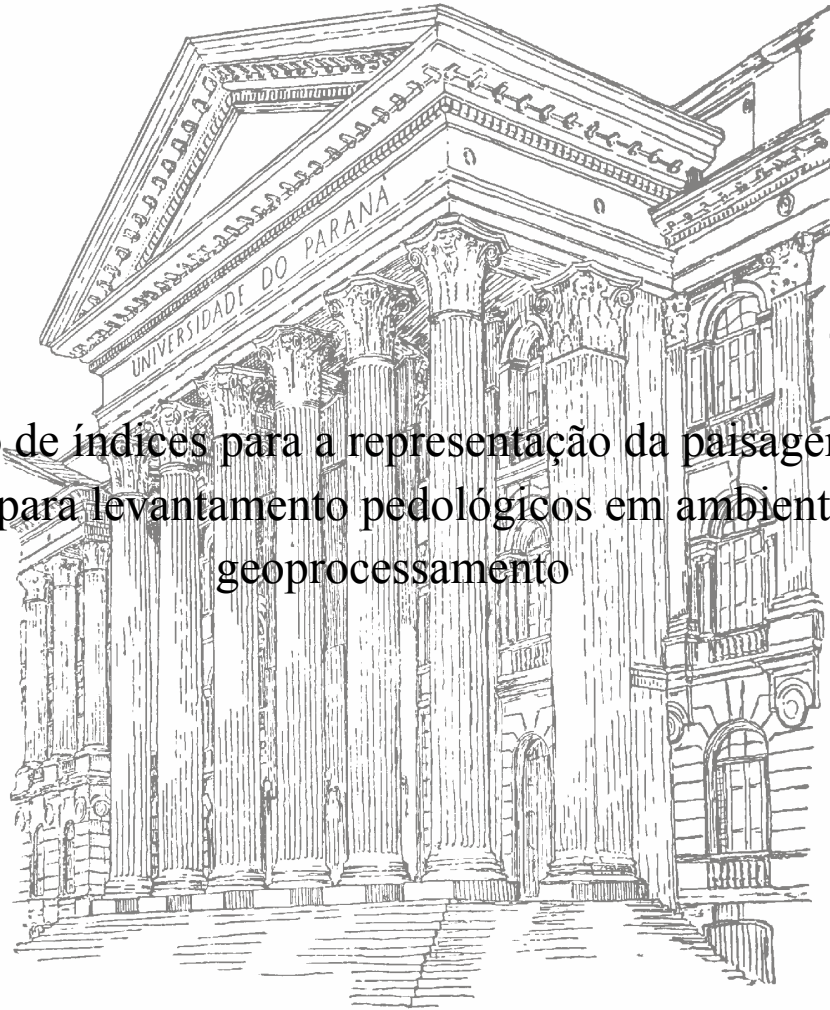


VENINA PRATES

Utilização de índices para a representação da paisagem como
apoio para levantamento pedológicos em ambiente de
geoprocessamento



**CURITIBA
2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES PARA A REPRESENTAÇÃO DA PAISAGEM COMO
APOIO PARA LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO EM AMBIENTE DE
GEOPROCESSAMENTO

Dissertação apresentado como requisito parcial
obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal
do Paraná, na área de concentração Pedologia e Gênese
do Solo, linha de pesquisa Composição, Gênese e
Levantamento do Solo.

ORIENTADOR: Prof^o Dr. Luiz Claudio de Paula Souza

CURITIBA
2010



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5848
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

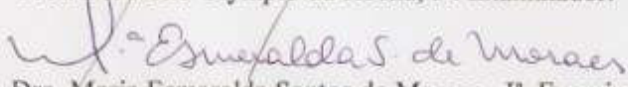
PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **VENINA PRATES**, sob o título: **"Utilização de índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 27 de agosto de 2010.


Prof. Dr. Luiz Claudio de Paula Souza, Presidente.


Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha, 1º. Examinador.


Profª. Dra. Maria Esmeralda Santos de Moraes, 1ª. Examinadora.



**Aos meus pais Osvaldo (*in memoriam*) e
Elza, dedico.**

AGRADECIMENTOS

A melhor mãe do mundo;

Aos meus irmãos Douglas , Yara e Vanessa;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo;

Aos amigos Jairo Calderari e Tales de Campos Piedade amizade;

**Aos Professores Sandro José Briski, Helder de Godoy e Valdomiro Nachornik pela
amizade e incentivo;**

A Professora Jocelyn Lopes de Souza pela amizade e conselhos;

**Ao meu orientador Professor Dr. Luiz Claudio de Paula Souza pelo incentivo,
orientação e dedicação;**

**Ao meu marido que me apoiou e incentivou para que concluísse mais uma etapa de
minha vida;**

Ao meu pai (*in memorian*).

**A todos que contribuíram de alguma forma para a realização do presente trabalho, meu
muito obrigado!**

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURA.....	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
3.1 Matriz de Correlação dos índices de representação da paisagem com os atributos químicos e granulométricos.....	16
3.2 Análise espacial dos índices de representação da paisagem.....	17
3.3 Unidades de mapeamento dos solos.....	22
4 CONCLUSÕES.....	25
5 LITERATURA CITADA.....	24

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Métodos para a geração dos Índices de Representação da Paisagem15
- Quadro 2** Matriz de Correlação dos índices de representação da paisagem com os atributos químicos e granulométricos dos solos por grupos de amostragem de solos.....17
- Quadro 3** – Média e Coeficiente de Variação dos índices de representação da paisagem de cada polígono gerado pela análise de agrupamentos (cluster).....19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo: Fazenda Experimental Canguiri (UFPR) no Município de Pinhais (PR)	14
Figura 2. Localização dos Grupos de Amostragem (GA).....	16
Figura 3. Localização dos agrupamentos 1, 4 e 6 com a identificação dos polígonos 4, 5, 16, 18 e 26.....	19
Figura 4. Localização dos agrupamentos 3, 7 e 8 com a identificação dos polígonos 12, 14, 17, 22 e 27.....	19
Figura 5. Localização do agrupamento 10 com a identificação dos polígonos 19 e 28.....	21
Figura 6. Localização dos agrupamentos 2, 5 e 9 com a identificação dos polígonos 1, 2, 3,6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 20, 21, 23 e 24	22
Figura 7. Mapa de solos.....	25

RESUMO

Utilização de índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológicos em ambiente de geoprocessamento

O mapeamento de solos tem ganhado destaque dentro da comunidade científica, pois à medida que a preocupação com o meio ambiente aumenta existe a necessidade de entender cada vez mais a distribuição dos solos na paisagem, bem como seu potencial e suas limitações de uso. Atualmente técnicas de geoprocessamento com a função modelagem numérica do terreno têm colaborado para diminuir a subjetividade do mapeamento de solos. Desta forma o principal objetivo do trabalho foi aplicar índices de representação da paisagem com o apoio de geoprocessamento, para dar suporte na delimitação dos diferentes compartimentos da paisagem. Foram utilizados índices primários *Altitude above channel network* (AACN) e secundários *Channel network base level* (CNBL), *Multiresolution index of valley bottom flatness* (MRVBF) e *Wetness index* (ITW), tendo como objeto de estudo a Fazenda Experimental Canguiri, no município de Pinhais, região Metropolitana de Curitiba. Para correlacionar os atributos químicos e granulométricos por grupos de amostragem, totalizando 17 pontos (Sugamoto, 2002), foram gerados no *Software Statistica* uma matriz de correlação linear simples (Pearson) com os índices de representação da paisagem. Tem-se como conclusão de que os índices de representação da paisagem utilizados na análise de agrupamentos foram eficientes no apoio do mapeamento dos solos ao nível de subordem do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo.

