

Conflito de uso e indicadores morfométricos para a gestão de política de uso do solo

Land use conflict and morphometric indicators for land use policy management

Renata Cristina Araujo Costa^{1*} , Teresa Cristina Tarlé Pissarra² ,
Anildo Monteiro Caldas³ , Renato Farias do Valle Junior⁴ 

RESUMO

Este trabalho propõe indicadores ambientais de políticas públicas com base na espacialização dos parâmetros morfométricos e de conflito de uso em áreas municipais. As técnicas de geoprocessamento de imagens orbitais em sistemas de informações geográficas foram utilizadas para analisar o banco de dados dos valores de cada parâmetro morfométrico da superfície terrestre – área, perímetro, comprimento da rede de drenagem, densidade de drenagem, número de canais, frequência de rios, declividade e coeficiente de rugosidade – e elaborar os mapas temáticos de uso atual, de uso potencial e de conflito de uso do solo. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e exploratória multivariada. A espacialização dos valores obtidos da caracterização morfométrica gerou indicadores físicos ambientais que possibilitaram a diferenciação de áreas. O conhecimento do sistema hidrológico dessas regiões reflete o sistema natural de drenagem em seu comprimento. O número de canais e conflito de uso indicam áreas prioritárias para gestão ambiental e políticas de uso do solo. Os parâmetros morfométricos são potenciais indicadores ambientais.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; uso potencial; geoprocessamento.

ABSTRACT

This study has the main objective to propose environmental indicators for public policies based on spatial distribution of morphometric characteristics and land-use conflicts in municipal areas. The techniques of satellite images in geographic information systems were used to analyze the database of the values of each morphometric parameter of the earth's surface: area, perimeter, length of the drainage system, drainage density, number of channels, river frequency, slope and roughness coefficient and to elaborate thematic maps of current land-use, potential land-use, and land-use conflicts. The data were submitted to descriptive and multivariate exploratory statistical analysis. The spatial distribution of values of morphometric characterization generated environmental physical indicators which enabled the differentiation of areas. The knowledge of the hydrological system in these regions reflects the natural drainage system along its length. The number of channels and the land-use conflicts indicate priority areas for environmental management and land use policies. The morphometric characteristics are potential environmental indicators.

Keywords: watershed; potential use; geoprocessing.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas apresentam divisões naturais que armazenam e drenam as águas das precipitações (CRUZ, 2003; PORTO; PORTO, 2008). Essas áreas naturais têm a conformação geomorfológica terrestre dos processos erosivos naturais que formaram o sistema natural de drenagem (FERREIRA; BEZERRA, 2015; HORTON, 1945; PISSARRA, 2002; ROCHA, 2001). Ante a crise hídrica, o estudo da conformação geomorfológica e as características morfométricas podem indicar áreas prioritárias para o planejamento e a tomada de decisão em áreas municipais (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014; LISETSKII; STOLBA; MARININ, 2015; MANCINELLI *et al.*, 2015).

Os sistemas de informações geográficas (SIG) e o geoprocessamento de imagens orbitais auxiliam nos estudos do espaço geográfico e podem indicar as áreas ambientalmente frágeis (CASTRO *et al.*, 2014; PACHECO *et al.*, 2014; VALLE JUNIOR *et al.*, 2014).

O uso inadequado das áreas ambientalmente frágeis pode gerar prejuízos à conservação do solo e à gestão dos recursos hídricos (CAREY *et al.*, 2011; TAGLIARINI; RODRIGUES, CAMPOS, 2014). O estudo das características morfométricas visa compreender a conformação da superfície. Entre os parâmetros morfométricos estudados, destacam-se os dimensionais e os do padrão de relevo, desenvolvidos por Horton (1945), Rocha (2001) e Valle Junior (2008).

¹Grupo de Política de Uso do Solo – Jaboticabal (SP), Brasil.

²Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – Jaboticabal (SP), Brasil.

³Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Recife (PE), Brasil.

⁴Laboratório de Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Uberaba (MG), Brasil.

*Autora correspondente: renata.cristocosta@gmail.com

Recebido: 29/09/2015 – Aceito: 01/04/2019 – Reg. ABES: 154825

As técnicas de geoprocessamento de imagens orbitais auxiliam na delimitação das bacias hidrográficas nas imagens de satélite e na construção e na análise do banco de dados gerados pela caracterização morfométrica da superfície terrestre (NURDIANA; RISDIYANTO, 2015).

O processamento dessas informações espaciais e o cruzamento dos parâmetros morfométricos são capazes de construir uma base de dados sólida e segura para o planejamento e a tomada de decisão sobre o uso inadequado do solo (BEZERRA; SILVA, 2014; CASTRO et al., 2014; MARTINS et al., 2005; PACHECO et al., 2014; VALLE JUNIOR et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi propor a utilização das características morfométricas como indicadores de áreas ambientalmente frágeis em bacias hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento, análise multivariada e conflito de uso do solo.

METODOLOGIA

O estudo das áreas ambientalmente frágeis foi realizado no município de Jaboticabal, localizado na parte centro-norte do estado de São Paulo. A área de estudo compõe o sistema de drenagem da área municipal, sendo consideradas as áreas das bacias adjacentes, e compreende uma área de 1.282 km². Suas águas são drenadas para a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 9 (UGRHI), localizada entre as vértices de coordenadas UTM 750 e 810 kmE e 7675 e 7630 kmN, com a origem no Equador e no Meridiano 51° W. Gr., datum SIRGAS 2000 (Figura 1). O estudo contemplou o complexo de bacias hidrográficas da unidade territorial municipal de Jaboticabal.

Essa região situa-se na formação geomorfológica do planalto ocidental paulista, cujo relevo predominante é suave ondulado, com altitude média de 600 m, próximo às Cuestas Basálticas que limitam esse planalto com a depressão periférica da Bacia do Paraná. Os principais solos pertencem às unidades de latossolos e argissolos. A cobertura vegetal natural predominante é o bioma do cerrado. Porém a região recebe interferências da mata atlântica com sua floresta estacional semi-decidual, por estar na zona de transição (IBGE, 2012).

O clima da região é classificado como um B1rA, usando método de Thornthwaite (1948) definido por Caporussu e Rolim (2015).

