



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Modelagem para identificação de sub-bacias suscetíveis a erosão do solo utilizando a abordagem de soma ponderada

¹Jocy Ana Paixão de Sousa; ²Bruna Henrique Sacramento; ³Hetiany Ferreira da Costa; ⁴Rita de Cássia Ferreira da Silva; ⁵Henrique Ewbank; ⁶Roberto Wagner Lourenço

¹Doutoranda, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, Brasil, jocy.sousa@unesp.br;

²Doutoranda, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, Brasil, brunahsacramento@gmail.com;

³Doutoranda, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, Brasil, hetiany@hotmail.com;

⁴Doutoranda, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, Brasil, rita.cfs2@gmail.com; ⁵Professor, Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS), henrique.ewbank@gmail.com; ⁶Professor, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, Brasil, roberto.lourenco@unesp.br

Artigo recebido em 21/03/2020 e aceito em 05/04/2021

RESUMO

As sub-bacias hidrográficas se constituem em uma importante unidade de gestão dos recursos naturais, por isso entender e identificar os fatores que podem interferir em sua dinâmica é essencial. Neste sentido, esta pesquisa teve o objetivo de analisar e correlacionar os parâmetros morfométricos com as classes de uso e cobertura da terra presentes nas sub-bacias hidrográficas do rio sorocabaçu, buscando identificar as sub-bacias que são suscetíveis a erosão do solo. Para isto, neste artigo utilizou-se abordagem de soma ponderada, não somente para os fatores morfométricos, como já consagrados em algumas pesquisas, mas também propõe a utilização das classes antrópicas e naturais, obtidas a partir do mapeamento da cobertura e uso da terra. Os resultados mostraram que a maioria das sub-bacias são marcadas por intensa atividade antrópica, principalmente de cultivos agrícolas, e que devido as características morfométricas, algumas podem apresentar predisposição a enchentes. As sub-bacias com as prioridades alta ou muito alta em função da suscetibilidade do solo a processos erosivos são a sub-bacia 1, 2 e 3. A metodologia mostrou-se eficiente por possibilitar um diagnóstico mais efetivo do grau de comprometimento das sub-bacias, ajudando assim nas medidas de gestão e planejamento.

Palavras-chave: Parâmetros morfométricos; Atividade antrópica; Dinâmica ambiental; SIG.

Modeling for identification of susceptible soil erosion sub-basins using the weighted sum approach

ABSTRACT

Sub-basins are an important natural resource management unit, so understanding and identifying the factors that may interfere with their dynamics is essential. The objective of this research is to analyze and correlate the morphometric parameters with the land cover and use classes present in the Sorocabaçu river sub-basins, trying to identify the sub-basins that are susceptible to soil erosion. For this, in this paper we used a weighted sum approach, not only for morphometric factors, as already established in some research, but also proposes the use of anthropic and natural classes, obtained from the mapping of land cover and use. The results showed that most of the sub-basins are marked by intense anthropogenic activity, mainly of agricultural crops, and that due to the morphometric characteristics, some may present predisposition to floods. Sub-basins with high or very high priorities due to soil susceptibility to erosive processes are sub-basin 1, 2 and 3. The methodology proved to be efficient because it allows a more effective diagnosis of the degree of commitment of the sub-basins, helping in the management and planning measures.

Key words: Morphometric parameters; Anthropic activity; Environmental dynamics; GIS.

Introdução

A erosão do solo consiste em seu transporte físico sobre a superfície, ocasionando principalmente degradação do solo, alteração na qualidade das águas e assoreamento de corpos

hídricos (Zhu et al., 2013; Chi et al., 2019; Lal, 2019).

Os principais fatores de suscetibilidade do solo aos processos erosivos estão relacionados a erodibilidade influenciados principalmente pela declividade, características pluviométricas,

propriedades do solo e o uso da terra (Silva et al., 2010). Além disso, alterações no ambiente, tais como, desmatamento, agricultura, expansão urbana, podem ocasionar aumento do escoamento superficial (Eduardo et al., 2013; Silva et al., 2016).

Uma das unidades mais prejudicadas em relação a erosão do solo, são as bacias hidrográficas, devido ao fluxo dos escoamentos naturais atuarem como carreadores de sedimentos para os corpos d'água. Portanto, essa é uma unidade de gerenciamento natural que merece maior atenção no contexto ambiental, e por isso, a partir da abordagem quantitativa que passou a ser adotada em meados da década de 1940 em especial por Robert E. Horton, ficou cada vez mais claro a importância da análise dos parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas (Christofolletti, 1980; Lima; Fontes, 2015).

Ao se compartimentar uma bacia hidrográfica em unidades de menor ordem, denominadas sub-bacias, há a possibilidade de se tratar pontualmente alguns problemas difusos e, assim, identificar mais facilmente impactos ambientais e seu grau de comprometimento. Além disso, os estudos por sub-bacias permitem hierarquizar essas unidades de acordo com suas demandas de prioridade para atenuação de processos de degradação da qualidade ambiental (Bisht et al., 2018; Amiri et al., 2019).

Partindo da importância das sub-bacias hidrográficas para uma análise mais pontual, torna-se relevante realizar estudos voltados aos fatores que podem influenciar sua dinâmica e assim comprometer seu funcionamento, como a erosão do solo.

Apesar de existir relevantes contribuições

na literatura sobre a erodibilidade do solo baseado nos parâmetros morfométricos em estudos relacionados a erosão do solo (Aher, Adinarayana, Gorantiwar, 2014; Malik, Kumar, Kandpal, 2019), entre tantos, porém entende-se que poucos trabalhos tem considerado as interferências antrópicas de forma mais enfática ao se tratar de erodibilidade, o neste trabalho procura se mostrar por meio de uma metodologia ainda não apresentada na literatura.

Assim, utilizando das técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como ferramenta de análise e gerenciamento da informação espacial, este trabalho apresenta uma investigação dos fatores que interferem na dinâmica do solo, ao analisar e correlacionar parâmetros morfométricos e classes de uso da terra para identificar o grau de suscetibilidade do solo a processos erosivos em bacias hidrográficas visando o apoio a tomada de decisões em prol de ações de gestão e planejamento voltadas a conservação dessas unidades.

Metodologia

Área de Estudo

O presente estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabaçu (BHRS), que compõe a Décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 10). A BHRS está localizada na região sudeste do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1).

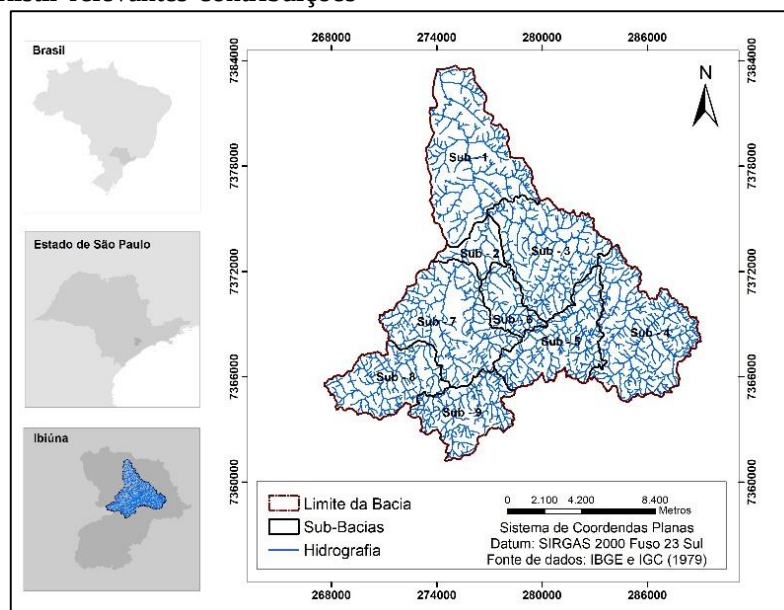


Figura 1. Localização da área de estudo.

