey Milne, que ressaltou a importância dos movimentos de matéria ao longo da topografia, entendendo a pedogênese como um resultado complexo da integração de fatores e processos.

Também na Geomorfologia consolidou-se a partir da década de 1950 uma vertente denominada *Pedogeomorfologia*, que sistematizou os estudos acerca da origem, distribuição e evolução dos solos, paisagens e superfícies de depósito e seus processos de criação e de alteração na superfície terrestre (WYSCOKI et al. 2011). Nesta abordagem, os segmentos do relevo (topo, ombro, meia encosta, sopé, etc.) são desmembrados em corpos individuais e a ocorrência dos solos estudada em topossequências, associando o desenvolvimento histórico das paisagens com relação ao tempo de formação dos solos.

O conceito de topossequência, no entanto, foi originalmente proposto por Jenny (1941; 1980) para designar a “*sequência de solos dispostos em uma vertente na paisagem, em que os demais fatores de formação (clima, organismos, material de origem e tempo) permanecem constantes variando somente o relevo (posição na vertente, altitude e declividade)*”. O estudo dos solos em topossequências permite estabelecer correlações entre

as classes de solos presentes com declividade, altitude, comprimento, orientação e forma da vertente.

As variáveis morfométricas do relevo, tais como declividade, comprimento, orientação e curvatura das vertentes (Florinsky, 2012) constituem variáveis auxiliares no mapeamento digital de solos por possuírem relação direta com a pedogênese (TEN CATEN, 2012).

Ao discorrer sobre a relação entre infiltração (no solo) e escoamento superficial das águas pluviais, Bertoni e Lombardi Neto (2010) sinalizam que quanto maior a velocidade de infiltração, menor o volume e intensidade da enxurrada. A tendência é de infiltração mais rápida em solos arenosos, em função do grande volume de macroporos, e infiltração mais lenta em solos argilosos, em virtude da microporosidade dominante, podendo tais relações, no entanto, serem afetadas pelo grau de desenvolvimento da estrutura.

O relevo influencia grandemente na atuação das variáveis (topo) climáticas e meteorológicas, tendo em vista sua ação na dinâmica das águas pluviais e, conseqüentemente, no regime térmico do solo. Dessa forma, declividade e aspecto são as variáveis morfométricas mais utilizados para entender os fenômenos que ocorrem na superfície topográfica (ZHOU e LIU, 2002).

A declividade condiciona a velocidade dos fluxos conduzidos pela gravidade (Florinsky, 2012), o aspecto é a direção da bússola que se dispõe a encosta e conseqüentemente a quantidade de radiação solar que recebe.

Como observado por Lepsch (2011), em condições de precipitação superior à evapotranspiração potencial (excedente hídrico) e boa drenagem do solo (condição de terras altas e aplanadas) há favorecimento da hidrólise total e condições de oxidação ou boa aeração do solo, favorecendo a presença de hematita e de cores avermelhadas. Por outro lado, infiltração lenta ou má drenagem do solo (condição de terras baixas) promove ambiente redutor (excesso de água e falta de oxigênio) que favorece a redução dos compostos de ferro e o aparecimento de mosqueados e cores neutras (acinzentadas, amareladas, esverdeadas, azuladas) no solo.

### **2.3.1. Variáveis morfométricas do relevo**

Até os anos 1990, os mapas topográficos eram a principal fonte de informações quantitativas acerca do relevo. Tais mapas eram analisados usando técnicas geomorfométricas para cálculo manual de variáveis morfométricas tais como declividade, densidade de

drenagem, forma da curvatura, e outras (FLORINSKY, 2012). Já nos anos 2000, como descrito por Pike et al. (2009), emerge a Geomorfometria, técnica quantitativa da Geomorfologia que se baseia na extração de variáveis morfométricas acerca da superfície topográfica a partir de dados digitais, como aqueles do Modelo Digital de Elevação (MDE).

Shary et al. (2002) e Florinsky (2012) trabalharam com o conceito de variáveis morfométricas localizadas, descrevendo-as como sendo o estudo da geometria da superfície topográfica, sendo caracterizadas por duas grandes classes de variáveis: de *forma* (Tabela 1) e de *fluxo* (Tabela 2). Ainda, segundo aqueles autores as variáveis morfométricas podem ser *localizadas* ou *não-localizadas*; as *localizadas* dizem respeito às variáveis morfométricas descritas na superfície topográfica em pontos existentes de análise; as *não-localizadas* caracterizam uma posição hipotética para dados pontos de análise.

**Tabela 1.** Definições e interpretações de algumas variáveis morfométricas *de forma* do relevo adaptadas dos trabalhos de Shary et al. (2002) e Florinsky (2012).

Variável morfométrica de forma	Definição e interpretação
Curvatura mínima $k_{\min}, m^{-1}$	Uma curvatura a partir da seção normal de menor valor de curvatura entre todas as seções normais da superfície topográfica no dado ponto. Quando $k_{\min} > 0$ corresponde a colinas e quando $k_{\min} < 0$ corresponde a vales.
Curvatura máxima $k_{\max}, m^{-1}$	Uma curvatura a partir da seção normal de maior valor de curvatura entre todas as seções normais da superfície topográfica no dado ponto. Quando $k_{\max} > 0$ corresponde à linha de cumeada e quando $k_{\max} < 0$ corresponde a uma depressão.
Curvatura principal (H) $k_{\min}, m^{-1}$	A soma dos pontos máximo e mínimo da curvatura de duas seções normais ortogonais da superfície topográfica.
Curvatura Gaussian (K) $k_{\min}, m^{-2}$	O produto das curvaturas mínimas e máximas.

**Tabela 2.** Definições e interpretações de algumas variáveis morfométricas de fluxo do relevo adaptadas dos trabalhos de Shary et al. (2002) e Florinsky (2012).

Variável morfométrica local de fluxo	Definição e interpretação
Declividade ° (G)	Um ângulo entre o plano tangente e o plano horizontal em um dado ponto na superfície topográfica. A declividade determina a velocidade dos fluxos conduzidos pela força da gravidade.
Aspecto/Orientação ° (A)	Um ângulo em sentido horário a partir do Norte a partir da projeção da normal no plano horizontal em um dado ponto na superfície topográfica. O aspecto é uma medida para a direção dos fluxos conduzidos pela força da gravidade.
Curvatura vertical $m^{-1}$ (kv)	É uma medida da desaceleração relativa e aceleração dos fluxos de massa impulsionada pela gravidade. O fluxo é desacelerado quando $kv < 0$ e acelerado quando $kv > 0$ .
Curvatura horizontal $m^{-1}$ (kh)	É uma medida de convergência e divergência do fluxo de massa impulsionado pela gravidade. Há convergência no fluxo quando $kh < 0$ e divergência quando $kh > 0$ .

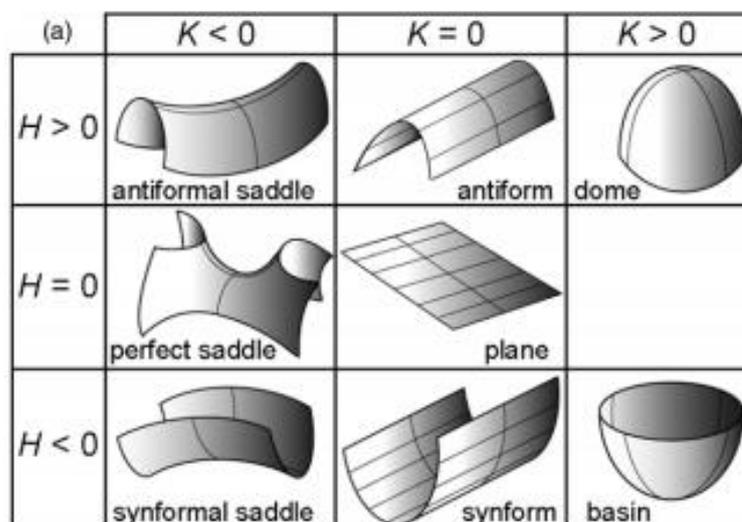
A classificação das formas do relevo, baseada em variáveis morfométricas, é de fundamental importância para a teoria da Geomorfometria e modelagem digital da superfície terrestre, podendo ser utilizada para segmentação da superfície topográfica para solucionar problemas de geologia e pedologia (FLORINSKY 2012).

Segundo Corbett et al., (2009), valores positivos de K (curvatura Gaussian) descrevem uma superfície elíptica, valores negativos uma hipérbole e para valores de  $K = 0$  a superfície é caracterizada como uma parábola. Assim, a partir dos valores de K e H (curvatura principal), esses autores caracterizaram as diferentes superfícies topográficas como segue:

- $K > 0$  com  $H > 0$  definem colinas;  $K > 0$  com  $H < 0$  definem depressões;
- $K < 0$  com  $H > 0$  definem feições em sela convexas;  $K < 0$  com  $H < 0$  definem feições em sela côncavas;
- $K = 0$  com  $H > 0$  definem pontos de cumeada;  $K = 0$  com  $H < 0$  definem vales ou áreas planas.

Aplicando para as superfícies topográficas, a superfície elíptica corresponde a colinas (parte mais alta) e depressões (parte mais baixa); a topografia em hipérbole remete a feições em *sela* e parábolas são correlacionadas a pontos de cumeada, vales e áreas planas. A

Figura 1 ilustra os tipos de superfície topográfica de Gaussian conforme descrito por Mynatt et al. (2007).



**Figura 1.** Classificação da superfície topográfica de Gaussian.

Fonte: Mynatt et al., 2007.

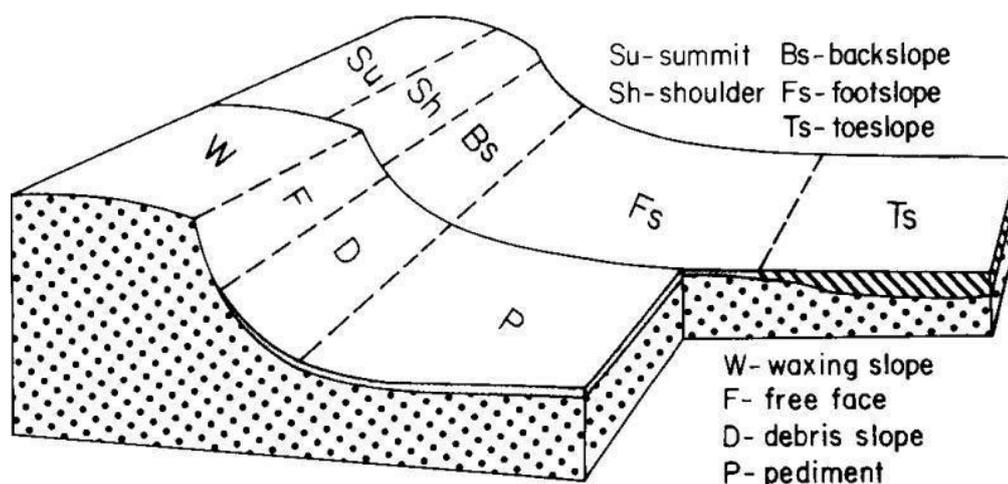
### 2.3.2. Formas e Segmentação de Vertentes

Um dos procedimentos metodológicos mais aplicados na compreensão da relação entre formas de relevo e processos geomorfológicos é a análise das vertentes, no qual se mensura o grau de inclinação da vertente em relação a um eixo horizontal (MARTINS et al., 2012). Em sentido amplo, segundo Christofolletti (1974), vertente significa *superfície inclinada, não horizontal, sem apresentar qualquer conotação genética ou locacional*. *Vertentes exogenéticas*, por sua vez, são as que resultam da ação de processos exógenos (meteorização, movimentos de massa, ablação, transporte, deposição), que tem sua origem na superfície terrestre ou próximo dela. Ainda de acordo com o mesmo autor, definição mais precisa de *vertente* foi apresentada por Jan Dylík (1968), que a definiu como sendo “...uma forma tridimensional que foi modelada por processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, e representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale”.

A descrição das vertentes fornece informações básicas e necessárias à caracterização de determinada área, podendo ser realizada em perfil ou em plano (Christofolletti, 1974). Segundo o mesmo autor, os principais termos empregados para descrever as parcelas componentes da vertente incluem os seguintes: *Unidade de vertente*,

que consiste em um segmento ou em um elemento; *Segmento* é uma porção do perfil da vertente no qual os ângulos permanecem aproximadamente constantes, o que lhe confere um caráter retilíneo; *Elemento* é a porção da vertente na qual a curvatura permanece aproximadamente constante, podendo ser dividido em *elemento convexo* (com curvatura positiva e ângulos que aumentam continuamente para baixo) e em *elemento côncavo* (com curvatura negativa e ângulos que decrescem continuamente para baixo); *Convexidade* consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há diminuição dos ângulos em direção à jusante; *Concavidade* consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há aumento dos ângulos em direção à jusante; *Sequência de vertente* é uma porção do perfil consistindo sucessivamente de uma convexidade, de um segmento com declividade maior que as unidades superior e inferior, e de uma concavidade; *Ruptura de declive* consiste no ponto de passagem de uma unidade à outra.

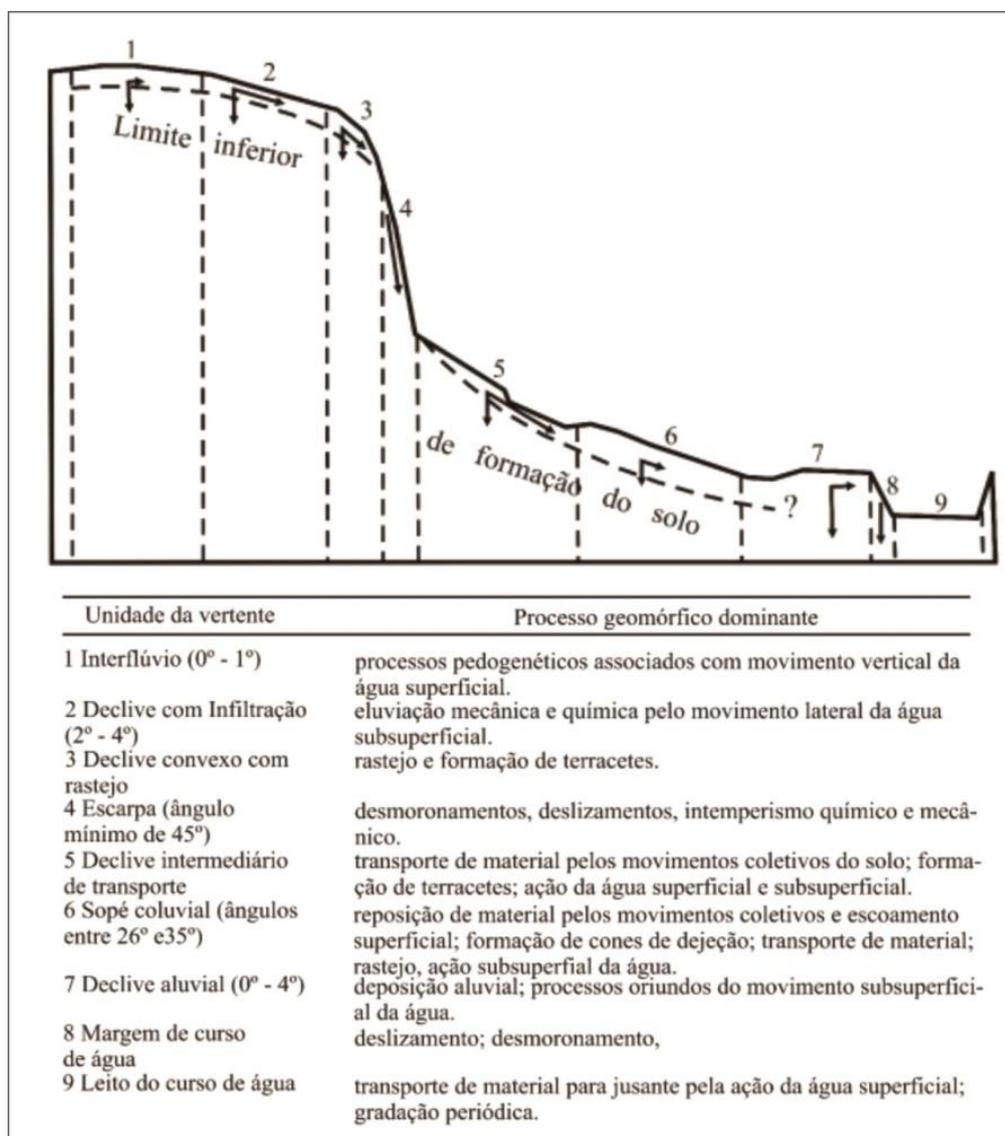
Dentre os modelos de segmentação de formas do relevo, Ruhe e Walker (1968) propuseram cinco novas unidades descritivas da superfície (Figura 2), complementares as formas já descritas por Ruhe (1960), sendo elas produto do caminhamento preferencial da água, formação de solo e posição na vertente. São elas: *summit* (topo), *shoulder* (ombro), *backslope* (meia-encosta), *footslope* (sopé), e *toeslope* (áreas de deposição).



**Figura 2.** Componentes das formas da superfície; W, F, D e P (Ruhe 1960) e Su, Sh, Bs, Fs, Ts (Ruhe e Walker, 1968). Fonte: Ruhe e Walker (1968).

Como citado por Silva (2012), Dalrymple et al., (1968) apresentaram um modelo hipotético dos processos geomorfológicos dominantes em nove unidades de superfície em

uma vertente, conforme ilustradas na figura 3 adaptada de Cristofolletti (1974), que levam em consideração a ocorrência dos processos pedogenéticos associados com o movimento da água, declividade do terreno e curvatura da vertente.



**Figura 3.** Modelo de vertente proposto por Dalrymple et al. (1968), explicitando as unidades de vertente e os processos geomórficos dominantes (ilustração modificada de Cristofolletti, 1974).

Tais modelos servem de suporte teórico-metodológico para teste e validação de novas metodologias de estudo das vertentes e sua relação com a variabilidade espacial dos solos. Nesse sentido, Fonseca (2010) no estudo de modelagem de formas do relevo para aplicação em cartografia de solos, comenta que variáveis morfométricas do relevo, como declividade e comprimento da encosta podem aprimorar o estudo da curvatura da vertente, seja ela côncava, convexa ou retilínea, uma vez que a curvatura é responsável pela dissipação ou acumulação de água e sedimentos. Com isso, parte dos processos pedogenéticos pode ser

explicada pela topografia do terreno, existindo baixa variabilidade em áreas com unidades de relevo homogêneas. Desta forma, Valeriano (2005) ressalta a importância da estratificação topográfica para direcionar amostragens e análises ambientais.

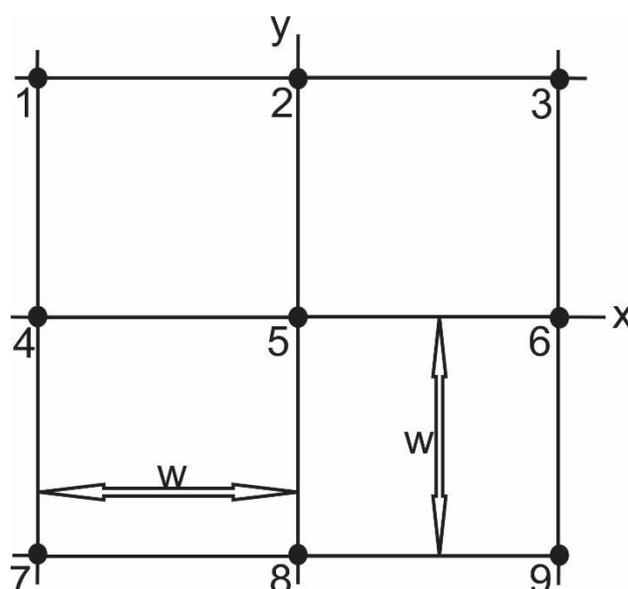
### 2.3.3. Algoritmo de segmentação de vertentes

Em estudos que buscam interpretar a paisagem com auxílio de algoritmos (Allen et al., 2002; Menezes et al., 2007; Jesus, 2009), é comum a utilização de dados morfométricos para estudos quantitativos. Nessa direção, a análise morfométrica do relevo consiste na utilização de covariáveis ambientais a partir de do Modelo Digital de Elevação (MDE). Um MDE é uma função discreta bidimensional da variável morfométrica *altitude*, que define a superfície do relevo como um conjunto de valores medidos ou computados em uma rede de dados, sendo possível extrair do MDE informações como declividade, curvatura horizontal, área e outros atributos topográficos (BURROUGH, 1986; FLORINSKY, 2012).

Assim, informações sobre variação da declividade, curvaturas em perfil e variação do aspecto podem ser expressas em porcentagem (%) de variação dividido por metro percorrido do terreno, além de consistirem elementos geomorfológicos que podem ser reconhecidos, medidos e mapeados em escalas grandes, superiores a 1: 10.000 (SAVIGEAR, 1956; NEPOMUCENO et al., 2014). Atualmente, os MDE são modelados em SIG's com o auxílio de algoritmos matemáticos de análise por meio de diferentes estruturas de dados (JESUS, 2009). Baseado nos trabalhos de Troeh (1965), Ruhe e Walker (1968) e Huggett (1975), Colângelo (1996) propôs formas específicas do relevo que também determinam o comportamento hidrológico da superfície (processos), combinando três formas elementares da vertente (concavidade, convexidade e retilíneo).

Dentre os algoritmos matemáticos computacionais, o algoritmo desenvolvido por Pellegrini (Herrington & Pellegrini, 2000), intitulado **TOPOSHAPE** permite a segmentação automática das vertentes em onze tipos ou formas: *peak, ridge, saddle, flat, ravine, pit, convex hillside, saddle hillside, slope hillside, concave hillside e inflection hillside*, cujos significados e traduções constam da Tabela 3. Em alguns casos, uma categoria extra é habilitada, denominada *unknown hillside*. Herrington e Pellegrini (2000) conceituam o algoritmo como uma “*combinação do ajuste da superfície terrestre com a determinação de classes funcionais, onde cada célula por meio da aplicação de um modelo matemático (vizinho mais próximo) é possível mapear a superfície e obter acurácia de 90% na classificação*”. Trata-se

de uma classificação baseada em um plano quadrático com grid móvel de 3x3 (Figura 4). Isso significa que o algoritmo foi desenvolvido a partir do ajuste de um polinômio de segunda ordem (Herrington & Pellegrini, 2000), baseado em uma janela móvel de 3x3 (contendo nove pontos no plano quadrático com grid) que se desloca ao longo do MDE para calcular os valores das variáveis morfométricas para todos os pontos do plano quadrático do MDE, exceto para as linhas e colunas do pixel. Como descrito por Herrington e Pellegrini (2000), o algoritmo adota uma classificação contínua por levar em conta o caminhamento da vertente e suas mudanças na declividade e na curvatura, oposto à classificação descontínua, que ignora as alterações no terreno.



**Figura 4.** Representação da janela 3x3 no plano quadrático com grid, onde  $w$  representa o grid espacial em metros (1 a 9);  $x$  e  $y$  os eixos cartesianos.

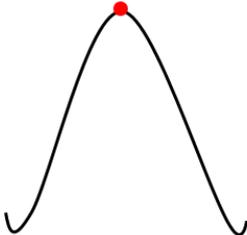
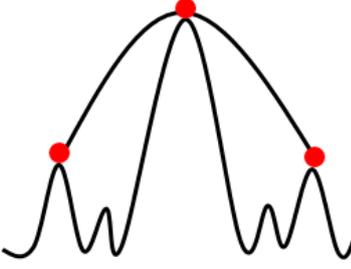
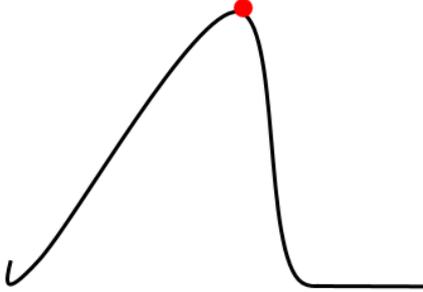
**Fonte:** Herrington e Pellegrini, *adap*, 2000.

