
Susceptibilidade de inundação

na Unidade de Planejamento e Gerenciamento do rio Iguatemi, Mato Grosso do Sul, Brasil

Susceptibility of flooding at the Iguatemi River
Planning and Management Unit,
Mato Grosso do Sul, Brazil

Cleiton M. Rodrigues Abrão¹

Alberto E. García-Rivero²

Jorge Olivera Acosta³

Eduardo Salinas Chávez⁴

André Berezuk¹

1 Universidade Federal da Grande Dourados. Mato Grosso do Sul, Brasil

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

3 Instituto de Geografía Tropical. La Habana, Cuba

4 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Brasil

cleiton.geografo@yahoo.com.br; albertoenrique.garcia@unmsm.edu.pe;

yoyiga2010@gmail.com; esalinasc@yahoo.com; andreberezuk@ufgd.edu.br

Cleiton M. Rodrigues Abrão: <https://orcid.org/0000-0003-1928-6769>

Alberto E. García-Rivero <https://orcid.org/0000-0002-8344-9529>

Jorge Olivera Acosta: <https://orcid.org/0000-0002-6887-5132>

Eduardo Salinas Chávez: <https://orcid.org/0000-0001-5976-0475>

André Berezuk: <https://orcid.org/0000-0002-4568-494X>

Resumo

O trabalho mapeou as áreas suscetíveis à inundação na Unidade de Planejamento e Gerenciamento da bacia do rio Iguatemi, no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, a partir do uso do modelo digital de elevação (MDE) no SIG SAGA. A partir do MDE hidrologicamente corrigido (30 x 30 m), mapas de distância vertical foram obtidos da rede de drenagem, assim como mapas das depressões fechadas, do escoamento superficial, do índice de umidade topográfico e da área de captação modificada, sendo que, por meio da soma normalizada da mesma, cenários de inundação foram obtidos. A área de estudo possui setores suscetíveis a inundações, quase inteiramente às margens de seus principais afluentes e nas margens do próprio rio Iguatemi, devido aos fatores hidrológicos (drenagem embutida), ao relevo predominantemente plano e aos solos com altas taxas de infiltração. Estas áreas suscetíveis de inundação estão localizadas em assentamentos rurais, aldeias indígenas e rodovias de grande importância para a circulação de pessoas e mercadorias.

PALAVRAS-CHAVE: inundação; fatores hidrológicos e geomorfológicos; GIS SAGA.

Abstract

Spatializing susceptible river flood areas will be very helpful for the Management and Planning Unit of Iguatemi river (Brazilian State of Mato Grosso do Sul, Brazil) through the creation of digital elevation model (DEM) within GIS SAGA interface. From a robust development of DEM drainage network (30 x 30 m), we could create some cartographical products as vertical distance maps, closed depressions topological maps, surface runoff map, maps of topographical humidity index, among other cartographical products. At last, we could spatialize relevant regional flood scenarios by the sum and interpolation of layers data and aspects. The study area shows susceptible flooding areas almost trapped on the drainage banks of its main tributaries and its main river itself, due to hydrological factors as: the embedded drainage; the predominantly smooth or plane relief; and soils which have a high infiltration rate. These critical flood areas are being located at rural settlements, indigenous villages and important regional roads to the movement of people and goods.

KEY WORDS: floods; hydrological and geomorphological factors; GIS SAGA.

1. Introdução

Segundo Olcina e Diez-Herrero (2017: 285) “*Los últimos decenios han sido pródigos en la manifestación de episodios naturales de rango extraordinario de consecuencias funestas para la población mundial. Se ha creado la impresión de una mayor ocurrencia (todavía por comprobar) de eventos excepcionales, cuando lo que realmente ha ocurrido es el incremento de la exposición de las poblaciones a los peligros naturales. Los umbrales de tolerancia ante los riesgos naturales han disminuido por el propio crecimiento de la población mundial y la ocupación intensiva del territorio. Se invaden espacios con peligrosidad, bajo la premisa del desarrollo colectivo, permitiendo que los grupos sociales se tornen vulnerables a la más mínima manifestación de las fuerzas de la naturaleza.*”