A área de estudo possui aproximadamente 202 km², e está totalmente inserida no município de Ibiúna, apresentando como curso principal o Rio Sorocabuçu, que junto ao Rio Sorocamirim formam o Rio Sorocaba, sendo este um dos mais importantes mananciais da região, principalmente quanto ao fornecimento de água para vários municípios, e geração de energia elétrica para a região (Sales, 2015).

A região onde a bacia está inserida pertence ao bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2019) e possui classificação Cwa de 50 a 80%, caracterizado pelo clima subtropical de inverno seco e verão quente (temperaturas inferiores a 18°C e superiores a 22°C, respectivamente), com média de precipitação de 47,5 mm no inverno e 196 mm no verão (Cepagri, 2019; Ciiagro, 2019; Dubreuil, 2017).

O solo é predominantemente Latossolo Vermelho-Amarelos (LVA) e Gleissolo Melânico (GM1), mas também possui Cambissolo Háplicos (CX). Entre os Latossolo Vermelho-Amarelos, o Latossolo Vermelho-Amarelo/Vermelho (LVA20) é o mais presente na área, que apresenta característica como, textura argilosa, muito profundo e possuindo relevo ondulado ou fortemente ondulado. O GM1 apresenta associação de Organossolo e CX, é encontrado predominantemente no entorno dos rios, e possui textura média e argilosa, pouco profundo e em relevos planos (Embrapa, 2006; Rossi, 2017).

Elaboração da Base Cartográfica

Foi elaborada a partir das cartas topográficas do ano de 1979 na escala de 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico (ICG) (IGC, 1979) a vetorização dos dados planialtimétricos, tais como, rios, pontos cotados, curvas de nível, limite da bacia e das sub-bacias, onde todos arquivos foram reprojatados para o sistema de coordenadas planas mediante o *Datum* SIRGAS 2000 mediante o Fuso 23 Sul. . Nesta etapa foi utilizado o *Software* ArcGIS 10.5 (ERSI, 2016) e para atualização da hidrografia o *Google Earth Pro* (Google LLC, 2019) com base em uma imagem de 2018.

Análise do Relevo

Mapa de Hipsometria e Declividade

O Mapa Hipsométrico foi construído através do ArcGIS 10.5, módulo *3D Analyst Tools* utilizando a ferramenta *Create TIN*, que se refere ao método da rede irregular de triângulos (*Triangulated Irregular Network* - TIN).

Os dados utilizados foram os pontos cotados e as curvas de nível com equidistâncias de 5 metros. O arquivo *TIN* foi convertido em arquivo *Raster* e processado por meio da ferramenta *Fill* para correções de possíveis erros de interpolação, gerando o Modelo Digital de Terreno (MDT), posteriormente reclassificado, obtendo-se o Mapa Hipsométrico, do qual foram extraídas as médias hipsométricas por sub-bacia.

O estudo hipsométrico da bacia serviu para a determinação dos divisores de água, o que possibilitou a delimitação de nove sub-bacias e o perfil longitudinal do rio principal de cada sub-bacia, sendo expresso pela relação entre comprimento e altimetria. Os perfis foram analisados a partir dos estudos de Christofolletti (1981).

Ainda a partir do MDT foi gerado o Mapa de Declividades utilizando o módulo *Slope* do *3D Analyst Tools* do ArcGIS, no qual foi reclassificada conforme os tipos de relevos propostos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2006), sendo estes, Relevo plano (0 - 3%), Relevo suavemente ondulado (3 - 8%), Relevo ondulado (8 - 20%), Relevo fortemente ondulado (20 - 45%), Relevo montanhoso (45 - 75%) e o Relevo escarpado consiste naquele maior que 75%. Para cada sub-bacia foi gerada a média por meio do módulo *Zonal Statistic as Table* do ArcGIS 10.5.

Estudo das Características Morfométricas

A análise das características morfométricas da BHRS foram obtidas por meio de cálculos realizados na tabela de atributos ArcGIS 10.5 e na planilha do Excel (Microsoft Corporation, 2016). Todos os parâmetros, assim como a hipsometria, declividade e mapeamento da cobertura e uso terra, foram analisados/calculados/gerados em nível de Sub-bacias (denominação de Sub-bacia 1 a Sub-bacia9).

Parâmetros Lineares

Área da Bacia (A)

De acordo com Oliveira & Antônio (2015), a área da bacia é diretamente proporcional ao volume de água que converge para o seu exutório. A unidade comumente utilizada é km².

Perímetro da Bacia (P)

Refere-se ao comprimento médio em km da bacia ao longo dos divisores de água, (Oliveira & Antônio, 2015; Lopes et al., 2018).

Ordem dos Cursos D'água da Bacia (Oc)

O estabelecimento das ordens dos cursos d'água foi baseado nos critérios propostos por Strahler (1952), que define como um rio de primeira ordem aquele que não apresenta afluentes. Dois de primeira ordem formam um de segunda ordem e assim sucessivamente, sendo que a partir da segunda ordem os rios podem apresentar afluentes que não sejam superiores à sua ordem.

Comprimento do Rio Rrincipal (Lp)

Corresponde a toda extensão do rio em km ao longo da bacia, iniciando na nascente até seu exutório (Oliveira & Antônio, 2015; Lopes et al., 2018).

Comprimento da Bacia (Lb)

Corresponde a extensão da bacia em km que vai do exutório até a foz (Lopes et al., 2018).

Comprimento Total da Rede de Drenagem (Lt)

Refere-se a soma do comprimento de todos os rios ou canais inseridos na bacia, em km. Quando os dados são matriciais essa soma é realizada por meio das diagonais das células dos cursos d'água que se encontram ordenados, porém quando os dados são vetoriais apenas obtém-se o somatório total dos mesmos (Oliveira & Antônio, 2015).

Razão de Bifurcação (Rb)

Refere-se a razão entre o número total de curso d'água de uma determinada ordem sobre o número total de um curso d'água imediatamente inferior ao anterior (Horton, 1945), e pode ser obtida pela Equação 1.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu+1} \quad [1]$$

Em que:

Rb: refere-se a razão de bifurcação;

Nu: é o número total de ordem do curso d'água.

Parâmetros de Área

Densidade da Drenagem (Dd)

A drenagem é composta pelo rio principal e seus afluentes. Permite entender a velocidade de escoamento da água ao longo da bacia, como

também sua eficiência. Está relacionada com o somatório do comprimento da rede de drenagem (todos os rios ou canais) sobre o a área da bacia (Villela & Mattos 1975; Cardoso et al., 2006). É obtida pela Equação 2.

$$Dd = \frac{\sum Lt}{A} \quad [2]$$

Em que:

Dd: refere-se à densidade de drenagem (km/km²);

Lt: ao comprimento de todos os rios ou canais (km);

A: corresponde a área da bacia (km²).

Frequência dos Cursos D'água (Fs)

Corresponde à razão entre o número total de curso d'água e a área da bacia (Horton, 1945). Pode ser obtido segundo a Equação 3.

$$Fs = \frac{\sum Nu}{A} \quad [3]$$

Em que:

Fs: é frequência dos rios (km⁻²);

Nu: é o número de cursos d'água;

A: é a área da bacia (km²).