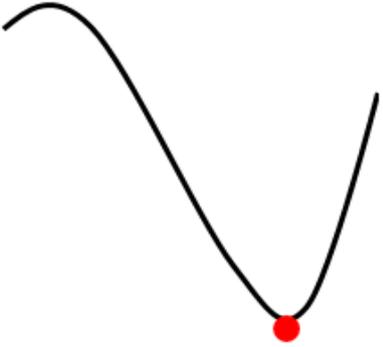
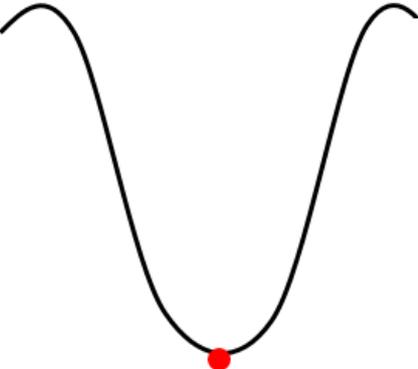
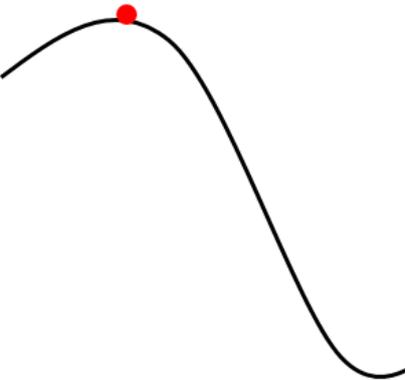
Foram verificados diversos trabalhos em que o algoritmo de Pellegrini foi utilizado citando-se os de Apps et al. (2001), Manfré et al. (2009), Oliveira, (2009) e Dolan et al. (2012). Apps et al. (2001) estudaram o desenvolvimento das vertentes em áreas florestais no estado de British Columbia, Canadá. Em média, foram analisadas áreas com aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>, com grid de resolução espacial de 100 metros, onde o algoritmo foi aplicado para estudo da curvatura terrestre, a partir da refletância da taxa máxima de mudança de uma curva de ajuste através de cada pixel no contexto dos seus vizinhos. Manfré et al. (2009) utilizaram a segmentação automatizada para verificar o fluxo

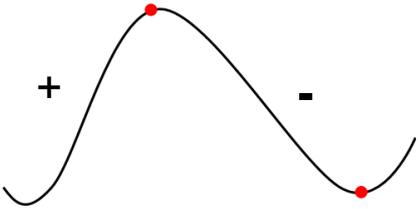
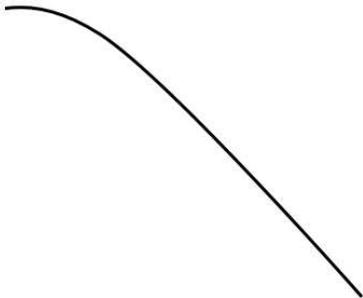
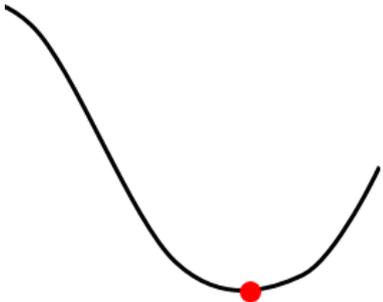
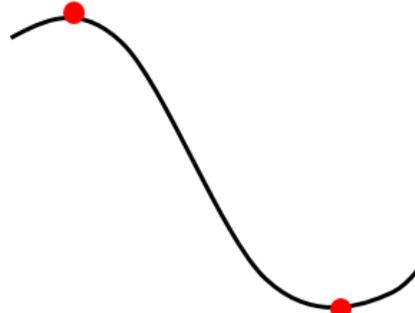
preferencial da rede de drenagem em uma bacia hidrográfica, classificando as formas do relevo a partir do plano de curvatura em ambiente SIG.

Como destacado por Oliveira (2009), o algoritmo de Pellegrini permite a caracterização morfológica do terreno (Tabela 3), uma vez que o *input* do algoritmo é o modelo digital de elevação, onde constam dados planialtimétricos. Nessa operação, é possível verificar as feições associadas à drenagem, curvatura do perfil (côncava, convexa ou retilínea), bem como área em hectares da ocorrência.

**Tabela 3.** Classificação e representação das formas da superfície geradas pelo algoritmo TOPOSHAPE (Herrington & Pellegrini, 2000).

Feição	Sigla	Definição	Representação
1 Topo ( <i>peak</i> )	P	Local que é mais alto em elevação que as células circunvizinhas.	
2 Região da cumeada ou cumeeira ( <i>ridge</i> )	C	Conjunto de células que ocorrem quando as células são mais altas que as células circunvizinhas e por onde se tem a linha de cumeada.	
3 Ponto sela ( <i>saddle</i> )	PS	Ponto de interseção da cumeeira e talvegue, também denominado de garganta.	

<p>4 Plano, planície (<i>flat</i>)</p>	<p>P</p>	<p>Superfície sem declividade.</p>	
<p>5 Talvegue (<i>ravine</i>)</p>	<p>T</p>	<p>Região do talvegue, ou seja, conjunto de células do MDT que ocorrem quando as células são mais baixas que as células circunvizinhas, sendo uma depressão longa e profunda e por onde se tem a linha de talvegue. Pode-se também ser caracterizado como região plano-côncavo.</p>	
<p>6 Depressão fechada (<i>pit</i>)</p>	<p>PIT</p>	<p>Local que é mais baixo que as células circunvizinhas, como regiões de sumidouro.</p>	
<p>7 Vertente convexa (<i>convex hillside</i>)</p>	<p>VX</p>	<p>Local em que a vertente é convexa.</p>	

<p>8 Vertente em sela (<i>saddle hillside</i>)</p>	<p>VS</p>	<p>Vertente que tem curvatura positiva em uma direção e negativa em sua ortogonal.</p>	
<p>9 Vertente em declive (<i>slope hillside</i>)</p>	<p>VD</p>	<p>Local em que a vertente tem declive constante (ou plano-inclinada).</p>	
<p>10 – Vertente côncava (<i>concave hillside</i>)</p>	<p>VC</p>	<p>Local em que a vertente é côncava.</p>	
<p>11 Inflexão da vertente (<i>inflection hillside</i>)</p>	<p>IV</p>	<p>Local em que ocorre mudança de inflexão entre o côncavo e o convexo.</p>	

**Fonte:** Oliveira (2009), *adapt.*

Aplicado ao estudo de erosão de solos na Jamaica, MacGillvray (2007) discorreu sobre a relação entre o potencial de erosão do solo em variados segmentos da vertente, apoiando-se nas classificações adotadas pelo algoritmo, enfatizando suas percepções para o segmento *saddle hillside* (vertente em sela). Para o autor trata-se de um ponto de intersecção

entre os segmentos *ridge* e *ravine*, ou seja, entre o ponto de cumeeada e o talvegue. Como descrito por Herrington e Pellegrini (2000), o segmento *saddle hillside* exemplifica uma encosta de curvatura positiva em uma direção e negativa em sua ortogonal.

Além do algoritmo de Pellegrini, alguns SIG's possuem complementos que possibilitam a interpretação das feições do relevo. Dentre eles, citam-se os SIGs Landserf e QGIS que a partir do MDE permitem criar e extrair informações sobre o relevo, como aspecto, elevação e declividade. O SIG Landserf gera mapas em 3D e possibilita acesso ao Google Earth, enquanto que o SIG QGIS gera mapas de índice de rugosidade do terreno (IRT) e índice de posição geográfica (IPT).

Em ambos os SIG's (Landserf e QGIS) a segmentação de vertentes não é categorizada como no algoritmo de Pellegrini, mas a partir da interpretação dos mapas de curvatura, aspecto, declividade, por exemplo, pode-se realizar um diagnóstico do relevo. Segundo Guimarães (2007), o Landserf embora apresente funções de tratamento de imagens e geração de modelo de elevação digital, apresenta limitações para o suporte de arquivos de grande porte.

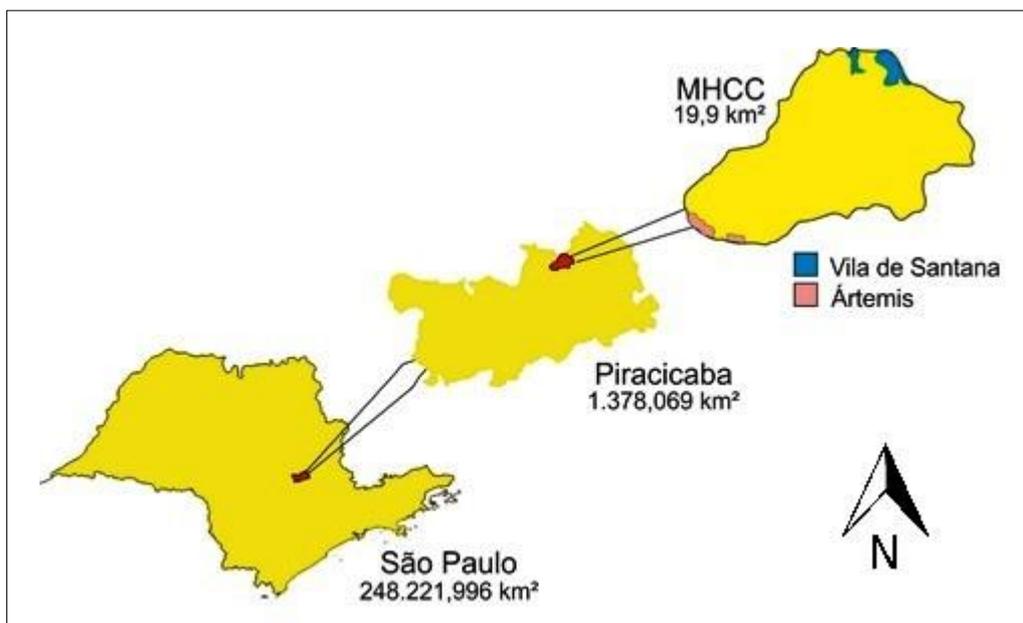
Sendo assim, a utilização do algoritmo de Pellegrini possibilita um estudo mais completo das formas da superfície, uma vez que suas categorias explicitam a forma, direção e curvatura da superfície, trazendo informações importantes para o estudo comparativo entre as formas da superfície e solos associados.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

##### 3.1.1. Localização

Localizada no município de Piracicaba, SP, entre as coordenadas geográficas 22° 36' 38'' e 22° 41' 29'', de latitude sul, e 47° 42' 16'' e 47° 47' 01'', de longitude oeste, a área de estudo compreende a maior parte da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHCC), pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, quinta Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGHRI-5), englobando 1.990,3 hectares (Figura 5). Os distritos de Ártemis (a jusante) e Vila de Santana (a montante) compreendem as áreas urbanas da MHCC.

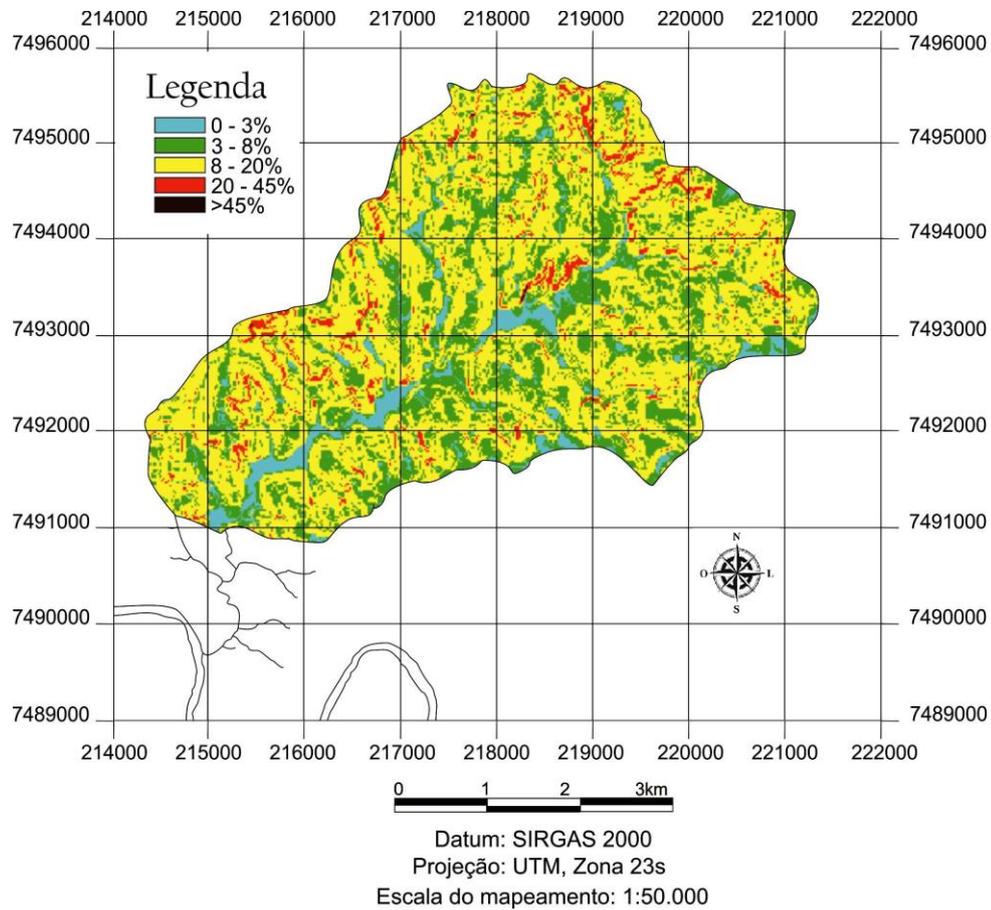


**Figura 5.** Localização da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro.

##### 3.1.2. Relevo e vegetação

O relevo local é ondulado com cotas variando entre 460 e 580 m. Predominam declividades entre 8-20% (Figura 6), precedidas por declividades entre 3-8%, denotando a

faixa de transição entre o plano e ondulado (Tabela 4). As classes de declividade adotadas seguem as delimitações do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013).



**Figura 6.** Mapa de declividades em porcentagem da MHCC derivado do Modelo Digital de Elevação, com o delineamento do Rio Piracicaba.

**Tabela 4.** Classes de declividade das terras da MHCC e respectivas áreas de ocorrência (em ha e em %).

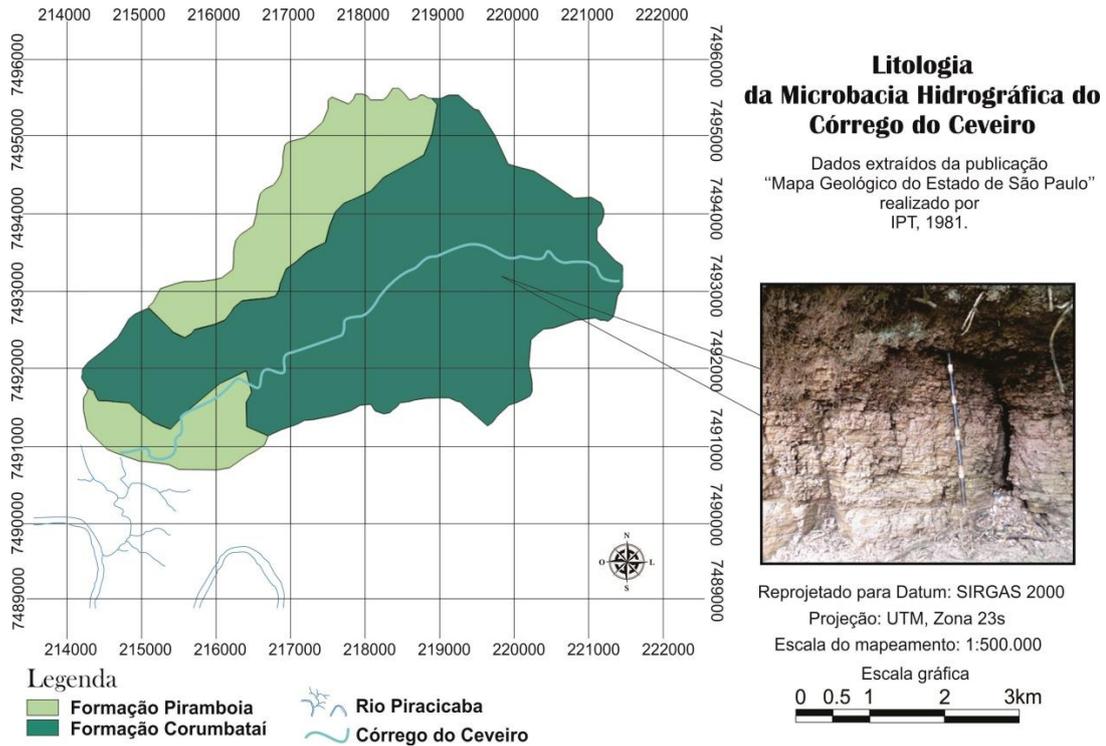
Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0-3%	154,6	7,76
3-8%	555,2	27,89
8-20%	1187,3	59,65
20-45%	92,8	4,66
>45%	0,44	0,02

Distribuídos nos 1990.4 ha, dão-se os usos com pastagens, reflorestamento, mata e cana-de-açúcar (além de áreas urbanas e represas), havendo predomínio de cana-de-açúcar em torno de 66% da área total da MHCC (FIORIO, 1998). Fiorio et al. (2000) identificaram um aumento significativo no cultivo de cana-de-açúcar nos últimos estudos realizados na área, passando de 7,6 % da área total no ano de 1965, para 26,4% em 1978, e 66% em 1996.

### 3.1.3. Litologia

O embasamento geológico da área de estudo se constitui predominantemente de arenitos finos a médios, avermelhados, sílticos-argilosos da Formação Piramboia, Grupo São Bento e de siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí (Figura 7), do Grupo Passa Dois (IPT, 1981). Verificou-se na porção mais oriental da MHCC a ocorrência de solos com matiz vermelho, textura argilosa a muito argilosa, possivelmente provenientes do retrabalhamento de basaltos e diabásios do Grupo São Bento, Formação Serra Geral. Tais ocorrências não estão registradas no levantamento geológico, devido à escala de levantamento (1:500.000), podendo ser encontrados em grande porção em áreas próximas à MHCC.

A Formação Piramboia (TrJp) está exposta ao longo de toda a faixa de ocorrência dos sedimentos mesozoicos na Depressão Periférica; esta formação repousa em discordância angular muito disfarçada, não reconhecível em nível de afloramento, sobre camadas paleozoicas (IPT, 1981). Quanto à litologia, a Formação Piramboia se caracteriza por uma sucessão de camadas arenosas vermelhas, de granulação média a fina, sendo a ocorrência de camada argilosa mais extensa na parte inferior do que na porção superior da formação, com estratificação plano-paralela, destacada pela alternância de lâminas mais ou menos ricas em argila e silte (Schneider et al., 1980; IPT 1981). A Formação Corumbataí, por sua vez, é composta basicamente por siltitos, argilitos e folhelhos. No Estado de São Paulo, onde a Formação Corumbataí (Pc) não é interrompida por *sills* de diabásio ou falhas, aflora continuamente do divisor de águas dos rios Tietê e Piracicaba para norte, até próximo ao limite com Minas Gerais, onde parece não se expor.



**Figura 7.** Mapa Geológico da MHCC; em destaque os folhelhos cinza arroxeados encontrados sob os domínios litológicos da Formação Corumbataí.

### 3.2. Materiais cartográficos básicos e mapas temáticos

A área de estudo é coberta pelas seguintes cartas topográficas do Instituto Geográfico Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC/SP, 1976, escala 1:10.000): Estância Lago Azul (SF.23-Y-A-IV-1-SE-B) articulação 070/087, Ártemis (SF.23-Y-A-IV-1-SE-D) articulação 071/087, Córrego das Ondas (SF.23-Y-A-IV-2-SO-A) articulação 070/088 e Vila Olímpia (SF.23-Y-A-IV-2-NO-E) articulação 069/088.

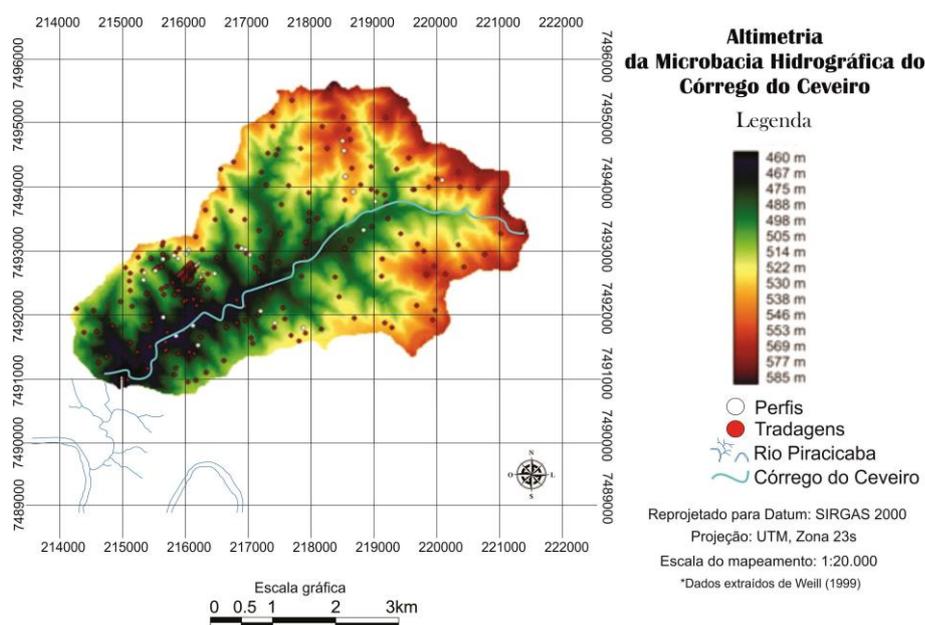
Quanto à informação de solos, foram utilizados mapa pedológico em nível semidetalhado (escala 1:100.000) da Quadrícula de Piracicaba (Oliveira e Prado, 1989) e mapa pedológico detalhado (escala 1:10.000) elaborado por Silva (2000) para a microbacia. De acordo com o levantamento semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989), ocorrem sete unidades de mapeamento, sendo três grupamentos indiscriminados, predominando as ordens dos Argissolos e Neossolos. Por outro lado, o Mapa Pedológico detalhado (1:10.000) mostra a ocorrência de quarenta e oito unidades de mapeamento, entre unidades simples, compostas, grupamentos indiscriminados e associações (SILVA, 2000).

### 3.3. Banco de dados digitais

O presente trabalho contou com um banco de dados georreferenciados da área de estudo, construído em estudos anteriores (Weill, 1999; Weill e Sparovek, 2008) contendo os seguintes mapas:

- Contorno da microbacia (1: 20.000)
- Hidrografia
- Mapa de Uso da terra
- Mapa de profundidade dos solos
- Modelo digital de elevação (MDE) (Figura 7)
- Dados analíticos de solos provenientes de 251 pontos de amostragem na microbacia (Figura 8), sendo:
  - 222 tradagens
  - 29 perfis completos

Os arquivos foram originalmente criados em formato matricial com resolução espacial (píxel) de 20 m em ambiente do SIG IDRISI. Utilizando licença temporária premium para estudantes, os arquivos digitais foram convertidos e importados para a versão Selva® do IDRISI.



**Figura 8.** Modelo digital de elevação dentro dos limites da MHCC.

O sistema de referência adotado foi o de coordenadas planas (unidades em metros), projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23S, adotando o Datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000).