Para definir os indicadores ambientais de áreas frágeis, a área de estudo foi dividida em 18 compartimentos hidrológicos (CH). Em cada CH, determinaram-se os parâmetros morfométricos (Figura 1). Os CH são regiões que contêm as redes de drenagem, que interagem entre si e armazenam as águas que contribuem para a vazão do rio Mogi-Guaçu e compõem o sistema de drenagem superficial que abastece o município de Jaboticabal. O indicador ambiental é uma variável, qualitativa ou quantitativa, que será mensurada no espaço, destinada a permitir o acompanhamento dinâmico dos CH do município. O indicador de áreas frágeis será uma ferramenta de acompanhamento de alteração de padrões ambientais com o objetivo de estabelecer metas e verificar a eficiência e a eficácia das ações das políticas públicas de uso e ocupação do solo.

Para a delimitação dos compartimentos, utilizou-se o modelo de elevação digital do terreno (*digital elevation model* — DEM) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, folha SF 22 X-D (EMBRAPA, 2015), e o modelo hidrológico *Soil and*

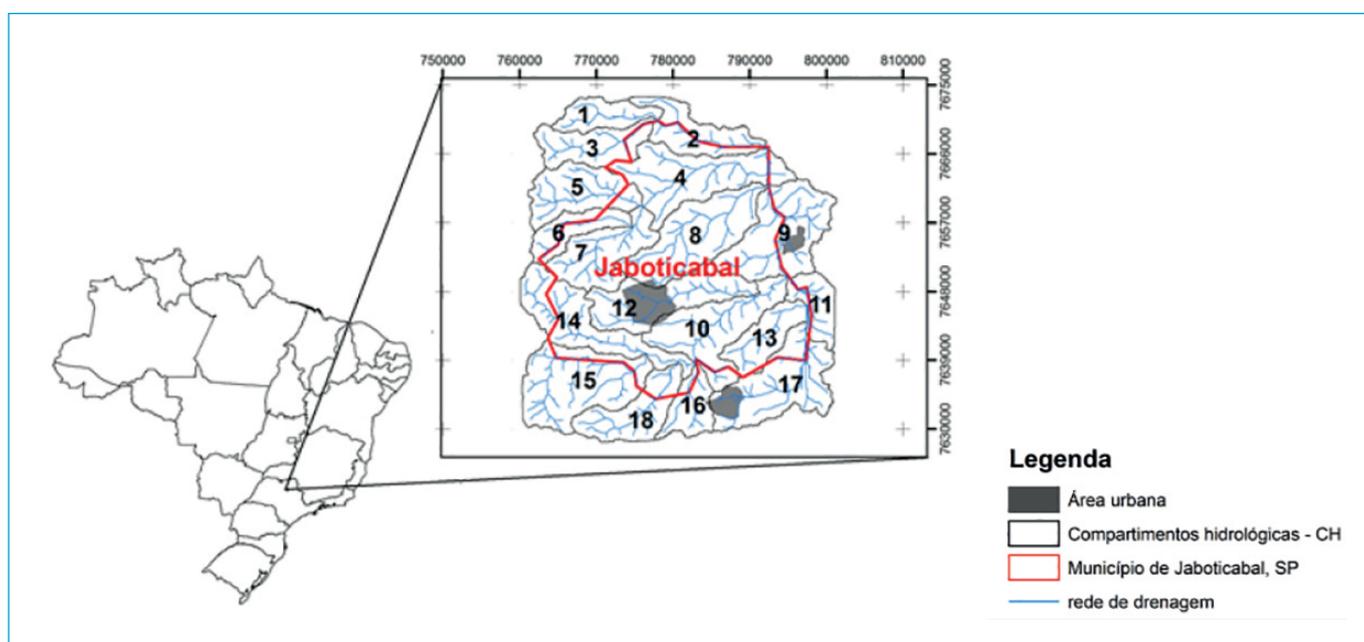


Figura 1 - Localização dos compartimentos hidrológicos no município de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil.

Water Assessment Tool, ArcSWAT versão 2010.2, com a interface de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), software ArcGis, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI), versão 10, no comando *watershed delineator*, gerando 24 CH. Desses 24, foram reprojitados, considerando a relação da área e da composição da rede de drenagem, 18 CH, utilizados para caracterização morfométrica.

A rede de drenagem foi gerada com base no DEM pela ferramenta *hydrological analysis*, que permite a identificação da direção do fluxo pela probabilidade de maior fluxo acumulado.

As metodologias de determinação dos parâmetros morfométricos seguiram os critérios de Horton (1945), Smith (1950), Schum (1956), Strahler (1957) e Pissarra (1998), e mediram-se os seguintes valores: área (A) em km², perímetro (P) em km, número de canais (Nt), comprimento da rede de drenagem (Cr) em km e declividade da microbacia (D) em %. Os parâmetros estão na Tabela 1.

O uso potencial do solo (UP), isto é, a aptidão de uso da terra, é determinado pelo produto do relevo da bacia; e a densidade de drenagem, por meio do coeficiente de rugosidade (CR), ou *ruggedness number* (RN). Introduzido por Strahler (1952), o RN foi originalmente usado como indicador de dinamismo hidrológico (MELTON, 1957; SCHUMM, 1956). Em diversos trabalhos, com base em Rocha e Kurtz (2001) e Valle Junior (2008), adotou-se o RN como um avaliador da aptidão da terra. Quanto maior for o valor do RN obtido, maior será a ocorrência do processo de erosão do compartimento (SAMPAIO *et al.*, 2010).

Para determinar o uso atual (UA), utilizou-se a imagem Landsat-8 de 1º de agosto de 2014, que possui oito bandas multiespectrais na resolução espacial de 30 metros. A classificação foi dividida em 3 classes: agricultura (agricultura e solo exposto), floresta (mata, silvicultura e água) e pecuária. A área urbana foi vetorizada manualmente e sobreposta às classificações finais, uma vez que esse tipo de alvo apresenta elevada mistura espectral, não sendo separada por classificação digital de maneira satisfatória. A classificação automática supervisionada foi

realizada pelo método da máxima verossimilhança (*maximum likelihood classification*) para processar as imagens de satélite. Os *pixels* selecionados foram utilizados para gerar a assinatura espectral de cada uso (*spatial analyst tool — multivariate — create signatures*).