Razão de Textura (Rt)

É a razão do número de curso d'água pelo perímetro da bacia (Horton, 1945), obtido pela Equação 4.

$$Rt = \frac{Nu}{P} \quad [4]$$

Em que:

Rt: é a razão de textura (Km⁻¹);

Nu: é o número de cursos d'água;

P: é o perímetro da bacia (km).

Comprimento Médio do Fluxo Superficial (Lom)

Corresponde ao inverso da multiplicação de duas vezes a densidade de drenagem (Horton, 1945), obtido pela Equação 5.

$$Lom = \frac{1}{(2 * Dd)} \quad [5]$$

Em que:

Lom: refere-se ao comprimento médio do fluxo superficial (km)

Parâmetros de Forma

Fator de Forma (Ff)

Esse fator faz uma associação da forma da bacia a um retângulo, sendo obtido por meio da razão entre a largura média da bacia e comprimento do rio principal (Villela & Mattos 1975; Tonello et al., 2006; Moraes; Lima; Ferrarez, 2018). Quanto menor o fator forma, menos suscetível será a bacia ao escoamento superficial. Pode ser obtido segundo a Equação (6):

$$Ff = \frac{A}{L^2} \quad [6]$$

Em que:

Ff: é o fator forma (adimensional);

A: é área da bacia (Km²);

L: é o comprimento do rio principal (km).

Índice de Circularidade (Ic)

Similar a compacidade da bacia, à medida que o valor se aproxima de 1 (um) a bacia se torna mais circular, caso contrário se torna alongada (Cardoso et al., 2006; Moraes; Lima; Ferrarez, 2018), podendo ser obtido segundo a Equação (7):

$$IC = \frac{(12,57 \cdot A)}{P^2} \quad [7]$$

Em que:

IC: corresponde ao índice de circularidade (Adimensional);

A: é a área da bacia (km²);

P: é o perímetro da bacia (km).

Coeficiente de Compacidade (Kc)

É aquele em que faz uma associação da forma da bacia a um círculo (Tonello et al., 2006; Lopes et al., 2018). Sendo que quanto mais próximo o valor for de 1 (um) mais circular será a bacia e, conseqüentemente menos suscetível ao escoamento superficial. Esse coeficiente pode ser obtido pela seguinte equação, proposta por Villela & Mattos (1975):

$$Kc = \frac{(0,28 \cdot P)}{\sqrt{A}} \quad [8]$$

Em que:

Kc: é o índice de compacidade (adimensional);

P: é o perímetro da bacia (km);

A: é área da bacia (km).

Razão de Alongamento (Re)

Definida como a razão de um círculo com a mesma área da bacia sobre o comprimento da bacia (Lb). Foi obtida pela Equação 9 (Schumn, 1956).

$$Re = \frac{(1,128 \cdot A^{0,5})}{Lb} \quad [9]$$

Em que:

Re: é a razão de alongamento

Características Antrópicas e Naturais

Para a identificação das características antrópicas e naturais fez-se o mapeamento da cobertura e uso da terra. Esse mapeamento foi realizado através da classificação visual, no qual as feições foram identificadas e vetorizadas por meio do ArcGIS 10.5 (Esri, 2016). Para isto utilizou-se imagem do sensor *Vexcel Ultracam* com resolução de 0,45 metros referente ao ano 2010, disponibilizada online pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (Igc, 2010) na composição das faixas do azul, verde e vermelho (RGB). Posteriormente o produto do mapeamento foi retificado para o ano 2019 com o auxílio da imagem do *Google Earth Pro* (Google LLC, 2019.).

Foram mapeadas as categorias Mata, Área urbana, Agricultura, Campo, Pastagem, Reflorestamento e Área alagada ou Corpos d'água adaptadas do Manual Técnico de Uso de Terra (Ibge, 2013). O resultado desta etapa é a produção do Mapa de cobertura e uso da terra.

Análise das Áreas Suscetíveis a Erosão do Solo

Esta etapa foi realizada através da utilização da metodologia adotada por Aher, Adinaravana & Gorantiwar (2014) e Malik, Kumar & Kandpal (2019), que é baseada na abordagem da soma ponderada (WSA) dos fatores morfométricos, entretanto, como inovação metodológica, foi associado ao modelo as classes de cobertura e uso da terra, uma vez que, se espera o favorecimento ou não de processos de erodibilidade do solo em resposta ao tipo de classe.

Sendo assim, aos parâmetros morfométricos foram atribuídos pesos iniciais de 1 a 9, sendo que o valor 1 foi considerado como maior prioridade, decrescendo até 9, considerada a menor prioridade. O ranking dos pesos foi determinado por sub-bacias, as quais nesta pesquisa foram divididas em 9 unidades.

Para os parâmetros lineares (Rb) e de área (Dd, Fs, Rt e Lom), aos seus maiores valores foram atribuídas as maiores prioridades. Já para os parâmetros de forma aos maiores valores

atribuíram-se as menores prioridades. Quando dois ou mais valores eram iguais fez-se a média do valor atribuído a cada sub-bacia.

Segundo Malik, Kumar & Kandpal (2019), os parâmetros lineares e de área que apresentam os mais altos valores são diretamente proporcionais a erodibilidade do solo, ou seja, maior é o poder de provocar erodibilidade, o que se atribui a eles a maior prioridade (variando em ordem crescente, de 1 a 9). Já em relação aos parâmetros de forma, à medida que os valores aumentam, diminuem o potencial de erodibilidade, atribuindo a eles a menor prioridade, no qual atribuição dos seus pesos variou em ordem decrescente, de 9 a 1.

Para as classes de uso da terra, foi considerada como antrópicas as classes agricultura, pastagem, campo, reflorestamento e área urbana, as quais tendem a contribuir para a erodibilidade do solo, enquanto que as naturais, tais como, matas e área alagada ou corpos d'água, foram consideradas como fator minimizador e protetor, no caso das matas ou que sofrem consequências decorrentes da erodibilidade do solo, no caso dos corpos hídricos. Assim, os maiores percentuais de classes antrópicas foram atribuídos as maiores prioridades preliminares, pesos variando de 1 a 9. Já para as classes naturais, os maiores valores implicaram em menor prioridade, atribuindo assim os pesos de forma decrescente (9 a 1).

Após a definição do ranking de prioridade preliminar para todos os fatores, foi calculada a matriz de correlação cruzada utilizando a função *cor.* do *software* R, versão 3.5.3 (R Core Team, 2019), e obtidas as somas ponderadas dos coeficiente de correlação de cada parâmetro (SCCP), a soma total de todos os coeficientes de correlação de cada parâmetro (STCCP) e os pesos final atribuído a cada parâmetro morfométrico, sendo este obtido por meio da razão do SCCP pelo STCCP. Os pesos final de cada parâmetro foi multiplicado por seu respectivo número de

prioridades preliminares (NPPP) obtendo-se o Fator Composto (FC), segundo a Equação 10 de Aher, Adinaravana & Gorantiwar (2014).

$$FC = PP * NPPP \quad [10]$$

Em que:

FC: é fator composto;

PP: refere-se ao peso de cada parâmetro;

NPPP: refere-se ao número de prioridades preliminares de cada parâmetro (morfométricos e classes antrópicas e naturais).

Posteriormente fez-se o somatório de todos os FC por sub-bacia, obtendo-se assim o valor final. Aos valores finais foi atribuído o ranking de prioridade final variando de 1 a 9. Porém, nesta etapa diferentemente das prioridades adotada em Aher, Adinaravana & Gorantiwar (2014) e Malik, Kumar e Kandpal (2019), em que aos menores valores foram atribuídas as maiores prioridades, e a atribuição das menores prioridade aos maiores valores, neste artigo adotou-se a atribuição inversa.