### **3.4. Métodos**

#### **3.4.1. Classificação da Segmentação das vertentes**

Na literatura especializada, há uma grande variedade de termos para descrever as formas elementares do relevo. Neste trabalho para classificação em campo (verdade terrestre) foi adotada terminologia conforme Christofletti (1974), sendo:

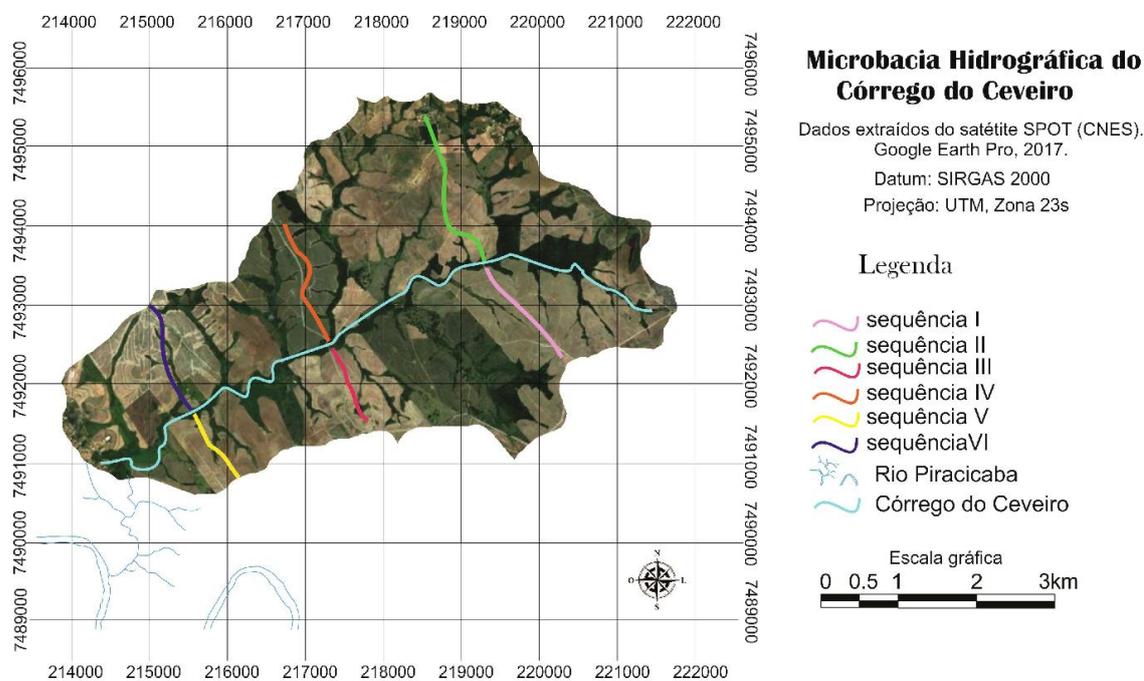
- Unidade de vertente: consiste em um segmento ou um elemento;
- Segmento: porção do perfil da vertente no qual os ângulos permanecem aproximadamente constantes, dando caráter retilíneo;
- Elemento: porção da vertente na qual a curvatura permanece constante, podendo ser dividido em elemento convexo e elemento côncavo.

Na segmentação automática das vertentes pelo algoritmo *Toposhape* (Pellegrini, 1995; Herrington & Pellegrini, 2000), são classificadas as “formas da superfície”, em número de onze, sendo elas, *peak*, *ridge*, *saddle*, *flat*, *ravine*, *pit*, *convex hillside*, *saddle hillside*, *slope hillside*, *concave hillside* e *inflection hillside*, cujos significados e traduções já foram apresentados na Tabela 3.

#### **3.4.2. Segmentação em campo das vertentes em sequencias de solo selecionadas (verdade terrestre)**

Com base nas cartas topográficas do IGC/SP (escala 1:10.000) referidas anteriormente (item 3.2), foram selecionados os locais para classificação manual das unidades de vertente e observação dos solos. Foram delimitadas seis vertentes distribuídas pela microbacia, conforme ilustrado na Figura 9, sendo duas sequencias no alto curso do Córrego do Ceveiro, duas no médio curso e duas no baixo curso, visto a diferença no material de origem e posição na microbacia.

As unidades da vertente foram identificadas e classificadas manualmente em campo, empregando-se trena, régua metálica (4m) e medidor digital de declividade, marca Bosch modelo DNM 120L Professional (função *slope %*) (Figura 10).



**Figura 9.** Localização das vertentes e sequencias de solos na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro – MHCC.

Para segmentação de uma dada vertente em suas unidades, iniciou-se definindo o início (posição de topo) e o final da vertente (curso d'água) e calculando-se o comprimento e declividade média da mesma, e sendo observado o atributo de curvatura. Na sequência, para diferenciar as unidades de vertente determinaram-se as posições na vertente onde ocorria a mudança de inclinação ou declividade, partindo-se do pressuposto que quando ocorria a mudança da declividade estaria também mudando a unidade da vertente. Para definir os locais de mudança de declividade, e fim de uma unidade e início da seguinte, empregou-se uma régua metálica (4m), definindo-se que ela enquanto permanecesse assente ao solo indicaria declividade constante, tratando-se de uma mesma unidade. Essa régua foi sendo deslocada vertente abaixo, sempre rente ao solo, registrando-se as medidas de comprimento e declividade de cada trecho, até que o contato da régua com a superfície fosse perdido, o que indicava mudança da declividade e o final da unidade de vertente em questão. Para marcação

sequenciada das unidades de vertente foram sendo colocadas estacas de madeira, no início e no fim de cada uma.



**Figura 10.** Medição digital da declividade do terreno com o aparelho DNM 120L Professional.

O deslocamento da régua terreno abaixo ocorreu até se atingir a base da vertente, correspondendo à planície aluvial ou ao dique marginal do rio.

Cada unidade de vertente foi georreferenciada empregando-se Sistema de Posicionamento Global (GPS), marca Trimble Juno SB, que possibilita exportar as coordenadas de forma automatizada para o SIG ArcGIS-ArcMap 10.3 (Esri, 2014).

A metodologia acima descrita foi primeiramente testada no Campo Experimental da FEAGRI/Unicamp, em Campinas/SP, com o objetivo de verificar problemas, limitações e adversidades do método, de modo a corrigí-las antes da aplicação na área de estudo, potencializando tempo de trabalho e custos de deslocamento até a MHCC.

### **3.4.3. Caracterização dos solos**

Em cada unidade de vertente de cada uma das seis sequências estudadas, no ponto central da unidade de vertente o solo foi amostrado, registrando-se cor e textura nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm, 60-80cm, 80-100cm e 100-120cm, ou até o

contato com o material de origem. Com base nessas observações e nos mapas pedológicos dos levantamentos indicados anteriormente (Oliveira e Prado, 1989; Silva, 2000) os solos foram classificados de acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2013). posteriormente confirmadas em laboratório. Amostras de cada horizonte dos solos amostrados nas unidades de vertente foram acondicionadas em pedocomparadores.

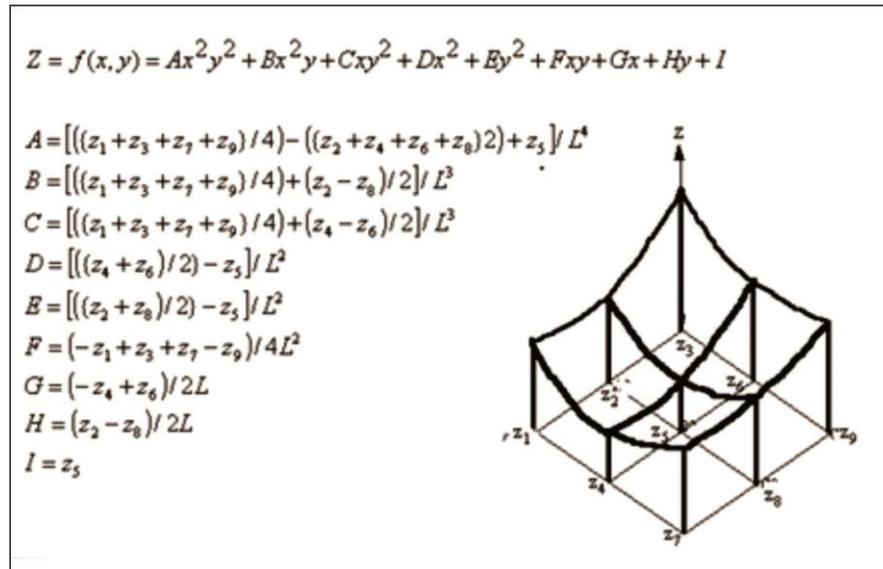
Adicionalmente, em alguns solos com relação aos quais havia divergência quanto à classe textural do solo em relação às descritas no levantamento detalhado de solos de Silva (2000), procedeu-se a análises granulométricas no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP empregando-se o método da Pipeta modificado conforme descrito em DOURADO et al. (2012),

Visto que a ordem dos ALISSOLOS apresentada na 1ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (EMBRAPA, 1999) foi extinta na 2ª edição do SiBCS (EMBRAPA, 2006), as unidades de mapeamento do Mapa de Solos detalhado (Silva, 2000) foram reclassificadas adotando os critérios atuais estabelecidos na 3ª edição do SiBCS (EMBRAPA, 2013).

Assim, as unidades de mapeamento do levantamento pedológico detalhado realizado por Silva (2000) ACT1, ACT2, ACT3, ACT4, ACTq, ACTl1 e ACTl2, tendo como unidade taxonômica principal os ALISSOLOS CRÔMICOS, foram realocadas na ordem dos ARGISSOLOS, em diferentes grandes grupos. Na distinção dos ARGISSOLOS empregaram-se os atributos diagnósticos referidos por caráter crômico, alítico ou alumínico, além da textura do solo (EMBRAPA, 2013). A legenda expandida original do mapa detalhado de solos da MHCC (Silva, 2000) pode ser encontrada no Anexo 3.

#### **3.4.4. Algoritmo morfométrico – TOPOSHAPE**

Pela aplicação do algoritmo TOPOSHAPE, a cada célula unitária ou *pixel* do MDE é atribuído um valor nominal representativo de uma das onze formas de superfície possíveis. Cada célula (pixel) recebe uma grade de 3x3, adotando o modelo polinomial do vizinho mais próximo (Zevenbergen e Thorns, 1987), que se desloca ao longo do MDE para calcular os valores dos variáveis morfométricas para todos os pontos do plano quadrático do MDE, exceto para as linhas e colunas do pixel (Figura 11).



**Figura 11.** Modelo polinomial do vizinho mais próximo nas células geradas a partir do MDE.

**Fonte:** Adaptado de Herrington & Pellegrini (2000).

A partir do modelo polinomial, cada célula resulta da característica mais importante ocorrida dentro do pixel. Por levar em consideração o método contínuo, a primeira característica morfométrica processada no algoritmo é declividade, seguido por curvatura, onde serão analisadas em duas direções ortogonais, medidas através da mudança brusca do plano direcional do aspecto (Herrington e Pellegrini, 2000).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização automática das formas de superfície empregando o algoritmo TOPOSHAPE (Pellegrini, 1995).

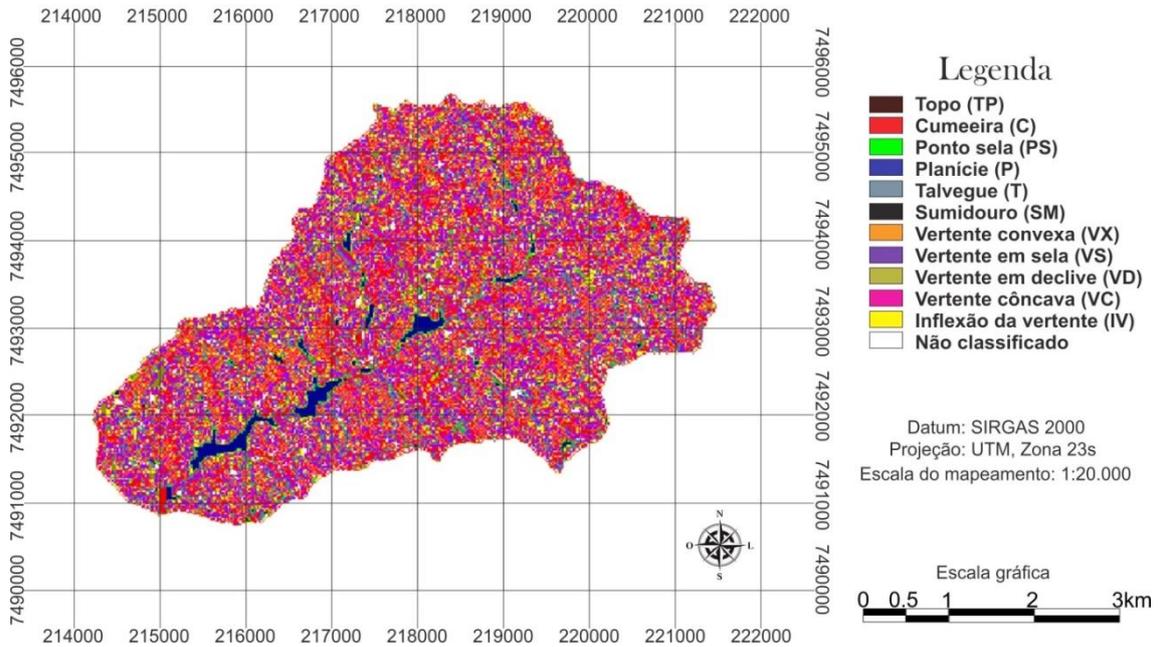
A Figura 12 ilustra o mapa das formas da superfície identificadas automaticamente pelo TOPOSHAPE na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHCC). Todas as onze formas previstas no TOPOSHAPE foram identificadas na MHCC, com predomínio, em termos de área de ocorrência, de vertente em sela (VS), vertente convexa (VX) e cumeeira (C), conforme pode ser conferido pelos dados da Tabela 5.

Em 72% dos casos, a forma de superfície designada por *topo*, superfície localizada nas maiores elevações em relação aos *pixels* vizinhos (Herrington e Pellegrini, 2000), está associada, como esperado, às cotas de maior altitude na microbacia. No entanto, nos demais casos (28%), a categoria “topo” foi equivocadamente identificada pelo algoritmo em regiões de planície ou de talvegue (partes baixas do relevo).

**Tabela 5.** Áreas de ocorrência (em ha e % em relação à área total) das formas da superfície caracterizadas pelo TOPOSHAPE na MHCC.

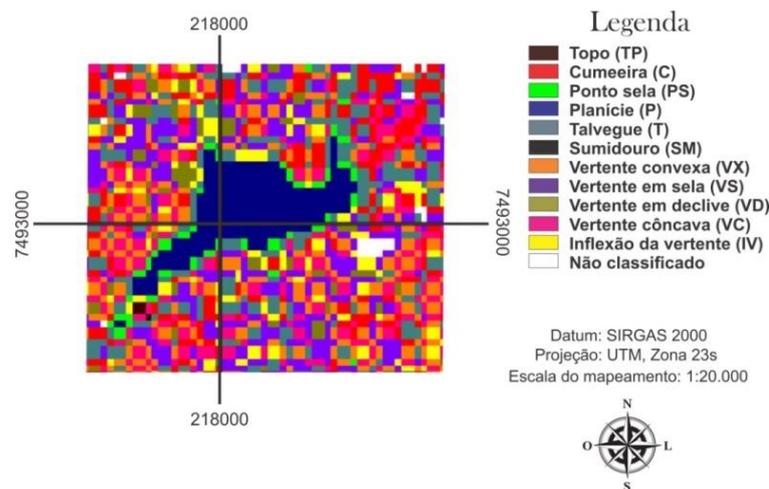
Forma da superfície <i>toposhape</i>	Área (ha)	Área relativa (%)
<b>Topo (TP)</b>	0.84	0.04
<b>Cumeeira (C)</b>	298.08	14.97
<b>Ponto sela (PS)</b>	22.52	1.13
<b>Planície (P)</b>	37.84	1.90
<b>Talvegue (T)</b>	263.16	13.22
<b>Sumidouro (SM)</b>	0.72	0.03
<b>Vertente convexa (VX)</b>	308.92	15.52
<b>Vertente em sela (VS)</b>	460.44	23.13
<b>Vertente em declive (VD)</b>	111.24	5.58
<b>Vertente côncava (VC)</b>	283.12	14.22
<b>Inflexão da vertente (IV)</b>	154.08	7.74
<b>Não classificado</b>	49.44	2.48
<b>Total</b>	1990.4	100

A forma de superfície *ponto sela* (PS) é de pequena ocorrência na MHCC (<2%) e, na quase totalidade dos casos, ocorre associada às formas da superfície designadas por *planície* (P) e *sumidouro* (SM), em áreas com declividade baixa ou nula.



**Figura 12.** Formas da superfície na MHCC conforme classificação automática empregando o algoritmo morfométrico TOPOSHAPE (Pellegrini, 1995; Herrington e Pellegrini, 2000).

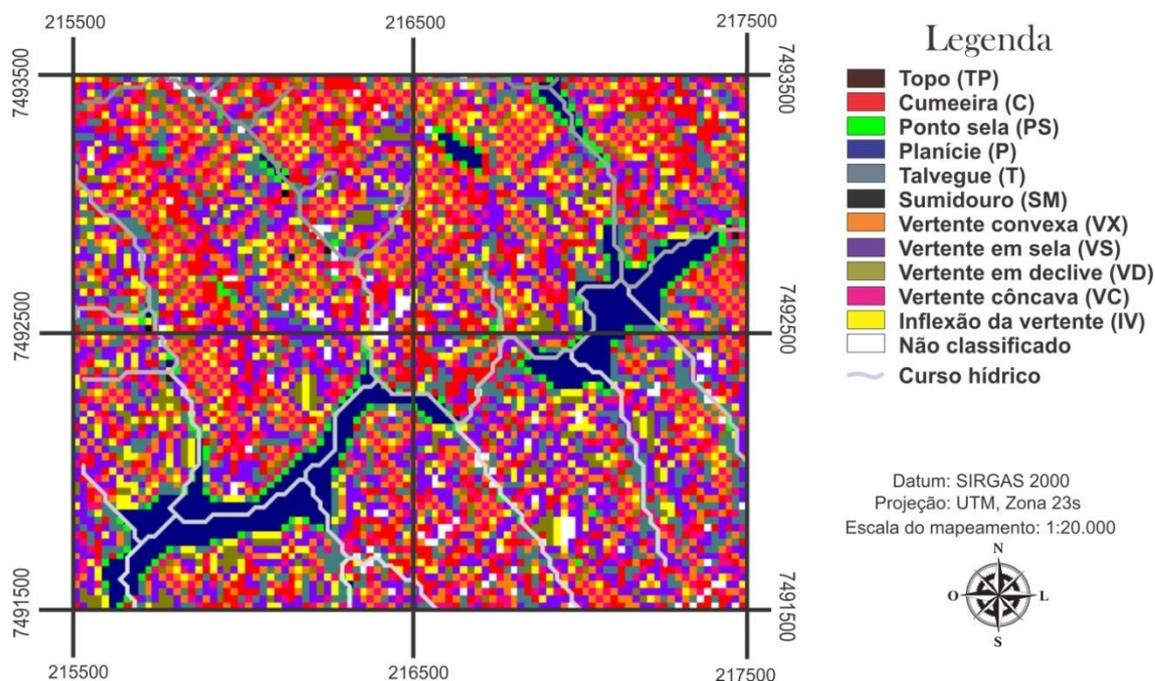
A Figura 13 ilustra um caso de associação do *ponto sela*, na intersecção entre a *cumeeira* (linha contínua de pixels que ocorrem quando estes são maiores que os vizinhos) e a *planície* (superfície onde os pixels tem declividade baixa ou nula).



**Figura 13.** Detalhe da ocorrência da feição da superfície *ponto sela* (em verde) associada à feição *planície* (em azul) na MHCC.

Conforme ilustrado na Figura 14, a ocorrência da forma *planície* (P) está associada aos cursos hídricos da MHCC, anteriormente delimitados nos trabalhos de WEILL (1999) e

WEILL e SPAROVEK (2008). Os pixels contínuos indicam similaridade nos atributos classificadores dentre os vizinhos (MEINEL e NEUBERT, 2004).



**Figura 14.** Disposição da forma de superfície *planície* (P) (em azul) e a associação com os cursos hídricos da MHCC (em lilás).

De conceito oposto às áreas de *cumeeira*, a forma de superfície designada por *talvegue* (T) é caracterizada por uma linha contínua de pixels com altitudes mais baixas que os vizinhos (HERRINGTON E PELLEGRINI, 2000). Ocorrendo em 13% da área da MHCC, a forma *talvegue* ocorreu associada a declividades baixas, variando entre 2% e 6%, fases de relevo plano a suave ondulado, conforme faixas de declividade, de 0-3% e 3-8%, respectivamente definidas em EMBRAPA (2013). Na vertente, a forma *talvegue* foi classificada pelo algoritmo em situações de topo, terço superior, terço médio, terço inferior e baixada, não se associando, portanto, a uma posição específica.

O *sumidouro* (S) é a forma da superfície de menor ocorrência na MHCC, ocorrendo em sua totalidade associada aos cursos hídricos, em áreas de relevo plano, com declividades variando entre 0-3%. Os *sumidouros* são caracterizados por feições de baixa declividade onde infiltram as águas das chuvas ou de rios, de forma afunilada e/ou alargada, ocorrendo na maioria dos casos em litologia cárstica ou sedimentar (IBGE, 2009).

As regiões de *sumidouro* podem estar associadas com dolinas e/ou uvalas, que são depressões profundas de forma oval ou arredondada, de bordas íngremes, ocasionadas por

regiões fraturadas, submetidas a sistemas morfogenéticos úmidos atuais ou pretéritos (IBGE, 2009 adapt.).

As formas associadas à curvatura da vertente (convexa, em sela, côncava, em declive/retilínea), além da inflexão da vertente (local em que ocorre a mudança de inflexão entre o côncavo e o convexo), não ocorreram associadas a condições específicas de declividade, solo ou fase do relevo.

#### 4.2. Caracterização em campo de unidades de vertentes e respectivos solos associados

Como já comentado, foram caracterizadas em campo unidades de vertente e solos associados em seis sequências, designadas pelos algarismos romanos de I a VI (Figura 9). A Tabela 6 relaciona as altitudes iniciais (posição de topo) e finais (posição de planície aluvial) de cada sequência, além dos respectivos desníveis e comprimentos. Os maiores desníveis, de 89m e 82m, foram observados respectivamente nas sequências II e I.

**Tabela 6.** Altitudes inicial (topo) e final (planície aluvial), desníveis e comprimentos de seis sequências da MHCC.

Sequência	Altitude inicial (Topo)	Altitude final (Planície aluvial)	Desnível	Comprimento
			m	
I	572	490	82	1.500
II	579	490	89	1.894
III	522	478	44	1.008
IV	549	478	71	1.837
V	505	472	33	1.161
VI	525	472	53	1.436

As sequências I e II estão localizadas no alto curso do Córrego do Ceveiro, onde as cotas altimétricas alcançam 585 metros. A declividade foi medida em cada unidade de vertente, predominando declividades na faixa entre 3-8%, associadas à fase de relevo suave-ondulado conforme Embrapa (2013); as sequências III e IV estão localizadas no médio curso do Córrego do Ceveiro, e as sequências V e VI no baixo curso, próximas ao Distrito de Ártemis.

Foram identificadas cinco ordens de solo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013): ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, GLEISSOLOS, LUVISSOLOS e NEOSSOLOS. Na sequência I ocorrem solos das ordens dos ARGISSOLOS, GLEISSOLOS, LUVISSOLOS e NEOSSOLOS; na sequência II

ocorrem solos das ordens dos ARGISSOLOS, GLEISSOLOS E NEOSSOLOS; na sequência III ocorrem ARGISSOLOS E LUVISSOLOS; na sequência IV ocorrem apenas ARGISSOLOS; e, finalmente, nas sequências V e VI foram identificados ARGISSOLOS e NEOSSOLOS.