Termos de Indexação: modelagem numérica do terreno; índices de representação da paisagem; análise de agrupamentos;

ABSTRACT

Use of indices for the representation of the landscape as support for pedologic surveys in geoprocessing ambient.

Mapping of soil has been highlighted in the scientific community, because in proportion that the preoccupation about the environment increases, it is needed to understand more and more the distribution of the soil in the landscape, as well as its potential and its limitation for the use. Nowadays the geoprocessing techniques with the numerical modelling function of the soil have contributed to diminish the mapping subjectivity of the soil. In that way the main aim of this study was to apply indices of landscape representation with the use of geoprocessing to give support in the delimitation of different compartments of landscape. Primary indices were used Altitude above channel network (AACN) and secondary channel network base level (CNBL), Multiresolution index of valley bottom flatness (MRVBF) and Wetness index (ITW), having as object of study the Canguiri Experimental Farm, located in Pinhais, Curitiba's Metropolitan Region. To correlate the chemical attributes and granulometrical ones in sampling groups, totalizing 17 points (Sugamoto, 2002), a matrix of a simple linear correlation (Pearson) with the representation indices of the landscape were generated in the Software Statistica. The conclusion is that the representation indices of the landscape used in the analysis of groupings were efficient in the support to map soil at the level of suborder of Soil Classification Brazilian System.

Key-words: Soil numerical modelling; representation indices of the landscape; analysis of groupings.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mapeamento de solos tem ganhado destaque dentro da comunidade científica, pois à medida que a preocupação com o meio ambiente aumenta existe a necessidade de entender cada vez melhor a distribuição dos solos na paisagem, a variabilidade de seus atributos, bem como seu potencial e suas limitações de uso.

No entanto, a delimitação dos diferentes compartimentos da paisagem está sujeito ao caráter subjetivo, o que pode proporcionar interpretações diferentes de um mesmo fenômeno, mesmo quando estes são analisados por especialistas (Bie & Becktt, 1973). Tais distorções podem estar associadas ao conhecimento tácito, o qual é produzido individualmente e pelas experiências adquiridas no decorrer das atividades seja de pesquisa ou de rotina diária (Hudson, 1992).

Nesta linha de trabalho, o estudo de índices de representação da paisagem passou a ser mais uma alternativa de avaliação e interpretação da paisagem, principalmente após o desenvolvimento de computadores potentes e rotinas mais eficazes. Porém, para que esses parâmetros descrevam a variabilidade dos solos na paisagem torna-se necessário o desenvolvimento de modelos e métodos específicos (Evans, 1972; Evans & McClean, 1995).

Com a utilização do Modelo Numérico do Terreno (MNT) é possível espacializar uma variedade de índices de representação do relevo e correlacionar os compartimentos da paisagem com os possíveis solos nela contidos. Índices de representação da paisagem como a elevação, a declividade e a curvatura foram utilizados para a identificação de pedoformas na região de Mar de Morros em Minas Gerais e a correlação com as classes de solos (Ippoliti et al., 2005).

A utilização de dados quantitativos do solo mostrou a existência de correlação com os índices de representação da paisagem os quais foram indicados para a realização de trabalhos preliminares de levantamentos de solos (Moore et al., 1993). Identificando os horizontes mais espessos em topos mais aplainados ou no sopé das elevações aos quais estão associados relevos côncavos, já os horizontes menos espessos foram identificados em superfícies convexas.

Cunha, et al. (2005), Campos et al. (2006) e Campos et al. (2007) identificaram superfícies geomórficas para a identificação e separação de áreas naturais e relativamente homogêneas com a declividade do terreno. Plano de curvatura, perfil de curvatura e índice

topográfico de umidade (ITW) foram objetos de investigação nas relações do relevo com solos por: Moore et al. (1993), Mckenzie & Ryan (1999), Valeriano (2003) e Sirtoli (2008). Associada a estes índices adicionou-se a radiação solar incidente para a delimitação das pedoformas, tendo como instrumento de análise a lógica fuzzy e isodata (Irvin et. al., 1997).

Embora vários autores mostrem a relação relevo solos, apenas os índices de representação da paisagem não são suficientes para a delimitação da paisagem, pois sabe-se que a ocorrência dos solos é produto de um conjunto de fatores os quais, atuando sistematicamente, favorecem o desenvolvimento de determinados solos. Entretanto, ressalta-se que o relevo é um elemento de grande influência no desenvolvimento dos solos na paisagem, bem como, a sua percepção nas imagens e sua relação com os limites da unidade de mapeamento, sendo assim, significativos como descrito em Goosen (1968).

O estudo para o mapeamento digital de solos tem aumentado nos últimos anos e tem como base os critérios de scorpan-SSPFe, que é a função de predição de solos a qual tem como base os fatores de formação de solos (McBratney et al., 2003).

O índice topográfico de umidade (ITW) caracteriza as zonas de saturação de água superficial e o conteúdo de água nos solos (Alves, 2008). Este índice toma como base o modelo numérico do terreno o qual tem sido bastante usado para a predição da matéria orgânica do solo, pois estima um balanço entre acúmulo de água e condições de drenagem em escala local (Pei, et al., 2010, Hancock et al., 2010). Usando índice topográfico de umidade juntamente com radiação solar incidente, elevação, declividade foi possível a identificação de unidades de mapeamento, pois estes estão associados a gênese dos solos, mostraram ainda que o mapeamento fica dificultado para antropossolos (Gilo & Etzelmüller, 2009).

Moore et al. (1993), Chagas (2006) e Sirtoli (2008) apresentaram resultados satisfatórios ao identificar áreas úmidas em relevos planos, onde foram encontrados respectivamente Organossolos e Gleissolos. Identificaram áreas com declividade superiores a 8% e com valores de umidade topográfica variando entre 5 a 10, enquanto que nos topos de morros os valores são inferiores a 5.

Buscando estabelecer uma correlação entre a umidade real dos solos e o índice topográfico de umidade identificaram que para solos bem drenados o índice varia entre 4 e 5, solos moderadamente drenados o índice varia entre 5 e 7 e solos mal drenados com índices variando entre 7 e 12. Estas condições de umidade também estão associados à espessura dos solos, grau estrutural e permeabilidade (Lin et al., 2006).

O índice Wetness index (ITW) pode ser utilizado para determinar a espessura do solo principalmente onde existe a predominância de processos erosivos e esta relação é linear, conforme McKenzie & Gallant (2007). Ainda pode ser associado ao índice MRVBF o que pode quantificar a espessura das diferentes camadas do solo.