Isto se fez necessário, tendo em vista que os fatores morfométricos e as classes de uso da terra que recebem a maiores prioridades preliminares em função dos maiores valores, encontram-se em maiores quantidades, total de 10, em comparação aqueles em que aos menores valores foram atribuídas as maiores prioridades, 6. Posteriormente, fez-se a categorização das prioridades das sub-bacias em classes, sendo estas, baixa, média, alta e muito alta.

Resultados e discussão

As Figuras 2A e 2B mostram os Mapas de Hipsometria e a Declividade da área de estudo e na Tabela 1 tem-se o quantitativo dessas variáveis. Nota-se que a altitude varia de 838 a 1203 metros, com declividades de plano ao escarpado.

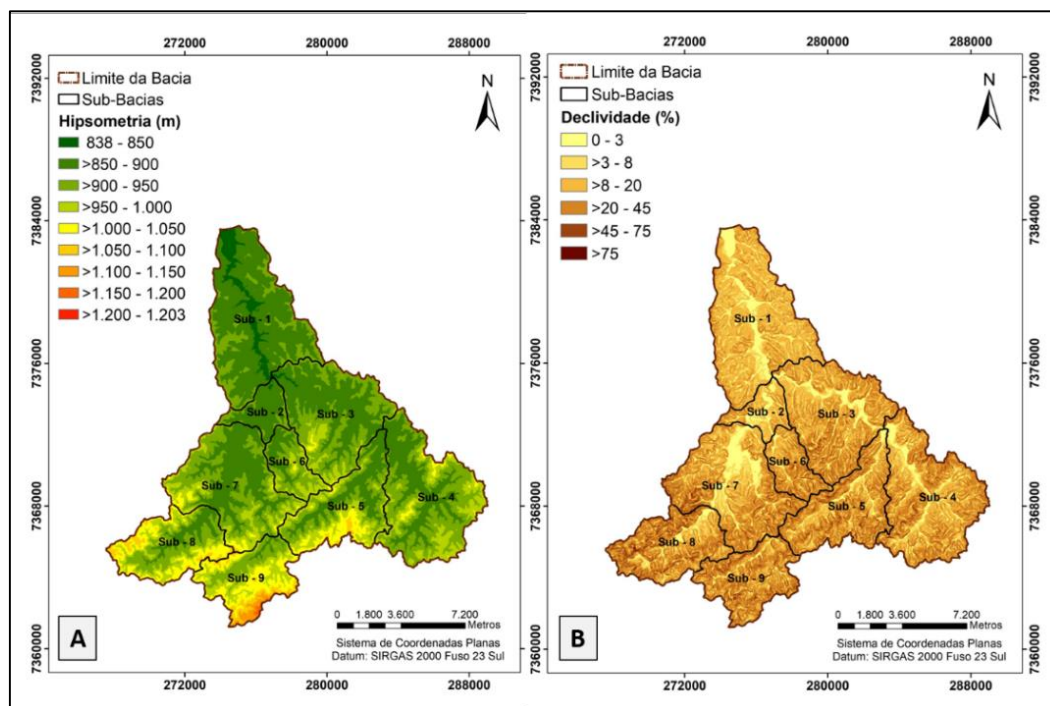


Figura 2. Mapa de Hipsometria[A] e Declividade[B].

Tabela 1. Médias de hipsometria e da declividade.

	Hipsometria (m)	Declividade (%)
	Média	Média
Sub-1	881,230	12,54
Sub-2	884,954	11,96
Sub-3	904,490	19,19
Sub-4	923,477	20,29
Sub-5	941,718	23,77
Sub-6	929,439	22,31
Sub-7	922,907	19,83
Sub-8	965,863	26,27
Sub-9	1003,217	26,82

As maiores altitudes estão presentes na sub-bacia 9, com média em torno de 1003 metros, ainda com destaque para a sub-bacia 8, que apresentou a segunda maior média (965,863 metros). As sub-bacias 1, 2 e 3 apresentaram as menores altitudes, com médias de aproximadamente 881, 885 e 904 metros, respectivamente (Figura 02A e Tabela 1).

O relevo é um fator controlador dos processos de pedogênese e que controla a dinâmica do escoamento superficial a partir da força da gravidade. Além desses, o formato da bacia também exerce um papel importante na formação dos solos, em especial em uma bacia mais alongada, onde a taxa de concentração do escoamento superficial será menor do que em uma bacia de formato circular (TUCCI, 2009), portanto,

o relevo e o formato da bacia devem condicionar o comportamento da drenagem da bacia, a exemplo, a má drenagem é capaz de alterar a natureza dos argilominerais do solo (Lepsch, 2011).

Na Figura 02B e Tabela 01 podem-se observar que as maiores declividades se concentram ao Leste-Norte-Sul, bem como em alguns locais ao centro da bacia. As maiores médias são evidenciadas nas sub-bacias 8 (26,27 %) e 9 (26,82 %), concomitantemente, que apresentam relevo predominantes de fortemente ondulado a montanhoso. As menores declividades, encontram-se ao longo das primeiras sub-bacias, com destaque para a sub-bacia 1, onde encontra-se a foz do rio sorocabuçu, seguido da sub-bacia 2. Nestes locais ocorre a presença marcante do relevo plano ao ondulado.

A declividade do terreno implica na velocidade do escoamento superficial da água, pois, quanto maior a declividade média em uma bacia, maior será a velocidade do escoamento superficial, e, a velocidade do escoamento combinada com a forma da bacia, traz implicações a respeito do tempo de concentração da água após um evento de precipitação (Carvalho & Silva, 2006), podendo hora escoar em alta velocidade, hora provocar o acúmulo de água tanto nas depressões, como nas planícies dos rios, o que

normalmente contribui para a ocorrência de enchentes.

A Figura 3 I-IX são apresentados os perfis longitudinais de para as sub-bacias, onde pode-se constatar no geral que as declividades mais acentuadas são encontradas nos setores a montante destas, e os relevos com menor declividade se concentram do centro destas para a jusante. Estas características são mais comuns em bacias que se encontram em equilíbrio entre a atuação da erosão, do transporte e da deposição de sedimentos.