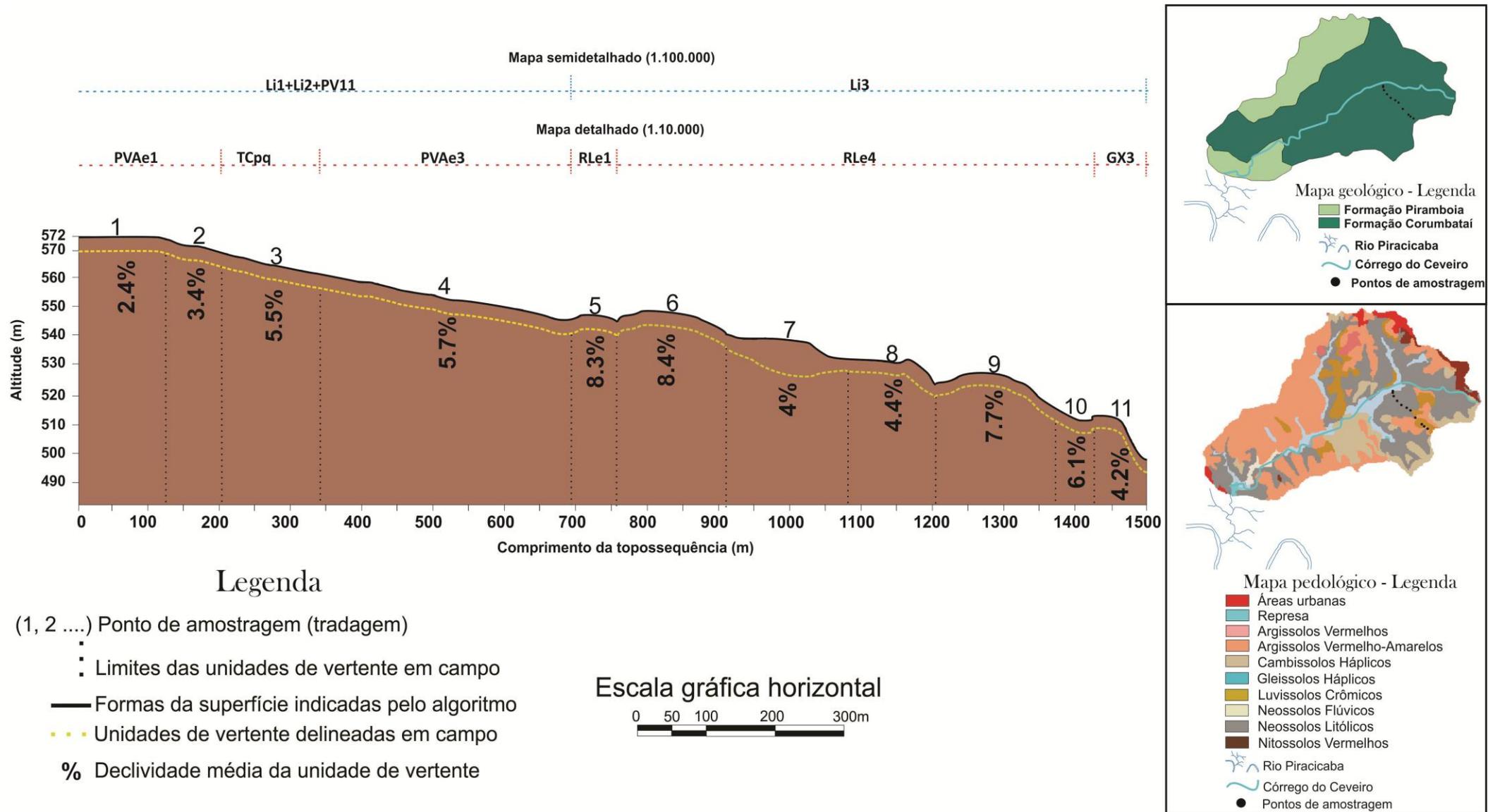
#### **4.2.1. Caracterização da Sequência I**

Composta por onze unidades de vertente, a sequência I desde sua cota mais alta (572m, topo) até sua cota mais baixa (490m, planície aluvial) se estende por 1.500m de comprimento, com predomínio de vertentes convexas e em declive (Tabela 7). A Figura 13 ilustra o perfil topográfico da sequência I, com informação acerca da localização dos pontos de amostragem de solos (1 a 11), declividade média de cada unidade de vertente, altitudes e distâncias a partir do topo, bem como as unidades de mapeamento segundo os mapas pedológicos semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989) e detalhado (Silva, 2000). Conforme o levantamento detalhado (Silva, 2000), as unidades de vertente da sequência I podem ser associadas a solos de seis diferentes unidades de mapeamento, sendo elas ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos textura arenosa/média (PVAe1); associação de LUVISSOLOS CRÔMICOS pálicos arênicos abruptos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos arênicos, ambos textura arenosa/média (TCpq); ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos textura média/argilosa (PVAe3); NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, textura arenosa/média (RLe1); NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura argilosa + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura média (RLe4); associação de GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminados textura média/argilosa + NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Distróficos textura média/argilosa + ARGISSOLOS AMARELOS Distróficos epiáquicos álicos textura média/argilosa + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS (GX3).

**Tabela 7.** Sequência I: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.

Local de amostragem	Unidade de vertente	Coordenadas UTM (m)		Declividade média (%)	Fase do relevo
		X	Y		
1	Cumeeira	220269	7492691	2,4	Plano
2	Vertente em declive	220170	7492767	4,4	Suave ondulado
3	Vertente em declive	220105	7492814	4,6	Suave ondulado
4	Vertente em declive	220004	7492913	4,4	Suave ondulado
5	Vertente convexa	219794	7493183	8,3	Ondulado
6	Vertente convexa	219745	7493223	8,4	Ondulado
7	Vertente côncava	219612	7493306	4,0	Suave ondulado
8	Vertente em sela	219477	7493414	4,4	Suave ondulado
9	Vertente convexa	219401	7493503	7,7	Suave ondulado
10	Vertente côncava	219313	7493636	6,1	Suave ondulado
11	Ponto sela	219307	7493689	4,2	Suave ondulado

Nessa sequência, as vertentes convexas ocorrem associadas às maiores declividades (pontos de amostragem do solo números 5, 6 e 9), variando entre 7,7% (ponto 9), e 8,3 - 8,4% (ponto 5 e 6), que se enquadram respectivamente nas fases de relevo suave-ondulado e ondulado (Tabela 7). A sondagem de campo identificou solos mais rasos associados aos pontos 5 e 6 (vertente convexa), conforme pode ser observado na Figura 16, que ilustra a variação de cor e estrutura em profundidade no solo, associando com a respectiva unidade de vertente e unidade de mapeamento de solo. Coloração rosada em profundidade no solo indica presença da rocha mãe, no caso um folhelho, que em alguns locais já ocorre bastante alterado.



**Figura 15.** Perfil topográfico da sequência I, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos no mapa geológico (adaptado de IPT, 1981) e pedológico da MHCC (classificação atualizada a partir de Silva, 2000), em destaque.

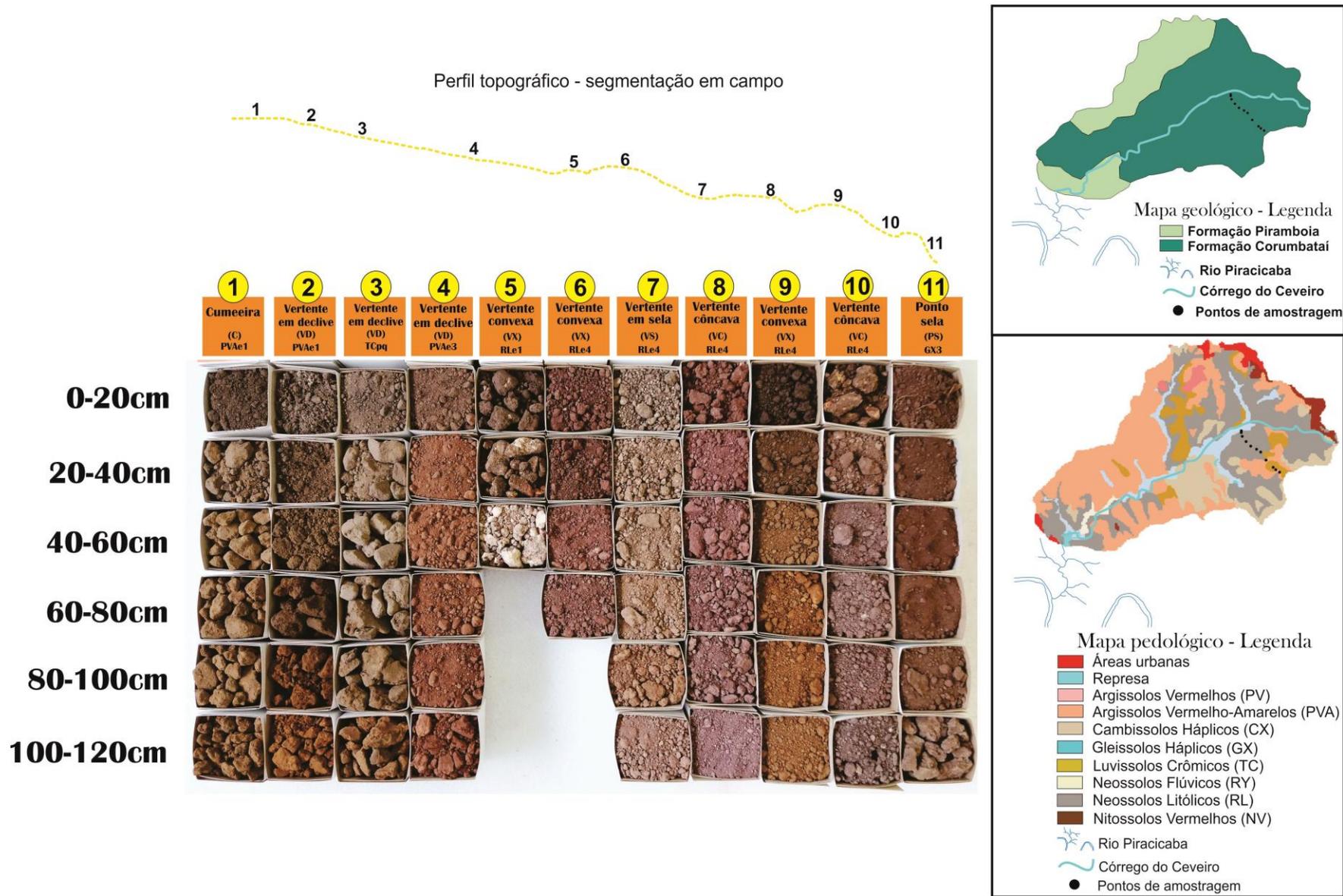


Figura 16. Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da sequência I.

Os solos da sequência I derivam de sedimentos inconsolidados do Grupo Passa Dois, Formação Corumbataí (Pc), onde predominam argilitos, folhelhos (Figura 7) e siltítos cinza e/ou arroxeados ou avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos, silexitos e camadas de arenitos finos, oriundos possivelmente de depósitos marinhos (IPT, 1981). Entre os pontos 6 e 11 foi possível identificar em campo fragmentos de rocha indicativos da presença de horizonte Cr entre as profundidades 80-100cm e 100-120cm. Observa-se na Figura 15 que no ponto 5 o solo é raso, apresentando contato lítico ou contato com a rocha sã em até 50cm de profundidade, identificando NEOSSOLO LITÓLICO, componente principal das unidades de mapeamento RLe1 e RLe4. Já no ponto 6, o solo é um pouco mais profundo, apresentando contato litóide, ou contato com a rocha sã em até 100cm. Destaca-se que nas vertentes convexas tende a predominar o fluxo laminar de água e sedimentos, com velocidade crescente em função do gradiente, dificultando a ação da pedogênese e gerando solos mais rasos (RUHE, 1975). O solo do ponto 9 é mais profundo e a morfologia sugere uma inclusão de ARGISSOLO na posição mais elevada da respectiva unidade de vertente.

A amostragem em campo e a disposição do solo em pedocomparadores (Figura 16) possibilitou evidenciar ainda a presença nos pontos 1 e 3 da sequência I de solo de coloração mais pálida entre as profundidades de 20-80cm. A textura predominantemente arenosa nas profundidades de 20-40cm, 40-60cm e 60-80cm, além do matiz 10YR associado a valores iguais ou superiores a 5 e croma iguais ou superiores a 4 (cor úmida) sugerem a ocorrência de horizonte alábico, indicativo de mudança textural abrupta no solo. Também foi observada coloração mosqueada ou variegada no solo na profundidade de 100-120cm nos pontos 1 a 3, nesta topossequência, como pode ser observado nas Figura 17a e 17b.



**Figura 17.** Em **a.**, coloração variegada composta de amarelo (10YR 6/6, úmido), bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido), bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmido); em **b.**, coloração variegada composta de amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido), bruno-amarelo-escuro (10YR 4/6, úmido), bruno (10YR 4/3, úmido).

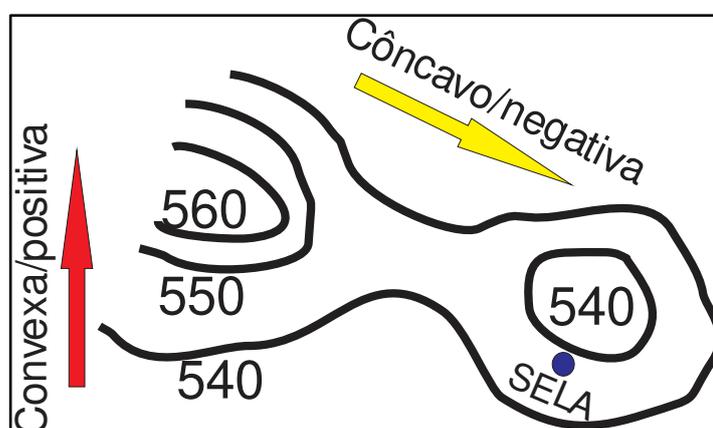
#### 4.2.2. Caracterização da Sequência II

A Figura 18 ilustra o perfil topográfico da sequência II, com informação acerca da localização dos pontos de amostragem de solos (12 a 18), declividade média de cada unidade de vertente, altitudes e distância a partir do topo, bem como as unidades de mapeamento segundo os mapas pedológicos semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989) e detalhado (Silva, 2000). Com declividades médias variando entre 3,1% e 7,8%, em relevo suave ondulado, a sequência II é composta por sete unidades de vertente. Desde sua cota mais alta até sua cota mais baixa se estende por 1.894m de comprimento (Figura 18), a unidade mais longa possui 549 metros, predominando as vertentes convexas e em sela (Tabela 8). A classificação das vertentes em relação ao perfil é analisada de acordo com seu valor de curvatura, sendo as vertentes retilíneas com valor de curvatura nulo, as vertentes côncavas com curvatura positiva e as convexas com curvatura negativa (VALERIANO, 2003). As vertentes em sela, por sua vez, possuem curvatura positiva em uma direção e negativa em sua ortogonal (Herrington e Pellegrini, 2000), constituindo, portanto, uma composição convexo/côncavo, que no caso desta sequência ocorre em declividades ao redor de 3%. O modelo esquemático (Figura 19) ilustra a concepção teórica básica das feições em sela: as curvas de nível aumentam em uma

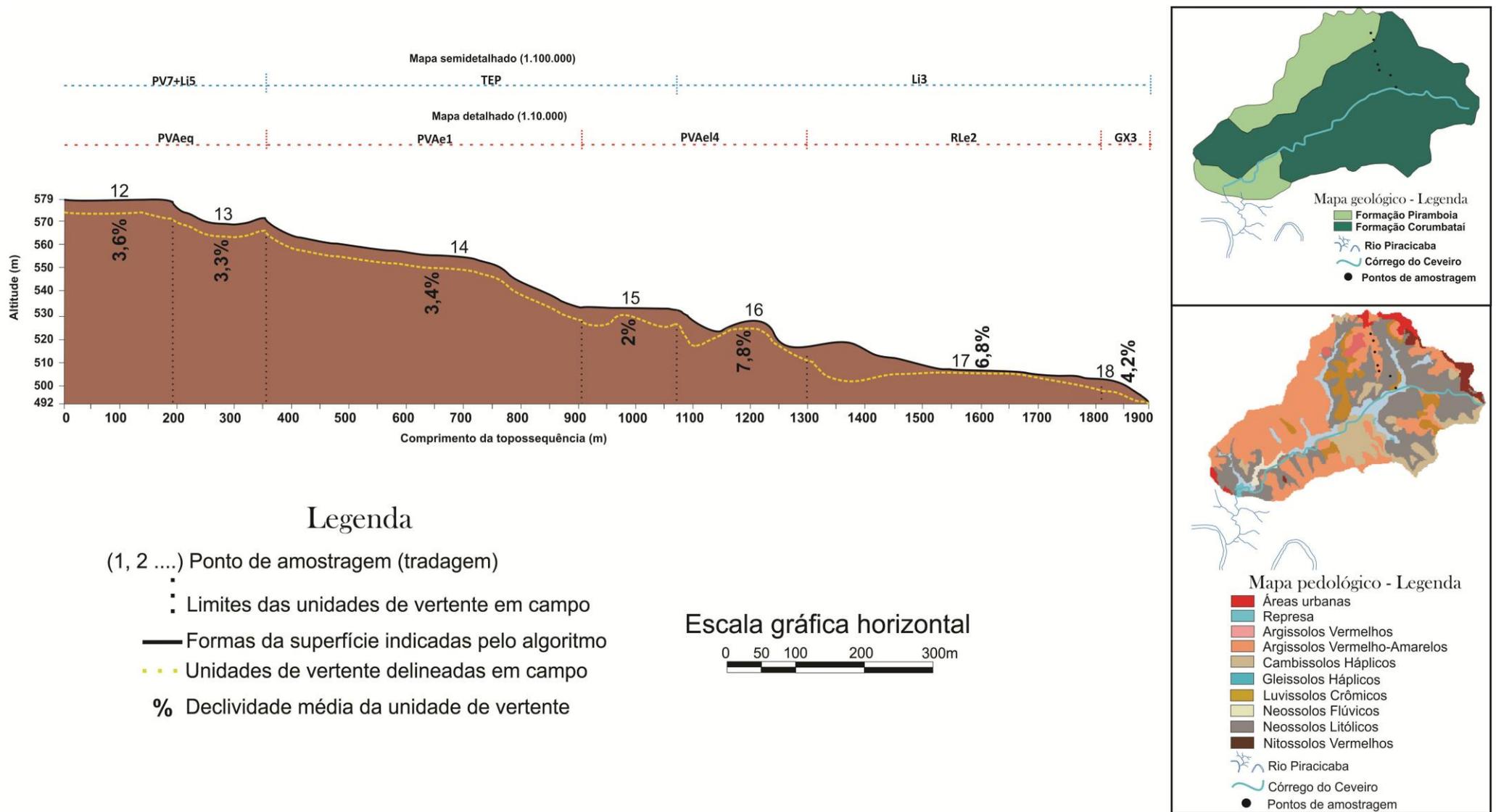
direção e diminuem em sua ortogonal, sendo muito comuns nos domínios dos Mares de Morros (AB'SABER, 2003).

**Tabela 8.** Sequência II: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.

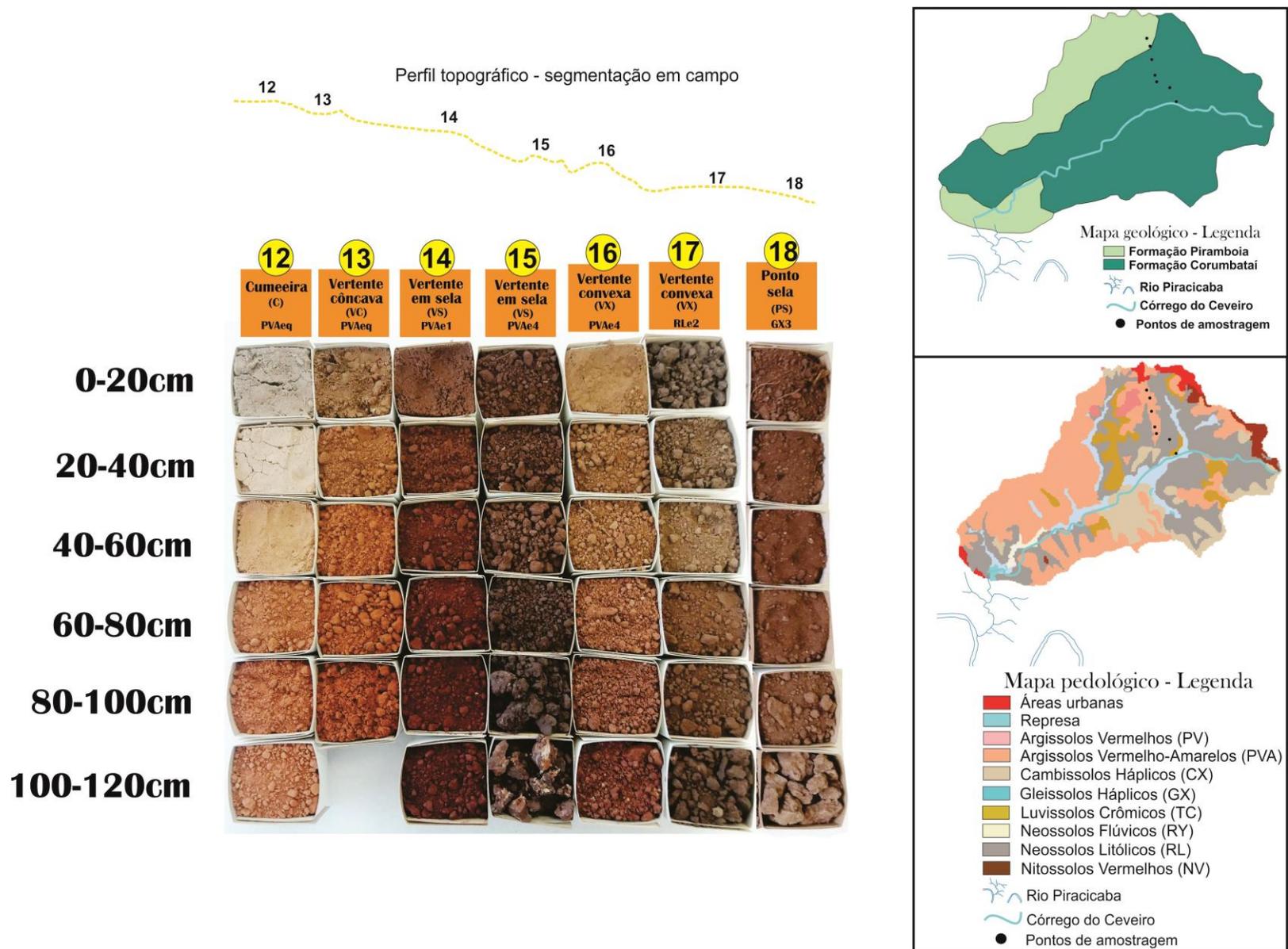
Ponto de amostragem	Unidade de vertente	Coordenadas UTM		Declividade (%)	Fase do relevo
		X	Y		
12	Cumeeira	218657	7495123	3,6	Suave ondulado
13	Vertente côncava	218722	7494959	3,3	Suave ondulado
14	Vertente em sela	218763	7494397	3,4	Suave ondulado
15	Vertente em sela	218838	7494251	3,1	Suave ondulado
16	Vertente convexa	218957	7494103	7,8	Suave ondulado
17	Vertente convexa	219298	7493757	6,8	Suave ondulado
18	Ponto sela	219307	7493689	4,2	Suave ondulado



**Figura 19.** Representação esquemática da feição em sela no terreno segundo Ab'Sáber (2003), adaptada.



**Figura 18.** Perfil topográfico da sequência II, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos nos mapas geológico (adaptado de IPT, 1981) e pedológico (classificação atualizada a partir de Silva, 2000) da MHCC, em destaque.