Neste contexto apresentado, evidenciamos, neste trabalho, o fenômeno das inundações sobre o território. Definimos, portanto, as inundações como a presença hídrica sobre a superfície topográfica em lugares, formas e tempos que impactam a própria dinâmica do território e produzem danos econômicos, sociais e ambientais, elencando e valorizando um viés antropocêntrico (Tucci e Mendes, 2006; Paoli *et al.*, 2015). Deste modo, as inundações, em especial as provenientes da ação dos rios, podem ser originadas por chuvas intensas ou de longa duração, as quais, de forma progressiva, aumentam os níveis fluviais até o ponto destes níveis hídricos ultrapassam os limites das margens. Estes eventos extremos estão diretamente relacionados com o tamanho, a forma e a topografia da bacia hidrográfica receptora, elementos estes que configurarão um padrão de maior ou menor tempo de recorrências destas inundações com relação ao período de um evento de precipitação. Assim sendo, bacias hidrográficas com formas próximas a um círculo, dotadas de uma área extensa, possuirão propensão à ocorrência de rápidos, extensos e intensos eventos de inundação (Chow *et al.*, 1988; Cohen e Davidson, 2011).

Nos rios que correm por zonas planas, estas inundações serão lentas, com aumentos diários dos níveis fluviais na ordem de alguns centímetros, geralmente impactando grandes áreas, mas sem ocasionar significativas perdas humanas. Todavia o contrário pode se suceder em bacias hidrográficas rurais e urbanas onde devida à forte dinâmica dos processos físico-geográficos, a velocidade das correntes do caudal será elevada, podendo ocorrer prejuízos econômicos e mesmo mortes, ainda que sua área de dano seja menor e que o tempo de permanência das áreas inundadas seja mais curto (González-Arqueros *et al.*, 2018). Esta afirmação é corroborada por (Goerl e Kobiyama, 2005), ao considerar que quanto maior é a velocidade da corrente, mesmo que esta não seja demasiadamente elevada, maior será o dano ambiental originado.

Continuando a explicação sobre as inundações, Quesada-Roman (2017) elaborou um mapa de risco de inundação baseado em mapas morfométricos e morfogenéticos para o alto setor da bacia hidrográfica do rio General na Costa Rica, onde se enfatiza, no presente estudo, a importância da forma e dos processos evolutivos do relevo relacionados à possibilidade de inundação.

Por sua vez, Medeiros *et al.*, (2019) mapearam a variação espacial e temporal da inundação e caracterizaram o fluxo de água no Pantanal usando as imagens MODIS de resolução moderada (MODIS), e o Índice de Água na Superfície Terrestre (LSWI) encontrando relação entre precipitação e transbordamento lateral dos rios da planície de inundação.

Seguindo com a evolução das metodologias nestas pesquisas García-Rivero *et al.* (2017a) e García-Rivero *et al.* (2017b), criam uma metodologia que permite a partir do Modelo digital de Elevação (MDE) e do software livre SAGA GIS (versão 2.2.2), cartografar e categorizar a vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica perante os eventos de

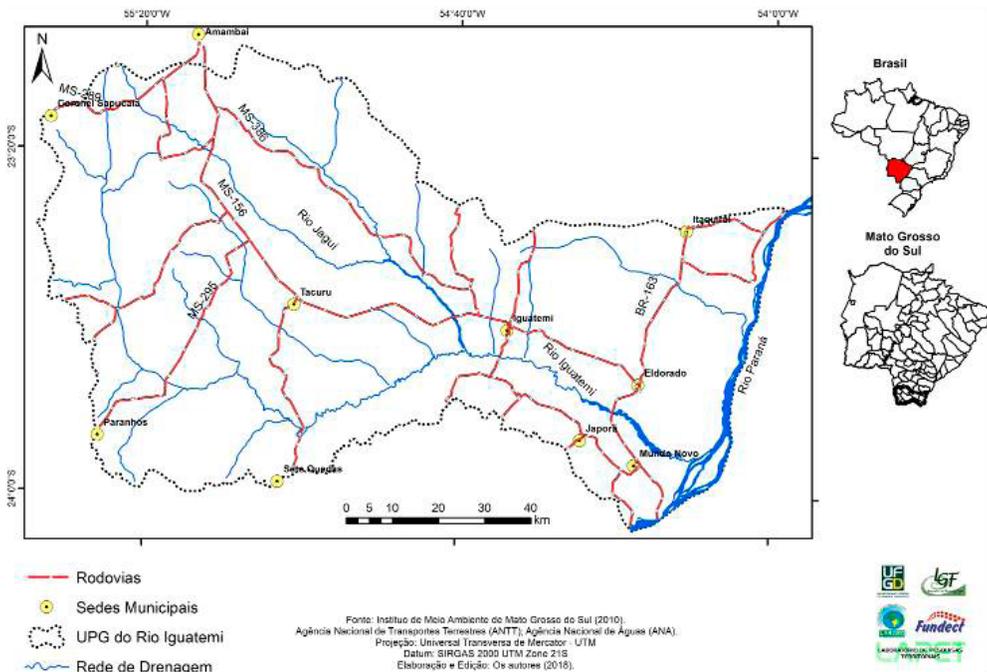
inundação fluvial e ocorrências de intensas e/ou prolongadas chuvas. Esta metodologia, aplicada com uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por sua vez, é relevante para com o planejamento e gestão das bacias hidrográficas, dotada de um potencial de visão mais amplo para a análise dos fenômenos e processos tanto naturais como sociais e econômicos que ocorrem nos limites de uma bacia hidrográfica e que têm alcançado uma importância significativa em numerosos países e regiões nas últimas décadas (Liendro e Ojeda, 2018). Este planejamento está sendo impulsionado por diversos organismos internacionais e regionais (Dourojeanni *et al.*, 2002; GWP, 2009; BID, 2012; Drake e Hogan, 2013), e também como parte dos estudos de perigos, vulnerabilidade e riscos que se têm consolidado nas últimas décadas de forma obrigatória nos trabalhos de ordenamento e pla-