O índice *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness* (MRVBF) define e distingue os fundos de vale de encostas em diferentes escalas e combina diferentes paisagens em um único índice (Robert et al., 1997; Wang & Laffan, 2009). Para Gallant & Dowling (2003) o índice MRVBF foi projetado especificamente para mapear áreas de deposição na paisagem. Valores inferiores a 0,5 são considerados superfícies de erosão e valores superiores a 0,5 são superfícies de deposição (Mckenzie & Gallant, 2007).

A *Altitude Above Channel Network* (AACN) é a distância vertical a partir da rede de drenagem expressa em metros (Ballabio et al., 2009), portanto a altitude é diferente em cada ponto em relação a drenagem, estimando a energia potencial do terreno (Romão, 2006). Também foi utilizada para a delimitação de classes de solos, onde os valores baixos caracterizam superfícies mais próximas do nível do canal, caracterizando acúmulo de sedimentos e proximidade do lençol freático. Os valores médios indicam processos de transferência de material das encostas e os valores elevados foram encontrados em topos de morros (Bohner et al., 2002).

Para determinar o índice *Channel Network Base Level* (CNBL) se considera a distância vertical ao nível do canal de base da rede local, utilizando a Modelagem Numérica do Terreno (MNT) como fase inicial (Hengel & Reuter, 2009). Para Bock & Kothe (2008) CNBL é essencial para a previsão da profundidade de solos hidromórficos influenciados pelo escoamento de águas subsuperficiais e subterrâneas.

Slope refere-se à inclinação da superfície do terreno em relação à inclinação horizontal (Camara et al., 1996), portanto o cálculo de declividade é o resultado de um diferencial altimétrico entre vizinhos, ou seja, depende da distância considerada (Valeriano, 2008). O declive do terreno afeta diretamente a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água, afetando o potencial de erosão e deposição (Gallant & Wilson, 2000; Park & Burt, 2002; Mulla & McBratney, 1999). Portanto solos que ocorrem em relevos mais íngremes sofrem rejuvenescimento por meio de processos erosivos (Sousa & Demattê, 2008).

Profile Curvature é à taxa de variação do aspecto ao longo da curva de nível e caracteriza mudanças na velocidade do fluxo da água e processo relacionados ao transporte de

sedimentos. Valores positivos devem corresponder a terrenos convexos, valores negativos a terrenos côncavos e valores nulos a terrenos retilíneos (Valeriano, 2008).

Plan curvature relaciona-se à taxa de variação da declividade ao longo das curvas de nível e mede a propensão da água convergir ou divergir à medida que atravessa o terreno. Valores positivos correspondem a terrenos divergentes, negativos a terrenos convergentes e nulos a terrenos planares (Valeriano, 2008).

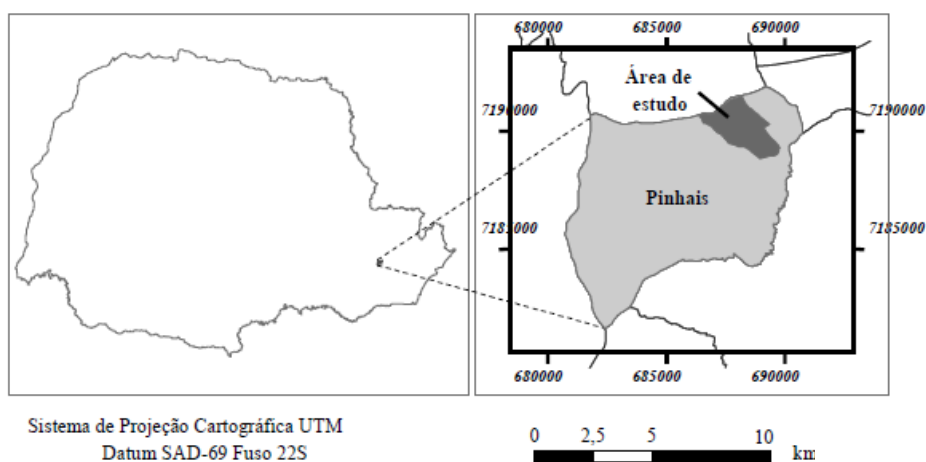
Em função do exposto é possível perceber que os índices de representação da paisagem se relacionam com os atributos do solo e ao grau de desenvolvimento dos solos. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação dos índices de representação da paisagem como apoio na delimitação dos diferentes compartimentos da paisagem e sua posterior aplicação no mapeamento de solos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Á área se localiza na região metropolitana de Curitiba, no município de Pinhais, Paraná (Figura 1). A área de estudo está situada entre as coordenadas UTM, *datum* Córrego Alegre, fuso 22: 685.000mW, 690.000mW, 7.180.000mS, 7.191.000mS, totalizando uma área de 444,53 ha. O substrato geológico da área relaciona-se a formação Guabirota, composto por argilitos, seguindo-se de arcósios e depósitos rudáceos, além de pequenos horizontes de caliche (Salamuni & Stellfeld, 2001).

Predominam as formas de relevo suave ondulado a ondulado e de maneira geral, as atividades de uso e cobertura do solo são agrossilvopastoris desenvolvidas em remanescentes naturais de estepes entremeadas por capões próximos aos cursos d'água. (Cursio et al., 2006).

Figura 1. Localização da área de estudo: Fazenda Experimental Canguiri (UFPR) no Município de Pinhais (PR)



Fonte: Ribeiro, *et al.* (2008)

Foram utilizadas como base cartográfica as cartas planialtimétricas da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC (1976) em escala 1:10.000, com equidistância entre curvas de nível de 5 metros. As curvas foram digitalizadas e posteriormente interpoladas para a geração do modelo numérico do terreno – MNT, tendo como interpolador, *B-Spline Approximation* do software *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA, 2005).

De posse do modelo numérico do terreno, foram gerados os índices de representação da paisagem primários e secundários (SAGA, 2005), os quais aparecem discriminados no Quadro 1.