O conflito de uso das terras (C) foi elaborado pela álgebra de mapa pela Equação 1, utilizando os pesos de cada *pixel* das classes de UP e UA, conforme Tabela 2:

$$\text{Classe Conflito (C)} = \text{Peso } UP_i - \text{Peso } UA_j, \text{ com } 1 \leq i \leq n \text{ e } 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

Não são considerados conflito de uso do solo valores negativos e zero da subtração dos pesos dos mapas (código $UP_i - UA_j \leq 0$), sendo consideradas de expansão agrícola. Nessas áreas existe potencial de expansão sustentável da agricultura e/ou pastoreio.

As classes de conflito representam os valores positivos (1, 2, 3) nessas áreas e devem seguir as recomendações conforme Tabela 3.

Os valores dos parâmetros morfométricos submeteram-se à análise descritiva univariada, na qual se determinaram as medidas de tendência central (média e mediana), de variabilidade (desvio padrão), de dispersão relativa (coeficiente de variação) e o coeficiente de correlação para verificar a semelhança entre os CH. A análise multivariada foi utilizada para definir os padrões e as relações entre as variáveis morfométricas, o que permite prever os efeitos e as mudanças no modelo

Tabela 2 - Classificação dos pesos referentes às classes de uso potencial (UP) e uso atual (UA).

Peso	UP	UA
1	Classe A - Agricultura	Agricultura
2	Classe B - Pecuária	Pecuária
3	Classe C - Pecuária/Floresta	Não se aplica
4	Classe D - Floresta	Floresta/Silvicultura

Fonte: adaptado de Valle Junior (2008).

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos.

Parâmetros morfométricos	Símbolo	Descrição	Fórmula	Fonte
Características do Padrão de Drenagem				
Frequência	F	Relação entre o número de canais de rios (N _t canais) e a área da bacia (A)	$F = \frac{N_t}{A}$ (canais.km ²)	Horton (1945)
Densidade de drenagem	Dd	Explica o comportamento hidrológico e litológico de cada unidade de solo	$Dd = \frac{Cr}{A}$ (km.km ²)	Horton (1945)
Coeficiente de Rugosidade	RN	Produto da densidade de drenagem da microbacia e declividade média da microbacia.	$RN = Dd \times D$ (ad.)	Rocha (2001)
Uso Potencial	UP	São calculados a Amplitude (A) e o Intervalo (I) dos coeficientes de rugosidades (RN), o denominador 4 são classes de aptidão de uso (A, B, C, D).	$A = > RN - < RN$ $I = \frac{A}{4}$	

explicativo de uma variável em relação ao comportamento das outras variáveis morfológicas da paisagem geomorfológica. Empregou-se a análise multivariada para agrupar as áreas fisicamente homogêneas e o método de agrupamento hierárquico. A análise de *cluster* utilizou o Método de Ward na formação dos grupos para a maximização de sua homogeneidade com base nos valores da medida da distância euclidiana. A soma de quadrados nos grupos foi usada como medida de homogeneidade. A formação dos grupos aplicou o critério de dissimilaridade e a maximização da homogeneidade. Utilizou-se a análise de fatores para definir quais os parâmetros morfológicos são mais determinantes na diferenciação da paisagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espacialização das características morfológicas gerou indicadores ambientais que possibilitaram a diferenciação dos CH. A conformação geomorfológica natural de cada CH é resultante do processo erosivo natural, os parâmetros morfológicos representam essa conformação (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014).

Agruparam-se os parâmetros morfológicos em quatro classes, que posteriormente foram espacializadas em mapas temáticos. As classes de espacialização dos valores numéricos de cada parâmetro podem ser observadas na Tabela 4.

Os 18 CH apresentam uma área total de 1.282 km², que varia entre 33 e 113 km² de superfície, com Cr na ordem de 20 a 76,3 km. O sistema de drenagem dos CH é organizado pelos cursos principais e seus tributários. Nessas regiões, os fluxos de água de drenagem seguem repetidamente o mesmo caminho e formam canais interligados na estabilidade da conformação geomorfológica do terreno.

Os resultados da estatística descritiva básica são demonstrados na Tabela 5. O coeficiente de variação dos parâmetros ficou entre

10,58 e 48,21%, demonstrando similaridade entre os compartimentos, o que indica que a A apresenta processos semelhantes na conformação geomorfológica.

O P e a A exibiram coeficiente de variação de 39,66 e 26,12% (Tabela 5), respectivamente. Os coeficientes de variação acima de 20% para os parâmetros analisados indicam alta variabilidade, mostrando que existe diferença nos padrões da extensão dos CH, segundo Panquestor *et al.* (2004).

Os parâmetros com correlações mais expressivas estão acima de 0,9 e são encontrados na matriz de correlação para os seguintes pares de variáveis (Cr - A), (Nt - A) e (Nt - Cr).

Oliveira *et al.* (2007) também verificaram alta correlação (acima de 0,7) entre si para as ordens fluviais das variáveis morfológicas referentes à amplitude, ao desvio padrão e à declividade média, salientando as características de variação interna da altimetria. Dessa forma, os pares de variáveis (A - P), (P - Nt) e (D - RN) também exibiram alta correlação. Isso revela a dependência entre essas

Tabela 4 - Classes de espacialização dos valores numéricos de cada parâmetro morfológico.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
A	33,39 a 53,3	53,31 a 73,2	73,21 a 93,11	93,12 a 113,02
P	36,65 a 50,62	50,63 a 64,59	64,6 a 78,56	78,57 a 92,53
Cr	20,14 a 34,18	34,19 a 48,22	48,23 a 62,26	62,27 a 76,3
Dd	0,55 a 0,62	0,63 a 0,69	0,7 a 0,76	0,77 a 0,83
Nt	7 a 16	16 a 24	24 a 33	33 a 41
F	0,19 a 0,25	0,26 a 0,30	0,31 a 0,36	0,37 a 0,41
D	4,52 a 5,28	5,29 a 6,04	6,05 a 6,8	6,81 a 7,56
RN	3,04 a 3,5	3,51 a 3,95	3,96 a 4,41	4,42 a 4,87

A: área (km²); P: perímetro (km); Cr: comprimento da rede de drenagem (km); Dd: densidade de drenagem (km.km⁻²); Nt: número de canais (unid.); F: frequência dos rios (canais.km⁻²); D: declividade (%); RN: coeficiente de rugosidade (ad).