nejamento ambiental e territorial (Olcina, 2007; Pérez, 2012; Olcina e Díez-Herrero, 2017).

Como exemplo para a nova validação desta metodologia proposta por García-Rivero *et al.* (2017a) escolheu-se o estudo de caso da Unidade de Planejamento e Gerenciamento (UPG) do rio Iguatemi, que abrange quase que totalmente a bacia hidrográfica do rio Iguatemi, localizada no extremo-sul do estado do Mato Grosso do Sul (FIGURA 1). Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Mato Grosso do Sul, a UPG do rio Iguatemi possui 10.119 km² de área, tendo o rio Iguatemi como o principal canal hídrico, com 321 quilômetros de extensão, e possuindo como principais afluentes os rios Jaguí, Puitã, Taquapiri, Pirajuí, dentre outros. O rio Iguatemi nasce na serra do Amambai, no município de Coronel Sapucaia e deságua na margem direita

FIGURA 1. Área de estudo correspondente à Unidade de Planejamento e Gerenciamento do Iguatemi, Mato Grosso do Sul, Brasil e sua respectiva rede hídrica

FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA



do rio Paraná, nas proximidades da cidade de Mundo Novo. No mais, convém ressaltar que a área de estudo é constituída por dez municípios (oito destes estando totalmente inseridos na UPG), sendo uma área que faz fronteira seca com a República do Paraguai, com aproximadamente 290 quilômetros de extensão (Almeida *et al.*, 2013).

A UPG do rio Iguatemi apresenta, majoritariamente, rochas areníticas da Formação Caiuá, apesar de poder apresentar os basaltos da Formação Serra Geral no talvegue dos principais canais hídricos, em especial o rio Iguatemi. Esta característica geológica possibilita um forte controle fissural na rede de drenagem. Geomorfologicamente, a UPG do rio Iguatemi apresenta um rampeamento topológico no sentido NO-SE, próprio dos divisores das bacias meridionais do estado (Mato Grosso do Sul, 1990), com uma amplitude topográfica de aproximadamente 300 metros. Em termos pedológicos, a área de estudo apresenta Latossolos Vermelho Amarelos, geralmente nos topos de vertente, e Argissolos Vermelho Amarelos nas médias e baixas vertentes. Nas áreas de baixa vertente, ao longo dos canais, também surgem Gleissolos, Planossolos e Organossolos (estes Organossolos localizados na área mais suscetível à inundações, próximo à foz do Iguatemi). Não menos importante há uma extensa área de Neossolos Quartzarênicos no setor noroeste da área de estudo, que se constitui em uma área de alta vulnerabilidade ambiental.