Quadro 1. Métodos para a geração dos Índices de Representação da Paisagem

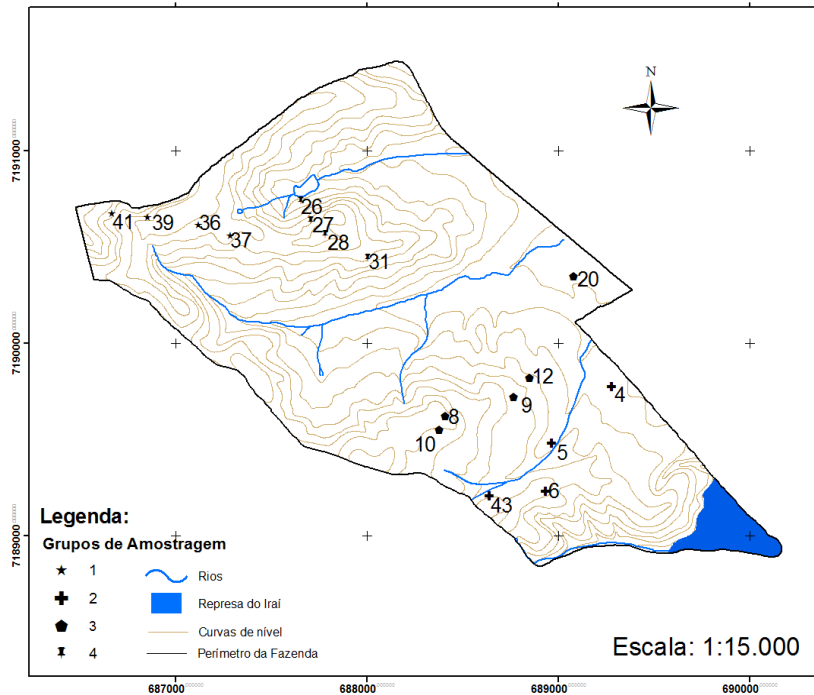
Índices de Representação da Paisagem	Método
<i>Altitude Above Channel Network</i>	Olaya and Conrad, 2008
<i>Analytical hillshad</i>	Olaya and Conrad, 2003
<i>Aspect</i>	Zevenbergen and Thrne, 1987
<i>Catchment area</i>	Olaya and Conrad, 2008
<i>Channel network base level</i>	Olaya and Conrad, 2008
<i>Convergence index</i>	Kothe and Lehmeier, 1993
<i>Curvature</i>	Zevenbergen and Thrne, 1987
<i>Curvature classication</i>	Dikau, 1988
<i>Multiresolution index of valley bottom flatness</i>	Olaya and Conrad, 2006
<i>Plan curvature</i>	Zevenbergen and Thrne, 1987
<i>Profile curvature</i>	Zevenbergen and Thrne, 1987
<i>LS-factor</i>	Olaya and Conrad, 2008
<i>Slope</i>	Zevenbergen and Thrne, 1987
<i>Stream power</i>	Olaya and Conrad, 2008
<i>Watershed subbasins</i>	Olaya and Conrad, 2008
<i>Wetness index</i>	Olaya and Conrad, 2008

Fonte: SAGA, 2005

Os dados químicos e granulométricos dos horizontes A e B dos solos foram extraídos do trabalho de Sugamoto (2002). Destes, foram selecionados dezessete pontos, os quais foram separados em quatro grupos de amostragem distribuídos em diferentes posições da paisagem (Figura 2). Estes pontos foram submetidos à matriz de correlação linear simples (*Pearson*) no *software Statistica (Statsoft, 2007)*, com a intenção de identificar quais índices de representação da paisagem possuem correlação com o maior número de atributos.

Os índices de representação da paisagem que apresentaram correlação com um maior número de atributos do solo foram: *Channel Network Base Level – CNBL*, *Altitude Above Channel Network – AACN*, *Multiresolution Valley Bottom Flatness – MRVBF*. Estes foram submetidos à análise de agrupamentos pelo método da Mínima Distância Euclidiana (Forgy, 1965). Após a aplicação da análise de agrupamentos, verificou-se que os fundos de vale não estavam bem discriminados, desta forma, haveria problemas para a identificação dos solos das planícies aluviais. Portanto, foi incluído na análise de agrupamentos o índice topográfico de umidade - ITW, o qual ajudou na discriminação de tal compartimento da paisagem.

Figura 2. Localização dos Grupos de Amostragem (GA) para a realização da matriz de correlação



O produto da análise de agrupamento apresentou polígonos que possuem pequena expressão cartográfica, conseqüentemente foram descartados na edição final da compartimentalização da paisagem.

Os solos foram classificados ao segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), tendo como base os dados analíticos extraídos de quarenta e nove pontos do trabalho de Sugamoto (2002). Para os agrupamentos que não apresentaram pontos de amostragem, as unidades taxonômicas foram estimadas por extrapolação, sempre considerando inicialmente a paisagem e posteriormente os índices de representação da paisagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

3.1 Matriz de Correlação dos índices de representação da paisagem com os atributos químicos e granulométricos

Os índices da matriz de correlação linear de Pearson a 95% de probabilidade mostram que, os atributos químicos e granulométricos do solo possuem alta correlação com os índices

de representação da paisagem. Indicativo de que estes índices podem ser utilizados como apoio na identificação e delimitação das unidades de mapeamento dos solos (Quadro 2).

Quadro 2: Matriz de Correlação dos índices de representação da paisagem com os atributos químicos e granulométricos dos solos por grupos de amostragem de solos

Matriz de Correlação ¹	Grupos de amostragem													
	G1_HzA		G1_HzB		G2_HzA		G2_HzB		G3_HzA		G3_HzB		G4_HzA	
	AACN	CNBL	AACN	CNBL	AACN	MRVBF	AACN	MRVBF	ITW	MRVBF	CNBL	ITW	ITW	MRVBF
pH H ₂ O			-0.98					-0.99						
pH _{KCl}			-1				1							
Al ⁺³														1
H+Al								1	0.9	-0.9				1
Ca ⁺² +Mg ⁺²			-0.99	-1						-0.9	-0.93			
Ca			-0.99	-1							-0.94			
K											-0.89			
CTC			-0.99	-1	-0.95	0.95		0.98						
P														-1
C		1									-0.96			-1
S			-0.99	-1						-0.9	-0.93			
V%			-0.99	-1						-1				
m%										0.91				
Argila%	0.97	1	0.97	0.99										
Areia%		-1		-1										
Silte%	-1	-1	-1	-1										

¹Valores significativo a 95% de probabilidade; G1_HzA – Grupos de Amostragem 1 Horizonte A; G1_HzB – Grupos de Amostragem 1 Horizonte B; G2_HzA – Grupos de Amostragem 2 Horizonte A; G2_HzB – Grupos de Amostragem 2 Horizonte B; G3_HzA – Grupos de Amostragem 3 Horizonte A; G3_HzB – Grupos de Amostragem 3 Horizonte B; G4_HzA – Grupos de Amostragem 4 Horizonte A; G4_HzB – Grupos de Amostragem 4 Horizonte B.

Os índices ITW e MRVBF indicam a concentração do fluxo de água nos solos e define as áreas de sedimentação e de erosão respectivamente. Desta forma, podem estar associados aos processos de intemperização dos solos, seja para promover ou impedir o desenvolvimento do solo, fato já confirmado por Moore et al., (1991), Moore et al., (1993), McKenzie & Ryan (1999), McKenzie & Gallant (2007) e Gallant & Wilson (2000) e que estão diretamente relacionados ao fator de formação dos solos, relevo, citando como referência o modelo de Jenny (1941).

Os índices AACN e CNBL estão associados a distância vertical da superfície em relação ao canal de drenagem mais próximo ou em relação ao nível de base local respectivamente. Além destes índices indicarem a proximidade dos canais de drenagem e por consequência as condições de drenagem, podem também reportar a energia potencial da água conforme Romão (2006), a qual também atuará na ação dos processos erosivos estando,

portanto, associados ao relevo e conseqüentemente atendem ao proposto por Jenny (1941) e confirmado nos índices de representação da paisagem por Moore et al., (1991), Moore et al., (1993), McKenzie & Ryan (1999), Gallant & Wilson (2000) e McKenzie & Gallant (2007).