Tabela 3 - Classes de conflito de uso do solo em compartimentos hidrológicos.

Classes de conflito	Cálculo	Recomendação
Classe 1	UP - UA = C 4 - 3 = 1 3 - 2 = 1 2 - 1 = 1	Apresentam riscos ou limitações permanentes severas quando usadas para culturas anuais e pastagens. Seu uso deve ser norteado pela implementação de técnicas conjuntas de conservação do solo (caráter vegetativo, mecânico).
Classe 2	UP - UA = C 4 - 2 = 2 3 - 1 = 2	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem nativa, reflorestamento ou preservação ambiental.
Classe 3	UP - UA = C 4 - 1 = 3	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental.

UP: uso potencial; UA: uso atual.

Fonte: adaptado de Valle Junior (2008).

Tabela 5 - Estatísticas descritivas básicas dos parâmetros morfológicos.

Parâmetros	Média	Mediana	DP	CV (%)
A	71,23	67,59	28,25	39,66
P	64,59	65,53	16,87	26,12
Cr	46,37	46,20	19,49	42,04
Dd	0,65	0,65	0,07	10,58
Nt	21,33	22,00	10,28	48,21
F	0,29	0,30	0,06	20,29
D	5,81	5,68	0,75	13,00
RN	3,75	3,64	0,58	15,43

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; A: área (km²); P: perímetro (km); Cr: comprimento da rede de drenagem (canais.km⁻²); Dd: densidade de drenagem (km.km⁻²); Nt: número de canais (unid.); F: frequência dos rios (canais.km⁻²); D: declividade (%); RN: coeficiente de rugosidade (ad).

variáveis, causada pelos processos naturais de conformação geomorfológica do terreno.

A D não apresentou correlação com nenhum outro parâmetro (Tabela 6). Esse atributo não tem expressiva variação na A. No estudo de Sodrê *et al.* (2007), observou-se correlação da declividade média com a amplitude topográfica para todas as ordens e para a altura média em bacias de 2ª e 3ª ordem.

As características morfométricas têm informações que podem ser utilizadas para as ações de planejamento, servindo como ponto de partida para a definição e a elaboração de indicadores ambientais (CAREY *et al.*, 2011).

Com a análise multivariada, foi possível agrupar as áreas fisicamente homogêneas dos CH utilizando o critério de homogeneidade baseado nas características morfométricas. Considerando essas características (Figura 2), observa-se a classificação dos valores dos diferentes grupos, cada um dos quais contendo as características semelhantes segundo a função de distância euclidiana.

No dendrograma formado pelas características morfométricas, notaram-se a separação da declividade e a frequência das outras características. RN e Dd formam um grupo, e P, Nt, Cr e A constituem outro

agrupamento. O parâmetro com maior similaridade com o coeficiente de CR é a densidade de drenagem. Isso pode ser influenciado pelo tipo de relevo suave da área de estudo (Figura 2A).

Dado o conjunto dos compartimentos, os quais foram medidos pelas características morfométricas, obteve-se o algoritmo que possibilitou a reunião dos compartimentos homogêneos, grupos I e II. No dendrograma da análise de *cluster*, realizou-se a partição final em agrupamentos que consideram a homogeneidade em relação ao relevo da paisagem geomorfológica das unidades hidrológicas. Os agrupamentos ocorreram em um nível de similaridade de aproximadamente 50 relacionados ao corte da distância euclidiana. Cada agrupamento foi composto de variáveis com níveis de similaridade maior. O grupo II apresentou os compartimentos mais similares (Figura 2B). O emprego de métodos estatísticos multivariados identificou grupos de bacias com comportamentos e dinâmicas evolutivas similares (HOTT *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

A decomposição da matriz da variância (Tabela 7 e Figura 3) indica que o fator compartilha as variáveis via fatores comuns e interpretação das inter-relações existentes no conjunto de variáveis observadas.

Tabela 6 - Matriz de correlação dos oito parâmetros morfométricos.

Parâmetros	A	P	Cr	Dd	Nt	F	D	RN
A	1							
P	0,85	1						
Cr	0,98	0,81	1					
Dd	0,15	0,01	0,32	1				
Nt	0,90	0,73	0,94	0,31	1			
F	0,32	0,21	0,42	0,48	0,67	1		
D	-0,12	0,09	-0,11	-0,15	0,04	0,36	1	
RN	0,03	0,11	0,16	0,58	0,27	0,63	0,72	1

A: área (km²); P: perímetro (km); Cr: comprimento da rede de drenagem (km); Dd: densidade de drenagem (km.km²); Nt: número de canais (unid.); F: frequência dos rios (canais.km²); D: declividade (%); RN: coeficiente de rugosidade (ad).

Tabela 7 - Matriz de cargas fatoriais.

Parâmetros Morfométricos	Cargas Fatoriais	
	Fator 1	Fator 2
A	-0,935	0,259
P	-0,748	0,145
Cr	-0,975	0,190
Dd	-0,864	0,153
Nt	-0,979	-0,066
F	-0,534	-0,701
D	-0,020	-0,881
RN	-0,882	-0,239
Varição (%)	64,41	18,46

A: área (km²); P: perímetro (km); Cr: comprimento da rede de drenagem (km); Dd: densidade de drenagem (km.km²); Nt: número de canais (unid.); F: frequência dos rios (canais.km²); D: declividade (%); RN: coeficiente de rugosidade (ad).