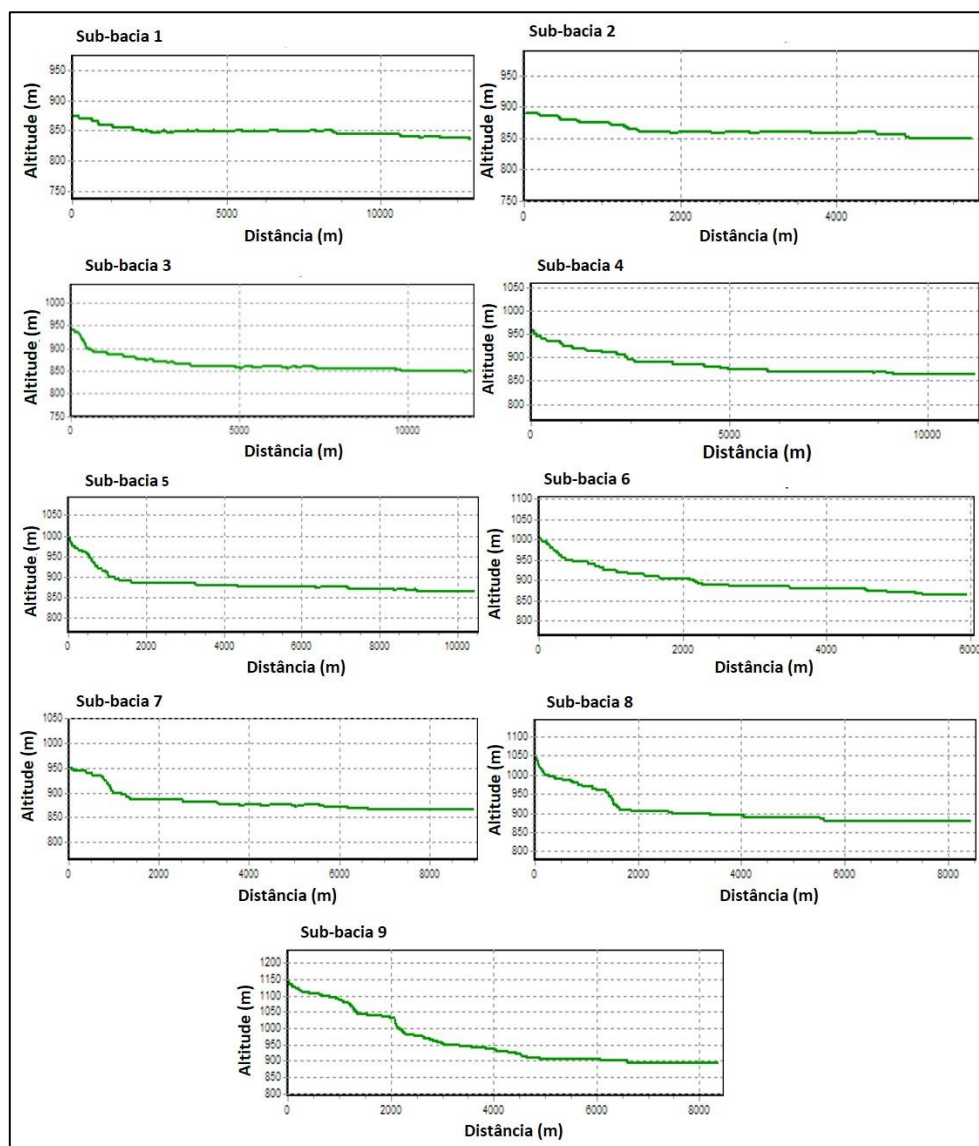


Figura 3. Perfis longitudinais das sub-bacias hidrográficas do rio sorocabuçu, Ibiúna, SP.

As sub-bacias 1 e 2, mostram um relevo com baixa amplitude hipsométrica, entre 31 metros na sub-bacia 1 e 37 metros na sub-bacia 2. Este cenário favorece o acúmulo de sedimentos ao longo dessas sub-bacias. Já as sub-bacias 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam o perfil longitudinal considerados intermediários, com amplitude próxima 150 m. Já as sub-bacias 8 e 9 se caracterizam por elevadas

amplitudes, acima de 150 metros. As altas amplitudes de montante para jusante favorecem o transporte de sedimentos a partir do escoamento superficial e sua deposição nas regiões mais baixas.

A alta amplitude hipsométrica da bacia de uma maneira geral favorece um cenário de transporte e deposição dos sedimentos em direção ao exutório do Rio Sorocabuçu, porém o formato

da bacia mais largo na região das nascentes, e afunilado em direção ao exutório, favorece a deposição dos sedimentos nesse local. Embora esse perfil forneça informações relevantes sobre a bacia ou as sub-bacias, outros fatores como o uso da terra devem ser considerados quando se tratando da erodibilidade do solo.

Na Figura 4 e Tabela 2 é apresentado o Mapa de cobertura e uso da terra, no qual foi possível constatar na maioria das sub-bacias um elevado grau de atividades antrópicas, com destaques para as sub-bacias 1, 2 e 3 com aproximadamente 68, 69 e 52 % de uso antrópico. Dentre aquelas com maiores ocorrências de áreas naturais destaca-se a sub-bacia 9 com aproximadamente 82 % de mata.

Entres essas sub-bacias, a 1 e 2 se destacam por ter comum a agricultura como atividade predominante, sendo isso um dos principais fatores de degradação do solo. As atividades agrícolas demandam o manejo do solo com certa periodicidade e tal prática pode ocasionar lixiviação do solo e, conseqüentemente, torná-lo suscetível à erosão (Alcântara & Madeira, 2008; Camargo & Santos, 2014).

A sub-bacia 9 foi considerada como a mais protegida do ponto de vista ambiental, um vez que, mais de 80% de sua área e coberta por mata, e devido suas características, como, declividade, são poucos os locais que podem favorecer o estabelecimento de atividades antropogênicas.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros lineares de razão de bifurcação e os parâmetros referentes à área e forma. A razão de bifurcação das sub-bacias foi de 2,583 (sub-bacia 2) a 4,167 (sub-bacia 9). A maioria das sub-bacias apresentaram a densidade de drenagem com valores próximos a 2,2 km/km², com exceção das sub-bacias 2, 6 e 8, que apresentaram 2,446 km/km², 2,159 km/km² e 2,134 km/km², respectivamente, o que no geral pode ser considerada uma drenagem boa, já que segundo Villela & Mattos (1975) as densidades de drenagem consideradas ruins não ultrapassam a 0,5 km/km² e aquelas consideradas bem drenadas apresentam-se acima se 3,5 km/km². A frequência dos cursos d'água das sub-bacias apresentou um valor mínimo de 3,518 km⁻² (sub-bacia 8), e máximo de 4,490 km⁻² (sub-bacia 1). Já o comprimento médio do fluxo superficial ficou entre 0,204 e 0,234 (Tabela 2).

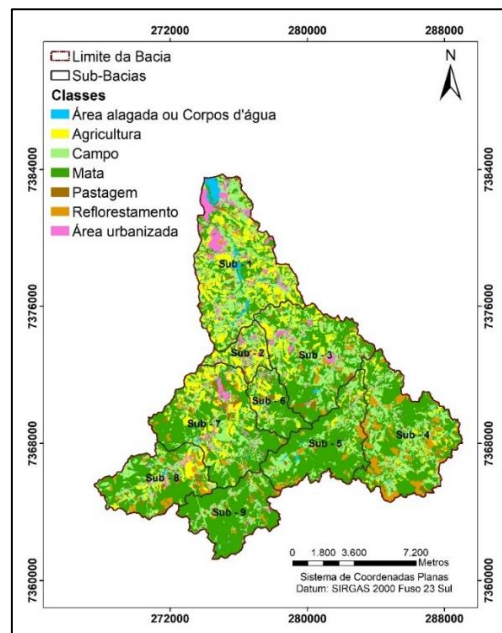


Figura 4. Mapa de cobertura e uso da terra.

Pode-se constatar que as sub-bacias 3, 7 e 9 apresentaram uma forma mais próxima da circular, uma vez que seus valores são, 0,883, 0,892 e 0,861, respectivamente. Segundo Javed, Khanday & Ahmed (2009), valores de $Re > 0,7$ a 0,9 se caracterizam como uma forma oval e acima de 0,9 como sendo circular. Portanto, essas três sub-bacias podem ser mais propensas a enchentes.

A sub-bacia 3 se destacou por apresentar o mais baixo valor de Kc (1,346), que juntamente por estar inserida nas regiões mais baixas da bacia, com declividade marcada por um relevo plano a suavemente ondulado e com taxas de atividades antropogênicas que ultrapassam a 50%, em tese pode favorecer uma tendência a enchentes por facilitar o acumulo de água (Villela & Mattos, 1975).

