

Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS

José Roberto Mantovani
UFG

Vitor Matheus Bacani
UFMS

p. 687-706

Como citar este artigo:

MANTOVANI, J. R.; BACANI, V. M. Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 22, n. 3, p. 687-706, dez. 2018. ISSN 2179-0892.

Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/146752>>. doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.146752>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 22 • nº 3 (2018)

ISSN 2179-0892

Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS¹

Resumo

Este trabalho propõe um modelo matemático para mapear áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento fundamentado no método AHP (Analytic Hierarchy Process). A bacia hidrográfica do córrego Indaiá foi determinada como área experimental de análise, tendo em vista sua ocupação nos últimos anos. Essa bacia fica no perímetro rural do município de Aquidauana, estado do Mato Grosso do Sul. De fato, não há registros de ocorrência de inundações e/ou alagamentos nessa área; por outro lado, embora sejam fenômenos ocasionados por eventos naturais e de origem hidrometeorológica, eles podem ser potencializados e/ou deflagrados pela ação antrópica, o que justifica a tentativa de se minimizarem suas consequências no meio ambiente, sobretudo pela regularização da ocupação da bacia em tela. Visando reconhecer condicionantes e fatores que potencialmente influem na formação e propagação desses eventos, adotou-se uma metodologia de pesquisa geográfica com base na análise integrada do ambiente sob a perspectiva sistêmica proporcionada pela escolha da bacia hidrográfica como unidade de análise, englobando técnica de análise multicritérios que considera fatores naturais e socioeconômicos que proporcionam a modelagem da realidade local de modo dinâmico. Os resultados mostraram que a bacia não apresenta elevada suscetibilidade, uma vez que as áreas com maior susceptibilidade representaram aproximadamente 23% da área total, relacionadas a baixas declividades (fora da planície fluvial), solos mal drenados associados ao uso da terra sem práticas conservacionistas. As áreas intermediárias (média suscetibilidade) representaram aproximadamente 42% da área total, e as de menor suscetibilidade, cerca de 37%. As áreas que apresentaram maiores suscetibilidades, especificamente a inundação, estão relacionadas sobretudo à planície fluvial; já as áreas com maior tendência a alagamentos estão relacionadas à baixa declividade associada a alterações antrópicas.

Palavras-chave: Suscetibilidade. Escoamento superficial. Inundação. Alagamento.

1 Fundect/Capes: Bolsa de Mestrado. CNPq: apoio financeiro. Processo: 400691/2011-6.

A methodological proposal to generate a map that synthesizing the areas susceptible to flooding and flooding for watershed of Indaiá-MS

Abstract

This study aimed at using the AHP (Analytic Hierarchy Process) to determine a mathematical model to generate a map that synthesizing the areas susceptible to flooding and flooding for watershed of Indaiá, which has experiencing the occupation processing in recent years. You basin is located in the municipality of Aquidauana, State of Mato Grosso do Sul, located in a rural area. Indeed there are not records of occurrence of floods and / or flooding in the area, on the other hand, although phenomena caused by natural events are of hydrometeorological origin, they can be potentiated and / or triggered by human action, which justifies the search for minimize its consequences through, above all, through regularization of occupation of basin in the case. Aimed at recognizing the conditions and factors that potentially influence the formation and propagation of these events, a geographical research methodology was used. This methodology is based on integrated environmental analysis under the systemic perspective provided by the choice of river basin as the unit of analysis, encompassing multicriteria factors like natural and socioeconomic those contribute to configure the local reality, dynamically. Were researched and used in this work event like floods and flooding events in the basin, and the historical precipitation patterns for the region, geological and geomorphological characteristics, soil, land use and land cover, slope, hypsometry and hydrological conditions of the basin runoff. The methodological procedures were developed through the use of a geographic information system (GIS), using geoprocessing techniques, digital image processing and digital cartography, supported by mathematical and computational techniques for processing and analysis. With the use of this methodology, we reorganized the classes studied, classifying them, according to their degree of susceptibility to flooding and / or flooding. The results showed that the basin has not high susceptibility, since areas with higher sensitivities were around 23% of the total area. Related to the low slopes (outside the floodplain), there are associated soils poorly drained with lack of conservation practices. The intermediate areas (medium susceptibility) represent approximately 42% of the total area and the lower susceptibility covers an area of about 37%. The areas that had higher susceptibility, in particular for the flooding, are mostly related to the flood plain. The areas with the biggest trends to overflow are related to the low slope, added to human occupation in these areas.

Keywords: Susceptibility. Surface runoff. Inundation. Flooding.

Introdução

Os eventos naturais extremos que mais repercutem as atividades humanas no Brasil são de natureza climática. Segundo o relatório produzido pelo Banco Mundial e pela Organização das Nações Unidas (2010), estima-se que 3,3 milhões de pessoas morreram no mundo em consequência de desastres naturais entre 1970 e 2010, com um aumento significativo dos atingidos nas últimas duas décadas. Nas Américas Central e do Sul, a incidência de inundações soma mais de 40% do total de eventos. De acordo com Tominaga, Santoro e Amaral (2009), no Brasil os principais fenômenos relacionados aos desastres naturais são as inundações e enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades. Embora sejam fenômenos naturais, a atuação do homem interferindo nas áreas urbanas e/ou rurais, ao longo do tempo tem contribuído para sua maior frequência, intensidade e expansão areolar (Brandão, 2001).

No Mato Grosso do Sul, entre 1991 e 2012, foram registrados oficialmente 93 eventos de inundação excepcional caracterizados como desastres (Brasil, 2012). A mesorregião sudoeste do estado tem um total de 44 registros, que representam 47% das ocorrências. O mesmo documento aponta outros municípios classificados entre os mais afetados: Aquidauana, Corumbá, Coxim e Porto Murtinho, com três ocorrências em cada. Um dos motivos é que grande parte de seu território fica na parte sul da planície pantaneira ou em seu entorno, com pluviosidade anual que varia entre 1.200 mm e 2.000 mm (Mato Grosso do Sul, 2010).

O território sul-mato-grossense é praticamente dividido entre o Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná e a Planície do Pantanal Mato-grossense. As atividades econômicas desenvolvidas nessas duas grandes unidades geomorfológicas são basicamente agropecuárias: pecuária extensiva na planície e lavouras temporárias no planalto (Santos, A.; Crepani, 1996). Recentemente, esse estado tem sofrido um intenso processo de expansão econômica com base na exploração dos recursos naturais, tendo sido implantados grandes projetos estatais e particulares de ocupação territorial, programas de desenvolvimento, abertura de estradas, expansão das fronteiras agrícolas, programas de assentamento rural e crescimento urbano, sem, contudo, respeitar o planejamento do uso e ocupação da terra (Avelino, 2006).

Segundo A. Santos e Crepani (1996), a ocupação de novas fronteiras dessas atividades sem o indispensável zoneamento ecológico-econômico que deveria anteceder-las tem causado enormes prejuízos na forma de perda de solo por erosão e assoreamento de rios no planalto, elevação no nível de inundações por ocasião das cheias na planície e intensificação e/ou surgimento de novas áreas alagadas por conta do uso indevido do solo sem manejo adequado. A intensificação do uso e ocupação da terra, sem a adoção de técnicas de manejo que diminuam o impacto causado pelo desmatamento indiscriminado, acelera brutalmente uma situação naturalmente preocupante devido à vocação para perda de solo apresentada pelo planalto e de acumulação de sedimentos pela planície, favorecendo a intensificação das inundações.