3.2 Análise espacial dos índices de representação da paisagem

Os agrupamentos 1, 4 e 6 (Figura 3) são os que apresentam maior distância vertical em relação ao canal de drenagem, fato que caracteriza solos com boa drenagem, no entanto, a água que se encontra nestas áreas também apresentam uma maior energia potencial o que pode contribuir para a ação de processos erosivos (Romão, 2006). No entanto, os agrupamentos 1 e 6 são característicos de topos de morro, apresentando relevo predominantemente suave ondulado, convexo e divergente. Condições estas que podem favorecer o maior desenvolvimento dos solos, pois a forma do relevo favorece a dispersão do fluxo da água reduzindo o transporte de sedimentos (Valeriano, 2008).

Já o agrupamento 4 diferencia-se dos anteriores unicamente pelo relevo ondulado. Deve-se ressaltar que estes agrupamentos apresentam ITW baixo e MRVBF superior a 0,5 (Quadro 3); não caracterizando superfícies que predominam processos erosivos. Desta forma, os solos tendem a ser menos desenvolvidos em função da declividade a qual favorece a menor infiltração da água e maior escoamento superficial (Jenny, 1941).

Os agrupamentos 3,7 e 8 (Figura 4) apresentam distância vertical em relação ao canal de drenagem (AACN) inferior aos agrupamentos anteriores, no entanto, ainda se encontram em posição elevada o que proporciona solos bem drenados. O agrupamento se diferencia dos demais por estar em relevo suave ondulado, côncavo e convergente o que favorece aos processos de sedimentação em comparação aos de erosão. Fato que pode ser identificado pelo índice MRVBF igual a 0,8 (Mckenzie & Gallant, 2007).

Figura 3. Localização dos agrupamentos 1, 4 e 6 com a identificação dos polígonos 4, 5, 16, 18 e 26

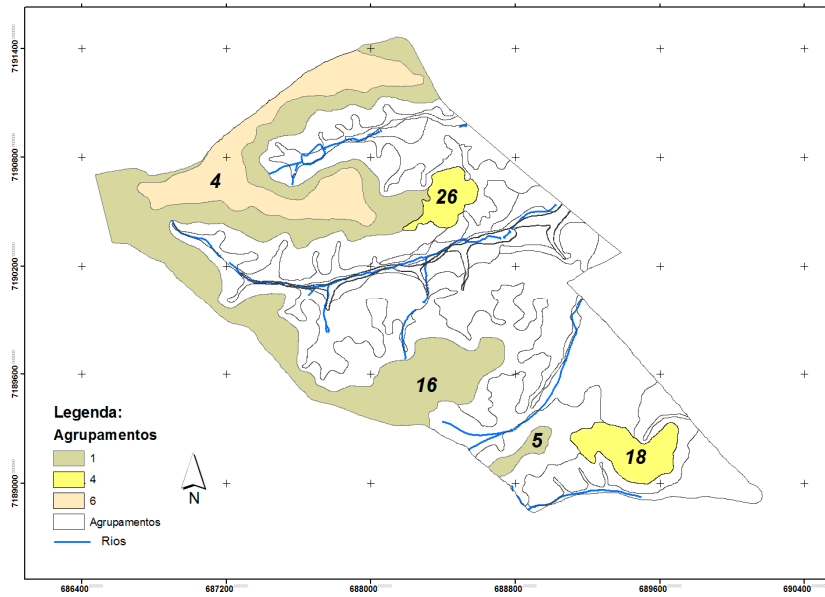
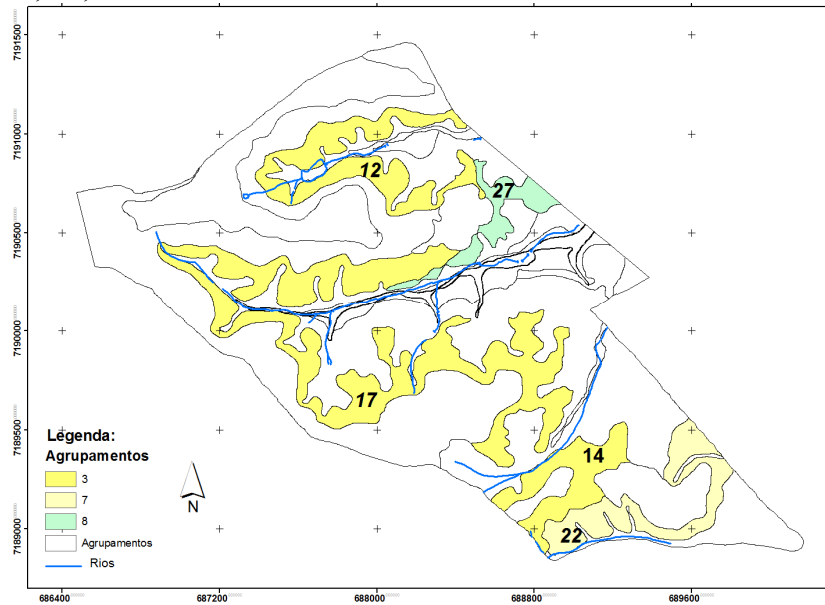


Figura 4. Localização dos agrupamentos 3, 7 e 8 com a identificação dos polígonos 12, 14, 17, 22 e 27



Quadro 3. Média e Coeficiente de Variação dos índices de representação da paisagem de cada polígono gerado pela análise de agrupamentos (cluster)⁽¹⁾