De uma maneira geral, o formato da bacia não constitui predisposição a enchentes, porém ao analisar as sub-bacias distintamente, algumas (quais) apresentam predisposição a enchentes, bem como o escoamento superficial que pode aumentar a taxa de sedimentação da bacia, favorecendo a ocorrência de erosões hídricas, uma vez que, quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento e maior taxa de concentração na jusante.

A Tabela 2 são mostrados para cada sub-bacia os valores dos parâmetros morfométricos, do mapeamento da cobertura e uso da terra e os seus respectivos ranqueamentos preliminares de prioridades quanto a erodibilidade do solo.

Tabela 2. Parâmetro linear, de área e de forma, percentual de classes de cobertura e uso da terra das sub-bacias e o ranqueamento de prioridade preliminar em função da erodibilidade do solo

Sub-Bacias	Linear	Área				Forma				Classes da cobertura e uso da terra (%)						
	Rb	Dd (km/k²)	Fs (km⁻²)	Rt (km⁻¹)	Lom (km)	Ff	Ic	Kc	Re	A	Au	C	P	R	M	Ac
1	3,569	2,237	4,49	5,303	0,224	0,189	0,469	1,45	0,781	28,828	11,851	23,219	1,249	3,002	26,716	5,134
2	2,583	2,446	4,401	2,05	0,204	0,227	0,414	1,543	0,787	37,962	10,345	16,894	3,269	0,911	29,426	1,193
3	3,778	2,223	3,822	4,285	0,225	0,16	0,544	1,346	0,883	14,912	4,463	23,909	3,678	4,628	47,298	1,113
4	3,611	2,214	4,25	4,225	0,226	0,269	0,38	1,611	0,787	6,433	1,679	21,335	1,016	15,034	53,531	0,971
5	4,148	2,243	3,932	3,021	0,223	0,215	0,343	1,695	0,62	4,309	0,99	16,344	0,518	6,805	69,825	1,209
6	3,821	2,159	4,521	2,664	0,232	0,232	0,519	1,378	0,732	17,319	4,514	15,793	1,928	2,879	57,086	0,482
7	3,773	2,283	4,422	4,88	0,219	0,402	0,494	1,412	0,892	20,01	5,14	13,777	2,815	3,719	53,61	0,929
8	3,673	2,134	3,518	2,968	0,234	0,272	0,47	1,448	0,789	12,491	4,153	17,458	3,119	8,417	53,001	1,36
9	4,167	2,261	4,207	3,111	0,221	0,329	0,407	1,556	0,861	0,734	2,236	9,679	0,948	3,266	82,393	0,743
	Rb	Dd	Fs	Rt	Lom	Ff	Ic	Kc	Re	A	Au	C	P	R	M	Ac
1	8	5	2	1	5	2	5	5	3	2	1	2	6	7	1	9
2	9	1	4	9	9	4	4	6	4,5	1	2	5	2	9	2	6
3	4	6	8	3	4	1	9	1	8	5	5	1	1	4	3	5
4	7	7	5	4	3	6	2	8	4,5	7	8	3	7	1	5	4
5	2	4	7	6	6	3	1	9	1	8	9	6	9	3	8	7
6	3	8	1	8	2	5	8	2	2	4	4	7	5	8	7	1
7	5	2	3	2	8	9	7	3	9	3	3	8	4	5	6	3
8	6	9	9	7	1	7	6	4	6	6	6	4	3	2	4	8
9	1	3	6	5	7	8	3	7	7	9	7	9	8	6	9	2

Legenda: (Rb) Razão de bifurcação, (Dd) Densidade de drenagem, (Fs) Frequências dos cursos d'água, (Rt) Razão de Textura, (Lom) Comprimento médio do fluxo superficial, (Ff) Fator de forma, (Ic) Índice de circularidade, (Kc) Coeficiente de compactidade e (Re) Razão de alongamento, (A) Agricultura, (Au) Área urbana, (C) Campo, (P) Pastagem, (R) Reflorestamento, (M) Mata e (Ac) Área alagada e Corpos d'água.

Na Tabela 3 tem-se a matriz de correlação utilizada na obtenção do SCCP, da STCCP e do

peso atribuído aos fatores morfométricos e de classe de cobertura e uso da terra.

Tabela 3. Matriz de correlação cruzada a 5% de significância entre os fatores utilizados na determinação de prioridade em função da

	Rb	Dd	Fs	Rt	Lom	Ff	Rc	Cc	Re	A	Au	C	P	R	M	Ac
Rb	1,00	-0,07	-0,23	-0,05	0,07	-0,18	0,02	-0,02	-0,02	-0,72	-0,58	-0,55	-0,45	0,13	-0,87	0,52
Dd	-0,07	1,00	0,22	0,08	-1,00	-0,10	0,28	-0,28	-0,22	0,27	0,28	-0,40	-0,05	-0,47	-0,03	0,07
Fs	-0,23	0,22	1,00	0,10	-0,22	-0,05	-0,15	0,15	0,29	0,58	0,62	-0,25	-0,12	-0,67	0,08	0,33
Rt	-0,05	0,08	0,10	1,00	-0,08	0,08	-0,13	0,13	-0,38	0,03	0,17	0,30	-0,12	0,25	0,20	-0,15
Lom	0,07	-1,00	-0,22	-0,08	1,00	0,10	-0,28	0,28	0,22	-0,27	-0,28	0,40	0,05	0,47	0,03	-0,07
Ff	-0,18	-0,10	-0,05	0,08	0,10	1,00	-0,10	0,10	0,44	0,25	0,17	0,72	0,18	-0,15	0,52	-0,48
Rc	0,02	0,28	-0,15	-0,13	-0,28	-0,10	1,00	-1,00	0,44	-0,47	-0,53	-0,18	-0,75	0,27	-0,30	-0,22
Cc	-0,02	-0,28	0,15	0,13	0,28	0,10	-1,00	1,00	-0,44	0,47	0,53	0,18	0,75	-0,27	0,30	0,22
Re	-0,02	-0,22	0,29	-0,38	0,22	0,44	0,44	-0,44	1,00	-0,02	-0,13	0,07	-0,49	-0,15	-0,06	-0,25
A	-0,72	0,27	0,58	0,03	-0,27	0,25	-0,47	0,47	-0,02	1,00	0,93	0,25	0,62	-0,63	0,73	-0,22
Au	-0,58	0,28	0,62	0,17	-0,28	0,17	-0,53	0,53	-0,13	0,93	1,00	0,15	0,55	-0,73	0,67	-0,15
C	-0,55	-0,40	-0,25	0,30	0,40	0,72	-0,18	0,18	0,07	0,25	0,15	1,00	0,40	0,28	0,78	-0,62
P	-0,45	-0,05	-0,12	-0,12	0,05	0,18	-0,75	0,75	-0,49	0,62	0,55	0,40	1,00	-0,22	0,63	-0,10
R	0,13	-0,47	-0,67	0,25	0,47	-0,15	0,27	-0,27	-0,15	-0,63	-0,73	0,28	-0,22	1,00	-0,18	-0,20
M	-0,87	-0,03	0,08	0,20	0,03	0,52	-0,30	0,30	-0,06	0,73	0,67	0,78	0,63	-0,18	1,00	-0,63
Ac	0,52	0,07	0,33	-0,15	-0,07	-0,48	-0,22	0,22	-0,25	-0,22	-0,15	-0,62	-0,10	-0,20	-0,63	1,00
SCCP	-2,00	-0,42	1,69	1,44	0,42	2,49	-2,11	2,11	0,30	2,82	2,65	2,53	1,89	-1,27	2,87	-0,95
STCC	14,4	14,46	14,4	14,46	14,46	14,46	14,46	14,4	14,46	14,46	14,46	14,46	14,4	14,4	14,46	14,46
Peso	-0,14	-0,03	0,12	0,10	0,03	0,17	-0,15	0,15	0,02	0,19	0,18	0,18	0,13	-0,09	0,20	-0,07

Legenda: (Rb) Razão de bifurcação, (Dd) Densidade de drenagem, (Fs) Frequências dos cursos d'água, (Rt) Razão de Textura, (Lom) Comprimento médio do fluxo superficial, (Ff) Fator de forma, (Ic) Índice de circularidade, (Kc) Coeficiente de compactidade e (Re) Razão de alongamento, (A) Agricultura, (Au) Área urbana, (C) Campo, (P) Pastagem, (R) Reflorestamento, (M) Mata e (Ac) Área alagada e Corpos d'água.