Em 15 de dezembro de 2009, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) realizou o lançamento simultâneo dos quatro primeiros projetos da reforma agrária em Aquidauana (MS). Ao todo, 280 famílias foram beneficiadas pelo complexo de 6,4 mil ha, formado pelos assentamentos Indaiá I, II, III e IV. Tomando como base a média de quatro integrantes por família, o complexo Indaiá representa a fixação de mais de mil pessoas no espaço rural de Aquidauana (Incra, [s.d.]). A bacia do córrego Indaiá, está situada no perímetro rural de Aqi-

dauana-MS, destaca do ponto de vista fisiográfico por estar localizada na transição do planalto Maracaju-Campo Grande, Depressão Pantaneira e a Planície do Pantanal Sul-mato-grossense, abrangendo a transição dos biomas: Cerrado e Pantanal. Esses aspectos conferem à bacia do córrego Indaiá peculiaridades ambientais riquíssimas ligadas à fauna e à flora. Tais características ensejaram uma ocupação pautada na exploração da pecuária extensiva, favorecida pela abundância dos mananciais e, sobretudo, pelas características geomorfológicas e pedológicas. O turismo, mais especificamente o ecoturismo, também se apresenta como uma forte atividade econômica.

A questão chave refere-se ao planejamento e gestão da utilização ordenada das terras que compõem a bacia do Indaiá. Embora com um eminente potencial turístico e agropecuário, a bacia do córrego Indaiá, ainda não dispõe de um documento cartográfico capaz de estabelecer as diretrizes para uma expansão e ocupação ordenada. A quantidade de áreas produtivas, ou que apresenta restrições à ocupação ligada a inundação e alagamento, ainda é muito pouco conhecida.

Do ponto de vista conceitual, a inundação é um fenômeno que ocorre diretamente na rede de drenagem, sob a planície de inundação, já o conceito de alagamento é utilizado para definir os processos decorrentes ou não dos problemas de natureza fluvial, causando o acúmulo momentâneo de águas em um dado local por problemas de deficiência no sistema de drenagem devido a seu baixo coeficiente de escoamento superficial (Santos, F, 2010). Dessa maneira, as terminologias inundação e alagamento, se consistiram nas palavras mais adequadas para conduzir essa pesquisa, de modo a analisar a bacia hidrográfica como um todo e não se limitar à dinâmica fluvial e a processos que ocorrem nas planícies de inundação, uma vez que não há registro de ocorrência desses fenômenos na área. Contudo, por meio de hipótese estabelecida, obtiveram-se resultados distribuídos ao longo de toda a área de estudo.

Assim, este trabalho propõe o mapeamento da bacia do Indaiá calcado na avaliação da suscetibilidade a inundação ou alagamento, com o objetivo de definir diretrizes de ocupação que contribuam com um processo de desenvolvimento equilibrado. Propõe-se um conjunto de instruções pautadas em documentos cartográficos para representar um modelo que considera os processos espaço-temporais tanto de inundação quanto de alagamentos para a área que direcione ações e propostas de utilização ordenada das terras na bacia, a fim de contribuir com ações de planejamento ambiental. O modelo matemático é desenvolvido com base no Analytic Hierarchy Process (AHP).

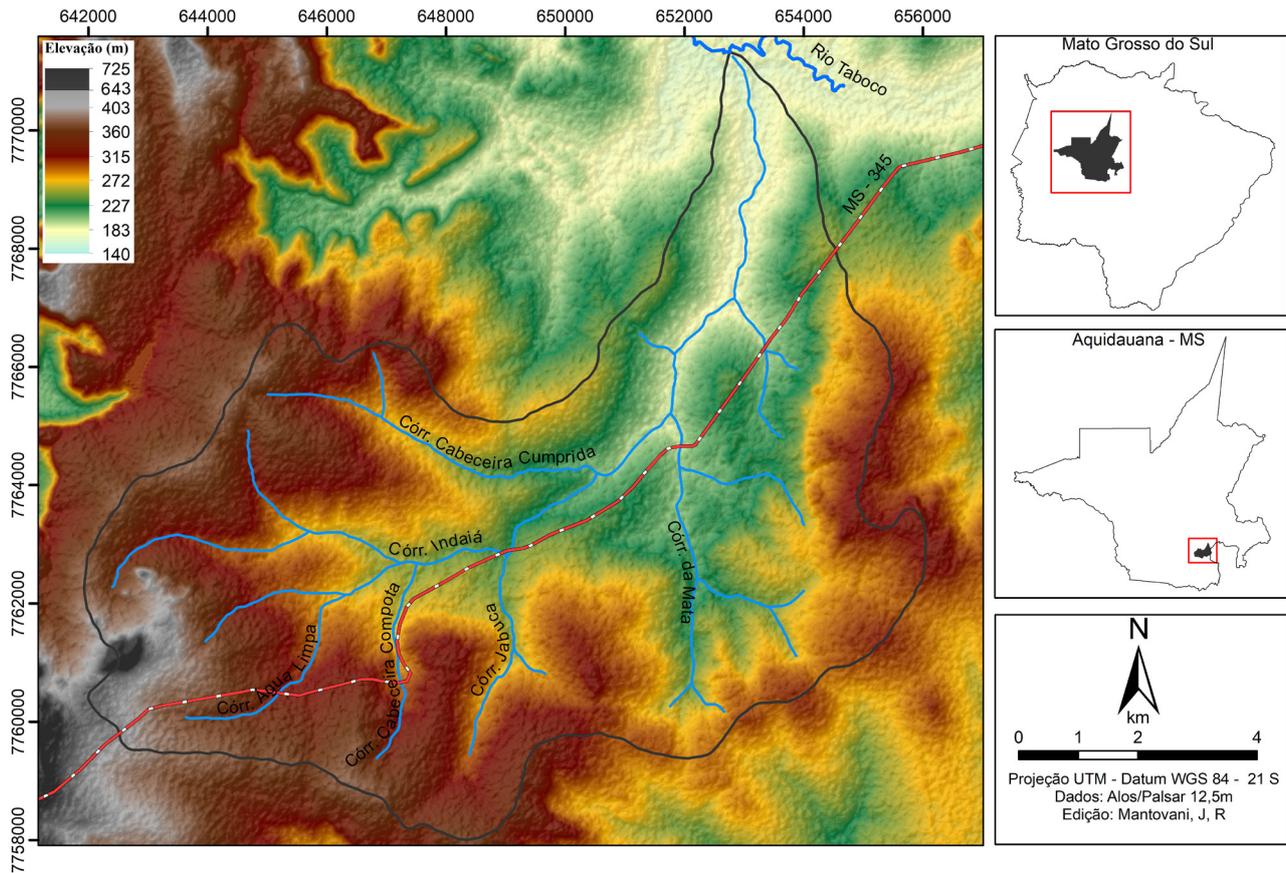
Material e métodos

Área de estudo

Em tupi-guarani, *indaiá* é um tipo de palmeira bastante característica do estado sul-mato-grossense, encontrada em veredas, típica da estratigrafia vegetal do cerrado e que dá nome ao córrego. A bacia formada pelo córrego Indaiá (BCI) abrange uma área em torno de 9.467,6 ha na porção sudoeste do município de Aquidauana, em seu perímetro rural, próxima ao distrito de Cipolândia.

O córrego Indaiá faz parte da bacia do alto rio Paraguai (BAP) sendo um importante afluente do rio Taboco, pois logo após desaguar no mesmo, suas águas e sedimentos adentram a planície pantaneira através do rio Negro na região do Pantanal da Nhecolândia, após aproximadamente 250 km desde sua nascente. A bacia é cortada pela rodovia MS-345, que liga a BR-419, sentido sul. O grande centro urbano mais próximo da BCI é a capital Campo Grande, a aproximadamente 145 km, e tem como via de acesso a BR-262 (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores.

A BCI está inserida no bioma cerrado, a vegetação predominante é o cerrado arbóreo denso (cerradão), Cerrado Arbóreo Aberto (Campo Cerrado), Savana Parque (Campo Sujo), Contato Savana/Floresta Estacional e destaca-se a presença de agropecuária e pastagem (Brasil, 1982). Do ponto de vista geomorfológico está inserida em duas macrounidades morfo-estruturais: a bacia sedimentar do Paraná e a bacia hidrográfica do rio Paraguai, subdivididas nas unidades morfoesculturais, Planalto Maracaju-Campo Grande e Depressão do Paraguai (Brasil, 1982). A Serra de Maracaju divide o estado do Mato Grosso do Sul em dois, a oeste da capital, Campo Grande, a leste, ficam os campos de cerrado, enquanto começa a oeste, o Pantanal sul-mato-grossense.