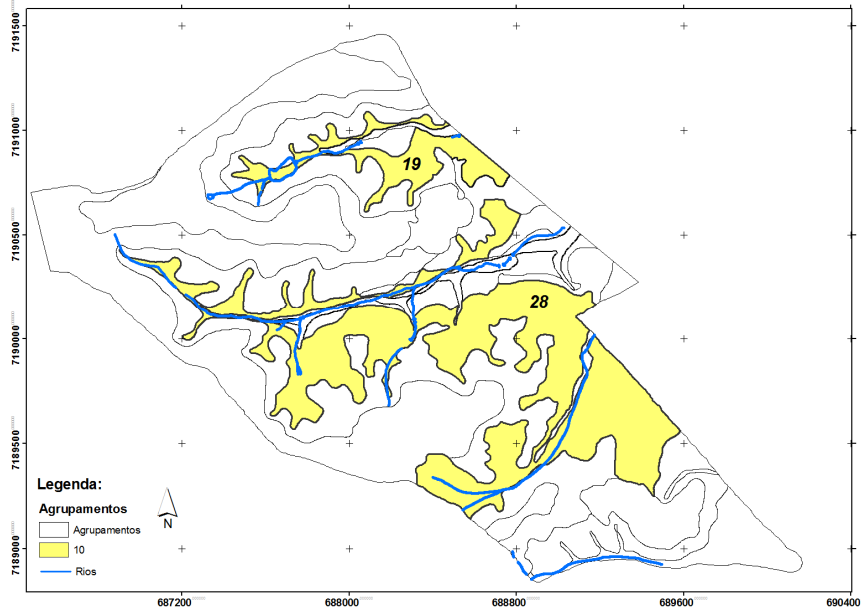
Cluster	Polígono	AACN	CV	CNBL	CV	TWI	CV	MRVBF	CV	D-C-P
1	5	11.46	9	914.67	0.26	6.4	12	0.55	9	SO-DV-CX
	16	15.73	25	918.56	0.57	6.84	14	0.55	8	O-DV-CX
2	1	0.48	135	897.26	0.43	9.77	24	1.36	14	O-CV-CC
	3	0.6	112	888.94	0.44	9.91	27	2.8	28	SO-CV-CC
	13	0.4	88	898.91	0.15	8.92	11	2.31	26	P-CV-CC
	24	1.27	59	898.72	0.15	8.99	6	2.12	24	SO-CV-CC
3	12	5.17	56	913.99	0.52	7.29	11	0.48	7	O-CV-CC
	14	6.92	44	912.5	0.44	7.06	18	0.82	12	O-CV-R
	17	4.87	58	915.46	0.59	7.24	12	0.56	8	O-CV-CC
4	18	13.64	20	898.82	0.55	6.4	12	0.56	9	O-DV-CX
	26	12.37	19	906.63	0.19	6.61	14	0.57	9	O-DV-CX
5	6	0.11	85	901.23	0.21	10.05	10	3.83	38	P-PL-CC
	7	0.22	142	909.55	0.06	10.68	9	3.93	37	SO-CV-R
	8	0	0	908.46	0.02	10.54	7	3.77	36	SO-CV-CC
	9	0.02	140	908.67	0.02	9.8	9	3.94	40	SO-CV-CC
	10	0.15	97	904.01	0.03	9.09	12	4.06	45	P-CV-CC
	11	0.08	122	907.04	0.21	10.09	10	4.04	40	SO-CV-CC
	15	0.16	90	897.71	0.14	9.92	12	3.58	36	P-PL-CC
21	0.21	112	900.94	0.25	10.32	7	3.64	35	P-CV-CC	
6	4	25.01	10	917.84	0.59	6.82	16	0.71	10	SO-DV-CX
7	22	5.65	57	897.88	0.59	6.35	18	0.31	137	FO-CV-CX
8	27	4.39	48	902.76	0.21	7.47	8	0.8	11	SO-CV-CC
9	2	0.05	179	908.81	0.41	13.91	14	3.19	23	P-CV-CC
	20	0.05	240	907.98	0.22	14.08	18	3.43	24	P-CV-CC
	23	0.05	252	898.85	0.08	12.68	8	2.84	22	P-PL-CC
	25	0.01	293	902.94	0.47	13.98	14	3.69	26	SO-CV-CC
10	19	1.64	105	909.76	0.57	9.35	15	1.96	21	SO-CV-CC
	28	2.02	113	910.35	0.74	8.9	14	1.74	20	SO-CV-CC

⁽¹⁾ CV: Coeficiente de Variação; D – Declividade do terreno conforme classificação EMBRAPA (P: Plano; SO: Suave ondulado; O: Ondulado; FO: Forte ondulado); C: Plan Curvature (DV: Divergente, CV: Convergente; PL: Planar); P: Profile Curvature (CX: Convexo; CC: Concavo; R: Retilíneo) ;

O agrupamento 7 caracteriza-se por uma superfície com predominância de processos erosivos, como pode ser identificado no quadro 3, onde o valor de MRVBF é de 0,31 e diferenciando-se do agrupamento 3 pela presença de relevo côncavo neste (Gallant & Dowling, 2003 , Mckenzie & Gallant, 2007).

O agrupamento 10 (Figura 5) possui relevo suave ondulado, côncavo e convergente fato que pode favorecer a concentração do fluxo superficial e subsuperficial da água e pode ser evidenciado pelos índices TWI próximos de 9 e MRVBF maiores que 1,7 (Quadro 3). Esta superfície está mais sujeita a processos deposicionais (McKenzie & Gallant, 2007). Deve-se ressaltar que estas superfícies não podem ser caracterizadas com excesso de água uma vez que a distância vertical em relação aos canais é elevada.

Figura 5. Localização do agrupamento 10 com a identificação dos polígonos 19 e 28

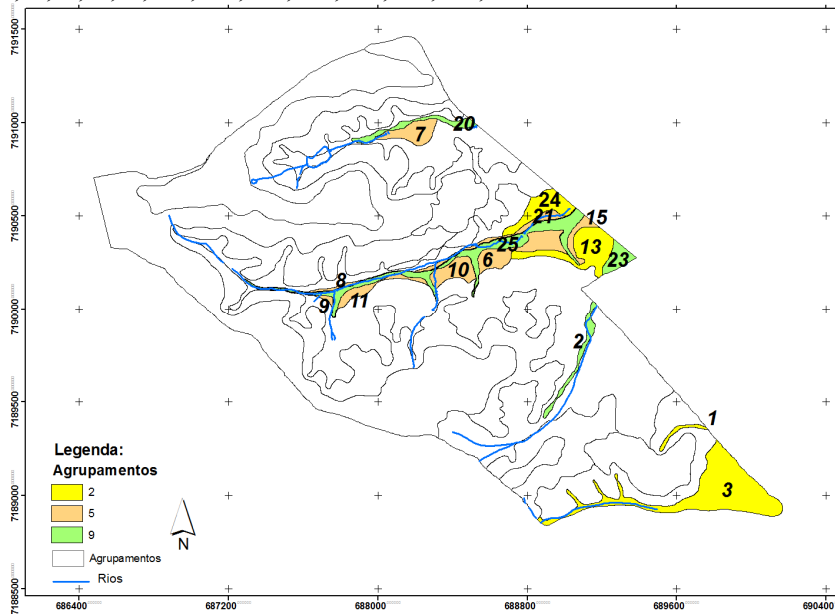


Os agrupamentos 2, 5 e 9 (Figura 6) apresentam características de fundo de vale, com grande concentração de umidade, típico de solos hidromórficos. Pois apresenta distância vertical em relação ao canal de drenagem variando entre 0,01m a 1,27m (Quadro 3). O agrupamento 9 é o que apresenta maior hidromorfismo devido aos altos índices de MRVBF e TWI o que caracteriza áreas com grande concentração de umidade que se caracterizam pela predominância de processos deposicionais complementado pelo relevo plano, côncavo e convergente (Moore et al., 1993; McKenzie et al., 2005).

O agrupamento 5 possui posição intermediária em relação ao hidromorfismo, pois apesar de apresentar uma baixa distância vertical em relação ao canal de drenagem e altos índices de MRVBF, o que caracteriza um ambiente onde predominam processos sedimentares, o TWI apresenta valores intermediários entre os agrupamentos 2 e 9 e possui relevo suave ondulado. O agrupamento 2 é o que apresenta melhor drenagem entre eles, fato

que pode ser identificado pelos índices MRVBF e TWI que são os mais significativos e o relevo que varia entre plano a ondulado(Quadro 3).