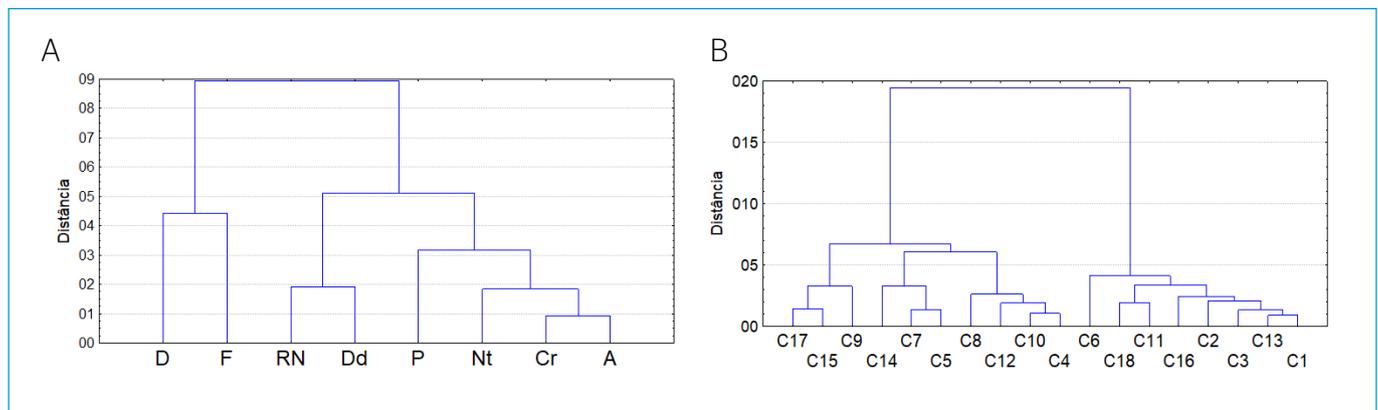


Figura 2 - (A) Dendrograma mostrando a hierarquia dos parâmetros morfométricos e (B) dendrograma mostrando a hierarquia de grupos.

Esse fato resulta numa redução de espaço para as variáveis observadas, traduzidas por fatores comuns.

Dois fatores (F1 e F2) são adequados para descrever a comparação dos parâmetros morfométricos. No método de análise de fatores, esses dois fatores associados explicam 82,87% da variação total de variáveis originais, indicando um bom grau de conservação da informação. O primeiro fator (F1) explica a maior variabilidade de dados (64,41%) e é composto do conjunto dos parâmetros morfométricos (A, P, Cr, Dd, Nt e RN). O F2 ficou em 18,46%, com os parâmetros F e D. O F1 indica dessecação da paisagem mediante o processo erosivo natural, e o F2 indica o padrão de drenagem do compartimento. Na análise feita por Oliveira *et al.* (2007), os parâmetros perímetro, área, índice de circularidade e altura mínima tiveram influência na segunda componente principal, ficando na terceira os parâmetros relativos ao gradiente topográfico (desvio padrão da altimetria, amplitude topográfica e declividade). A análise de componentes principais desenvolvida por Sodré *et al.* (2007) foi aplicada nas diferentes ordens fluviais. Os atributos de altimetria ficaram na primeira; na segunda, os atributos de amplitude topográfica, declividade média e curvatura; na terceira, somadas, as componentes principais atingem praticamente os valores de 90% da variância total.

O Nt e o C indicam áreas prioritárias para a gestão ambiental e as políticas de uso do solo. Esse parâmetro destacou-se na análise de fatores com maior carga no F1 e teve alta correlação com A e Cr, indicando morfometricamente áreas com critérios diferenciados de gestão do uso e ocupação do solo, preservação do solo e manutenção de água no sistema. Os indicadores ambientais representam uma realidade

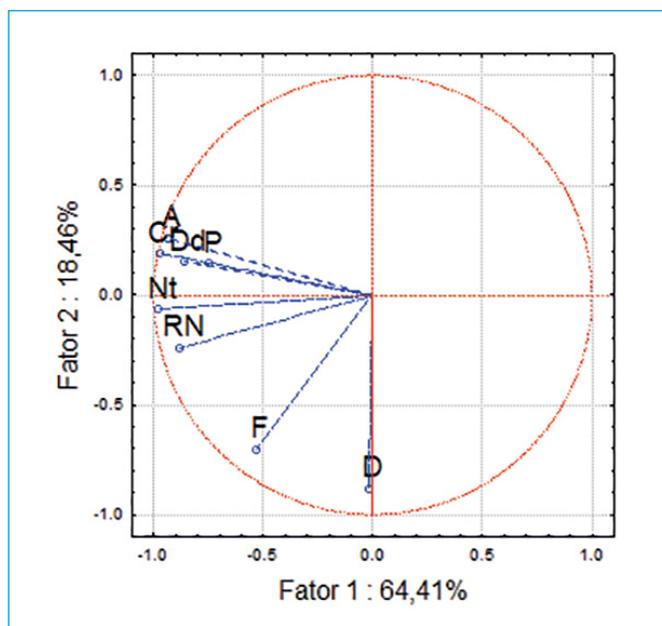


Figura 3 - Projeção das variáveis relativa, fator (1 x 2).

ambiental complexa, com capacidade de facilitar a compressão de fenômenos, eventos e percepções do meio (BRASIL, 2014).

A espacialização das classes de Nt no mapa temático (Figura 4A) possibilitou a identificação visual das áreas com maior Nt. Pelo processo de dissecação natural, essas áreas são consideradas geomorfologicamente frágeis e devem ser alvo de políticas públicas de uso do solo. O Nt também indica a erosão hídrica natural na área. Com a mudança climática global, haverá aumento do fator da força erosiva da precipitação, sendo esperada elevação da taxa de erosão do solo caso não sejam tomadas medidas para sua proteção (KUNDZEWICZ *et al.*, 2007).

Os compartimentos 5, 11 e 17 têm a rede de drenagem mais rica (Figura 4B), sendo as áreas com maior dissecação geomorfológica. A área pode ser classificada com densidades de drenagem mediana, entre 0,5 e 2,0 km/km², segundo Beltrame (1994). A declividade média da área estudada é de 5,8% e varia entre 4,5 e 7,5%, classificado como relevo suave ondulado a ondulado (EMBRAPA, 1979) (Figura 4C).

As variáveis morfométricas estudadas, no intuito de entrarem na fase de estudo/construção para compor indicadores da estrutura temática terra e solo, têm como subtema uso da terra no Painel Nacional de Indicadores Ambientais (PNIA) para gestão política do território brasileiro, conforme Brasil (2014). Essas características avaliam o estado do meio ambiente, tendo a função científica como critério de indicador ambiental. Como função política, elas podem indicar prioridades de manejo do solo, permitindo evitar o desperdício de recurso público, e, como função social, ao analisar a espacialização, podem-se facilitar a comunicação dos atores sociais envolvidos e incentivar a responsabilidade ambiental da sociedade.

O acesso às informações ambientais dos órgãos públicos de forma efetiva e ágil pode ser determinado utilizando o *software* ArcSWAT para delimitar os CH do município e gerar os mapas temáticos. Os produtos gerados pelo estudo apresentam uma linguagem de fácil compreensão e interpretação, sendo importante ferramenta para a gestão política administrativa.