Os domínios de relevo predominante são colinas amplas e suaves com declividades que variam de 6% a 20% incluindo a planície fluvial e morros e morrotes. A planície fluvial frequentemente na declividade < 2% em terrenos planos e levemente inclinados em direção ao canal, compreendendo a planície de inundação e terraços, caracterizando terrenos alagadiços, com mata de galeria, composto por veredas, devido ao nível elevado do lençol freático (Cunha et al. 2013).

A geologia é composta pelas formações Furnas, Aquidauana e por aluviões fluviais. Os depósitos fluviais e lacustres encontram-se em áreas periodicamente inundáveis (Brasil, 1982). Ocorrem na área os solos do tipo gleissolo háplico Tb distrófico, neossolos quartzarênico, latossolo vermelho, argissolo vermelho-amarelo distrófico, neossolos litólico (Embrapa, 2006).

O clima é do tipo Aw, segundo Koppen (clima de Savana), com regime pluviométrico tipicamente tropical. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.350 mm, com a maior parte das chuvas concentradas entre os meses de outubro a março (Sant'Anna Neto, 1993). As temperaturas superiores a 40 °C nos meses de verão e nos meses de inverno temperaturas mínimas inferiores a 5 °C (Pinto, 1998).

Embasamento teórico

O uso de modelos matemáticos distribuídos auxiliados por técnicas de geoprocessamento, associadas a um sistema de informação geográfica (SIG), permite analisar integradamente a relação entre os aspectos físicos e geográficos em bacias hidrográficas, espacialmente distribuídos, se comparados com métodos não distribuídos sem uso do SIG. Assim, tendo em conta que nos modelos matemático distribuídos considera-se a análise de dados para toda a área de estudo, ou seja, se tem uma análise integrada da parte da dinâmica e/ou dos condicionantes da bacia hidrográfica, e nos modelos não distribuídos a análise é efetuada de forma pontual ou por setores. Mas uma análise complementa a outra e, por meio de técnicas de geoprocessamento e cartografia digital, é possível integrar técnicas que melhorem a execução de modelos desse tipo. As técnicas integradas são contribuições importantes para aprofundar o conhecimento e para a realidade espacial e servem de suporte para medidas de planejamento e tomadas de decisão (Xavier-da-Silva, 1999).

Partindo dessa premissa, a fundamentação teórico-metodológica que subsidiou o emprego das geotecnologias associadas ao sistema de informação geográfica (SIG) na elaboração do modelo proposto neste trabalho baseou-se na análise integrada do ambiente na fragilidade ambiental dos sistemas ambientais antropizados, proposta por Ross (1994, 2012), no modelo hidrológico Curve Number (CN) e no método AHP (Saaty, 1977).

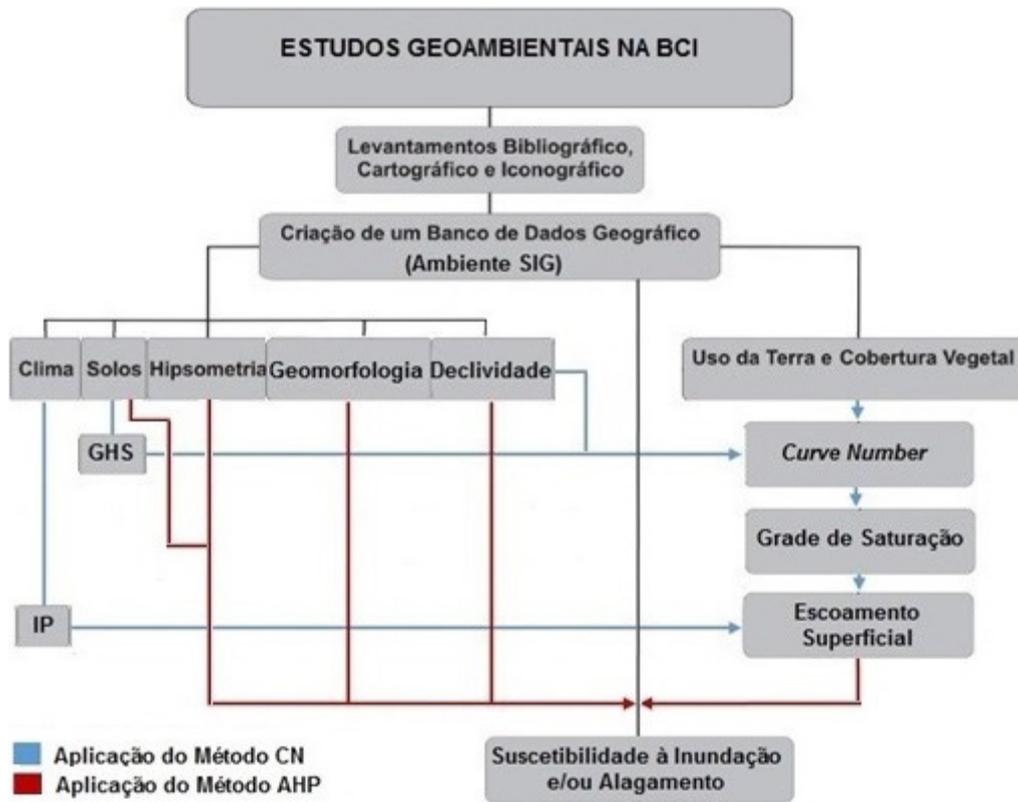
O modelo hidrológico CN, do Soil Conservation Service (SCS, 1971), atual Natural Conservation Service (NRCS, 2009), foi utilizado para modelar o escoamento superficial espacialmente distribuído, enquanto o método AHP (Saaty, 1977) estabeleceu a importância relativa de cada parâmetro utilizado durante a elaboração do mapa síntese de suscetibilidade a inundação e/ou alagamento.

Procedimentos técnicos e metodologia

Os procedimentos metodológicos se desenvolveram de acordo com a realização das etapas descritas do fluxograma da Figura 2.

A etapa inicial da pesquisa consistiu no levantamento de informações bibliográficas, cartográficas e iconográficas referentes à área de estudo. Após esse levantamento, criou-se um banco de dados geográfico estruturado a partir das informações cartográficas obtidas por meio de carta topográfica digital do município de Aquidauana, folha SF.21-X-A III, elaborada pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) na escala de 1:100.000. Utilizam-se também os dados topográficos referentes à delimitação dos lotes formados pelos assentamentos Indaiá I, II, III e IV, com aproximadamente 6,4 mil ha, realizado em 15 de dezembro de 2009 pelo Incra.

Figura 2 – Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pelos autores.

As informações pluviométricas foram obtidas a partir de 4 estações do Instituto Nacional de Pesquisas Meteorológicas (Inmet). As estações estão distribuídas no município de Aquidauana, no distrito de Cipolândia (S 20°07'37", W 55°23'34"), fazenda Taboco (S 20°04'13", W 55°38'39") e fazenda Rancho Grande (S 20°09'46", W 55°32'48") a outra no município de Dois Irmãos do Buriti, na fazenda Lajeado (S 20°17'29", W 55°26'41"). Os dados consistem nas médias anuais de pluviosidade entre 1970 e 2007, caracterizando a distribuição do período chuvoso dessa região entre setembro e maio (nove meses). A partir desses dados, calculou-se a intensidade pluviométrica (IP) de cada estação, de acordo com a proposta de Crepani et al. (2001), a que se seguiu a interpolação desses valores para a elaboração do mapa de IP.

Os dados de altimetria provêm de imagens do sensor Palsar (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar), a bordo do satélite Alos (Advanced Land Observing Satellite), a partir de imagens SAR (Synthetic Aperture Radar), adquiridas no modo FBS (*fine beam*), polarização HH, órbita ascendente com resolução espacial de 12,5 m (banda L), obtida do banco de dados do Alaska Satellite Facility (ASF). Foram extraídas informações topográficas de declividade e hipsometria.