Figura 6. Localização dos agrupamentos 2, 5 e 9 com a identificação dos polígonos 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 20, 21, 23, 24 e 25



3.3 Unidades de mapeamento dos solos

As unidades taxonômicas identificadas para cada agrupamento atenderam o segundo nível categórico de Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, bem como a proposta de mapa seguiu os critérios para levantamentos pedológicos (EMBRAPA, 1995).

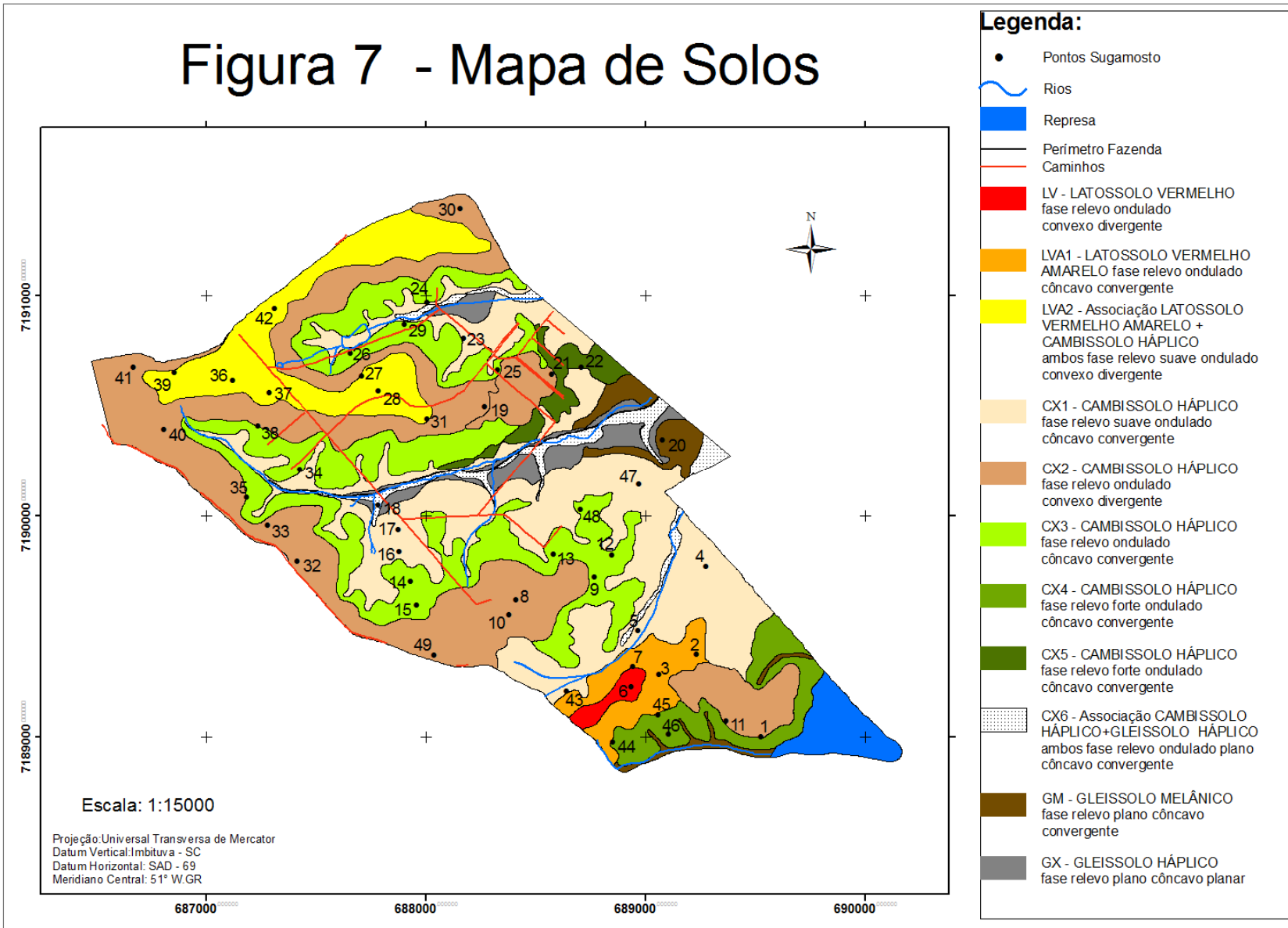
O Latossolo Vermelho-Amarelo foi melhor caracterizado pelos índices TWI e MRVBF que indicam boa condição de drenagem e processos erosivos menos intensos, condições estas que favorecem ao desenvolvimento do solo principalmente quando associado ao relevo suave ondulado, convexo divergente (Valeriano, 2008). É possível identificar na figura 7 que esta unidade de mapeamento ocorre nos topos aplainados da área.

Os Cambissolos Háplicos são caracterizados pelo índice MRVBF predominantemente próximos 0,5 e com relevo variando entre suave ondulado e ondulado e preferencialmente nas superfícies côncavas e convergentes. Com exceção para os agrupamentos 8 e 10 onde o índice MRVBF assume valores maiores que 0,5 caracterizando menor ação de processos erosivos

(Gallant & Dowling, 2003). Estas unidades localizam-se no terço inferior próximo as planícies de inundação conforme pode ser observado na figura 7.

As unidades de mapeamento caracterizadas por solos hidromórficos foram perfeitamente caracterizadas pelos índices ITW, MRVBF e AACN, que indicaram a possibilidade de acúmulo de água devido a baixa distância vertical em relação ao canal de drenagem (AACN) e altos índices de ITW maior que 8 associados à prevalência de processos de sedimentação descritos pelos altos valores de MRVBF (McKenzie & Gallant, 2007).

Figura 7 - Mapa de Solos



4 CONCLUSÕES:

Os dados obtidos permitem tirar as seguintes conclusões:

- As matrizes de correlação foram determinantes para escolher entre os 16 índices de representação da paisagem, aqueles que foram eficientes no apoio da delimitação das unidades de mapeamento (AACN, CNBL, MRVBF e ITW);
- Entre os índices de representação da paisagem o CNBL foi o menos eficiente para caracterizar as particularidades do solo e paisagem;
- A declividade e forma do relevo foram significativas na discriminação das diferentes unidades de mapeamento;
- Os valores superiores a 8 do ITW serviram com o apoio para classificar solos com caráter hidromórfico;
- Os índices de representação da paisagem podem auxiliar na discriminação e delimitação das unidades de mapeamento de solos.

5 LITERATURA CITADA:

ALVES, M.R. Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2008, 160 p. Tese (Doutorado em Agronomia).

BALLABIO, C.; CURIONI, G. CLEMENZA, M.; COMOLLI, R. & E, PREVITALI. Study of the spatial distribution of ¹³⁷Cs in Alpine soils, 2009, 109 p.

BIE, S.W.; BECKETT, P.H.T. Comparison of four independent soil surveys by airphoto interpretation Paphos Area (Cyprus). *Photogrammetria*, (29):198-202, 1973.

BOCK, M. & KOTHE, R. Predicting the Depth of hydrologic Soil Characteristics *Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie –Heft 19*, 2008.