O mapa de UP descreve e localiza a superfície em classes de aptidão pelos valores do coeficiente de RN. O município de Jaboticabal tem a maior área com potencial para agricultura; para a área de estudo, 42% (537 km²) é destinado para esse fim, e a pecuária ocupa o potencial de 27% (350,25 km²), conforme Tabela 8. Os usos potenciais de cada compartimento devem ser implantados considerando as áreas de preservação ao longo das redes de drenagem e nascentes, bem como encostas, respeitando a legislação ambiental brasileira (BRASIL, 2012). Os produtores deverão ter uma nova interpretação do uso das terras e modificar seus interesses e construir uma atividade mais sustentável, considerando a potencialidade de uso na implantação de sistemas de produção (VALLE JUNIOR, 2008).

Os compartimentos indicados para políticas de reflorestamento são o 11, o 14 e o 17, que, somados, correspondem a 17% da A. O CH 11 é o que tem maiores valores de Dd, enquanto o CH 14 tem a maior classe de D e o CH 17 tem o maior Nt. Dessa forma, esses compartimentos contribuem para a manutenção de água no sistema da bacia hidrográfica municipal e têm maior risco de erosão natural do solo (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014; VALLE JUNIOR *et al.*, 2014).

O UA do solo indica que 67% da cobertura é agricultura, 20% para floresta e silvicultura, 10% para pecuária e 3% para área urbana (Figura 4E, Tabela 9).

O conflito de uso foi determinado por pesos dados para o UP e o UA (Tabela 10). Nas classes do potencial de uso da terra subtraídas do uso atual, indicam-se os critérios para o ordenamento do território municipal (Figura 4C). As classes de conflito indicam o grau de possível risco e a limitação de uso para a área de estudo, corroborando os trabalhos de Valle Junior (2008) e Valle Junior *et al.* (2014).

A maior parte da área encontra-se na classe de expansão agrícola, cerca de 55%. A classe de conflito classe 1 atinge 20% da área, seguido pelo conflito de classe 2, 12%. A classe 3 define as áreas ambientalmente frágeis com 10% da área, sendo os locais onde devem ser centradas

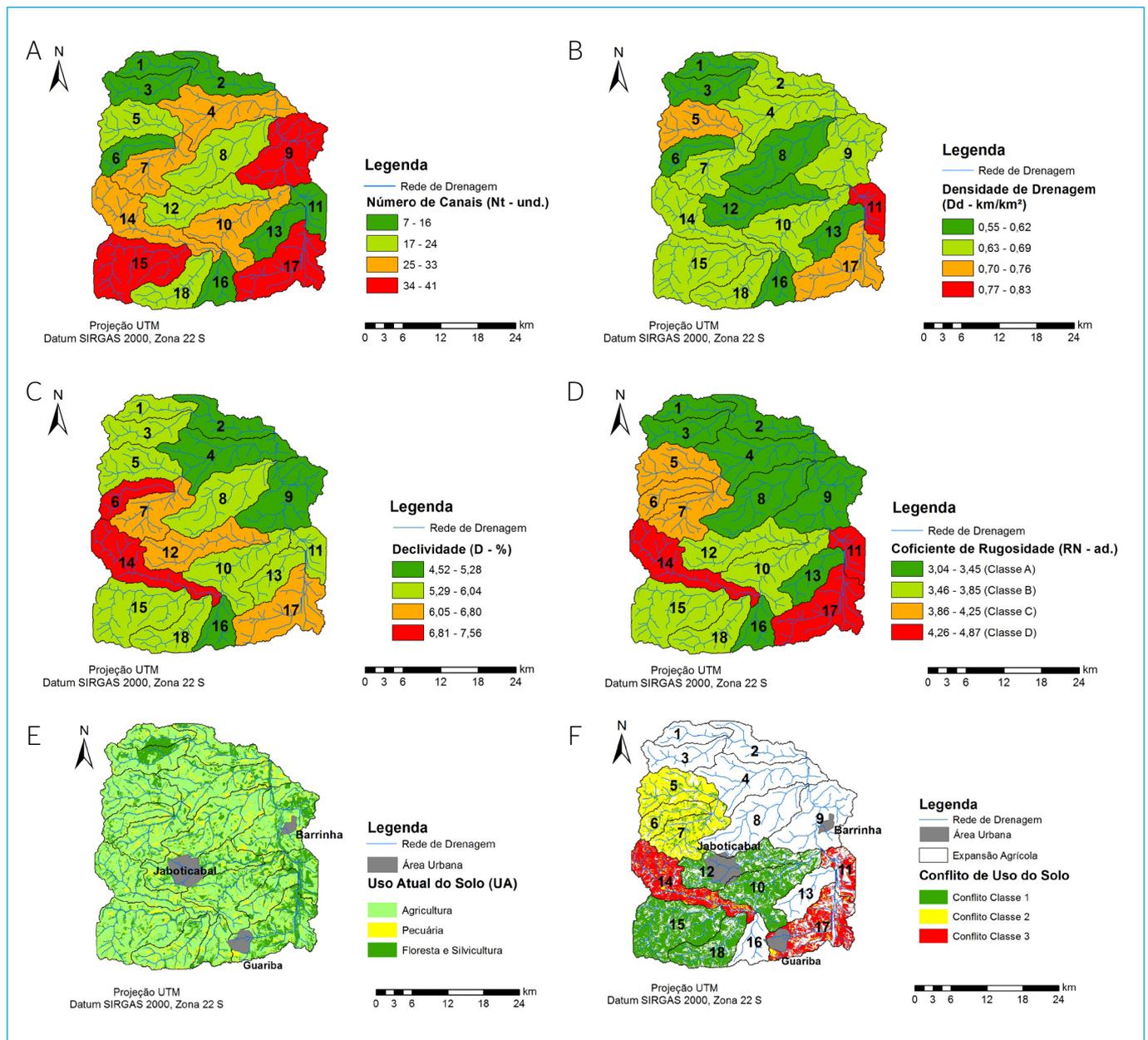


Figura 4 - Mapas temáticos da área de estudo: (A) espacialização dos números de canais (Nt); (B) espacialização densidade drenagem (Dd); (C) espacialização da declividade (D); (D) espacialização do coeficiente de rugosidade (RN) e determinação dos usos potenciais (UP); (E) uso atual do solo (UA); (F) conflito de uso.

políticas de manejo e conservação da água e do solo do município, substituindo a agricultura extensiva por sistemas de reflorestamento comerciais (silvicultura e sistemas agroflorestais) ou recomposição da floresta natural.