Para caracterizar a cobertura vegetal e do uso da terra da BCI, foi utilizado o mapa produzido por Cunha (2015b), elaborado por meio de interpretação visual de imagens do satélite GeoEye, datadas de agosto de 2012, com resolução espacial de 0,63m, na escala 1:5.000, e publicado na escala 1:55.000 (Cunha, 2015b). Foi utilizado em formato digital (*shapefile*), durante a modelagem hidrológica por meio do método CN.

Utilizaram-se os mapas temáticos do projeto RadamBrasil (Brasil, 1982) contendo as bases cartográficas de geologia, geomorfologia e pedologia na escala de 1:1.000.000. Esses mapas foram comparados com os encontrados no Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Brasil, 1997), na escala de 1: 250.000, e em Embrapa (2006), na escala de 1:100.000, os quais, juntamente com as observações e os levantamentos realizados em campo por Cunha (2015b) e Cunha (2015), foram fundamentais para caracterizar o meio físico e refinar a escala mais detalhadamente.

Todo o conjunto de informações e dados foi organizado em um sistema de informação geográfico (ArcGIS) com auxílio da plataforma HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension). O HEC-GeoHMS é um conjunto de ferramentas do ArcGIS desenvolvidas especialmente para o processamento de dados geoespaciais, criando dados de entrada para o Sistema de Modelagem Hidrológica (HEC-HMS) do Centro de Engenharia Hidrológica (HEC, 2009) do United Army Corps of Engineers.

Aplicação do método Curve Number

A modelagem do escoamento superficial (Q) seguiu os procedimentos teóricos metodológicos descritos por Tucci (1993), por meio do método CN, do Soil Conservation Service (SCS, 1971) atual Natural Conservation Service (NRCS, 2009). O método CN permite mostrar o efeito das mudanças no uso e cobertura do solo sobre o escoamento superficial. Os valores de CN variam entre 1 e 100 (adimensional). Valores altos de CN indicam alto escoamento (Melesse; Shih, 2002).

No método CN, a estimativa de escoamento superficial (Q , mm) é calculada pela equação (1).

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S} \quad (1)$$

Onde P corresponde à precipitação média mensal (mm/mês) e S é a capacidade máxima de armazenamento de água (saturação) da camada superior do solo na bacia hidrográfica (equação [2]).

A equação (1) só é válida para $p > 0,2 \times S$; quando $p < 0,2 \times S$, temos que $Q = 0$. Neste trabalho, considerou-se a precipitação efetiva (P), ou seja, que ocasionou o escoamento superficial por meio do mapa da IP, obtido pela relação entre a precipitação média anual (PMA) e a duração do período chuvoso (DPC).

Para determinar a capacidade máxima de infiltração da camada superficial do terreno (S), o método relaciona esse parâmetro ao fator de CN, de acordo com a equação (2).

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (2)$$

A equação (2) modela as condições de cobertura superficial do terreno e do solo, variando desde superfície muito impermeável até superfície completamente permeável. Assim, os valores de CN dependem das informações de uso da terra e cobertura vegetal, tipos de solos reclassificados em grupos hidrológicos de solos (GHS) e a umidade antecedente do solo associada às características topográficas (declividade) simuladas para um comportamento pluviométrico preestabelecido.

Os critérios gerais propostos para elaboração do mapa dos grupos hidrológicos de solo (GHS) e as particularidades de cada ordem de solo presente na bacia, foram definidos de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2006), baseado na classificação de solos tropicais brasileiros proposta por Sartori, Genovez e Lombardi Neto (2011). No grupo hidrológico A, foi associado o neossolo quartzarênico, considerado bem drenado, no grupo hidrológico B o latossolo vermelho, devido à textura arenosa, enquanto o argissolo vermelho-amarelo, considerado mal drenado, foi associado ao grupo hidrológico C. Por apresentar má drenagem e suscetibilidade a inundações e processos erosivos, o gleissolo háplico foi colocado no grupo hidrológico D, assim como o neossolo litólico, por sua característica de contato lítico.

A etapa seguinte consistiu em reclassificar os atributos temáticos contidos no mapa da cobertura vegetal e uso da terra presentes na BCI (Cunha, 2015b) adaptadas para a metodologia (Tucci, 1993). Os valores de CN discriminados no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal, assim como a distribuição dos GHS presentes na BCI, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores da CN das bacias rurais

uso e cobertura da terra BCI	classificação do CN	GHS			
		A	B	C	D
cerradão	floresta densa, alta transpiração	25	52	62	69
mata ciliar	floresta normal	36	60	70	76
mata galeria	floresta densa, alta transpiração	25	52	62	69
cerrado sentido restrito	floresta esparsa	46	68	78	84
floresta estacional semidecidual	floresta densa, alta transpiração	61	75	83	87
floresta estacional decidual	floresta esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
veredas	floresta densa, alta transpiração	26	52	62	69
campos gramíneos úmidos	campos densos, de alta transpiração	25	55	70	77
vegetação secundária	floresta esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
pastagem com terraço	pastagens normais, curvas de nível	25	59	75	83
pasto sujo (degradado)	pastagens pobres, curvas de nível	47	67	81	88
solo exposto (estradas)	chácaras e estradas de terra más	72	82	87	89
solo exposto (agricultura)	solo lavrado em fileiras retas	70	80	87	90
agricultura de subsistência	plantação de legumes ou cultivados	68	79	86	89
silvicultura	floresta esparsa	46	68	78	84
chácaras, estradas de terra	chácaras e estradas normais	56	75	86	91
processos erosivos	solo lavrado em fileiras retas	70	80	87	90
área queimada	solo lavrado em fileiras retas	70	80	87	90
corpos d' água	superfícies líquidas	100	100	100	100

fonte: Tucci (1993). Adaptada pelos autores.

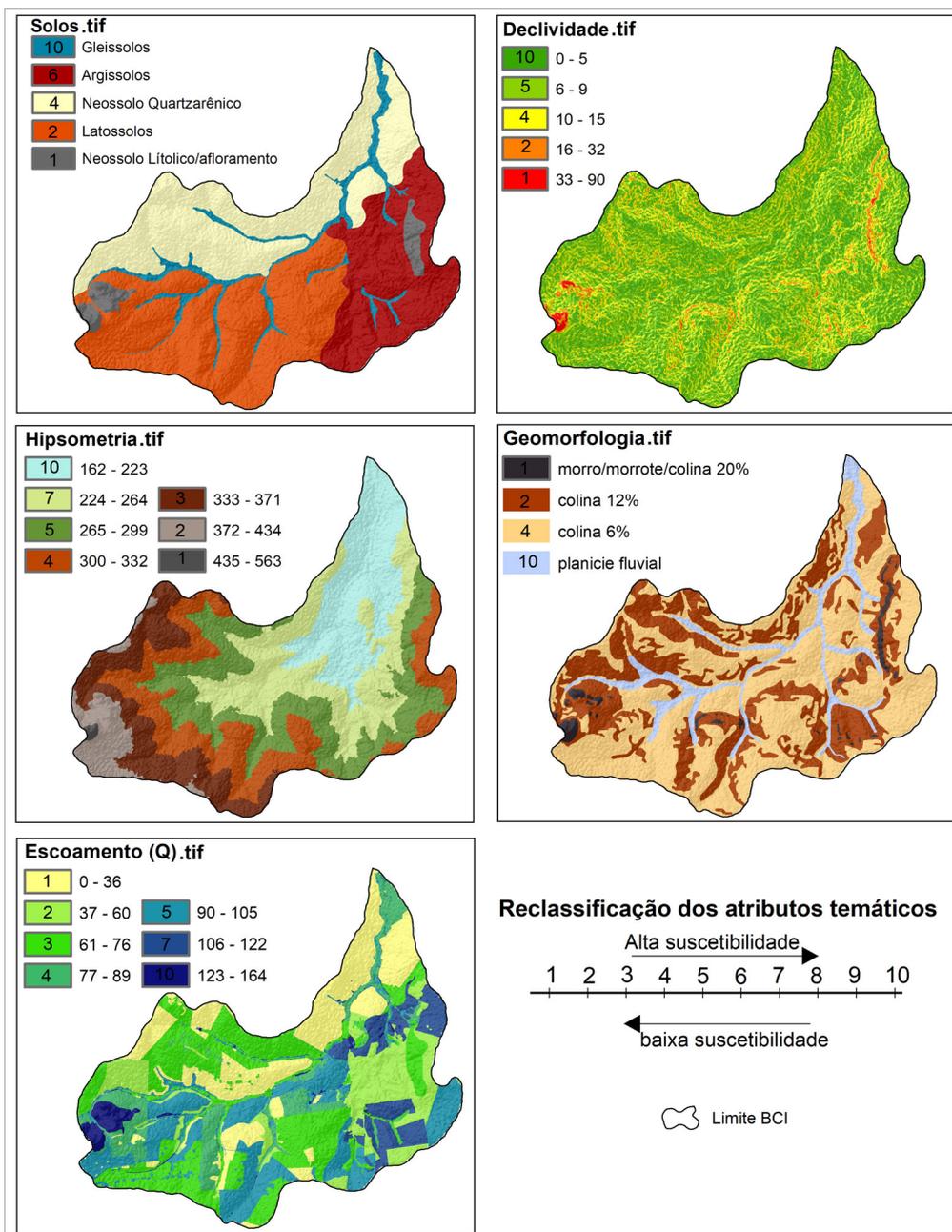
Por fim, o processamento foi efetuado por meio da fusão dos mapas de uso da terra e cobertura do solo e GHS por meio da extensão HEC-GeoHMS, e a criação de uma *Look Up Table* com os valores de CN para bacias rurais conforme a literatura (Tucci, 1993) somados à