**Figura 20.** Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da sequência II.

Na Figura 20, a disposição dos solos em pedocomparadores permite observar grande variação da morfologia no que respeita à cor e à estrutura. Também a textura de campo indicou ampla diferenciação, com ocorrência das classes arenosa, média e argilosa.

De acordo com o mapa pedológico semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989), ocorrem nesta sequência três unidades de mapeamento referidas por PV7+Li5 (Associação de grupamento indiscriminado de PODZÓLICOS VERMELHO- AMARELOS abruptos + SOLOS LITÓLICOS Eutróficos), TEP (TERRA ROXA ESTRUTURADA podzólica eutrófica) e Li3 (Associação de SOLOS LITÓLICOS eutróficos ou distróficos), que no mapa pedológico detalhado (Silva, 2000) foram desmembradas em cinco unidades de mapeamento: ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS eutróficos abruptos arênicos (PVAeq), ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS eutróficos abruptos (PVAe1), (ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS eutróficos abruptos lépticos (PVAe14), NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos (RLe2) e Associação complexa de GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminados + NEOSSOLOS FLÚVICOS tb distrófico + ARGISSOLOS AMARELOS distróficos epiáquicos álicos + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS (GX3). Nesta sequência predominam solos da ordem dos ARGISSOLOS, mais profundos, com gradiente textural entre horizontes superficiais e de subsuperfície. A partir da sondagem de campo foi possível verificar textura arenosa/média nos pontos 12 e 13, ambos enquadrados na unidade de mapeamento PVAeq (ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos arênicos), tendo como litologia os arenitos finos à médios da Formação Piramboia.

De coloração vermelho/brunada, o solo do ponto 14 foi enquadrado na unidade de mapeamento Terra Roxa Estruturada Podzólica (TEP) no levantamento semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989), e na unidade PVAe1 (ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS eutróficos abruptos) no levantamento detalhado de solos. A sondagem de campo indicou a presença de cerosidade entre 60-120cm, que juntamente com a cor vermelha, e o gradiente textural de A para B compõem características morfológicas que podem identificar ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico.

Como na sequência I, as vertentes convexas na sequência II estão associadas às maiores declividades encontradas – entre 6,8% e 7,8% -, e com solos mais rasos em unidades de mapeamento onde os NEOSSOLOS LITÓLICOS aparecem como componente principal (RLe2) ou em associações complexas com ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS, como na unidade PVAe14 (ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS eutróficos abruptos lépticos)

Maior diferenciação entre os solos no que tange aos atributos morfológicos cor e textura foi observada nessa sequência com relação as outras seis estudadas. Tal fato é justificado pela diversidade litológica da área, onde predominam os arenitos da Formação Piramboia (pontos 12 e 13), os “sills” de diabásio da Formação Serra Geral (pontos 14 e 15) e os sedimentos indiscriminados do Grupo Passa Dois (pontos 16, 17, 18).

#### **4.2.3. Caracterização da Sequência III**

A Figura 20 ilustra o perfil topográfico da sequência III, com informação acerca da localização dos pontos de amostragem de solos (19 a 26), declividade média de cada unidade de vertente, altitudes e distância a partir do topo, bem como as unidades de mapeamento segundo os mapas pedológicos semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989) e detalhado (Silva, 2000). Com oito unidades de vertente, a sequência III se estende por 1.008m de comprimento (Figura 21), sendo que a unidade mais longa possui 182 metros. Predominam nesta sequência as vertentes côncavas e convexas (Tabela 9). As vertentes convexas apresentam as maiores declividades (8,1 e 8,2%).

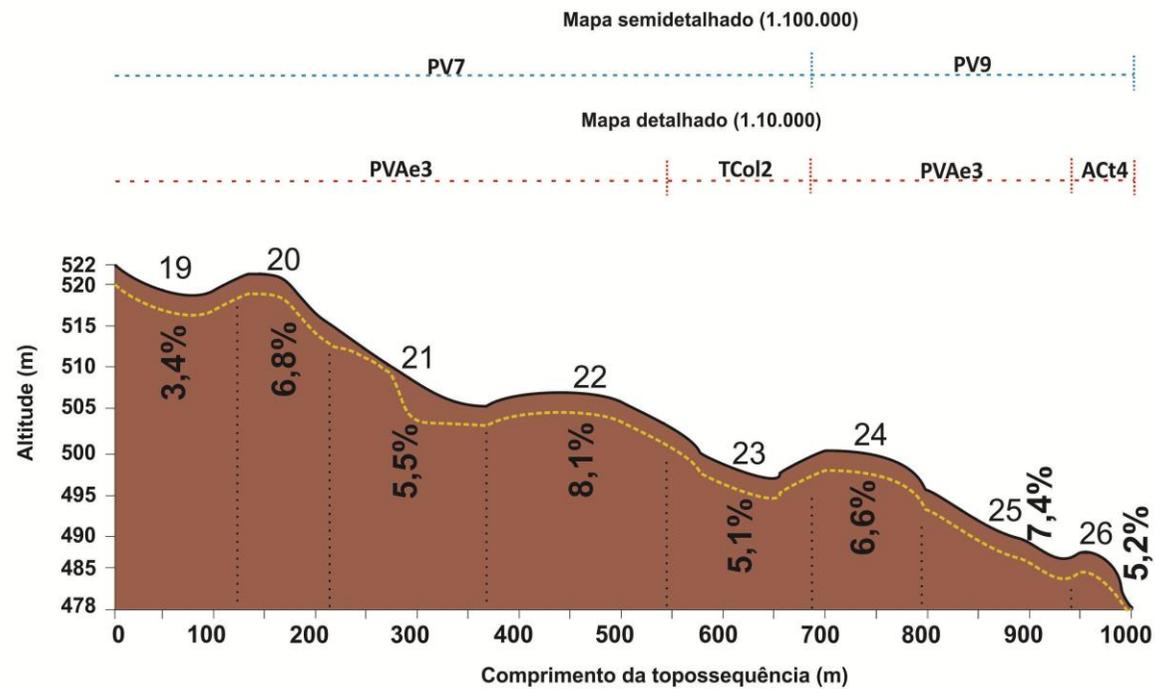
Por se tratar de rochas sedimentares já muito alteradas, foi possível amostrar até 120cm nas vertentes convexas. Como abordado por Casseti (2005), as rochas sedimentares são mais susceptíveis ao intemperismo, do que substratos formados por rochas mais duras, como os granitos e gnaisses. Nas unidades de vertente dispostas na sequência III ocorrem solos enquadrados em quatro diferentes unidades de mapeamento do mapa detalhado de solos (Silva, 2000), sendo elas ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupáticos, textura média/argilosa (PVAe3), Associação complexa de LUVISSOLOS CRÔMICOS órticos abrupáticos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS distróficos abrupáticos lépticos (TCo12) e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS abrupáticos alíticos (PVAalc), sendo esta última criada a partir da reclassificação dos ALISSOLOS CRÔMICOS (vide Material e Métodos, seção 3.4.3).

Nessa sequência, os pontos 19 a 22, 24 e 25 estão sob a unidade de mapeamento PVAe3 do levantamento detalhado, em diferentes unidades de vertente, (elementos côncavos, convexas, em sela e regiões de talvegue). A sondagem de campo identificou solos mais rasos e amarelos na região do fundo de vale, com matiz 10YR, e solos vermelhos ou brunados nas posições superiores da sequência (pontos 19, 20 e 21).

**Tabela 9.** Sequência III: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.

Ponto de amostragem	Forma da superfície (algoritmo)	Coordenadas UTM (m)		Declividade (%)	Fase do relevo
		X	Y		
19	Vertente côncava	217889	7491718	3,4	Suave ondulado
20	Vertente em sela	217810	7491804	6,8	Suave ondulado
21	Inflexão da vertente	217769	7491886	5,8	Suave ondulado
22	Vertente convexa	217725	7492030	8,1	Ondulado
23	Vertente côncava	217668	7492206	5,1	Suave ondulado
24	Vertente convexa	217601	7492336	8,2	Ondulado
25	Talvegue	217544	7492420	7,4	Suave ondulado
26	Ponto sela	217451	7492549	5,2	Ondulado

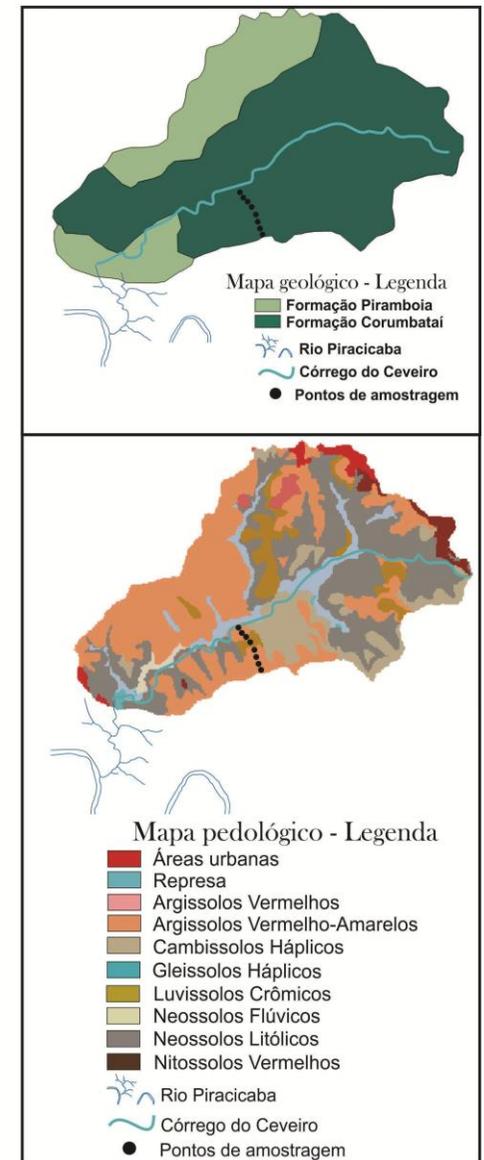
A Figura 22 ilustra amostras dos solos em pedocomparadores, permitindo observar a variação da morfologia dos solos nessa sequência. No ponto 26, o solo foi enquadrado na subordem ALISSOLO CROMICO, unidade de mapeamento ACt4 do levantamento detalhado (Silva, 2000). Na atualização da classificação de acordo com a terceira aproximação do SiBCS (EMBRAPA, 2013), o solo foi reclassificado para a subordem NEOSSOLOS FLÚVICOS, textura média/argilosa Localmente no ponto 25 foi observado, no entanto, a presença de horizonte superficial assente sobre rocha sã abaixo de 60cm e ausência de gleização expressiva dentro de 50cm da superfície do solo, indicando se tratar de um NEOSSOLO REGOLÍTICO.



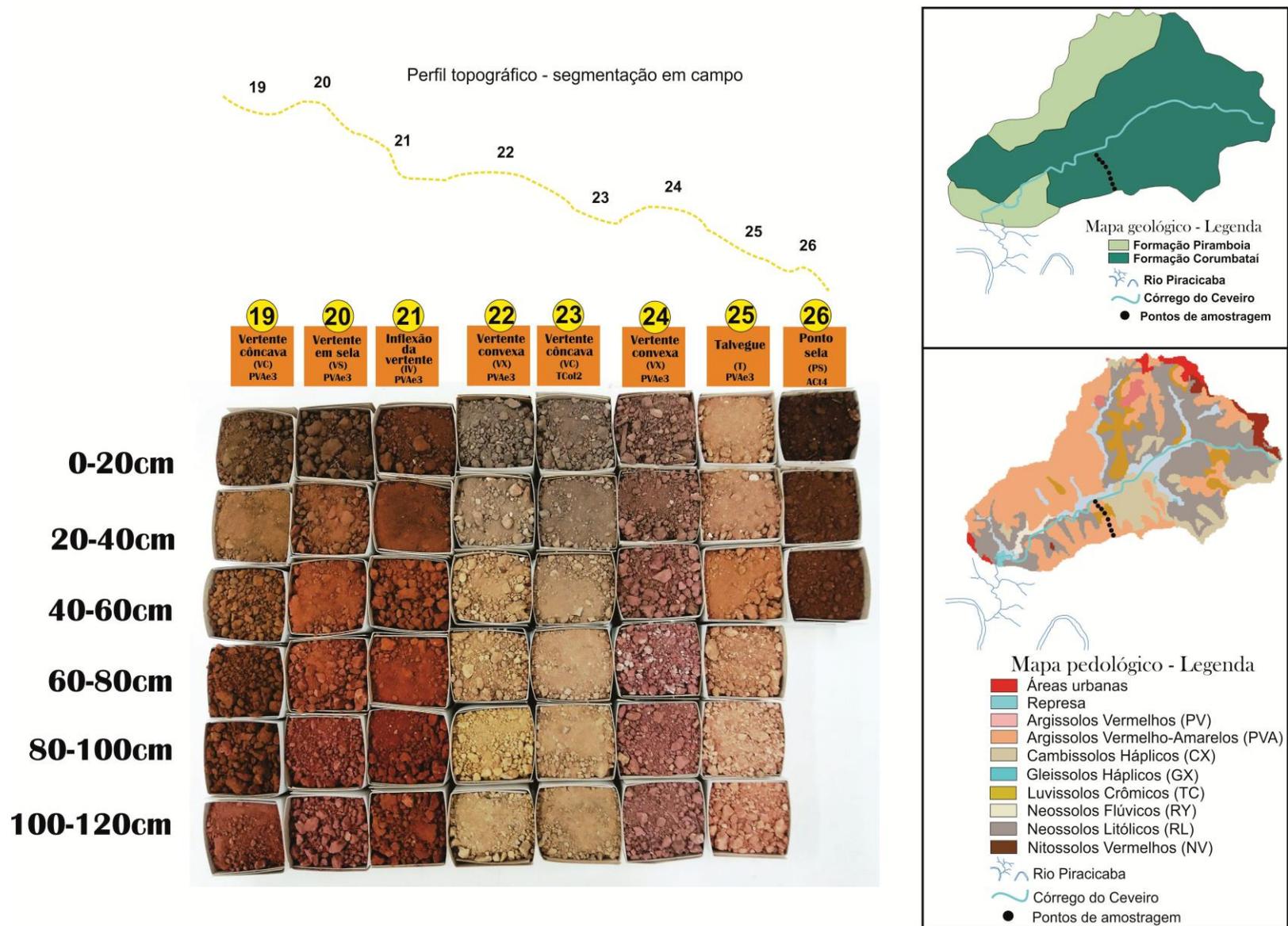
Legenda

- (1, 2 ....) Ponto de amostragem (tradagem)
- Limites das unidades de vertente em campo
- Formas da superfície indicadas pelo algoritmo
- - - Unidades de vertente delineadas em campo
- % Declividade média da unidade de vertente

Escala gráfica horizontal



**Figura 21.** Perfil topográfico da sequência III, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos nos mapas geológico (adaptado de IPT. 1981) e pedológico (classificação atualizada a partir de Silva, 2000) da MHCC, em destaque.



**Figura 22.** Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da sequência III.

O solo do ponto 22 (Figura 22) apresenta gradiente textural entre a camada superficial e subsuperficial e matiz 7,5YR ou mais amarelos na maior parte dos primeiros 100cm, identificando-se um ARGISSOLO AMARELO. Com cor, textura e gradiente textural semelhantes aos solos do ponto 22, o ponto 23 não atende os requisitos de cor para enquadramento no caráter crômico na unidade de mapeamento TCol2 (LUVISSOLOS CRÔMICOS), identificando então um ARGISSOLO AMARELO.

As oito unidades de vertente delimitadas em campo na sequência III sofrem influências dos sedimentos inconsolidados do Grupo Passa Dois, Formação Corumbataí (Pc), onde predominam argilitos, folhelhos e siltítos cinza e/ou arroxeados ou avermelhados (Figura 7).

#### **4.2.4. Caracterização da Sequência IV**

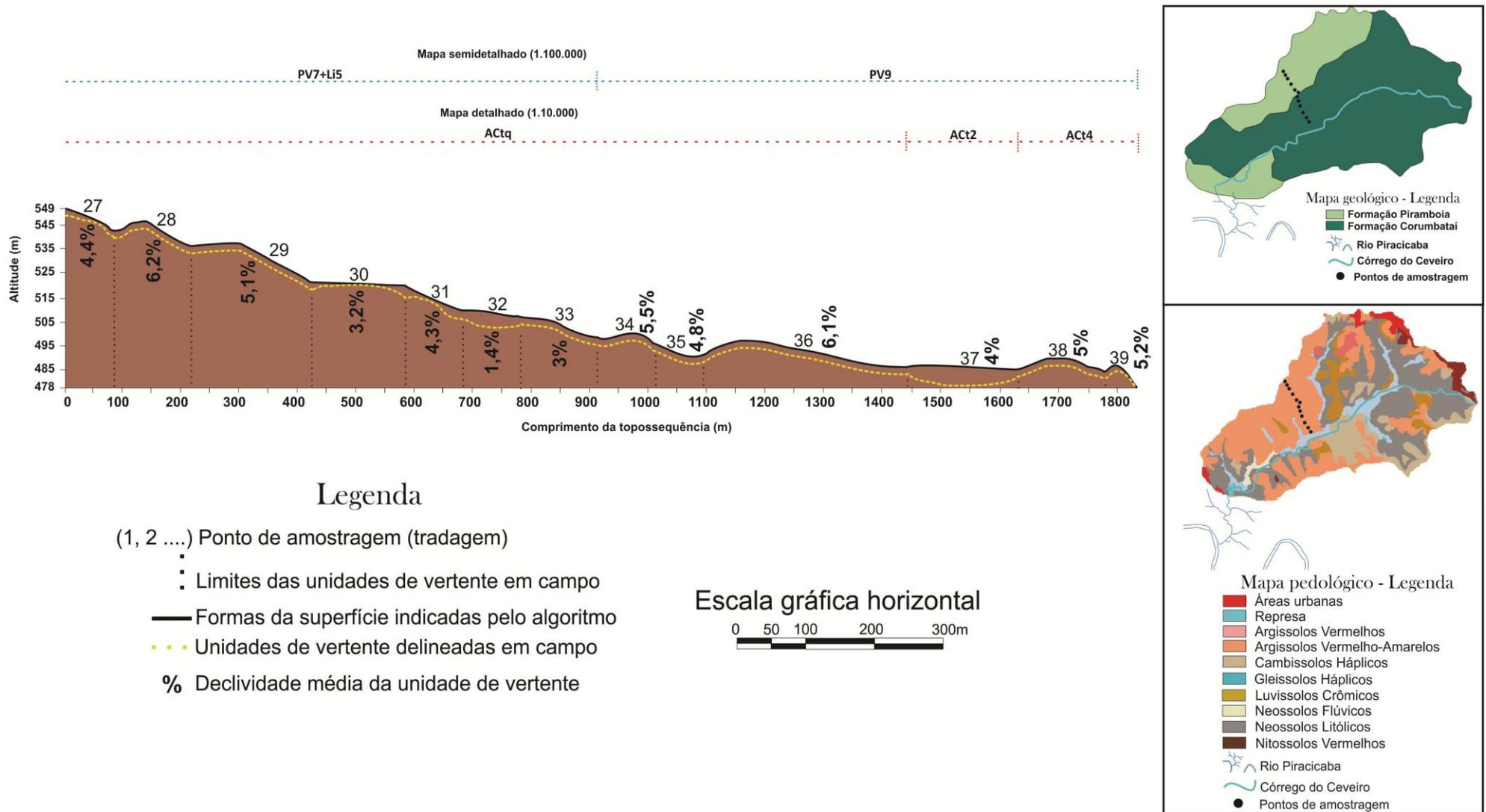
A Figura 23 ilustra o perfil topográfico da sequência IV, com informação acerca da localização dos pontos de amostragem de solos (27 a 39), declividade média de cada unidade de vertente, altitudes e distância a partir do topo, bem como as unidades de mapeamento segundo os mapas pedológicos semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989) e detalhado (Silva, 2000). A sequência IV é composta por treze unidades de vertente que abrigam seis diferentes formas das superfícies classificadas pelo algoritmo TOPOSHAPE (Tabela 10). O comprimento da sequência IV é de 1.837m (Figura 22), e a unidade de vertente mais extensa possui 246 m.

A partir do cruzamento do mapa detalhado de solos (Silva, 2000) com o mapa de vetores das unidades de vertente, observou-se que a totalidade dessas unidades estão associadas à subordem dos ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS (classificação atualizada), sob cultivo de cana-de-açúcar, com exceção no ponto 39, que ocorre em área de mata associada a um NEOSSOLO REGOLÍTICO. A litologia neste caso engloba arenitos de textura fina à média do Grupo São Bento, Formação Piramboia (pontos 27 a 32) e argilitos e siltítos do Grupo Tubarão, Formação Itararé/Tatuí (pontos 33 a 39) (Figura 24). Os pontos 27 a 36 apresentaram textura arenosa na camada superficial, correspondente à unidade de mapeamento ACTq (classificação original: ALISSOLOS CRÔMICOS argilúvicos arênicos). A Figura 24 ilustra a disposição em pedocomparadores de amostras de solo por camada de cada ponto amostral da Sequência IV. A disposição dos solos nos pedocomparadores permite observar a variação morfológica particularmente da cor, evidenciando o predomínio de cores

claras, associadas à textura arenosa, nos pontos sob influência dos arenitos da Formação Piramboia, e de cores mais escuras e brunadas, associadas à textura média argilosa, nos pontos amostrais sob influência dos arenitos e siltitos da Formação Itararé/Tatuí

**Tabela 10.** Sequência IV: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.

Ponto de amostragem	Unidades de vertente	Coordenadas UTM (m)		Declividade (%)	Fase do relevo
		X	Y		
27	Cumeeira	216720	7494098	4,4	Suave ondulado
28	Vertente em sela	216792	7493982	6,2	Suave ondulado
29	Vertente em sela	216881	7493796	5,1	Suave ondulado
30	Vertente convexa	216980	7493664	3,2	Suave ondulado
31	Vertente em sela	217045	7493591	4,3	Suave ondulado
32	Vertente côncava	217062	7493499	1,4	Plano
33	Vertente em sela	217043	7493356	3,0	Suave ondulado
34	Vertente convexa	217050	7493261	5,5	Suave ondulado
35	Vertente côncava	217126	7493094	4,8	Suave ondulado
36	Vertente em sela	217242	7492880	6,1	Suave ondulado
37	Vertente côncava	217336	7492722	4	Suave ondulado
38	Vertente côncava	217415	7492600	5	Suave ondulado
39	Ponto sela	217451	7492549	5,2	Suave ondulado



**Figura 23.** Perfil topográfico da Sequência IV, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos nos mapas geológico (adaptado de IPT, 1981) e pedológico (classificação atualizada a partir de Silva, 2000) da MHCC, em destaque.