Na Figura 5A é apresentado o ranqueamento de prioridade final quanto a erodibilidade do solo. Na Figura 5B e Tabela 4 consta a categoria de prioridade e, a quantificação

desta é apresentada na Tabela 5. Para a categorização das sub-bacias estabeleceu-se as classes de intervalos de acordo com a Tabela 4.

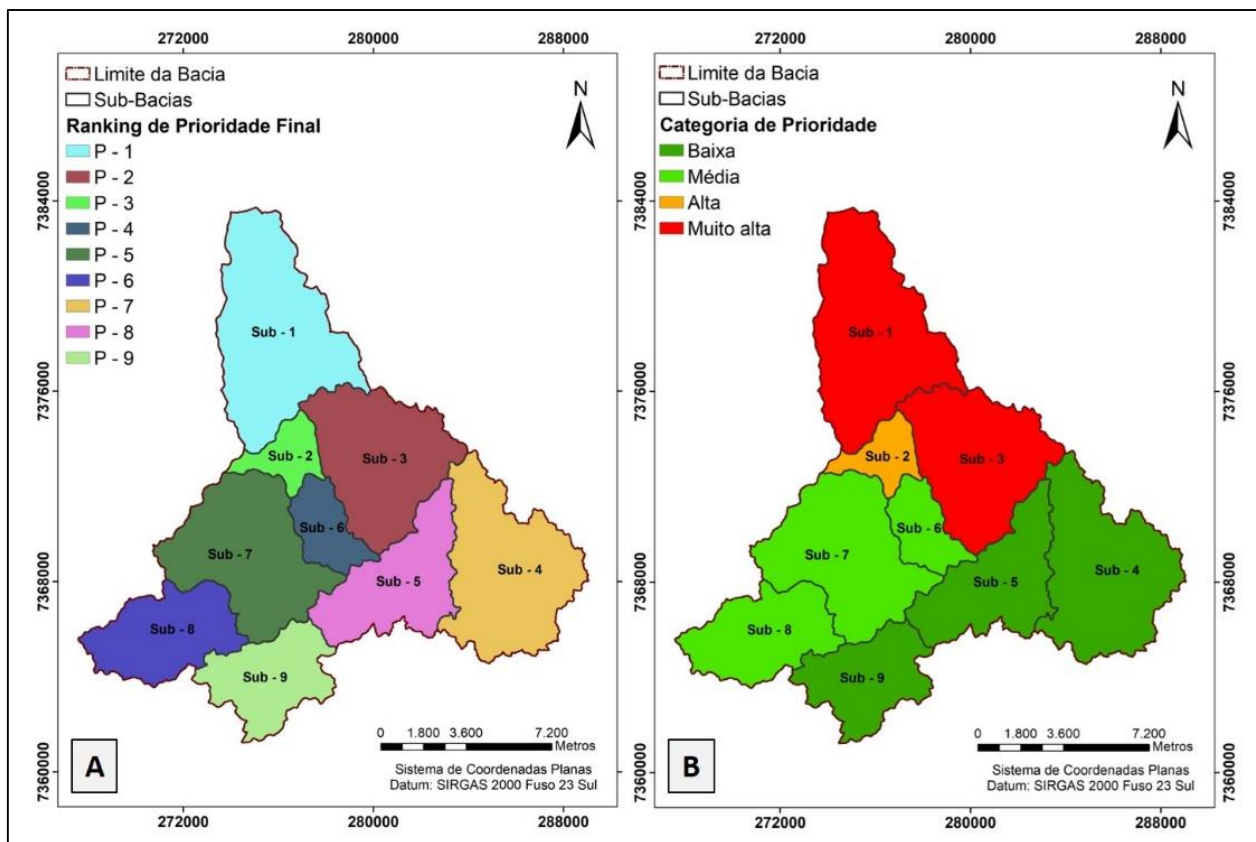


Figura 5 [A] Ranqueamento de prioridades final e [B] categorias de prioridades em função da erodibilidade do solo das sub-bacias hidrográficas do rio sorocabuçu, Ibiúna, SP.

Tabela 4 Definição das classes de intervalo para a categorização das sub-bacias hidrográficas do rio sorocabuçu, Ibiúna, SP

Classes de intervalo	Categoria de prioridade
até 0,1	Baixa
> 0,1 a 0,3	Média
> 0,3 a 0,5	Alta
> 0,5	Muito alta

Tabela 5 Quantificação do ranqueamento de prioridades e categorização do ranqueamento de prioridades final em função da erodibilidade do solo das sub-bacias hidrográficas do rio sorocabuçu, Ibiúna, SP

Sub-bacias	ΣFC	Ranking	Categoria	Área (km ²)	Área (%)
1	0,80	1	Muito alta	3741,28	18,46
2	0,50	3	Alta	658,96	3,25
3	0,73	2	Muito alta	2904,15	14,33
4	0,08	7	Baixa	3270,83	16,14
5	-0,02	8	Baixa	2161,91	10,67
6	0,29	4	Média	840,49	4,15
7	0,27	5	Média	3098,00	15,29
8	0,22	6	Média	1904,74	9,40
9	-0,05	9	Baixa	1687,67	8,33

Segundo o ranqueamento de priorização das sub-bacias para gestão e planejamento em função da erodibilidade do solo, obteve-se a seguinte ordem de prioridade: sub-bacia 1, 3, 2, 6, 7, sub-8, 4, 5 e 9. As sub-bacias 1, 2 e 3 foram as que apresentaram as mais altas prioridades, com aproximadamente 18% ,14% e 3,25 de área, respectivamente. Enquanto isso as sub-bacias 4, 5 e 9 foram as que apresentaram as mais baixas prioridades, respectivamente.

As sub-bacias 6, 7 e 8 mostraram-se intermediárias, com aproximadamente 36% em termos de área da bacia. Entre essas, a sub-bacia 7 apresenta na sua região central um relevo plano, porém a declividade é predominantemente ondulada, sendo a sub-bacia com a terceiro maior percentual de atividades antrópicas do tipo agricultura. Além disso, é a sub-bacia que pode ser definida como a mais circular, na qual apresentou o maior valor de Re (0,892). Já as sub-bacias consideradas de baixa prioridade 4, 5 e 9, se destacam por apresentarem os maiores percentuais de área de mata e as declividades com os maiores inclinações.

As áreas classificadas em altas e muito altas são prioritárias, uma vez que são os pontos críticos da bacia, necessitando assim da elaboração de plano de gestão e planejamento visando a proteção dos recursos naturais (Malik; Kumar & Kandpal, 2019), principalmente do solo e dos recursos hídricos. As sub-bacias 1, 2 e 3 requerem atenção prioritária, mas principalmente a sub-bacia 1, por ser aquela que recebe toda a sedimentação dos afluentes do rio sorocabaçu, uma vez que, todos os processos erosivos ocorridos na bacia, são transportados e depositados a jusante.