declividade do terreno. Após a obtenção da grade de CN, o próximo passo consistiu em derivar a grade de saturação do solo (equação [2]). Posteriormente foi simulado o escoamento superficial (Q), a partir do mapa de IP e do parâmetro S (equação [1]).

Aplicação do método AHP

O mapa das áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento teve como base a combinação de cinco mapas temáticos (Figura 3): solos, hipsometria, escoamento, declividade e geomorfologia.

Figura 3 – Comportamento das variáveis utilizadas na aplicação do método AHP



Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapa de suscetibilidade foi desenvolvido em duas fases do trabalho. Uma fase teórica, baseada na reclassificação dos atributos temáticos contidos em cada mapa proposto no modelo, usando uma escala crescente de valores (adimensionais) que variam de notas de 1 (menos suscetível) a 10 (mais suscetível) para cada uma das variáveis.

A segunda fase, a operacional, consistiu na aplicação do método AHP, tendo como base a escala de Saaty e Vargas (1991). Os mapas temáticos foram hierarquizados conforme sua importância no aspecto da suscetibilidade do processo analisado e comparados entre si em uma matriz, atribuindo-se um valor de importância relativa (peso) ao inter-relacionamento entre essas variáveis temáticas. A partir desses valores relativos, foram calculados os pesos ponderados dos fatores (autovetor da matriz) e a consistência do julgamento da matriz (máximo autovalor da matriz). Assim, construiu-se uma matriz de comparação pareada (Tabela 2), onde se compararam os fatores dois a dois.

Tabela 2 – Matriz de comparação pareada

fatores	solos	altitude	escoamento	declividade	geomorfologia
solos	1	1/3	1/3	1/7	1/9
hipsometria	3	1	1/3	1/3	1/7
escoamento	3	3	1	1/3	1/3
declividade	7	3	3	1	1/3
geomorfologia	9	7	3	3	1

fonte: Elaborada pelos autores.

No julgamento dos fatores, o mapa de geomorfologia e declividade foram os que obtiveram maior grau de importância sobre as outras variáveis. Os mapas de escoamento e altitude tiveram a mesma importância atribuída, e o de solos, a menor. Essa hierarquia foi construída por meio de observações empíricas e a uma análise integrada dos aspectos físico geográficos dessa área, além de uma série de tratamento e simulações dos dados utilizados na pesquisa.

O julgamento desses fatores confrontados entre si e ajustados de acordo com as características específicas da região procurou representar mais precisa e seguramente as condições físicas encontradas na área de estudo. Logo, quando um fator é confrontado consigo mesmo, o único resultado é um, pois tem igual importância, o que está representado na diagonal da matriz. Esse limite é importante para a pesquisa, pois, a partir do momento em que todos os fatores se cruzam, a submatriz superior passa a ser apenas um espelho, ou inverso dos valores abaixo da diagonal inferior.

A partir dos valores de importância relativa dos fatores, determinam-se os pesos estatísticos para cada variável, dividindo cada elemento da matriz pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence, e fazendo-se a média entre as colunas, determinando assim cada peso. Foi obtido um valor de razão de consistência de 0,0482; assim, pelo fato de o valor da razão ser menor que 0,10, os pesos sintonizados para o modelo proposto são aceitáveis, de acordo com a metodologia proposta (Saaty; Vargas, 1991).

De posse dos pesos calculados bem como da razão de consistência, elaborou-se uma fórmula (equação [1]) para modelagem matemática da suscetibilidade a inundação e/ou alagamento da BCI.

equação (1) – Suscetibilidade a inundação e/ou alagamento

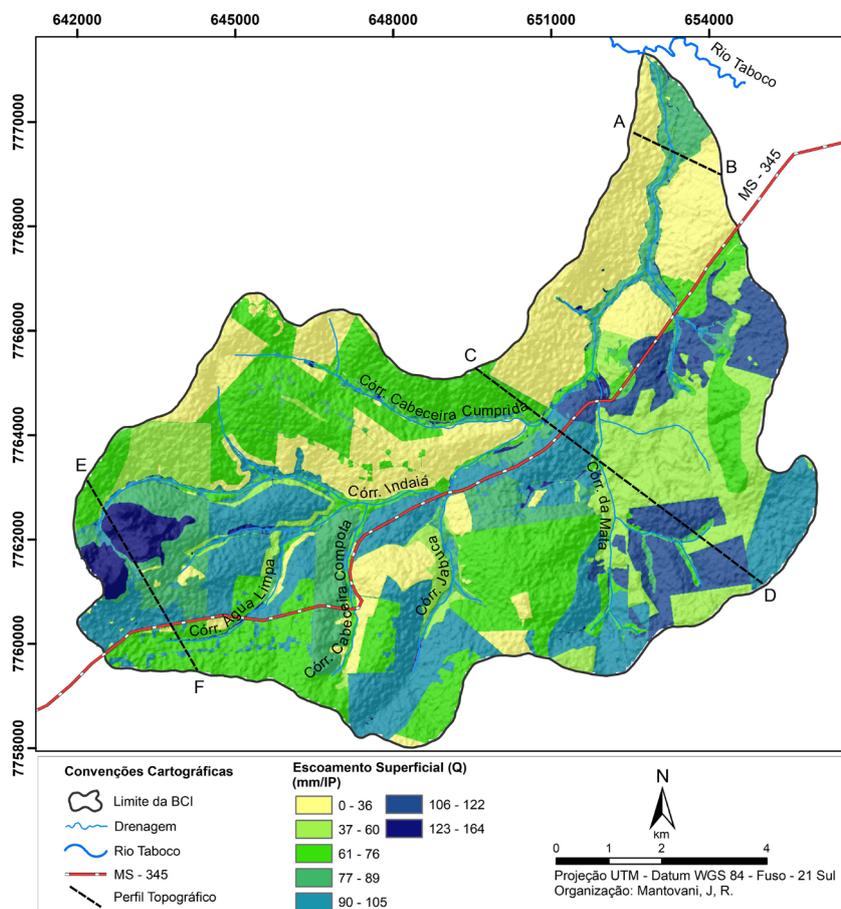
$$S = 0.4831 * \text{"Geomorfologia.tif"} + 0.2573 * \text{"Declividade.tif"} + 0.1426 * \text{"Escoamento.tif"} + 0.0775 * \text{"Hipsometria"} + 0.0396 * \text{"Solos.tif"}$$

O mapa de suscetibilidade a inundação e/ou alagamento foi gerado aplicando-se a equação (1) no ArcGIS 10 com o auxílio da ferramenta *Raster Calculador*, localizada na extensão *Spatial Analyst*. Por fim, os valores obtidos pelo mapa de suscetibilidade (1 a 10) foram estratificados em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta, muito alta suscetibilidade. Com esses resultados, foram traçadas sob o mapa de suscetibilidade três sessões topográficas distribuídas na bacia: baixo curso, médio curso e alto curso do córrego Indaiá.