As áreas de conflito de classe 3 são consideradas impróprias para cultivos intensivos e pastagem e devem ser adaptadas para reflorestamento e preservação ambiental, podendo ser alvo de políticas de construção de parques e reservas municipais (Figura 4F, Tabela 10). O aumento do conflito de uso também pode estar correlacionado com a diminuição da qualidade de águas subterrâneas (VALLE JUNIOR *et al.*, 2014), visto que o uso da terra pode influenciar na qualidade pela concentração de alguns elementos químicos (MENEZES *et al.*, 2014).

Os escores totais revelam que estas unidades que apresentam áreas críticas são espacializadas nas variáveis: área, número de canais, comprimento da rede de drenagem, densidade de drenagem e uso potencial.

Para definir as características morfométricas como indicadores ambientais, verifica-se que elas expressam como indicadores de pressão

as atividades humanas sobre o meio ambiente. Quanto ao indicador de estado, essas características descrevem a situação ambiental no conflito de uso do solo com base no Nt. Como indicadores de resposta, elas podem auxiliar nas ações de planejamento de políticas públicas para resolver um problema ambiental, tendo como exemplo o financiamento destinado à implantação de práticas conservacionistas do solo, conforme o estado de erosão natural da área.

Essa abordagem analítica é aplicável à estruturação e ao desenvolvimento do processo de diagnóstico que formam um conjunto de indicadores ambientais que fornece uma síntese das condições ambientais, das pressões sobre o meio ambiente e das respostas encontradas para mitigá-las, na aplicação de práticas conservacionistas que minimizem o impacto negativo ao meio. Segundo Carey *et al.* (2011), o uso de indicadores que refletem a transformação da superfície terrestre identifica as relações entre a forma do terreno e os processos naturais que nele ocorrem. Sendo assim, os parâmetros morfométricos e o conflito de uso do solo devem subsidiar os processos de formulação, planejamento e tomada de decisão quanto à fragilidade ambiental de cada compartimento hidrológico de seu município e assim direcionar os recursos e esforços para as áreas mais sensíveis à degradação.

Na geração dos mapas temáticos de uso atual, de uso potencial, conflito de uso do solo e da espacialização das características morfométricas, é possível localizar as áreas ambientalmente frágeis e com alto risco de erosão (PISSARRA *et al.*, 2010; VALLE JUNIOR *et al.*, 2014; 2015).

Tabela 8 - Uso potencial.

Coefficiente de Rugosidade	Classe de Uso Potencial	Área (km ²)	%
3,04 a 3,45	A) agricultura	537,60	42
3,46 a 3,85	B) pecuária	350,25	27
3,86 a 4,25	C) pecuária/florestamento	171,99	13
4,26 a 4,87	D) florestamento	222,34	17

Tabela 9 - Uso atual do solo.

Usos do Solo	Área (km ²)	%
Agricultura	860,003	67
Pecuária	130,097	10
Floresta e Silvicultura	253,24	20
Área Urbana	38,6238	3

Tabela 10 - Classe de conflito de uso.

Classe conflito	Área (km ²)	%
Expansão agrícola	710,73	55
Classe 1	250,32	20
Classe 2	149,24	12
Classe 3	133,18	10
Área urbana	38,62	3

CONCLUSÕES

Os parâmetros morfométricos são potenciais indicadores para as ações de políticas públicas. A espacialização desses parâmetros assinala áreas fisicamente homogêneas. Os elevados graus de número de canais, comprimento da rede de drenagem, área e coeficiente de rugosidade indicam áreas prioritárias de manejo conservacionista. Entre esses parâmetros, o número de canais demonstra maior sensibilidade ambiental, podendo ser utilizado para sugerir potencial de uso do solo.

O grau de número de canais em uma bacia hidrográfica é um indicador da fragilidade do sistema geomorfológico. Áreas com número elevado de canais, quando mal manejadas, ocasionam maior impacto ambiental e contribuem com o escoamento superficial de água, diminuindo o armazenamento de água no sistema da bacia hidrográfica. Essas áreas podem ser identificadas como ambientalmente frágeis, que necessitem de políticas de uso do solo e gestão ambiental dos recursos hídricos. O uso atual indica a distribuição do uso e da ocupação na região, contribuindo para a gestão municipal do território. O conflito de uso assinala áreas prioritárias de gestão de uso do solo.