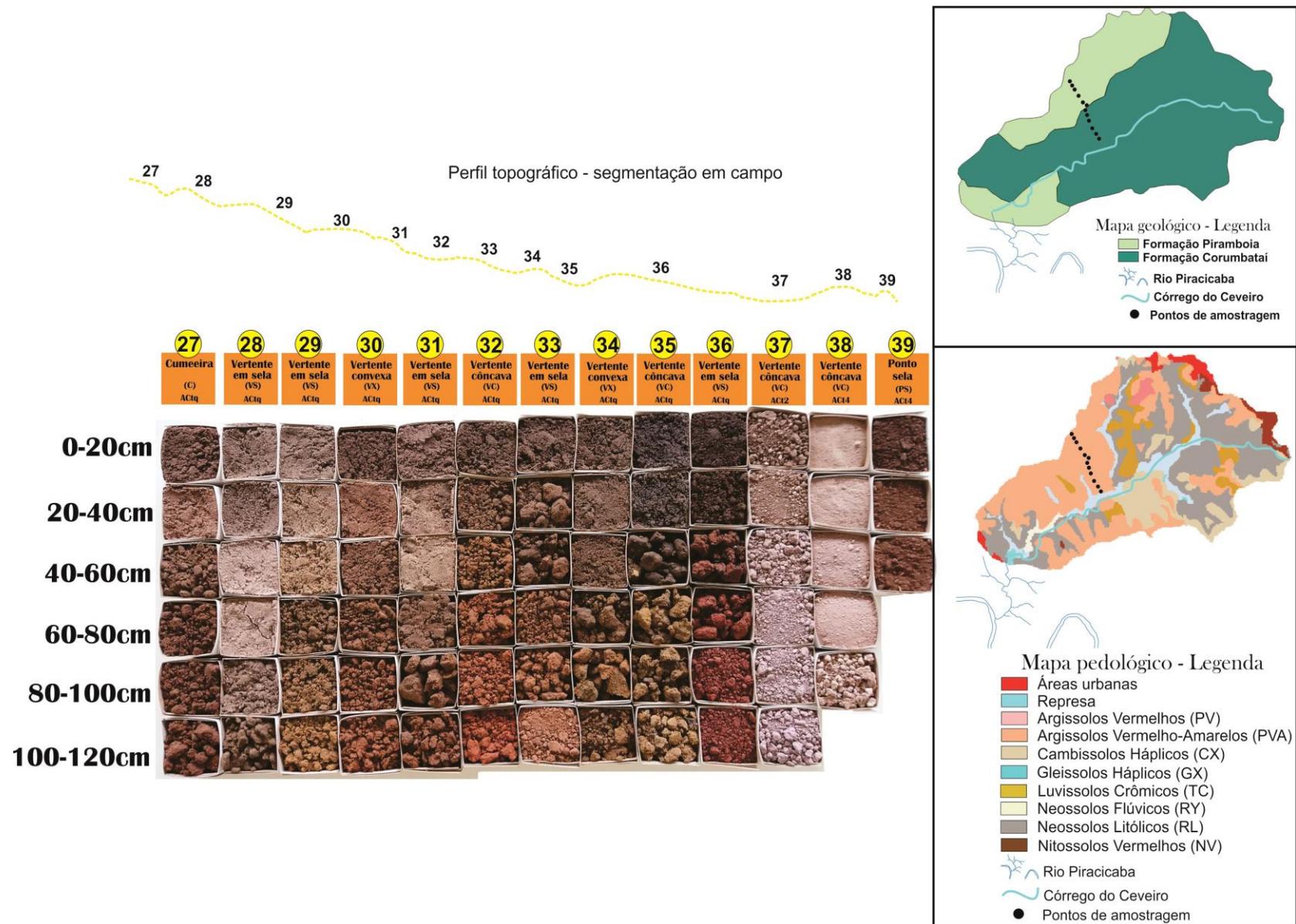


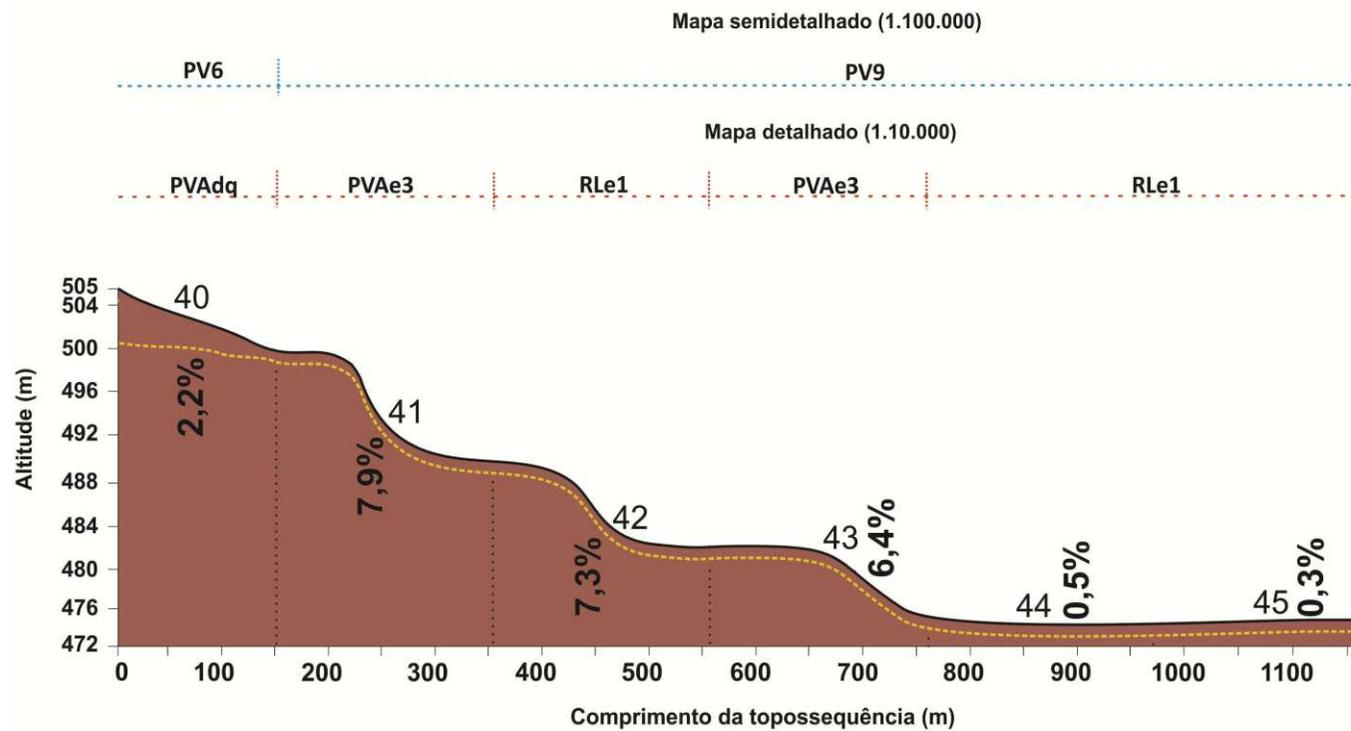
Figura 24. Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da sequência IV.

#### 4.2.5. Caracterização da Sequência V

A Figura 25 ilustra o perfil topográfico da sequência V, com informação acerca da localização dos pontos de amostragem de solos (40 a 45), declividade média de cada unidade de vertente, altitudes e distância a partir do topo, bem como as unidades de mapeamento segundo os mapas pedológicos semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989) e detalhado (Silva, 2000). Na sequência V foram delimitadas seis unidades de vertente com três diferentes formas de superfície conforme classificadas pelo algoritmo TOPOSHAPE. O comprimento desta sequência é de 1.161m (Figura 24). O algoritmo classificou os pontos 44 e 45 como planície (P), onde as declividades são quase nulas - 0,5% e 0,3% respectivamente (Tabela 11). Nestes pontos, na profundidade de 100-120cm foram observados fragmentos de rocha de coloração arroxeadada/avermelhada (Figura 26), além de fragmentos de rocha verificados na camada arável no ponto 44 (Figura 27 a,b).

**Tabela 11.** Sequência V: Unidades de vertente, locais de amostragem e dados do meio físico.

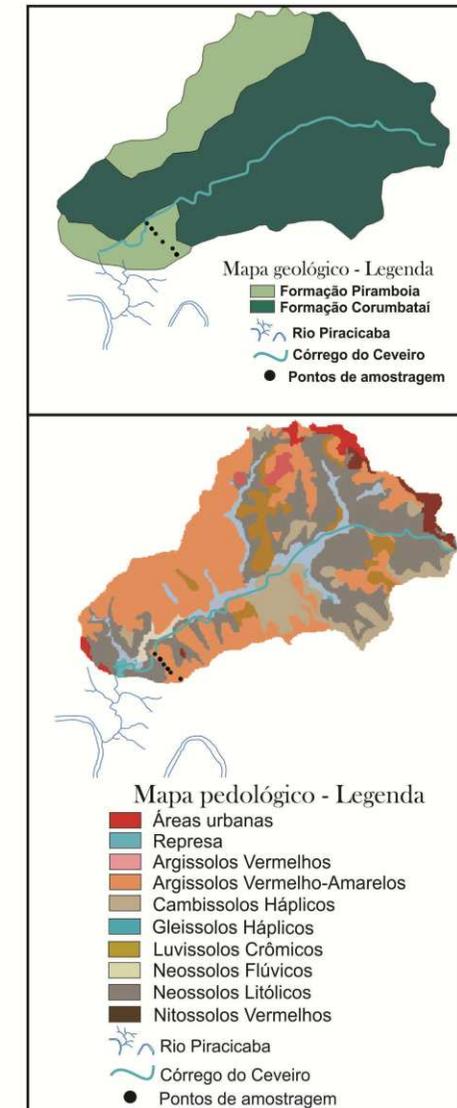
Ponto de amostragem	Forma da superfície (algoritmo)	Coordenadas UTM (m)		Declividade (%)	Fase do relevo
		X	Y		
40	Cumeeira	216390	7490981	2,2	Plano
41	Vertente em sela	216270	7491094	7,9	Suave ondulado
42	Vertente em sela	216115	7491216	7,3	Suave ondulado
43	Vertente em sela	215979	7491371	6,4	Suave ondulado
44	Planície	215842	7491529	0,5	Plano
45	Planície	215696	7491667	0,3	Plano



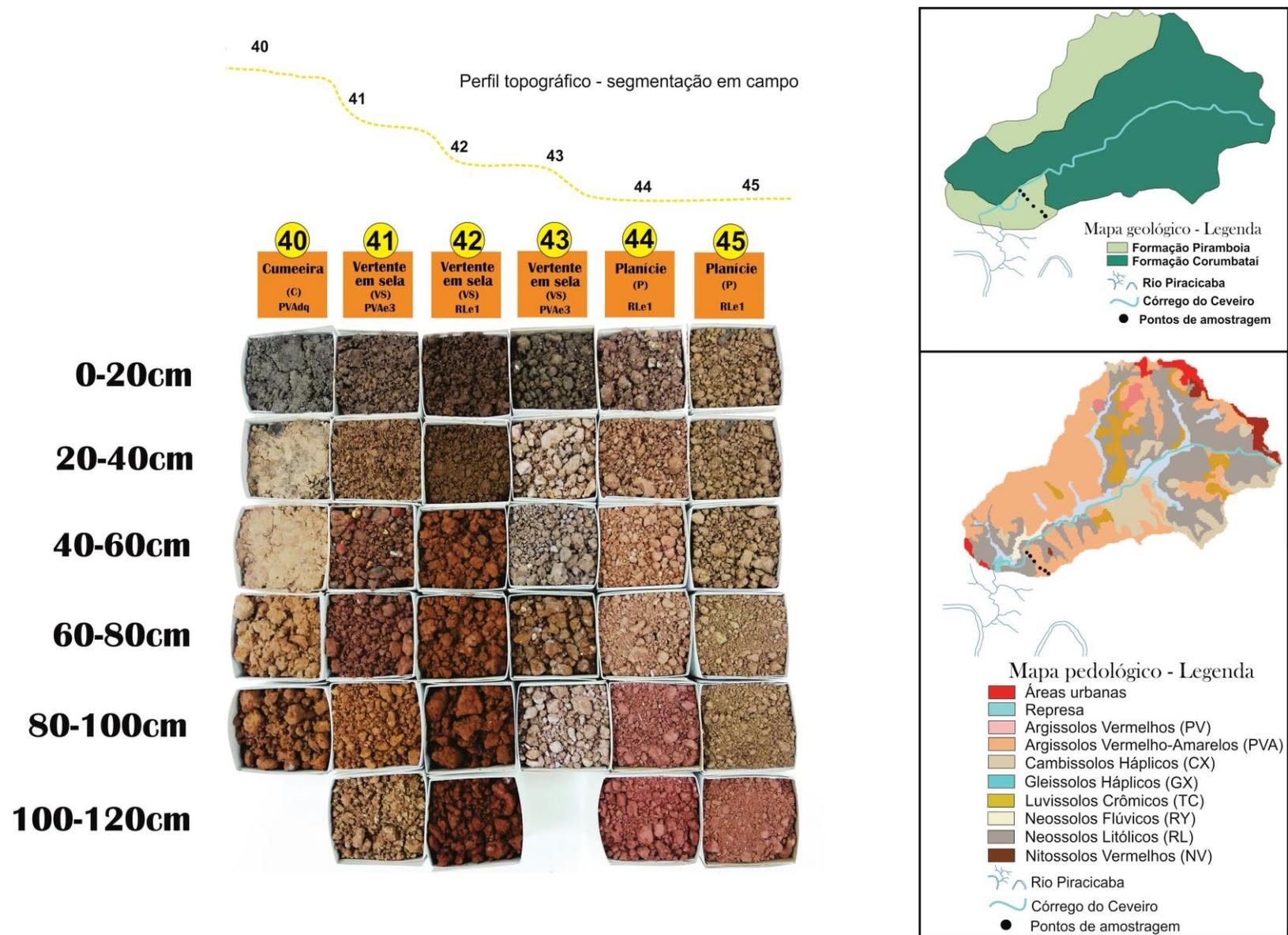
### Legenda

- (1, 2 ....) Ponto de amostragem (tradagem)
- Limites das unidades de vertente em campo
- Formas da superfície indicadas pelo algoritmo
- Unidades de vertente delineadas em campo
- % Declividade média da unidade de vertente

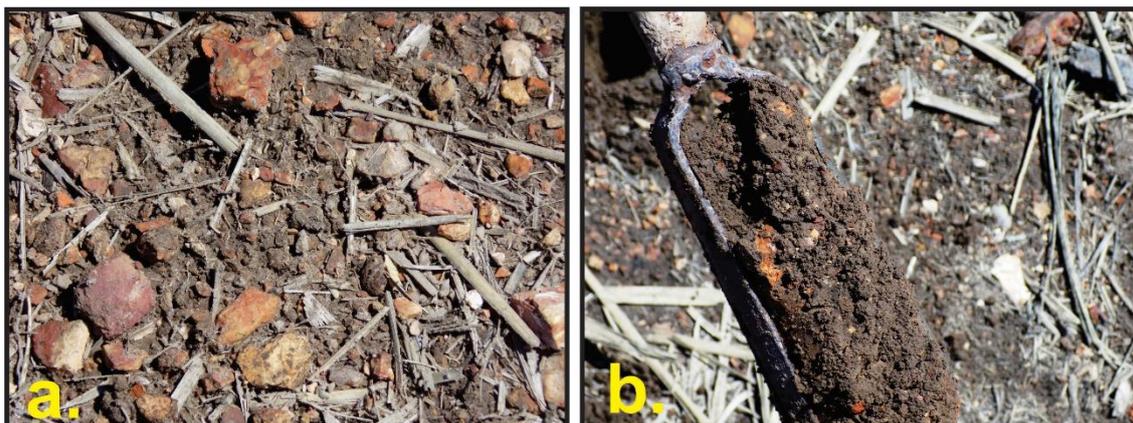
### Escala gráfica horizontal



**Figura 25.** Perfil topográfico da Sequência IV, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos nos mapas geológico (adaptado de IPT, 1981) e pedológico (classificação atualizada a partir de Silva, 2000) da MHCC, em destaque.



**Figura 26.** Amostras de solos em pedocomparadores por local de amostragem de solo da sequência V.



**Figura 27.** Ponto 41: Fragmentos de rocha dispostos à superfície do solo (a) e no material recolhido com o trado (b).

Ocorrem nessa sequência as unidades de mapeamento ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abruptos arênicos (PVA<sub>dq</sub>), ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos textura média/argilosa e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos (RLe1). Nos pontos 40 e 43 o contato lítico ocorreu em 100cm. Embora o ponto 42 esteja sobre a unidade de mapeamento onde os NEOSSOLOS LITÓLICOS ocorrem em unidade simples, a cerosidade, cor, textura argilosa e/ou muito argilosa nos horizontes subsuperficiais e profundidade do solo permitem inferir a inclusão de NITOSSOLOS VERMELHOS.

Os pontos 44 e 45 foram classificados pelo algoritmo e em campo como planície, tendo como material de origem sedimentos indiscriminados do Grupo Tubarão, sendo verificado a partir dos 20cm em ambos os pontos fragmentos de rochas desse substrato litólico.

#### 4.3.6. Caracterização da Sequência VI

A Figura 28 ilustra o perfil topográfico da sequência VI, com informação acerca da localização dos pontos de amostragem de solos (46 a 53), declividade média de cada unidade de vertente, altitudes e distância a partir do topo, bem como as unidades de mapeamento segundo os mapas pedológicos semidetalhado (Oliveira e Prado, 1989) e detalhado (Silva, 2000). A extensão da sequência VI é de 1.436m (Figura 28), sendo composta por oito unidades de vertente (Tabela 12), com predominância das vertentes em sela, com declividades entre 1,2%-6,4%, fases de relevo plano a suave ondulado. Os solos se enquadram nas classes

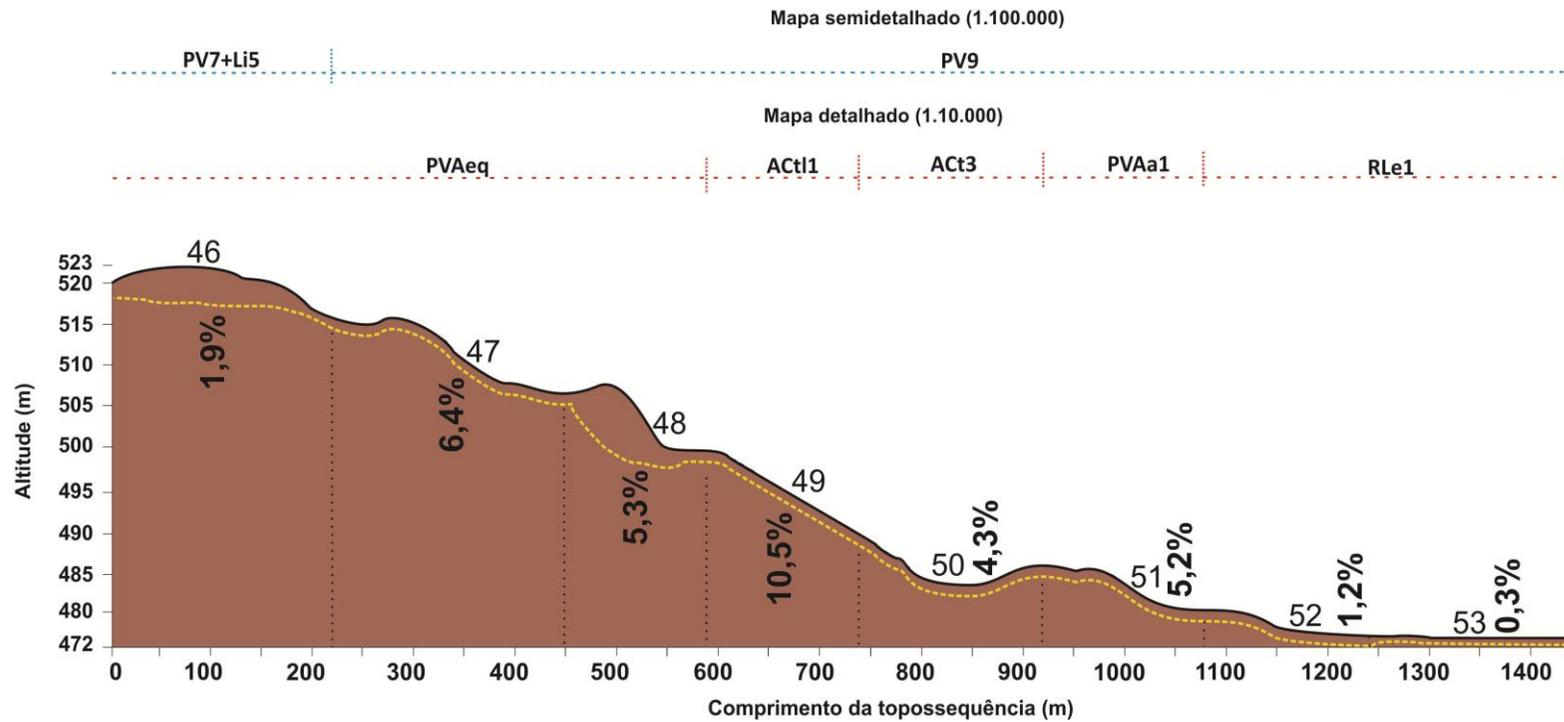
dos ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS (classificação atual) e NEOSSOLOS LITÓLICOS (classificação original).

**Tabela 12.** Formas da superfície e dados do meio físico na sequência VI

Ponto de amostragem	Forma da superfície (algoritmo)	Coordenadas UTM (m)		Declividade (%)	Fase do relevo
		X	Y		
46	Cumeeira	215314	7492780	1,9	Plano
47	Vertente em sela	215323	7492554	6,4	Suave ondulado
48	Vertente côncava	215359	7492422	5,3	Suave ondulado
49	Vertente em declive	215413	7492270	10,5	Ondulado
50	Vertente côncava	215467	7492100	4,3	Suave ondulado
51	Vertente em sela	215533	7491957	5,2	Suave ondulado
52	Vertente em sela	215669	7491823	1,2	Plano
53	Planície	215696	7491667	0,3	Plano

Associadas a essa sequência ocorrem as unidades de mapeamento do mapa detalhado (Silva, 2000) referidas por ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupáticos arênicos (PVAeq), ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS abrupáticos alíticos (PVAalc) (classificação atualizada), ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS alumínicos abrupáticos (PVAa1) e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos (RLe1).

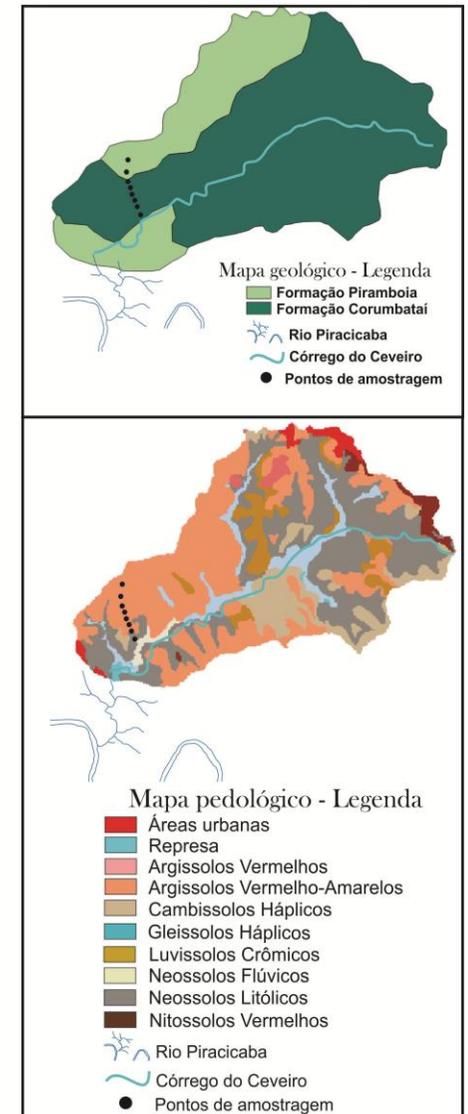
Os pontos 46 e 47 apresentaram textura arenosa dentro de 100cm, configurando o caráter espessarênico (EMBRAPA, 2006) (Figura 29). No ponto 49, classificado em campo como vertente em declive, os solos apresentaram mudança de cor e textura abrupta entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. A coloração alaranjada do solo pode ser atribuída ao material de origem desse ponto – arenitos da Formação Piramboia.