Convém ressaltar que a área em questão é considerada uma das mais pobres e carentes de infraestrutura do estado do Mato Grosso do Sul, com municípios dotados de baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) com relação à média do estado e da federação, em especial em seu setor mais ocidental (Mato Grosso do Sul, 2006 e 2010). Trata-se também de uma área:

- com cidades de porte pequeno, sendo a maior delas a cidade de Itaquiraí, com uma população estimada, em 2017, de 20.637 habitantes. No

total, contando os municípios localizados total ou parcialmente na área de estudo, há uma população estimada em 165.045 habitantes, em 2017 (IBGE, 2018);

- uma região com uma tensão social elevada, devido à questão da consolidação/validação de dezenas de aldeias indígenas e de assentamentos/acampamentos rurais;
- uma região que busca projetos e estratégias de desenvolvimento socioeconômico vinculados ao *agribusiness* para se acoplar ao mercado global de *commodities* (e, por isso, o avanço de culturas como a soja e o milho, copiando o modelo de desenvolvimento de outras UPGs como a UPG Amambai e a UPG Ivinhema, localizadas mais ao norte).

2. Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho utiliza-se do MDE, extraído do bando de dados do Projeto TOPODATA, no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/Brasil). O Projeto TOPODATA oferece o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura do território brasileiro, ora elaborados a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizados pelo USGS (*United States Geological Survey*) na rede mundial de computadores.

Os dados foram disponibilizados em formatos correspondentes às etapas de processamento dos dados SRTM: tais como o preenchimento de falha, o refinamento, o desvio e pós-processamento, de acordo com o fluxograma mostrado na FIGURA 2 (Forkuo, 2013; Valeriano, 2008).

A partir deste MDE e algumas funções que se encontram presentes na versão 2.2.2 do software SAGA GIS, é possível confeccionar um produto cartográfico referente aos níveis de susceptibilidade da área de estudo a possíveis eventos de inundações, conforme demonstrado na FIGURA 3,

FIGURA 2. Conjuntos de arquivos do TOPODATA produzidos ao longo do processamento dos dados SRTM. Os cinco conjuntos disponibilizados (caixas cinzas)

FONTE: [HTTP://WWW.DSR.INPE.BR/TOPODATA/INDEX.PHP](http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php)

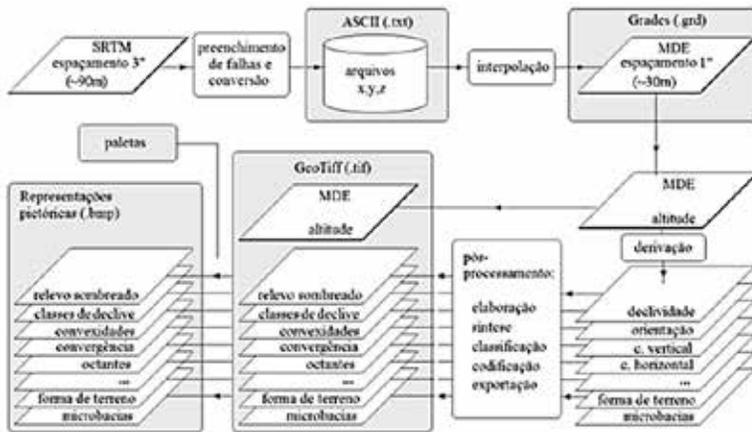
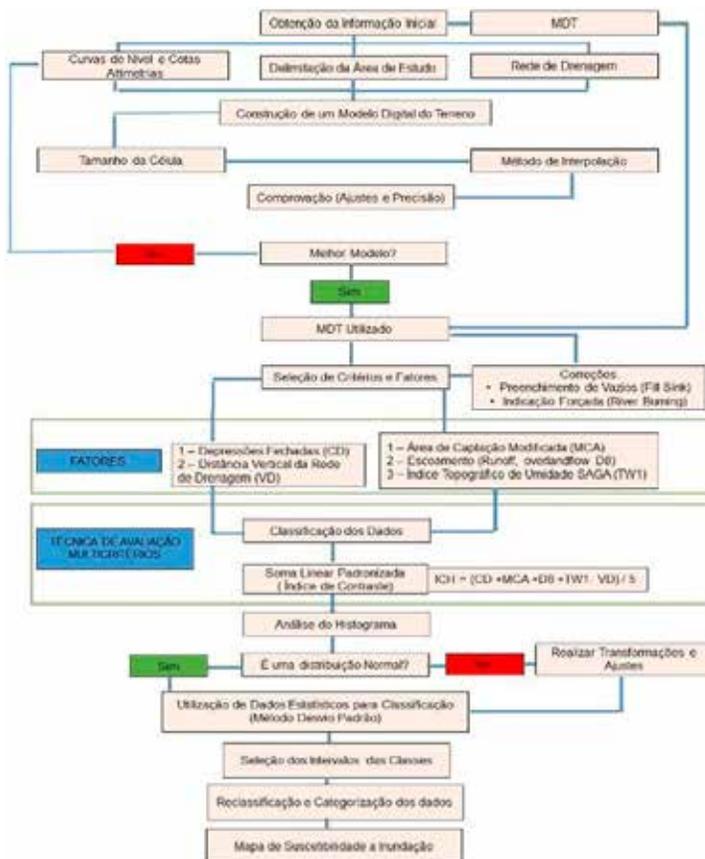