Resultados e discussão

De modo geral, a distribuição espacial das classes mapeadas, mostrou que o escoamento superficial foi bem equilibrado ao longo da bacia (Figura 4). A maior classe mapeada representou aproximadamente 26% da área total, variando de 61 – 76 mm/mês de escoamento, seguida da mais baixa, variando em torno de 1-36 mm/mês, 21%. A classe intermediária variou entre 37-60 mm/mês de escoamento, representando 13% da área total. Somadas, essas classes representam aproximadamente 60% em área da BCI. Os valores mais elevados de escoamento, que variaram de 90-164 mm/mês, ocuparam ao todo cerca de 29% da área total da bacia.

Figura 4 – Mapa de escoamento superficial (Q)



Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapa de escoamento superficial mostra que a região oeste da bacia apresenta a área com maior risco de desastres naturais devido às precipitações extremas, já que o escoamento superficial apresentou os valores mais elevados, acima 123 mm/mês, podendo alcançar 164 mm/mês. Em algumas áreas situadas na região leste e sudeste da bacia, o escoamento variou entre 106-122 mm/mês.

Os valores elevados de escoamento superficial estão associados com áreas ocupadas majoritariamente por pastagens sem manejo, associadas a um terreno suave ondulado e fortemente montanhoso. A pastagem em mau estado de conservação (degradada), situada em locais com presença de campos gramíneos úmidos (baixa capacidade de retenção de água), associado a um solo com baixa capacidade de drenagem superficial (argissolo vermelho-amarelo), somadas essas especificidades conferem a esses locais a capacidade de gerar escoamento superficial.

No extremo oeste da bacia (montante), embora haja a cobertura vegetal formada pela floresta estacional decidual, o valor elevado de escoamento é devido a essa área estar na altitude mais elevada da bacia (544 m), formada por neossolo litólico, com baixa capacidade de drenagem, associada a um relevo fortemente montanhoso com declividades que ultrapassam 20% e presença de morros e morrotes.

As regiões próximas ao baixo curso do córrego e ao longo da região norte da bacia apresentaram os menores valores de escoamento, em torno de 1-36 mm/mês. Por ser uma região com presença da cobertura vegetal (cerradão) sobre um solo bem drenado (neossolo quartzarênico) e dadas as condições topográficas (relevo suave), a maior parte da precipitação é infiltrada no solo. Essas áreas são importantes por promover a recarga de reservas subterrâneas.

Os valores intermediários de escoamento variaram em torno de 37-89 mm/mês, distribuídos uniformemente, com maior intensidade nas regiões situadas no alto e no médio curso da bacia.

Ao longo da rede de drenagem o comportamento do escoamento superficial se mostrou controlado, refletindo o bom estado de conservação da vegetação ciliar da bacia, favorecendo o equilíbrio hidrológico no ambiente, com escoamento superficial em torno de 37-105 mm/mês, garantindo uma boa recarga aos canais que compõem a rede de drenagem, evitando picos de cheias, processos erosivos e assoreamento.

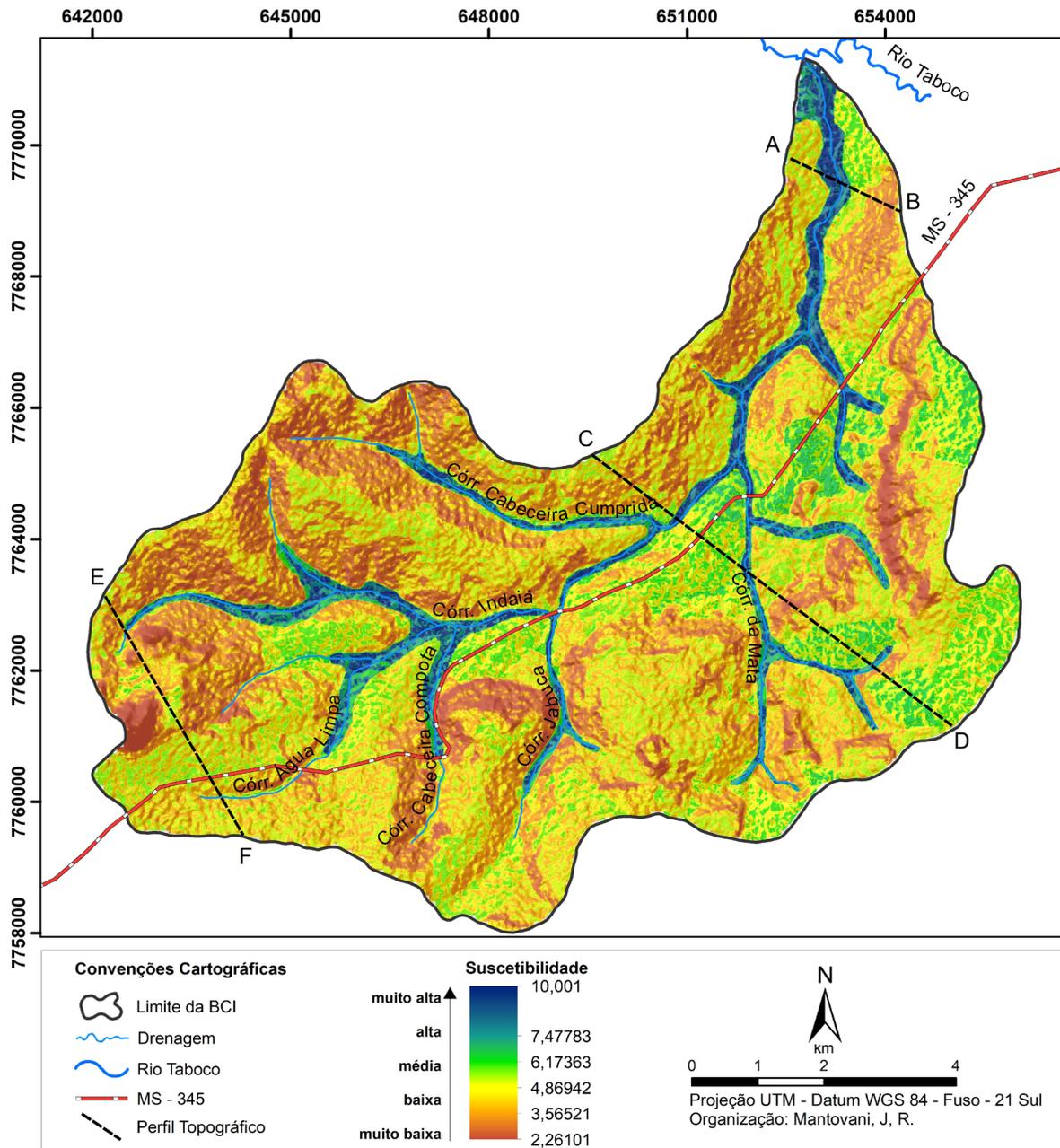
O restante da bacia, com valores de escoamento variando entre 37-60 mm/mês, é caracterizada pela presença de campos e pastagens sem manejo, os quais, influenciam diretamente o aumento do potencial de escoamento superficial, todavia a composição pedológica (latossolo vermelho e neossolo quartzarênico) combinada com relevo suave ondulado (declividades inferiores a 20%) possibilitam uma boa drenagem, amenizando o escoamento superficial.

A partir destas análises verifica-se a importância do mapeamento de áreas com alto potencial de escoamento superficial, e o seu cruzamento com informações de uso e cobertura do solo, para evitar futuros desastres naturais.

O mapa da suscetibilidade a inundações e/ou alagamentos (Figura 5), apresenta maior concentração de áreas suscetíveis na região sudeste da bacia, situada no médio curso do córrego Indaiá (perfil C-D), variando de média intensidade, caracterizando os alagamentos, e alta a muita alta intensidade para as áreas sob a planície fluvial dos canais de drenagem, indicando possibilidades de ocorrência de inundações.