### Legenda

- (1, 2 ....) Ponto de amostragem (tradagem)
- ⋮ Limites das unidades de vertente em campo
- Formas da superfície indicadas pelo algoritmo
- - - Unidades de vertente delineadas em campo
- % Declividade média da unidade de vertente

### Escala gráfica horizontal



**Figura 28.** Perfil topográfico da Sequência VI, com a localização das unidades de vertente delineadas em campo e localização dos pontos de amostragem dos solos nos mapas geológicos (Adaptado de IPT, 1981) e pedológico (classificação atualizada a partir de Silva, 2000) da MHCC, em destaque.

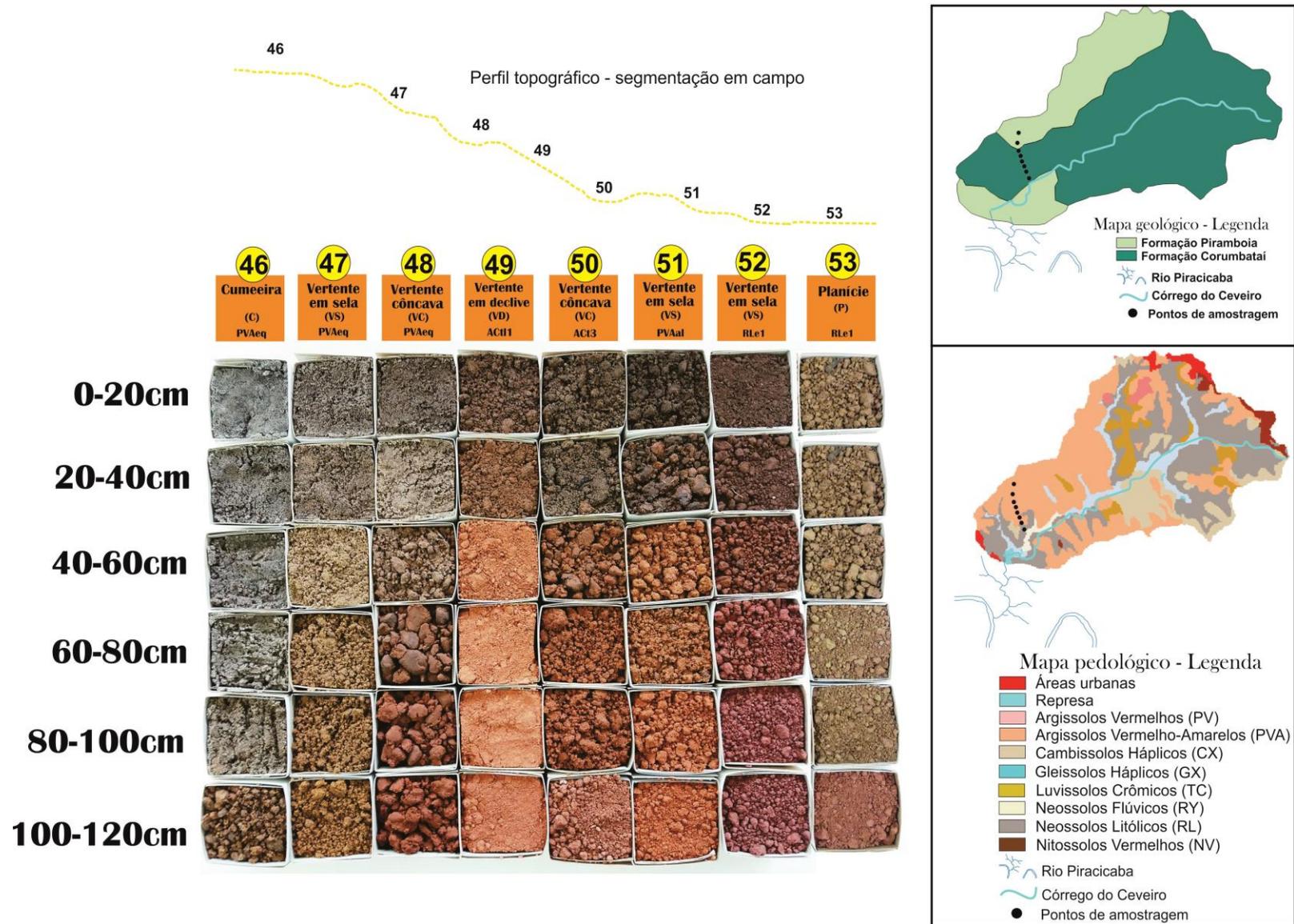


Figura 29. Solos amostrados dispostos em pedocomparadores em suas respectivas unidades de vertente – sequência VI

### 4.3. Análise comparativa entre as formas da superfície identificadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo (“verdade terrestre”).

Na sequência I, as formas da superfície classificadas pelo algoritmo mostraram alta concordância com as unidades de vertente identificadas em campo (Tabela 13), havendo divergência apenas com relação ao ponto 7 - vertente em sela, e atingindo grau de concordância de 91% (Figura 13).

**Tabela 13.** Sequência I: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.

<b>Forma da superfície</b> <i>toposhape</i>	<b>Unidades de vertente</b> <i>em campo</i>	<b>Correspondência</b>
<b>Cumeeira</b>	Cumeeira	CONCORDANTE
<b>Vertente em declive</b>	Vertente em declive	CONCORDANTE
<b>Vertente em declive</b>	Vertente em declive	CONCORDANTE
<b>Vertente em declive</b>	Vertente em declive	CONCORDANTE
<b>Vertente convexa</b>	Vertente convexa	CONCORDANTE
<b>Vertente convexa</b>	Vertente convexa	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente côncava	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente convexa</b>	Vertente convexa	CONCORDANTE
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Ponto sela</b>	Ponto sela	CONCORDANTE

Nas formas da superfície indicadas pelo algoritmo na sequência II ocorreram áreas de cumeeira não associadas às maiores altitudes do terreno, mas em terço médio da vertente (Figura 15), não havendo consonância com a proposição teórico-metodológica indicada no algoritmo (Pellegrini, 1995; Herrington e Pellegrini, 2000), podendo ser justificada pela tendência a topos aplainados na MHCC.

Ademais, a ocorrência da vertente em sela em duas unidades consecutivas foi delineada em campo como vertente convexa, também de ocorrência consecutiva, configurando concordância de 57% com as formas da superfície indicadas pelo algoritmo (Tabela 14).

**Tabela 14.** Sequência II: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.

<b>Forma da superfície</b> <i>toposhape</i>	<b>Unidades de vertente</b> <i>em campo</i>	<b>Correspondência</b>
<b>Cumeeira</b>	Cumeeira	CONCORDANTE
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Cumeeira</b>	Vertente em sela	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente convexa	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente convexa	DISCORDANTE
<b>Ponto sela</b>	Ponto sela	CONCORDANTE

Nas unidades de vertente dispostas sob a sequência III, a forma da superfície *talvegue* foi delimitada em campo por inflexão da vertente, sendo observada a mudança de elemento convexo para côncavo (Figura 30). Desta forma, a concordância das unidades de vertente foi de 87% (Tabela 15).



**Figura 30.** Ilustração da ocorrência de “inflexão da vertente”: em vermelho o elemento convexo e em amarelo o elemento côncavo; o círculo em azul realça a presença de água na unidade.

Como descrito por Anjos et al., (2008) por meio da análise da morfologia de uma determinada área é possível obter dados relevantes quanto à classificação da curvatura de suas vertentes. Para Nunes (2005) vertentes convexas estão geralmente associadas aos segmentos com maior comprimento de rampa, enquanto as côncavas estão relacionadas regiões sensivelmente alargadas, como ilustrado na figura anterior.

As unidades de vertente delimitadas na sequência III, com predomínio dos elementos côncavos e convexas foram responsáveis pelas maiores declividades médias, na faixa dos 6% (Figura 21).

**Tabela 15.** Sequência III: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.

<b>Forma da superfície</b> <i>toposhape</i>	<b>Unidades de vertente</b> <i>em campo</i>	<b>Correspondência</b>
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Talvegue</b>	Inflexão da vertente	DISCORDANTE
<b>Vertente convexa</b>	Vertente convexa	CONCORDANTE
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Vertente convexa</b>	Vertente convexa	CONCORDANTE
<b>Talvegue</b>	Talvegue	CONCORDANTE
<b>Ponto sela</b>	Ponto sela	CONCORDANTE

As unidades de vertente delimitadas na sequência IV apresentaram discordância, em sua grande maioria associada às formas de cumeeira localizadas em posições onde a altitude não era superior nas áreas circunvizinhas. Na região do topo da vertente, a forma de vertente indicada pelo algoritmo foi talvegue, em oposição à delimitação realizada em campo, indicando região de cumeeira (Tabela 16). Tal classificação do algoritmo pode ser justificada pelas linhas de cumeeira indicarem os divisores topográficos, configurando a linha imaginária que une os pontos das cristas das elevações do terreno, separando a drenagem, e conseqüentemente, áreas de propensa denudação e tendência ao aplainamento (BRANCO e SEGANTINE, 2015).

**Tabela 16.** Sequência IV: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.

<b>Forma da superfície</b> <i>toposhape</i>	<b>Unidades de vertente</b> <i>em campo</i>	<b>Correspondência</b>
<b>Talvegue</b>	Cumeeira	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Cumeeira</b>	Vertente convexa	DISCORDANTE
<b>Talvegue</b>	Vertente em sela	DISCORDANTE
<b>Cumeeira</b>	Vertente côncava	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente convexa</b>	Vertente convexa	CONCORDANTE
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Cumeeira</b>	Vertente côncava	DISCORDANTE
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Ponto sela</b>	Ponto sela	CONCORDANTE

Nas unidades de vertente associadas às sequências V e VI, a concordância com a segmentação realizada pelo algoritmo foi de 83% e 75%, respectivamente. Em ambos os casos não foram associados ao ponto mais alto da sequência as formas de vertente condizentes com as maiores altitudes (topo ou cumeeira). As tabelas 17 e 18 descrevem a concordância verificada nas unidades de vertente estudadas nas sequências V e VI.

**Tabela 17.** Sequência V: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.

<b>Forma da superfície</b> <i>toposhape</i>	<b>Unidades de vertente</b> <i>em campo</i>	<b>Correspondência</b>
<b>Talvegue</b>	Cumeeira	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Planície</b>	Planície	CONCORDANTE
<b>Planície</b>	Planície	CONCORDANTE

**Tabela 18.** Sequência VI: Concordância entre as formas da superfície indicadas pelo algoritmo TOPOSHAPE e as unidades de vertente identificadas em campo.

<b>Forma da superfície</b> <i>toposhape</i>	<b>Unidades de vertente</b> <i>em campo</i>	<b>Correspondência</b>
<b>Vertente convexa</b>	Cumeeira	DISCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente côncava	DISCORDANTE
<b>Vertente em declive</b>	Vertente em declive	CONCORDANTE
<b>Vertente côncava</b>	Vertente côncava	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Vertente em sela</b>	Vertente em sela	CONCORDANTE
<b>Planície</b>	Planície	CONCORDANTE

Assim, como técnica de validação do algoritmo *toposhape* e levantamento de informações sobre as unidades de vertente da MHCC, as formas da superfície geradas automaticamente são concordantes em média em 85% dos casos com as unidades de vertente identificadas em campo (“verdade terrestre”). O algoritmo classifica as formas da superfície a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo, portanto dependente, dentre outras variáveis, do nível ou intensidade de detalhamento deste.

Ferramentas de estudo topográfico, a exemplo dos perfis de elevação disponíveis em softwares como Google Earth®, Google Earth Pro® e Landsferf (Wood, 2009), utilizam imagens da missão SRTM com pixel de 90m. Em contrapartida, o MDE utilizado para a área de estudo, com pixel de 20m, e, portanto mais detalhado, pode ter sido um fator determinante para correspondência em grande parte das formas da superfície.

Para a área de estudo, as maiores discrepâncias na classificação ocorreram associadas às formas cumeeira e vertente em sela, esta última formada por formas elementares conjugadas (convexo/côncavo). As vertentes com formas elementares simples (vertente côncava, vertente convexa, vertente em declive/retilínea, planície) apresentaram alta correspondência com as delimitações para a “verdade terrestre”.

#### 4.4. Análise comparativa entre as unidades de vertente e os solos associados

Ocorreram treze unidades de mapeamento, conforme discriminadas abaixo, associadas às diferentes unidades de vertente:

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
<b>ARGISSOLOS</b>	
PVAe1	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos textura arenosa/média
PVAe3	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos textura média/argilosa
PVAeq	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos arênicos
PVAel4	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos lépticos
PVAalc	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS abruptos alíticos*
PVAdq	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abruptos arênicos
PVAa1	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS alumínicos abruptos
<b>GLEISSOLOS</b>	
GX1	GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados + NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos
GX2	Associação complexa de GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS
GX3	Associação complexa de GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminados + NEOSSOLOS FLÚVICOS tb distrófico + ARGISSOLOS AMARELOS distróficos epiáquicos álicos + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS
<b>LUVISSOLOS</b>	
TCp9	Associação complexa de LUVISSOLOS CRÔMICOS pálicos arênicos abruptos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos arênico
TCol2	Associação complexa de LUVISSOLOS CRÔMICOS órticos abruptos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abruptos lépticos
<b>NEOSSOLOS</b>	
RLe1	NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, textura média
RLe2	NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, textura argilosa
RLe4	NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, textura argilosa + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos, textura média

\*Classificação atualizada de acordo com SiBCS (EMBRAPA, 2006; 2013).

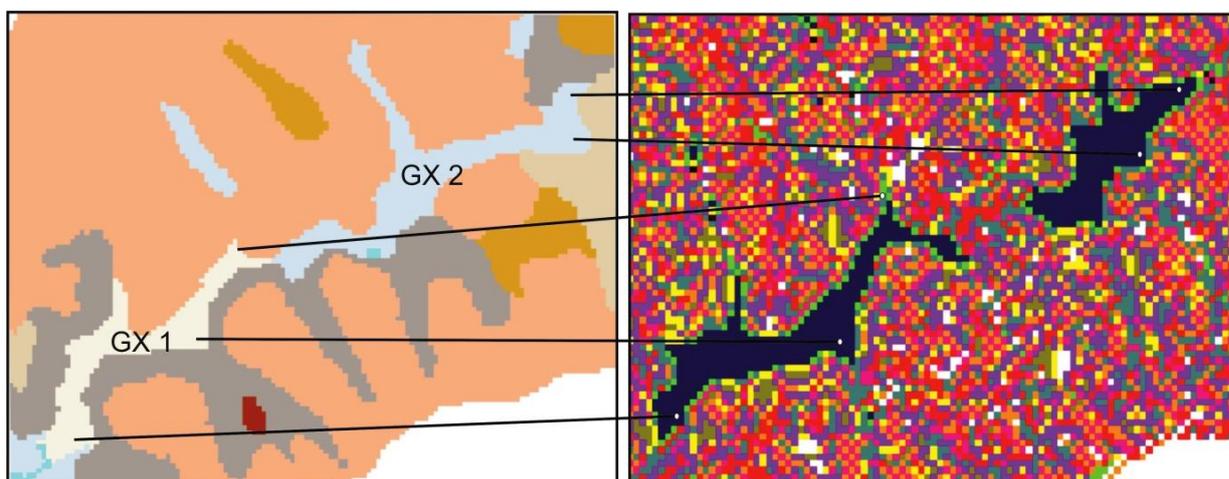
De acordo com o mapa pedológico detalhado (Silva, 2000), as regiões de cumeeira estão em sua totalidade associadas à ordem dos ARGISSOLOS, com caráter abrupto e arênico, embora os ARGISSOLOS com estes caracteres ocorram também associados a outras

unidades de vertente. Como observado por Mota et al., (2002) os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS são costumeiramente encontrados em topo de encosta em ambiente com boa drenagem.

Com relação às vertentes convexas, estas além de apresentarem as maiores declividades médias dentre as unidades de vertente, ocorrem associadas predominantemente com NEOSSOLOS LITÓLICOS.

Os LUVISSOLOS, por sua vez, ocorrem associados às vertentes dos tipos côncava e em declive. Ao observar a ocorrência dos LUVISSOLOS em toda MHCC, verificou-se a ocorrência desta ordem associada às vertentes em declive e inflexão da vertente, onde as declividades médias foram superiores a 8%. Silva et al. (2009) comentam que nas superfícies mais jovens, onde o relevo se mostra mais ondulado ou fortemente ondulado, geralmente se encontram ARGISSOLOS, LUVISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS.

Por fim, as áreas de planície (segmentação automática e em campo) nas cotas mais baixas, ocorreram em sua totalidade associadas à ordem dos GLEISSOLOS, indicando a eficácia do algoritmo em classificar as áreas de menores altitudes nos fundos de vale e nas planícies aluviais, a exemplo das unidades de mapeamento GX1 e GX2. Grande parte dos GLEISSOLOS encontra-se em planícies aluviais que apresentam excesso de água durante grande parte do ano (SILVA et al, 2009). A Figura 31 ilustra a associação dos GLEISSOLOS com a planície aluvial na MHCC.



**Figura 31.** Associação das unidades de mapeamento GX1 e GX2 com as formas da superfície planície na MHCC.

Com relação à classificação automática pelo algoritmo de forma de superfície *planície* em regiões que de fato seriam de topo e cumeeira, demonstra incorreção da classificação automática, que ‘confundiu’ a ocorrência de topos aplainados da MHCC com áreas de planície. Tal ocorrência ressalta a necessidade de aperfeiçoamento do algoritmo.

## 5. CONCLUSÕES

A segmentação de formas da superfície classificadas pelo algoritmo TOPOSHAPE pode ser validada em campo para a maioria dos casos.

Para fins de utilização do TOPOSHAPE como variável auxiliar no MDS, na maioria dos casos não foi possível observar algum padrão específico de formas da superfície atrelada a alguma ordem de solo específica, com exceção das regiões de planície aluvial, em que na totalidade estiveram associadas aos GLEISSOLOS.

A declividade se mostrou uma covariável do relevo de importância para identificar a ocorrência de solos rasos, registrando-se a combinação de vertentes convexas com as declividades mais acentuadas na MHCC, onde ocorrem as unidades de mapeamento em que os NEOSSOLOS LITÓLICOS aparecem como componente principal.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL. **Surface Energy Balance Algorithms for Land: advanced training and users manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002**.
- ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. & FONTANA, A. **Matéria orgânica e pedogênese**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, G.A.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.65-86, 2008.
- APPS, C. D.; KINLEY, T. A.; YOUNG, J. A. **Multi-scale habitat modeling for woodland caribou in the Itcha, Ilgachuz, and Rainbow mountains of west-central British Columbia**. Wildlife Section, Ministry of Water, Land and Air Protection, Williams Lake, British Columbia, Canada, 2001.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.
- BOUMA J. **Using soil survey data for quantitative land evaluation**. *Advances in Soil Science* 9, 177- 213, 1989.
- BRADY, N.C., and WEIL, R.R. **Elements of the Nature and Properties of Soils**. Third Edition. New Jersey: Pearson Education Inc., 2010. Print. pp. 137-143.
- BRANCO, L. H. C.; SEGANTINE, P. C. L. **Veículos Aéreos Não Tripulados Como Sensores Remotos Auxiliando na Detecção de Defeitos em Pavimentos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR). João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015.
- BUI, E.; MORAN, C. J. CHRSTOPHER. **Disaggregation of polygons of surficial geology and soil maps using spatial modelling and legacy data**. *Geoderma*, v. 103, 2001.
- BURROUGH, P.A., 1986. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment**. Oxford: Clarendon.
- CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [2005]. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia>. Acesso em 22 de maio de 2016.
- CHAGAS, C. da S. FERNANDES FILHO, E. I. VIEIRA, C. A. O. SCHAEFER, C. E. G. R. CARVALHO JUNIOR, W de. **Atributos topográficos e dados do Landsat 7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 5, p. 497-507, maio 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1974. **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP.
- COELHO, F. F. **Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

COLÂNGELO, A. C. **Modelo de Feições Mínimas ou das Unidades Elementares do Relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geocológicos** In: Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.10, p.29-40, 1996.

CORBETT, S.; SKLAR, L. S.; DAVIS, J. **Using surface curvature to map geomorphic process regimes in a bedrock landscape, Henry Mountains, Utah.** American Geophysical Union, Fall Meeting 2009.

DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. **A hypothetical nine unit landsurface model.** *Zeitschrift Für Geomorphologie*, v. 12, p. 60-76, 1968.

DAVIS, W.M. **The geographical cycle.** *Geog. J.*, 14:481-504, 1899.

DEMATTE, J.A.M.; GARCIA, G.J. & PROCHNOW, L.I. **Variações induzidas de atributos químicos e sua influência na reflectância espectral de três solos do estado do Paraná.** *R. Bras. Ci. Solo*, 22:479-490, 1992.

DOLAN, M. F. J.; THORSNES, T.; LETH, J.; AL-HAMDANI, Z.; GUINAN, J.; VAN LANCKER, V. **Terrain characterization from bathymetry data at various resolutions in European waters – experiences and recommendations.** Geological Survey of Norway – Geo-Seas. Trondheim, 2012.

DORAN J.W., SARRANTONIO, M., LIEBIG, M. **Soil health and sustainability.** In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol. 56. Academic Press, San Diego, pp. 1–54, 1996.

DOURADO, T.A.; SILVA, L.F.S. S.; MARINHO, M.A. **Performance of a reciprocal shaker in mechanical dispersion of soil samples for particle-size analysis.** XXXII Brazilian Congress of Soil Science, 2009.

DYLIK, J. **Notion du versant en geomorphologie.** *Bull. Acad.Pol. Sci. Série des Sc.Geol.Geogr.*, 16(2);125-132, 1968.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos.** Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos; Brasília, DF: Embrapa, Serviço de Produção de Informação, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Brasília, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ESPINDOLA, C.R. 2008. **Retrospectiva Crítica sobre a Pedologia – um repasse bibliográfico.** Editora da Unicamp, Campinas, 397 p.

ESRI. **ArcGIS Manuals.** Redlands: ESRI, 2014.

FIORIO, P.R. **Avaliação cronológica do uso da terra e seu impacto no ambiente da microbacia hidrográfica do córrego do ceveiro da região de Piracicaba, SP.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 114p. (Dissertação de Mestrado).

FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; SPAROVEK, G. **Cronologia do uso da terra e seu impacto ambiental na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro, Piracicaba (SP). Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.4, p.671-679, abr. 2000.

FONSECA, I. L. **Modelação de formas de relevo para aplicação à cartografia de solos.** Anais do V Congresso Nacional de Geomorfologia. Porto, 2010.

GIASSON, E. et al. **Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steplands.** Scientia Agrícola, v.68, p.167-174, 2011.

GRUNWALD, S. (Ed.), 2006. **Environmental Soil-Landscape Modeling** — Geographic Information Technologies and Pedometrics. CRC Press, New York.

GUIMARÃES, D. P. **Contribuição para a popularização dos Sistemas de Informações Geográficas.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, p. 1499 – 1506, 2007.

HARING, T.; DIETZ, E.; OSENSTETTER, S.; KOSCHITZKI, T.; SCHRODER, B. Spatial disaggregation of complex soil map units: A decision-tree based approach in Bavarian forest soils. *Geoderma*, v. 185-186, 2012.

HERRINGTON, L., AND PELLEGRINI, G. 2000. An advanced shape of country classifier: extraction of surface features from DEMs. In Proceedings of the 4th International Conference on GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4), Problems, Prospects and Research Needs, 2–8 September 2000.

HEUVELINK, G.B.M., 2003. **The Data Uncertainty Engine (DUE):** a software tool for assessing and simulating uncertain environmental variables. *Computers and Geosciences* 33(2): 172-190.