FIGURA 3. Esquema metodológico da pesquisa

FONTE: MODIFICADO DE GARCÍA-RIVERO *et al.* (2017a)



com os procedimentos metodológicos seguidos (García-Rivero *et al.*, 2017a; García-Rivero *et al.*, 2017b). Os dados referentes ao TOPODATA foram extraídos das imagens originais do radar SRTM, com resolução original de 90 x 90 m e interpolados pelo método de krigagem ordinária, na qual os pixels foram corrigidos e ajustados para uma resolução de 30 x 30 m. Deste modo, é fundamental contar com um MDE de boa precisão em consonância com a escala de trabalho utilizada de 1:150.000, conforme descrito na metodologia aplicada por Valeriano e Albuquerque (2015). Este modelo deve-se ajustar e corrigir hidrologicamente, o que contribui com a precisão e a exatidão que possam vir a ter os diferentes produtos obtidos deste procedimento, com as ferramentas do utilizado SIG.

A metodologia se baseia no pressuposto básico que o relevo é o grande elemento responsável pela distribuição hídrica na área de estudo, e que, a partir de critérios morfométricos diretamente atrelados a este relevo, se selecionarão uma gama de fatores ou parâmetros que serão calculados perante as opções disponíveis na versão SAGA GIS 2.2.2 (Conrad *et al.*, 2015; Charles Darwin University *et al.*, 2017). Deste modo, os fatores passíveis de cálculo, que serão empregados com a função de identificação das áreas com maior susceptibilidade à inundação são:

Critérios morfométricos

- Depressões fechadas (CD): consideram-se como depressões fechadas aquelas não-cársticas, caracterizadas por zonas potencialmente suscetíveis à inundação. Estas formas incluem depressões dentro de outras depressões (depressões conjuntas), ou tipos de morfologias do tipo plano-fundidas sobre o nível fluvial ordinário e que, perante a presença de intensos ou prolongados eventos de precipitação, acumulam águas do *runoff*.
- Distância vertical da rede de drenagem (VD): trata-se da diferença vertical desde a rede

de drenagem até as alturas máximas dos interflúvios. Pode-se, portanto, identificar os diferentes planos de inundação da paisagem que podem alcançar as águas do canal hídrico, através de um viés de análise geomorfológica. Através de seu valor, nos oferece o desnível altimétrico quando relacionado com a cota do canal hídrico.

- Área de captação modificada (MCA): é a área que recebe uma quantidade de fluxo que se acumula por unidade de área. Trata-se de um fator de muita importância para a descrição das inundações.
- escoamento superficial (*Runoff-overland flow D8*): o escoamento se origina quando o volume de precipitação é superior à capacidade de infiltração edáfica, devido à alta umidade do terreno que provoca a supersaturação. Existem inúmeras pesquisas que fazem referência a este fator de análise, sendo, sem dúvida, um parâmetro muito importante para a análise de inundação do terreno, pois representa a lâmina de água que circula sobre a superfície, em uma determinada rede da bacia hidrográfica.
- Índice topográfico de umidade SAGA (TW1): seu uso principal está relacionado com a produção de fluxos de escoamento superficial, dado que está relacionado à presença de saturação hídrica do solo (momento em que o nível freático chega à superfície). Estas condições ocorrem quando há a vigência de fenômenos hidrometeorológicos extremos, originando intensas ou prolongadas precipitações.