No baixo curso do córrego Indaiá (perfil A-B), a intensidade variou entre média e baixa nas áreas adjacentes à planície fluvial (alagamentos), já na planície de inundações do rio Taboco, na foz do córrego Indaiá, a suscetibilidade a inundações foi de intensidade muito alta.

Figura 5 – Mapa de suscetibilidade a inunda o e/ou alagamento



Fonte: Elaborado pelos autores.

A suscetibilidade a inunda o mapeada está restrita   planície fluvial, variando de intensidade   medida que decresce o relevo. As áreas que abrangeram a planície fluvial situadas sob a rede de drenagem da bacia do córrego Indaiá, de modo geral, apresentaram um grau de suscetibilidade variando de intensidade alta a muito alta, nas quais, somadas as características topográficas, têm-se os fatores e condicionantes geoambientais que atuam nessa dinâmica.

Nos pontos mais elevados, situados no alto curso Indaiá (perfil E-F), as áreas suscetíveis a inunda es apresentaram intensidade alta, no entanto, no médio e baixo curso, houve suscetibilidade com intensidade muito alta em toda a planície. Além disso, a intensidade na confluência entre os canais que formam o córrego Indaiá foi muito alta. Também no alto curso, em alguns pontos específicos, a suscetibilidade apresentou intensidade média.

A distribuição espacial das classes mapeadas (Tabela 3) mostrou que a suscetibilidade média, foi a classe com maior em área, representando aproximadamente 40% da área total da BCI. Em seguida, a suscetibilidade de intensidade baixa, com aproximadamente 22% da área total. A intensidade muito alta foi a classe com menor área da bacia, aproximadamente 9% da área total seguida da classe muito baixa, com cerca de 12% de área de abrangência.

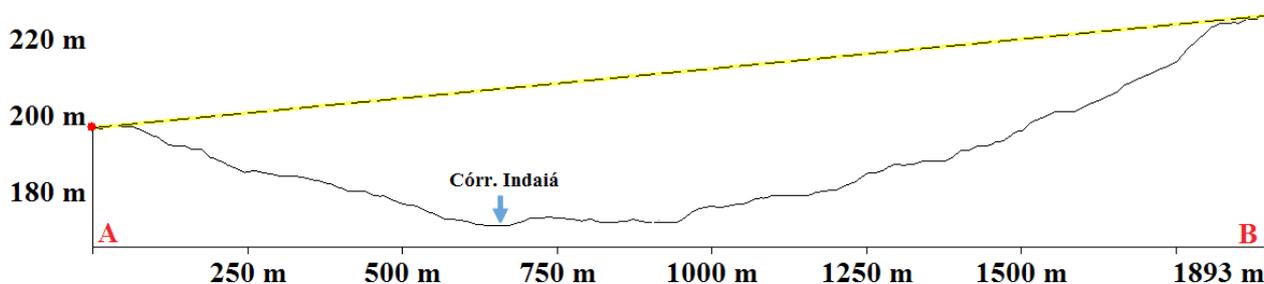
Tabela 3 – Área ocupada pelo mapa de suscetibilidade

suscetibilidade	área ocupada	
	ha	%
muito baixa	1.052,17	11,11
baixa	2.199,92	23,23
média	3.592,33	37,94
alta	1.698,98	17,94
muito alta	824,82	8,71
total	9.467,61	100,00

fonte: Elaborada pelos autores.

O perfil topográfico (A-B) foi traçado no baixo curso da bacia (Figura 6).

Figura 6 – Perfil A-B (baixo curso)

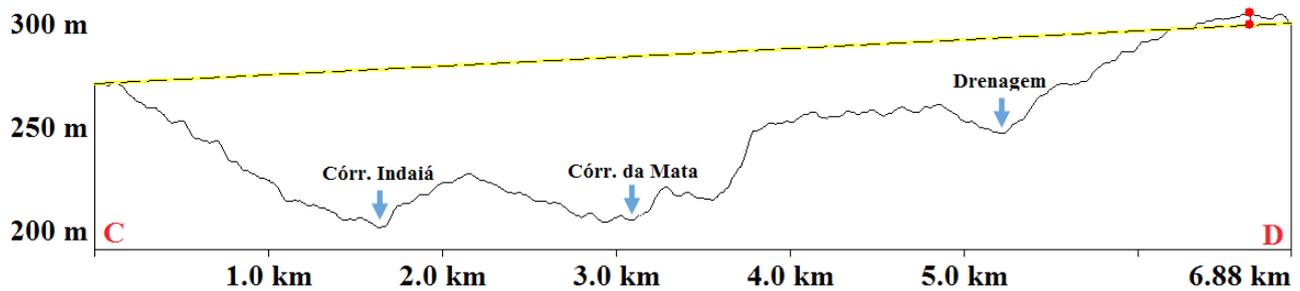


fonte: Elaborado pelos autores.

Nesse perfil, a suscetibilidade a inundações nessa área foi muito alta, concentrada apenas na planície fluvial do córrego Indaiá, na confluência com o rio Taboco. A vegetação nessa área é formada por veredas, sob a composição pedológica de gleissolo háplico, na qual, ambos atuam na dinâmica da inundações. Nas áreas adjacentes, a suscetibilidade aos alagamentos foi de média intensidade, associada, sobretudo, à baixa declividade e altitude. O restante da área apresentou uma intensidade baixa de suscetibilidade, situada em áreas de pastagens (com terraço borda oeste, lado A; e sem terraço borda leste, lado B), composta por neossolo quartzarênico, o qual tem um potencial de infiltração no solo, evitando elevado escoamento superficial e possíveis pontos de alagamento.

O perfil topográfico (C-D) está situado no médio curso da bacia (Figura 7).

Figura 7 – Perfil C-D (médio curso)



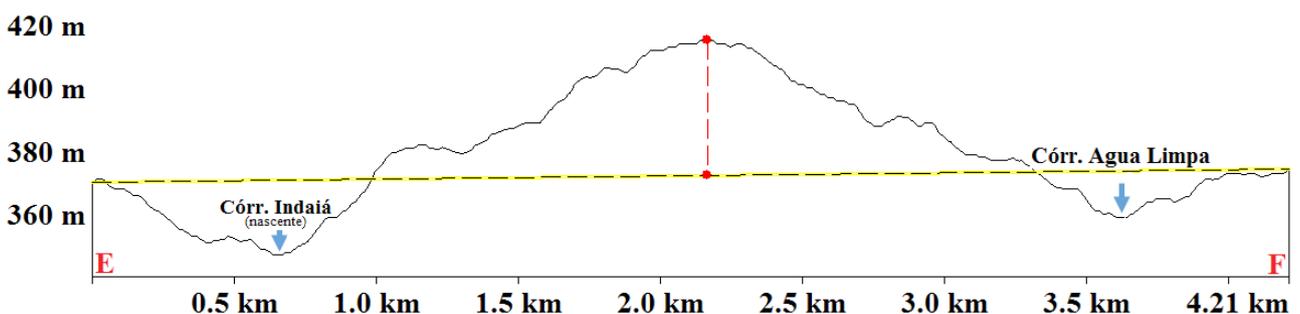
Fonte: Elaborado pelos autores.

Do ponto de vista dos alagamentos, a borda sudeste apresenta maior suscetibilidade (lado D), de média intensidade, em razão de ser uma área geomorfologicamente plana e no seu entorno relevo suave ondulado, com uma morfologia convexa associada a um solo com baixa capacidade de infiltração (argissolo vermelho-amarelo), composta por pastagem (com terraço), favorecendo assim a convergência de fluxo de água e conseqüentemente na formação de áreas alagadas. Na Planície de inundação e adjacências do córrego Indaiá, a suscetibilidade também apresentou intensidade média. Está relacionada ao aspecto do relevo suave plano, sob áreas úmidas, cobertas por veredas e vegetação densa.