BÖHNER, J.; KÖTHE, R.; CONRAD, O.; GROSS, J.; RINGELER, A. & SELIGE T. Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation. – In: Micheli E, Nachtergaele F & Montanarella L ed : *Soil Classification 2001*. – European Soil Bureau – Research Report No. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg, 2002. p. 213-222.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M. & GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Comput. Graph.*, 20(3):395-403, May-Jun 1996.

CAMPOS, M.C.C.; CARDOZO, N.P. & MARQUES, J.J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. R. Bio. Ci. Terra, 6(1):104-114, 2006.

CAMPOS, M.C.C.; CAMPOS, M.C.C.; CARDOZO, N.P. & MARQUES, J.J. Relações solo paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira, SP. R. Bras. Ci. Solo, 31:519-539, 2007.

CHAGAS, C. da S. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros.– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006, 223 p. (Tese Doutorado em solos e nutrição de plantas).

COMEC – COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. Carta Topográfica, escala 1:10.000. Curitiba, 1976.

CUNHA, P.; MARQUES, J.J.; CURI, N.; PEREIRA, G.T. & LEPSCH, I.F. Superfícies geomórficas e atributos de latossolos em uma sequência arenítico-basáltico da região de Jabotical (SP). R. Bras. Ci. Solo, 29:81-90, 2005.

CURCIO, G.R.; BONNET, A.; PESTANA, D.; SOUZA, L. & SOCHER, L.G. Compartimentação toposequencial e caracterização fitossociológica de um campo de floresta Ombrófila Mista. R. Floresta, 36(3):361-369, set/dez.2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: Serviço de produção de informação, 1995.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EVANS, I. & MCCLEAN, C. The land surface is not unifractal: variograms, cirque scale and allometry, Zeitschrift fur Geomorphologie N.F. Suppl.-Band., 101, 127-147, 1995.

EVANS, I.S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: CHORLEY, R.J. ed. Spatial analysis in geomorphology. London: Harper & Row, Publishers, 1972.p.17-90.

FORGY, E.W. A Cluster analysis of multivariate data: efficiency vs. Interpretability of classifications. BIOMETRICS, September, p. 768. 1965.

GALLANT, J.C. & DOWLING, T.I. Um índice de multiresolução de nivelamento fundo de vale para o mapeamento de áreas de deposição. Water Resour. Res., 39(1):1347, 2003.

GALLANT, J.C. & WILSON, J.P. Primary Topographic Attributes. Terrain Analysis: Principles and Applications. New York, John Wiley and Sons, 2000. p. 51-85.

GILO, M.D. & ETZELMULLER, B. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. *Catena*, (77):8-18, 2009.

GOOSEN, D. Interpretacion de fotos aereas y su importancia em levantamiento de suelos. *Boletim sobre Suelos n.6* . Organizacion Naciones Unidas y para la Agricultura y la Alimentacion. Roma, 1968, p. 1-56.

HANCOCK, G.R.; MURPHY, D. & EVANS, K.G. Hillslope and catchment scale soil organic carbon concentration: An assessment of the role of geomorphology and soil erosion in an undisturbed environment. *Canadá. Geoderma*, (155):36-45, 2010.

HENGEL, T. & REUTER, I.H. Geomorphometry: concepts, software, applications, developments. In: *Soil Science 33*, Amsterdam, Oxford, 2009, p.756.

HUDSON, B.D. The soil survey as paradigm-bases science. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56(3):836-841, 1992.

IPPOLITI, G.A.; COSTA, L.M.; SHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES, E.I.F. & GAGGERO, M.R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “mar de morros” (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 269-276, 2005.

IRVIN, B.J.; VENTURA, S.J. & SLATER, B.K. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant alley. *Geoderma*, 77:137-154, 1997.

JENNY, H. *Factors of Soil Formation-a System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill, New York, USA, 281 p. *Ecological Indicators* 8,485–501, 1941.

LIN, H.S.; KOGELMANN, W.; WALKER, C. & BRUNS, M.A. Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydro-pedological perspective. *Canadá. Geoderma*, (131):345-368, 2006.

MCBRATNEY, A.B.; MENDONÇA, M.L. & MINASNY, B. On digital Soil Mapping. *Geoderma*, (117):3-52, 2003.

MCKENZIE, N.J. & GALLANT, J.C. Digital Soil Mapping With Improved Environmental Predictors and Models of Pedogenesis. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M. *Developments in Soil Science*, v.31. EUA: Elsevier B.V., 2007. p. 327-349.

MCKENZIE, N.J. & RYAN, P. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89(1-2):67-94, April 1999.

MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol. Process.*, 5(3):3-30, 1991.

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.

MULLA, D.J. & MCBRATNEY, A.B. Soil spatial variability. In: SUMMER, M.E. Handbook of soil science. New York, CRC Press, 1999. p. 321-351.

PARK, S.J. & BURT, T.P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. Soil Sci. Soc. Am. J., 66:1987-1910, 2002.

PEI, T.; QIN, C.; ZHU, A.; YANG, L.; LUO, M.; LI, B. & ZHOU, C. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: A comparative study based on different ow-direction algorithms and kriging methods. Ecological Indicators, 10:610-619, 2010.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R.V. & BATISTA, A.C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental Canguiri, Pinhais (PR). Floresta, 38(3):561-572, jul./set. 2008.

ROBERT, S.D.W.; DOWLING, T.I. & WALKER J. FLAG: a fuzzy landscape analysis GIS method for dryland salinity assessment. CSIRO, Land and Water Technical Report 8/97, Canberra. Disponível em: www.clw.csiro.au/publications/technical/technical97.html. Acesso em 13 jul. 2010.

ROMÃO, P.A. Modelagem de terreno com base na morfometria e em sondagens geotécnicas – região de Goiânia – GO, Universidade de Brasília, 2006. 192 p. (Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental).

SAGA (2005). System for Automated Geoscientific Analyses, Version: 2.0.2. <http://www.saga-gis.org>

SALAMUNI, E. & STELLFELD, M.C. Banco de dados geológicos geo-referenciados da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR) como base de sistema de informação geográfica (SIG). Bol. Paraná. Geociênc., 49:21-32, 2001.

SIRTOLI, A.E. Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais. Curitiba, 2008, 102 p. (Tese de Doutorado em Geologia Ambiental).

SOUSA, J.G.A. JR & DEMATTÊ, J.A.M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. R. Bras. Ci. Solo, 32:449-456, 2008.

STATSOFT, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

SUGAMOSTO, M.L. Uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa de aptidão agrícola da adequação de uso do centro de estações experimentais do Canguiri, Município de Pinhais – Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 133 p. (Dissertação – Mestrado em Ciência do Solo).

VALERIANO, M.M. & CARVALHO, O.A.J. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. Rev. Bras. Geomorfol., 4(1):17-29, 2003.

VALERIANO, M.M. TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.

WANG, D. & LAFFAN, S.W. Characterisation of valleys from DEMs. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009. Disponível em <http://mssanz.org.au/modsim09>. Acessado em 17 de dez. 2009.