REFERÊNCIAS

- AHER, P.D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S.D. (2014) Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, v. 511, p. 850-860. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.028>
- BELTRAME, A.V. (1994) *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: Ed. Da UFSC.
- BEZERRA, I.S.; SILVA, T.C. (2014) Análise de riscos à perda de solo para diferentes cenários de uso e ocupação na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 195-204. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p195-204>
- BRASIL. (2012) *Lei nº 12.651*, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- BRASIL. (2014) *Painel Nacional de Indicadores Ambientais: referencial teórico, composição e síntese dos indicadores da versão-piloto*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Executiva (SECEX), Departamento de Gestão Estratégica (DGE). 96 p.
- CAPORUSSO, N.B.; ROLIM, G.deS. (2015) Reference evapotranspiration models using different time scales in the Jaboticabal region of São Paulo, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 37, n. 1, p. 1-9. <https://doi.org/10.4025/actsciagron.v37i1.18277>
- CAREY, R.O.; MIGLIACCIO, K.W.; LI, Y.; SCHAFFER, B.; KIKER, G.A.; BROWN, M.T. (2011) Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida. *Ecological Indicators*, v. 11, n. 5, p. 1093-1104. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.12.009>
- CASTRO, L.I.S.; CAMPOS, S.; ZIMBACK, C.R.; KAISER, M. (2014) Sistema de Informações geográficas na formulação de indicadores ambientais para sustentabilidade dos recursos hídricos. *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 655-674. <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n4p655>
- CRUZ, L.S.B. (2003) *Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - MG*. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (1979) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio Janeiro. *Súmula...* Rio Janeiro. 83 p. (EMBRAPA - SNLCS, Micelânea, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (2015) *Brasil em Relevô: Imagem SRTM*. Brasil: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 1 fotografia aérea. Escala 1: 250.000.
- FERREIRA, P.J.G.; BEZERRA, I.S. (2015) Bacia hidrográfica do riacho Engenho Velho: morfometria, uso potencial da terra e conflito do uso da terra. *Revista Ambiental*, Paraíba, v. 1, n. 1, p. 59-70. Disponível em: https://fpb.edu.br/revista/index.php/eng_amb/article/view/48. Acesso em: 16 jan. 2020.
- HORTON, R. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, Nova York, v. 56, p. 275-370. <https://doi.org/10.1177%2F030913339501900406>
- HOTT, M.C.; FURTADO, A.L.S.; RIBEIRO, C.A.A.S.; ARRUDA, A.D.J.S. (2007) Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas. São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). p. 3381-3388.
- IBGE. (2012) *Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos*. IBGE: Rio de Janeiro. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2018.
- KUNDZEWICZ, Z.; MATA, L.; DOLL, P.; KABAT, P.; JIMÉNEZ, B.; MILLER, K.; OKI, T.; SEN, Z.; SHIKLOMANOV, I. (2007) Fresh water resources and their management. In: PARRY, M.; CANZIANI, O.; PALUTIKOF, J.; VAN DER LINDEN, P.; HANSON, C. (eds.). *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. p. 173-210.
- LISETSKII, F.; STOLBA, V. F.; MARININ, O. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea. *Geoderma*, v. 239-240, p. 304-316, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.006>
- MANCINELLI, R.; DI FELICE, V.; RADICETTI, E.; CAMPIGLIA, E. (2015) Impact of land ownership and altitude on biodiversity evaluated by indicators at the landscape level in Central Italy. *Land Use Policy*, v. 45, p. 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.008>
- MARTINS, F.B.; ROCHA, J.S.M.; ROBAINA, A.D.; KURTZ, S.M.J.M.; KURTZ, F.C.; GARCIA, S.M.; SANTOS, A.H.J.M.; DILL, P.R.; NOAL, T.N. (2005) Zoneamento ambiental da subbacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS): estudo de caso. *Cerne*, Lavras, v. 11, n. 3, p. 315-322.
- MELTON, M.A. (1957) *An analysis of the relations among climate, surface properties and geomorphology*. Nova York: Columbia University, Department of Geology. 69 p. (Technical Report no. 11)
- MENEZES, J.P.C.; BERTOSI, A.P.A.; SANTOS, A.R.; NEVES, M.A. (2014) Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014000200008>
- NURDIANA, A.; RISDIYANTO, I. (2015) Indicator determination of forest and land fires vulnerability using Landsat-5 TM data (case study: Jambi Province). *Procedia Environmental Sciences*, n. 24, p. 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.019>

- OLIVEIRA, S.N.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. de; SILVA, T.M.; GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S.; GUIMARÃES, R.F.; SILVA, N.C. (2007) Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrológicamente corrigido. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 3-21. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v8i1.82>
- PACHECO, F.A.L.; VARANDAS, S.G.P.; FERNANDES, L.S.; VALLE JUNIOR, R. (2014) Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of the Total Environment*, v. 485-486, p. 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.069>
- PANQUESTOR, E.K.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.; PANQUESTOR, E. (2004) Aplicação de indicadores quantitativos na definição de unidades de paisagem e uso da terra na bacia do rio Corrente-BA. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2., 2004, Indaiatuba. *Anais...* Indaiatuba. v. 2, p. 1-16.
- PISSARRA, T.C.T. (1998) *Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1ª ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem*. 124f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.
- PISSARRA, T.C.T. (2002) *Análise da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-LANDSAT 5 e Fotografias aéreas verticais*. 136f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.
- PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J.A. (2010) Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 669-676. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000400011>
- PORTO, M.F.; PORTO, R.L.L. (2008) Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60.
- ROCHA, J.S.M. (2001) Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. In: ROCHA, J.S.M.; KURTZ, S.M.J.M. (orgs.). *Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas*. 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM. 302 p.
- ROCHA, J.S.M.; KURTZ, S.M.J.M. (org.) (2001) *Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas*. 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM.
- SAMPAIO, M.V.; SANTOS, M.S.; SALBEGO, A.G.; ROCHA, J.S.M.; SAMPAIO, F.M.A.S.; MENDES, A.V.; BARROS, H.M.M. (2010) Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim, RS. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v. 4, n. 2, p. 25-28.
- SCHUMM, S.A. (1956) Evolution of drainage systems & slopes in Badlands at Perth Anboy, New Jersey. *Bulletin of Geological Society of America*, v. 67, n. 5, p. 597-646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.O.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.O.CO;2)
- SMITH, K.G. (1950) Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal Science*, New Haven, v. 248, p. 655-668. <https://doi.org/10.2475/ajs.248.9.655>
- SODRÉ, R.V. R.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; MACHADO, W.P., OLIVEIRA, S.N. de, GOMES, R.A.T.; GUIMARÃES, R.F.; SOUZA MARTINS, É. (2007) Classificação de Bacias de Drenagem do Alto Jequitai (Minas Gerais) a partir a análise de principais componentes e análise de grupos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, n. 2, p. 73-86. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v8i2.95>
- STRAHLER, A.N. (1952) Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, n. 9, p. 923-938. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.O.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.O.CO;2)
- STRAHLER, A.N. (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions - American Geophysical Union*, New Haven, v. 38, p. 913-920. <https://doi.org/10.1029/TRO38i006p00913>
- TAGLIARINI, F.S.N.; RODRIGUES, M.T.; CAMPOS, S. (2014) Geoprocessamento de variáveis morfométricas para caracterização da microbacia córrego do petiço. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 10, n. 2. <http://dx.doi.org/10.17271/198008271022014865>
- VALLE JUNIOR, R.F. (2008) *Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba*. 220f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.
- VALLE JUNIOR, R.F.; VARANDAS, S.G.P.; FERNANDES, L.S.; PACHECO, F.A.L. (2014) Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation. *Land Use Policy*, v. 41, p. 172-185. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.05.012>
- VALLE JUNIOR, R.F.; VARANDAS, S.G.P.; FERNANDES, L.S.; PACHECO, F.A.L. (2015) Multi criteria analysis for the monitoring of aquifer vulnerability: a scientific tool in environmental policy. *Environmental Science & Policy*, v. 48, p. 250-264. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.01.010>