Na borda norte do perfil (lado C), a intensidade variou de baixa a muito baixa, pois se trata de uma área de encosta e não favorece morfologicamente a retenção de água, pelo contrário, acelera o escoamento para altitudes menores, mesmo sendo caracterizada essa área por um solo com alta capacidade de infiltração e arenoso (neossolo quartzarênico). Todas essas características somadas, tornam essa área propagadora de escoamento superficial, atingindo altitudes mais baixas, fato que comprova a intensidade alta da suscetibilidade na planície fluvial desse perfil no sentido do ponto C para o ponto D.

O perfil topográfico (E-F) está situado no alto curso da bacia, pontualmente sobre a nascente (Figura 8).

Figura 8 – Perfil E-F (alto curso)



fonte: Elaborado pelos autores.

Nesse perfil, a suscetibilidade a inundação ficou restrita a uma pequena faixa marginal de planície fluvial devido à baixa densidade de drenagem nessa altitude. No caso dos alagamentos, a suscetibilidade variou de muito baixa a baixa. Na borda sul especificamente (lado F), algumas áreas apresentaram suscetibilidade média. Trata-se de uma área topograficamente plana, circundada por declives ondulados e montanhosos, ocupada majoritariamente por pastagem (pasto sujo e pasto com terraço). A composição pedológica favorece a diminuição dessa intensidade, formada por latossolo, que tem por essência boa drenagem superficial e subsuperficial. Todos esses aspectos integrados favoreceram na intensidade da suscetibilidade nesses pontos específicos.

Na borda norte (lado E), a intensidade variou de muito baixa a baixa. Ela está sob um relevo suavemente ondulado, formada por neossolo quartzarênico e com presença densa de floresta, a qual favorece a infiltração e a drenagem, diminuindo a condição de reter água.

De modo geral, na bacia, não houve regiões críticas com elevada suscetibilidade a inundações e/ou alagamentos. Os valores mais elevados de suscetibilidade, especificamente de inundação, variaram entre intensidade alta e muito alta, tendo ficado restritos à planície fluvial, no entorno da rede de drenagem da bacia. Além disso, verificou-se que a variação da suscetibilidade está associada à amplitude altimétrica do relevo, ou seja, a suscetibilidade aumenta à medida que decrescem as cotas altimétricas do terreno.

As regiões de suscetibilidade de média intensidade estão relacionadas sobretudo a baixas declividades e altitudes (fora da planície fluvial), solos com má capacidade de drenagem, associada ao uso sem manejo e à ausência de cobertura vegetal. A suscetibilidade muito alta está diretamente relacionada à planície fluvial ao longo da rede de drenagem, principalmente no baixo curso do córrego Indaiá, em razão das condições topográficas da bacia.

Considerações finais

A suscetibilidade a inundação e/ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá revelou que as áreas com maior potencial englobam um conjunto de fatores como ausência de cobertura vegetal, baixas declividades, solos com baixa capacidade de drenagem, padrões e formas de relevo e ação antrópica, que influenciam diretamente a dinâmica do escoamento superficial, condicionando o surgimento de novas áreas alagáveis e/ou inundáveis ao longo da rede de drenagem. Além disso, verificou-se que a ação antrópica, diretamente associada às alterações naturais relativas aos fatores citados, pode intensificar o aumento de áreas alagáveis e/ou inundáveis situadas na bacia. De modo geral, a bacia não apresentou um grau elevado de suscetibilidade; os locais onde foram mapeados os maiores índices estão concentrados em pontos específicos no mapa.

Sobre o modelo gerado, ressalta-se que os resultados foram contundentes com as variáveis ambientais analisadas, pois foi capaz de mapear pontos isolados na bacia que apresentam declive acentuado, associadas a alguma condição ambiental ou intervenção antrópica favorável ao desequilíbrio do meio ambiente. A matriz de decisão e as variáveis reclassificadas permitiram aproximar a simulação dos parâmetros ambientais, sociais e econômicos que integralmente compõem essa bacia, de modo a obter a condição real dos fenômenos. Nesse sentido, os procedimentos operacionais relativos ao uso de geotecnologias revelaram-se eficazes para o tratamento e processamento dos dados orbitais e cartográficos associados à análise integrada.

Assim, o modelo elaborado foi válido para mapear a suscetibilidade tanto a inundações quanto a alagamentos da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, podendo subsidiar ações de planejamento.

Por fim, destaca-se a importância de estudos geoambientais integrados com o intuito de subsidiar planos, metas e ações que visem o uso ordenado da terra de forma a prevenir ou minimizar o surgimento de problemas relativos à qualidade ambiental.

Referências

- AVELINO, P. H. M. **Análise geo-ambiental multitemporal para fins de planejamento ambiental:** um exemplo aplicado à bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso-Brasil. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- BANCO MUNDIAL; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Natural hazards, unnatural disasters:** the economics of effective prevention. Washington, DC: Banco Mundial, 2010.
- BRANDÃO, A. M. P.M. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 47-109.
- BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Plano de conservação da bacia do alto Paraguai: **análise integrada e prognóstico da bacia do Alto Paraguai.** Brasília: PNMA, 1997.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria Geral. **Projeto Radam-Brasil:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Campo Grande/Rio de Janeiro, 1982. Folha SE-21.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos, SP: SAE/Inpe, 2001.
- CUNHA, E. R. **Geoprocessamento aplicado à estimativa da perda de solos da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS:** subsídios para o planejamento ambiental. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS, 2015a.
- CUNHA, E. R. Geoprocessamento e SIG aplicado na identificação dos conflitos de uso da terra e legislação ambiental na bacia hidrográfica do córrego Indaiá, Aquidauana-MS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17., 25-29 abr. 2015, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa: Inpe, 2015b.

- CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; FACINCANI, E. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A. Remote sensing and gis applied to geomorphological mapping of the watershed stream Indaia, MS, Brazil. In: IAG INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 8., 2013, Paris-France.
- CUNHA, E. R.; SILVA, L. F.; AYACH, L. R.; BACANI, V. M. Imagens de alta resolução do Google Earth como base para o mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. **Revista Pantaneira**, v. 14, p. 60-68, 2012.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- HEC. HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-GeoHMS: Geospatial hydrologic modeling extension. US Army Corps of Engineers. **User's Manual**. Version 4.2. 2009. Disponível em: www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms. Acesso em: 2 jun. 2014.
- INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/index.php/noticias-sala-de-imprensa/noticias/9946-incra-lanca-complexo-de-assentamentos-em-aquidauana>. Acesso em: 29 jul. 2014.
- MANTOVANI, J. R. A. **Uso de geotecnologias para elaboração de um modelo de mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento, na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016.
- MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia. **Diagnóstico Socioeconômico do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 2012.
- MELESSE, A. M.; SHIH, S. F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1-3, p. 173-183, 2002.
- NRCS. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Chapter 7: Hydrologic Soil Groups. In: **National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology**. 2009. Disponível em: <http://directives.sc.egov.usda.gov/>. Acesso em: 15 maio 2014.
- PINTO, A. L. **Saneamento básico e suas implicações na qualidade das águas subterrâneas da cidade de Anastácio (MS)**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1998.
- ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 38-51, 2012. Edição Especial.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction: projection and forecasting**. Boston, MA: Kluwer Academic, 1991.
- SANT'ANNA NETO, J. L. O caráter transicional do clima e a diversidade da paisagem natural na região de Aquidauana. In: SEMANA DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS: DESENVOLVIMENTOS E GEOGRAFIA, 2., 1993, Aquidauana. **Anais...** Aquidauana: UFMS/CEUA, 1993. v. 1. p. 188-128.
- SANTOS, A. R.; CREPANI, E. Uso de sensoriamento remoto na conservação do solo no Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 381-384.
- SANTOS, F. A. A. **Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2010.
- SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa de chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos – Parte I: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, p. 5-18, 2011.
- SCS. SOIL CONSERVATION SERVICE. **National Engineering Handbook**, USDA, 1971.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico/Secretaria de Meio Ambiente, 2009.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2a ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1993.
- XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Lageop, 1999. Apostila de curso.