A sub-bacia que se encontra na categoria muito alta (sub-bacia 1) apresenta um relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, fator que favorece ações de antropização, o que pode ser constatado pelo alto percentual de áreas antrópicas, principalmente agricultura e campo, criando assim precedentes para a erodibilidade do solo. Vale ressaltar que dentro da classe campo encontra-se a área degradada, área recém-desmatada, com pouca vegetação ou que se apresenta inutilizada.

Já a sub-bacia 3 pelo fato de apresentar parâmetros morfométricos que a direcionem para uma forma circular, de estar inserida na parte mais urbanizada da bacia, somada ao fato de ser uma das regiões mais baixas, torna-se uma sub-bacia que requer maior atenção quanto às medidas de intervenções para que se possa evitar possíveis cheias e enchentes.

A sub-bacia 2, apesar de apresentar uma área pequena encontra-se intensamente antropizada, com o percentual de mata sendo inferior às de atividades como, agricultura e campo, o que pode ser um fator agravante para a erodibilidade do solo.

Conclusões

Estudos voltados a gestão de bacias hidrográficas devem ser constantemente realizados visto a necessidade de manter as práticas de manejo, principalmente àquelas voltadas a conservação do solo e da água, uma vez que, isso garante a integridade tanto ambiental como físico. A importância de integrar dados obtidos por meio de estudos morfométricos e de sensoriamento remoto se mostraram eficazes no sentido de determinar certas condições relacionados aos processos erosivos que ocorrem em determinadas áreas com forte influência antropogênica e com elevado grau sedimentação oriundos de processos erosivos.

Neste sentido, a proposta metodológica de correlacionar os parâmetros morfométricos com a cobertura e uso da terra se mostrou relevante e pode ser replicada em outras bacias, visto que não apresenta procedimentos complexos, pois além dos fatores morfométricos são utilizados apenas os componentes antrópicos e naturais considerados relevante para erodibilidade do solo, já que que a depender do percentual de ocorrência podem potencializá-la ou amenizá-la.

Por fim, estudos voltados a demonstrar o grau de antropização em bacias hidrográficas, ajudam de forma significativa a definir ações que contribuam para o aumento da conscientização sobre os danos ocasionados pela expansão de atividades mal planejadas, principalmente aquelas de caráter agrícola, amenizando assim os impactos ambientais.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES). Código de financiamento 001.

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*, 511, 850-860.
- Alcântara, F. A., Madeira, N. R. 2008. Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças. *Série Circular Técnica*. Brasília: Embrapa Hortaliças.
- Amiri, M., Pourghamesi, H. R., Arabameri, A., Vazirzadeh, A., Youssefi, H., Kafaei, S. 2019. Prioritization of Flood Inundation of Maharloo Watershed in Iran Using Morphometric Parameters Analysis and TOPSIS MCDM Model. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, p. 371-390.
- Bisht, S., Chauhry, S., Sharma, S., Soni, S. 2018. Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 35-47.
- Camargo, L. J., Santos, K. R. 2014. Erosão laminar em áreas de cultivo de cana-de-açúcar em Ceres (GO). *Revista Geonorte*, 10, 98-102.
- Cardoso, C.A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., Martins, S. V. 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo. *Árvore, Viçosa*, v.30, n.2, p.241-248.
- Carvalho, D. F., Silva, L. D. B. 2006. Hidrologia. UFRJ. Rio de Janeiro, p.115.
- CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas e Agricultura. 2019. Clima dos Municípios Paulistas. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_228.html. Acesso em: 23 abr. 2019.
- Chi, W., Zhao, Y., Kuang, W., He, H. 2019. Impacts of anthropogenic land use/cover changes on soil wind erosion in China. *Science of the total Environment*, 668, . 204-215.
- Christofoletti, A. 1981. Geomorfologia fluvial: o canal fluvial. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher.
- Christofoletti, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo: Blücher.
- CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Série histórica de pluviosidade mensal de Ibiúna – SP. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- Dubreuil, V., Fante, K. P., Planchon, O., Sant'anna Neto, J. L. 2017. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 a 2015. *EchoGéo*, 41, 01-27.
- Eduardo, E. N., Carvalho, D. F., Machado, R. L., Soares, P. F. C., Almeida, W. S. 2013. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 796-803.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, 306 p.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. 2016. ArcGis 10.5.
- GOOGLE LLC. 2019. Google Earth Pro, v. 7.3, Mountain View.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56, 275–370.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados de Informações Ambientais. 2019. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso 24 abr. 2019.
- IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico. 1979. Carta topográfica. Serviço Gráfico do IGC, Escala 1:10.000.
- IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico. 2010. Ortofoto Oeste de SP. Disponível em: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em: mar. 2018.
- Javed, K., Khanday, M. Y., Ahmed, R. 2019. Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric and Land Use Analysis using Remote Sensing and GIS Techniques. *J. Indian Soc. Remote Sens.* .37, 261–274.
- LAL, R. 2019. Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO2. *Soil and Tillage Research*, 188, 35-40.
- Lepsch, I. F. 2011. 19 lições de pedologia. 1ª ed. São Paulo, 456p.
- Lima, A. S., Fontes, A. L. 2015. Estudo de parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do rio Jacarecica (SE). *Interespaço, Grajaú*, 1, 203-221.
- Lopes, E. R. N., Souza, J. C., Sousa, J. A.P., Albuquerque Filho, J. L., Lourenço, R. W. 2018. Modelagem Ambiental de Bacias Hidrográficas: Caracterização Morfométrica e Pedológica da Bacia do Rio Una – Ibiúna, Brasil. *Geosul, Florianópolis*, 33, 105-127.
- MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel. Versão 1909. 2016.
- Malik, A., Anil Kumar, A., Kandpal, H. 2019. Morphometric analysis and prioritization of sub-watersheds in a hilly watershed using weighted sum approach. *Arabian Journal of Geosciences*, p. 12 – 118.
- Moraes, G. F., Lima, E. B. N. R., Ferrarez, E. M. 2018. Caracterização Fisiográfica e do uso e Ocupação do Solo das Microbacias Urbanas da Cidade de Cuiabá-MT. *Engineering and Science*, 2, p.43 – 53.

- Oliveira, B. R., Antônio, G. B. 2015. Caracterização da bacia do Maxixe com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, 19, 761-782.
- R CORE TEAM R: a Language and Environment for Statistical Computing R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. <http://www.R-project.org/>.
- Rossi, M. 2017. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal.
- Sales, J. C. A. 2015. Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiuna/SP. Sorocaba, 2015. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.
- Schumm, S. A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646.
- Silva, F. G. B., Minotti, R. T., Lombardi Neto, F., Primavesi, O., Crestana, S. 2010. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15, 141-148.
- Silva, L. F. S., Marinho, M. A., Rocco, E. O., Walter, M. K. C., Boschi, R. S. 2016. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, 3, 51-58.
- Strahler, A. N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 63, p. 1117-1142.
- Tonello, K. C., Dias, H. C. T., Souza, A. L., Ribeiro, C. A. A. S., Leite, F. P. 2006. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. *R. Árvore, Viçosa*, 30, 849-857.
- Tucci, C. E. M. 2009. Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Villela, S.M., Mattos, A. 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p.
- Zhu, A., Wang, P., Zhu, T., Chen, L., Cai, Q., Liu, H. 2013. Modeling runoff and soil erosion in the Three-Gorge Reservoir drainage area of China using limited plot data. *Journal of Hydrology*, 492, 163-175, 2013.