HOFIG, P.; GIASSON, E.; VENDRAME, P.R.S. **Mapeamento digital de solos com base na extrapolação de mapas entre áreas fisiograficamente semelhantes.** *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.49, n.12, p.958-966, dez. 2014.

HUGGETT, R.J. Soil landscape systems: **A model of soil genesis.** *Geoderma*. Amsterdam, v. 13, p. 1-22, 1975.

HUGGETT, R. J.; CHEESMAN, J. **Topography and the Environment.** Harlow: Prentice Hall. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 2ª edição.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Pedologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 2ª edição.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Pedologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 3ª edição.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do estado de São Paulo.** Legenda Expandida. São Paulo, v.1, 1981.

JENNY, H. 1941. **Factors of soil formation.** McGraw-Hill, N.Y., 281 p.

- KING, L.C. **Canons of landscape evolution**. Geological Society of America Bulletin 64(7), 721–752, 1953.
- KING, L. **Canons of landscape evolution**. Bull. Geol. Soc. Am., 64:721-751, 1963.
- JESUS, N. de. **Avaliação do modelo digital de elevação Aster para análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Tese de Doutorado 177p. Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial. Universidade de São Paulo (USP), 2008.
- LAGACHERIE, P. & McBRATNEY, A.B. **Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: Perspectives for digital soil mapping**. In: LAGACHERIE, P.;
- LEPSCH, I.F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.
- LIEFFERS, V.J.; LARKIN, P.A. 1987. **Slope, aspect, and slope position as factors controlling grassland communities in the coulees of the Oldman River, Alberta**. Can. J. Bot. 65: 1371–1378.
- LIMA, L. A. de S., NEUMANN, M.R.B., REATTO, A., ROIG, H. L. **Mapeamento de Solos: do tradicional ao digital**. Embrapa Cerrados. Planaltina: 2013.
- MACGILLVRAY, C.M.I **A Relative Potential Erosion Detection (PED) model for the upper Buff Bay catchment, parish of Portland, Jamaica: A Geographical Information System application**. Scripta Geologica Special. Leiden, 2007. 202 p.
- MANFRÉ, L. A.; RONQUIM, F. M.; OGIHARA, V. H.; SILVA, A. M.; URBAN, R. C. **Potencial de ocorrência de avarias ambientais em bacias hidrográficas com ocupação rural mediante análise morfométrica**. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 10, 2009.
- MARTINS, S.V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T.M. **Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica**. In: MARTINS, S. V. (Ed.) Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa: Editora UFV, p.17-40, 2012.
- MAS, J. F.; VEGA, A. P. **The impact of DEM errors on topographic parameters and landforms classification**. 10º Simpósio Internacional de Recursos Naturais e Ciências Ambientais. Florianópolis, 2012.
- MCBRATNEY, A.B., MENDONÇA-SANTOS, M.L., MINASNY, B. **On digital soil mapping**. Geoderma, 117: 3-52, 2003.
- MCBRATNEY, A.B.; ODEH, I.O.A.; BISHOP, T.F.A.; DUNBAR, M.S.; **An overview of pedometric techniques for use in soil survey**. Geoderma 97, 293 – 327, 2003.
- MCBRATNEY A.B. & VOLTZ, M., eds. **Digital soil mapping: An introductory perspective**. New York, Elsevier, 2007. p.3-22.
- MEINEL, G.; NEUBERT, M. **A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data**. In: XXth ISPRS CONGRESS, 2004, Istanbul. ISPRS Archives - Volume XXXV Part B4. Istanbul, p. 1097-1102, 2004.

- MENEZES, M.D.; CURI, N.; MARQUES, J.J.; MELLO, C.R. & ARAÚJO, A.R. **Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de minas gerais.** Ci. Agrotec., 33:1544-1553, 2009.
- MILNE, G. **Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils.** Soil Res., 4:183-198, 1935.
- MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A. & PETERSON, G.A. **Soil attribute prediction using terrain analysis.** Soil Sci. Soc. Am. J., 57:443-452, 1993.
- MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. **Mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e de um Planossolo Háptico Eutrófico Solódico numa topossequência de gnaiss no sertão central do Ceará.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 3, 2002, pp. 607-618.
- NEPOMUCENO, L.M.; LUCHIARI, A. **Mapeamento morfológico de detalhe: experiências para a integração entre as técnicas de fotointerpretação e sistemas de informações geográficas no município de Salesópolis-SP.** Revista do Departamento de Geografia – USP, Vol.28, p. 198-220, 2014.
- NUNES, J.O.R. **Mapeamento Geomorfológico do perímetro urbano de Presidente Prudente – S.P.** 2005. In: Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC. Fortaleza.
- OLIVEIRA, A.D.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C. **Variáveis meteorológicas e estimativa da evapotranspiração num cultivo de soja no Cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Extensão).
- OLIVEIRA, F.P.; SANTOS, D.; SILVA, I.F.; SILVA, M.L.N. **Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba.** REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA. Vol. 8, nº 2, 2008.
- OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. do. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Piracicaba.** Campinas, SP, Instituto Agrônomo. 1989, (Mapa escala 1:100.000).
- OLIVEIRA, J. B. DE. **Pedologia Aplicada.** 4ª edição. Jaboticabal, SP: FEALQ, 2011. 592 p. il.
- OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** 300p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- PELLENQ, J.; KALMA, J.; BOULET, G.; SAULINIER, G. M.; WOOLDRIDGE, S.; KERR, CHEHBOUNI, A. **A disaggregation scheme for soil moisture based on topography and soil depth.** Geoderma, v. 276, 2003.
- PELLEGRINI, G.J. (1995) **Terrain Shape Classification of Digital Elevation Models using Eigenvectors and Fourier Transforms,** PhD theses, UMI, USA.
- PENCK, W. **Morphological analysis of land forms.** London, MacMillan & Co., 1953. 220p.
- PIKE, R.J.; EVANS, I.S.; HENGL, T. **Geomorphometry: a brief guide.** In: Hengl T., Reuter H.I. (Eds.). Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Vol. 33. Elsevier; Amsterdam. pp. 3–30, 2009.

- RUHE, R.V. **Geomorphic Surfaces and the nature of soils**. Soil Sci., 82:441-445, 1956
- RUHE, R. V. **Elements of the soil landscape**. Trans. Int. Congress of Soil Science. 7<sup>th</sup>, v. 4, p. 165-170, 1960.
- RUHE, R. V. **Geomorphology, Geomorphic Processes and Surficial Geology**. Boston: Houghton Mifflin, 1975.
- RUHE, R. V.; WALKER, P; H. **Hillslope models and soil formation**. Transactions of the 9th Congress of the International Soil Science Society: 551- 560. Adelaide: International Soil Science Society, 1968.
- SAVIGEAR, R. A. G. **A Technique of Morphological Mapping** In: Anais da Associação de Geógrafos Americanos. vol 55, n° 3, p 513-538. 1956.
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.E.; NOGUEIRA, A.A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. Anais.....Simpósio Brasileiro de Geologia, v.1, p.41-65, 1974.
- SCHROEDER, D. **Soils - Facts and concepts**. Trad. de P.A. Gething. Berna: International Potash Institute. 1984. 140 p.
- SHARY, P.; SHARAYA, L.; MITUSOV, A. **Fundamental quantitative methods of land surface analysis**. Geoderma, v.107, p.1-32, 2002.
- SILVA, E.F. **Comparação de mapas de solos produzidos em escalas e épocas diferentes**. 177p. Tese (Doutorado em Agronomia) – ESALQ/Universidade de São Paulo, 2000.
- SILVA, F. M. da., CHAVES, M. dos S.; LIMA, Z.M.C. **Classificação e tipos de solos do Brasil e do Estado do Rio Grande do Norte**. Natal, RN: EDUFERN, 240p. 2009.
- SILVA, C.C. da. **Mapeamento digital de classes de solo: aplicação de metodologia na folha de Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3) e validação de campo**. Dissertação de Mestrado – Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). Campinas, 2012. 117 fls.
- SILVA, C.C. da; COELHO, R.M.; OLIVEIRA, S.R. de M.; ADAMI, S.F. **Mapeamento pedológico digital da folha de Botucatu (SF-22-Z-B-VI-3): treinamento de dados em mapa tradicional e validação de campo**. R. Bras. Ci. Solo, 37:846-857, 2013.
- SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais 2010**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T de; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. dos A.; OKAFIORI, C. **Atributos do relevo derivados de Modelo Digital de Elevação e suas relações com o solos**. Scientia Agrária, Curitiba, v. 9, n°3, p-317-329, 2008.
- SPAROVEK, G. **Plano diretor da Microbacia do Córrego do Ceveiro Piracicaba: diagnóstico da situação, levantamento de problemas e propostas de solução**. v.1, 286p, 1991.
- TEN CATEN, A. et al. Componentes principais como preditores no mapeamento digital de classes de solos. **Ciência Rural**, v.41, n.7, p. 1170-1176, 2011c.

TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; GIASSON, E. **Mapeamento digital de classes de solo: características da abordagem brasileira.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n.11, p.1989-1997, nov 2012.

THOMPSON, J. A; PRESCOTT, T; MOORE, A. C; BELL, J; KAUTZ, D; HEMPEL, J; WALTMAN, S. W; PERRY, C. H. **Regional approach to soil property mapping using legacy data and spatial disaggregation techniques.** World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia: 2010.

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

VALERIANO, M. M. **Curvatura vertical de vertentes em micro-bacias pela análise de modelos digitais de elevação (MDE).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 7, No. 3, pp. 539-546. 2003

VAN WAMBEKE, A.; FORBES, T.R. **Guidelines for Using “Soil Taxonomy” in the Names of Soil Map Units. Soil Manage.** Support Serv. Tech. Monogr. 10. U.S. Dep. Agric., 1986.

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

WEILL, M.A.M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP), através do Índice de Tempo de Vida.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999. 100p. (Tese de Doutorado).

WEILL, M. de A.M.; SPAROVEK, G. **Estudo da erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I – Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.801-814, 2008.

WEILL, M. de A. M; SPAROVEK, G. **Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). II – Interpretação da tolerância de perda de solo utilizando o método do Índice de Tempo de Vida.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 32, p. 815-824, 2008.

WOOD, A. **The development of hillside slopes.** Proceedings of the Geologists' Association 53, 128–140, 1942.

WOOD, J. **Appling a Landserf program.** Department of Information Science. City Univerisity (UK), 2009.

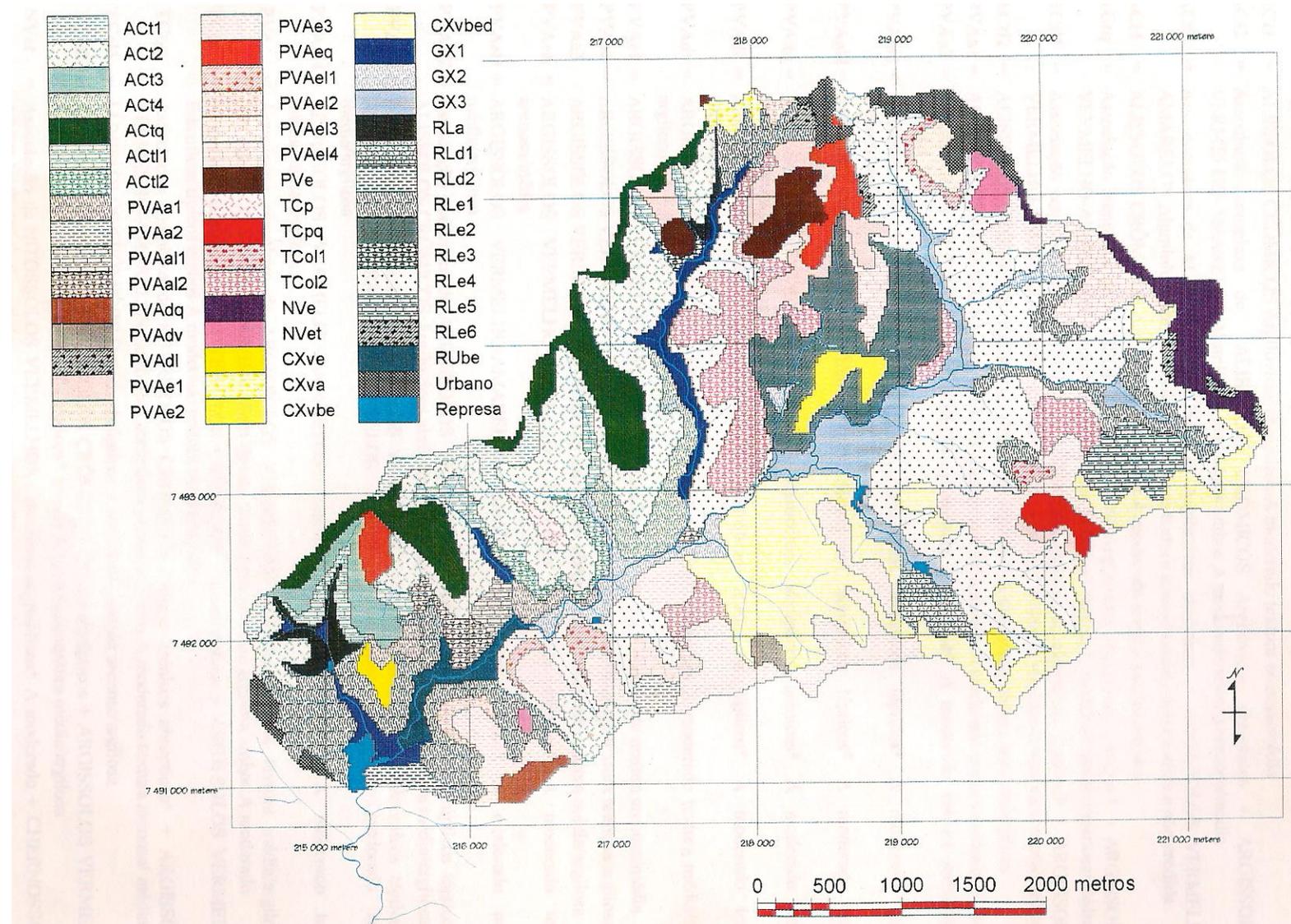
WYSOCKI, D.A., SCHOENEBERGER, P.J., HIRMAS, D.R., LAGARRY, H.E. **Geomorphology of soil landscapes.** In: HUANG et al., (Eds) Handbook of Soil Sciences: Properties and Process. 2º ed, Boca Raton, FL, 2011, p.29-55.

ZEVENBERGEN. L.W.; THORNE, C.R.. **Quantitative analysis of land surface topography.** Earth Surface processes and Landforms. V. 12, p. 47-56, 1987.

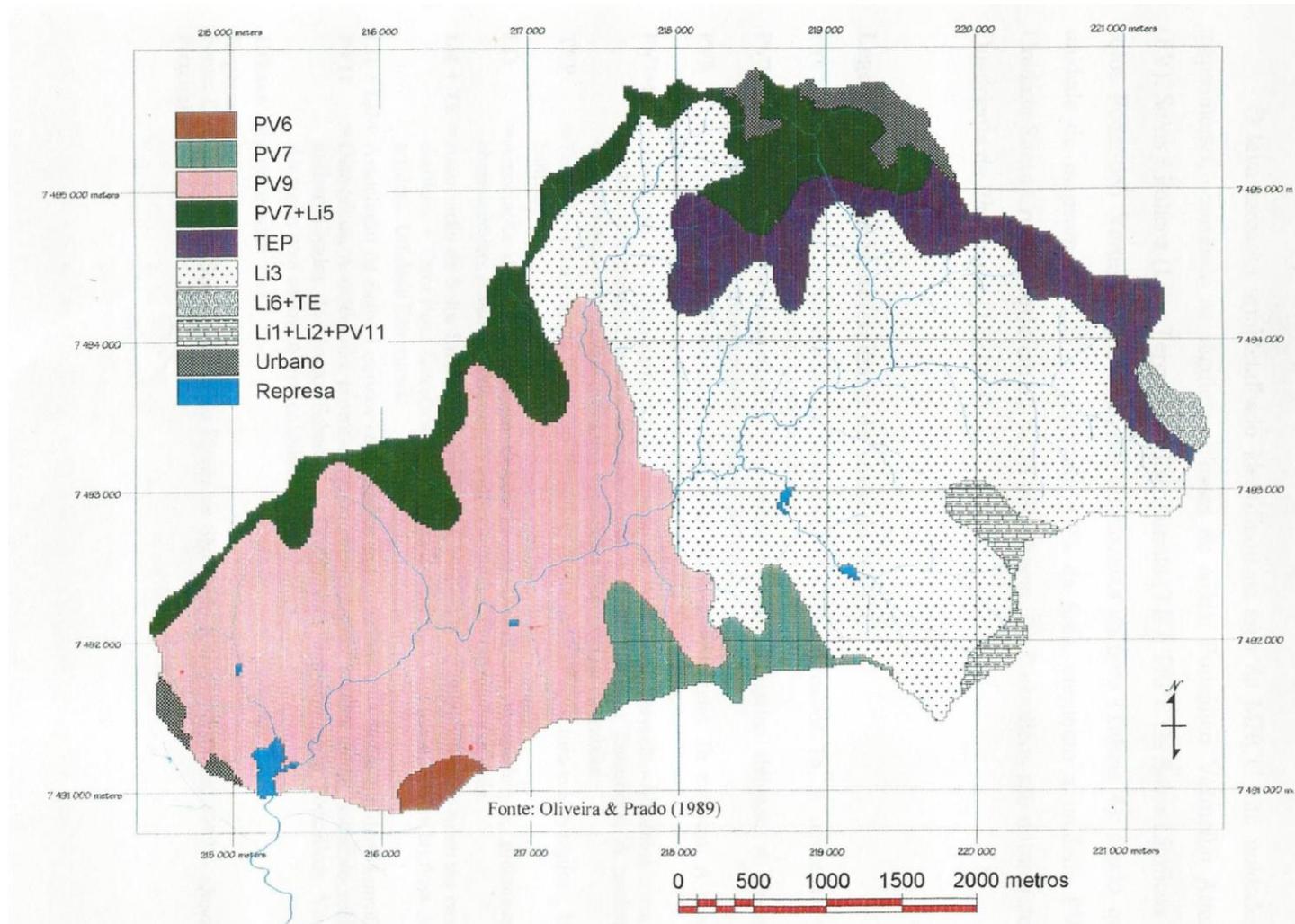
ZHOW.Q.; LIU, X. **Error assessment of grid-based flow routing algorithms used in hydrological models.** International Journal of Geogrpahica/ Information Science, 2002.

ZINCK, J. A. 1990. **Soil Survey. Epistemology of a vital discipline.** ITC, Enschede, The Netherlands, 40pp.

ANEXO 1. Mapa pedológico detalhado da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Silva, 2000).



ANEXO 2. Mapa pedológico semidetalhado da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Silva, 2000), extraído de Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo (Oliveira e Prado, 1989).



### ANEXO 3. Legenda expandida do Mapa pedológico detalhado da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Silva, 2000).

#### Legenda do mapa detalhado de solos-2000

- ACT1 = ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos A moderado textura arenosa/média
- ACT2 = Associação complexa de ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos ambos A moderado textura arenosa/média
- ACT3 = Ass. complexa de ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos ambos A fraco textura arenosa/média fase erodida e não erodida
- ACT4 = ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos A moderado textura média/argilosa
- ACTq = Associação complexa de ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos arênicos\* + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos arênicos\* ambos A moderado textura arenosa/média
- ACTl1 = Associação complexa de ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos lépticos\* + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos lépticos\* ambos A moderado textura arenosa/média
- ACTl2 = ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos lépticos\* A moderado textura arenosa/argilosa
- PVAa1 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos\* A moderado textura média/argilosa
- PVAa2 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos\* A moderado textura média/muito argilosa
- PVAa1 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos lépticos\* A moderado textura arenosa/argilosa
- PVAa2 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abruptos lépticos\* A moderado textura média/argilosa
- PVAdq = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abruptos arênicos\* A moderado textura arenosa/média
- PVAdl = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abruptos lépticos\* A moderado textura arenosa/média
- PVAdv = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Ta Distróficos\* abruptos A moderado textura média/muito argilosa
- PVAe1 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos A moderado textura arenosa/média
- PVAe2 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos A moderado textura arenosa/argilosa
- PVAe3 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos A moderado textura média/argilosa
- PVAeq = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos arênicos\* A moderado textura arenosa/média
- PVAel1 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos lépticos\* A moderado textura média/argilosa
- PVAel2 = Associação complexa de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos lépticos\* + ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abruptos lépticos\* ambos A moderado textura média/argilosa
- PVAel3 = Associação complexa de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos lépticos\* + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos ambos A moderado textura média/argilosa
- PVAel4 = ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos lépticos\* A moderado textura média/muito argilosa
- PVe = Associação complexa de ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos textura média/argilosa + ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos textura média/muito argilosa ambos A moderado
- TCp = Associação complexa de LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos típicos + ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos ambos A moderado textura média/argilosa
- TCpq = Associação complexa de LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos arênicos abruptos\* + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos arênicos ambos A moderado textura arenosa/ média
- TCol1 = LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abruptos A moderado textura arenosa/argilosa
- TCol2 = Associação complexa de LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abruptos + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abruptos lépticos\* ambos A moderado textura média/argilosa
- NVet = Associação de NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos\* A moderado + CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos ambos textura argilosa
- NVe = Associação complexa de NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos + NITOSSOLOS VERMELHOS

Eutróficos argissólicos ambos A moderado textura argilosa/muito argilosa + CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos textura argilosa/muito argilosa + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos Tb A moderado + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos chernossólicos ambos textura argilosa substrato diabásio

- CXve** = CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos lépticos A moderado textura média substrato siltito da Formação Corumbataí
- CXva** = CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Alumínicos lépticos A moderado textura média substrato siltito da Formação Corumbataí
- CXvbe** = Associação complexa de CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos típicos ambos A moderado textura argilosa substrato folhelho da Formação Corumbataí
- CXvbed** = Associação complexa de CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta eutróficos lépticos + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos todos A moderado textura argilosa substrato folhelho da Formação Corumbataí
- GX1** = Associação complexa de GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminados A moderado textura arenosa, arenosa/média e arenosa/argilosa + NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos A moderado textura média e média/argilosa + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS\*
- GX2** = Associação complexa de GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminados A moderado textura média/argilosa e argilosa + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS\*
- GX3** = Associação complexa de GLEISSOLOS HÁPLICOS indiscriminados A moderado textura média/argilosa e argilosa + NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Distróficos A moderado textura média e média/argilosa + ARGISSOLOS AMARELOS Distróficos epiáquicos álicos A moderado textura média/argilosa + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS\*
- RLa** = NEOSSOLOS LITÓLICOS álicos típicos\* A moderado textura arenosa e média substrato arenito da Formação Pirambóia
- RLd1** = NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos típicos A moderado textura média substrato siltito da Formação Corumbataí
- RLd2** = NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos típicos A moderado textura argilosa cascalhenta substrato folhelho da Formação Corumbataí
- RLe1** = NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos A moderado textura média substrato siltito e folhelho da Formação Corumbataí
- RLe2** = NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos A moderado textura argilosa substrato folhelho da Formação Corumbataí
- RLe3** = NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura média + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura argilosa ambos A moderado substrato Diabásio
- RLe4** = NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura argilosa + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura média ambos A moderado substrato folhelho e siltito da Formação Corumbataí
- RLe5** = Associação complexa de NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos + CAMBISSOLOS HÁPLICOS eutróficos lépticos ambos A moderado textura argilosa substrato folhelho da Formação Corumbataí
- RLe6** = Associação complexa de NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos A moderado textura média + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos textura argilosa + NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos\* A moderado textura argilosa/muito argilosa + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos A moderado textura argilosa todos substrato Diabásio.
- RUbe** = Associação de NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos + GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados ambos A moderado textura média e média/argilosa + NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS\*

**Urbano** = Área Urbana

**Represa** = Represas

\* Classes sugeridas para criação