Classificação dos dados de cada mapa confeccionado

Com o modelo hidrologicamente corrigido, proceder-se-á aos cálculos dos fatores morfométricos. Em cada um destes elementos são determinados alguns parâmetros estatísticos, através da equação: Valor de classificação = $(Vi - \mu) / \sigma$

sendo que:

V_i = valor de cada célula do mapa raster

μ = média aritmética dos valores de todas as células do mapa raster

σ = desvio padrão dos valores de todas as células do mapa raster

Com o processo de classificação dos valores, se objetiva parametrizar o conjunto dos números de cada mapa e, a partir de seus dados, os valores que estarão abaixo da média serão negativos e os valores que estarão acima da média serão positivos. Com todos os mapas dos fatores classificados, obter-se-á o mapa do Índice de Contraste Hidromorfométrico (MIC), através de sua soma linear ponderada:

$$ICH = (CD + MCA + D8 + TW1 - VD) / 5$$

sendo que:

CD = depressões fechadas

VD = Distância vertical da rede de drenagem

MCA: Área de captação modificada

D8: Escoamento superficial (*Runoff*)

TW1: Índice Topográfico de Umidade do SAGA GIS

Como os valores resultantes deste Índice de Contraste Hidromorfométrico (CIM) é possível cons-

truir seu respectivo histograma. Como esse mapa é gerado através da soma ponderada desses cinco mapas que foram padronizados anteriormente (e atendem à distribuição normal de seus dados), ele também terá uma distribuição de seus dados em conformidade com o normal.

O mencionado acima permite estabelecer um grau de suscetibilidade espacial devido a inundações em várias categorias, e não em um mapa final (TABELA 1). No mais, classes são obtidas com o uso de dois dados originais, dois níveis de desvio padrão.

3. Resultados e discussão

A partir do processamento do MDE hidrologicamente corrigido foram obtidos os mapas correspondentes aos fatores morfométricos da área de estudo. As FIGURAS 4A e 4B apresentam os mapas de caracterização das depressões fechadas (CD) e a distância vertical da rede de drenagem, respectivamente. Segundo EMBRAPA (1979), a FIGURA 4A revela uma topografia plana a suave, com colinas dotadas de vertentes longas, sendo que as depressões fechadas mais abruptas estariam ‘encaixadas’ no próprio rio Iguatemi e afluentes. A FIGURA 4B, por sua vez,

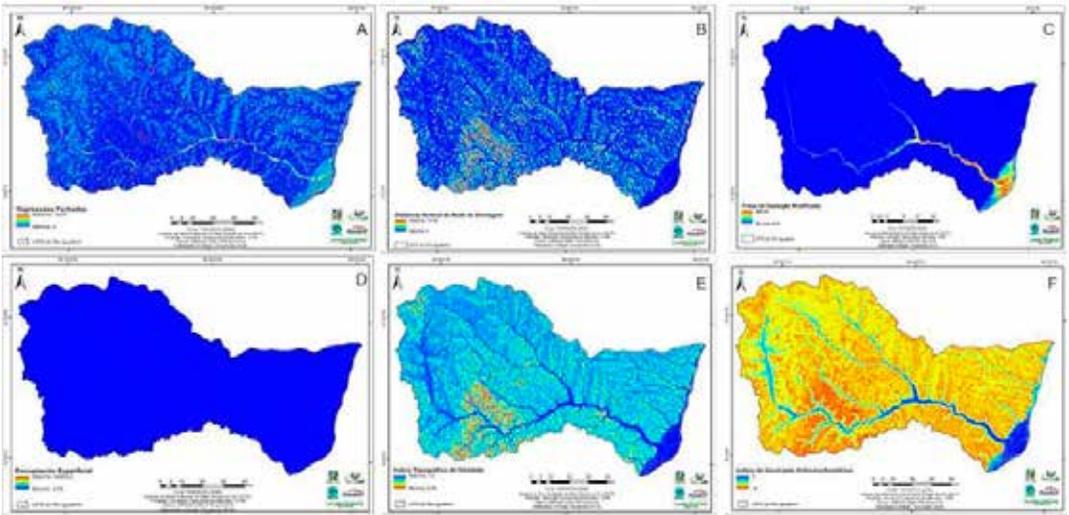
TABELA 1. Determinação dos desvios padrão para a reclassificação dos dados de susceptibilidade espacial às inundações

FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

Categorias de susceptibilidade às inundações	Amplitude das classes		Fórmula de cálculo
	Desde	Até	
Não susceptível	Valor mínimo (Vmin)	Valor médio (μ) + um desvio padrão (σ)	$V_{min} - \mu + (\sigma)$
Pouco susceptível	Valor médio (μ) + um desvio padrão (σ)	Valor médio (μ) + dois desvios padrões (2σ)	$\mu + (\sigma) - \mu + (2\sigma)$
Medianamente susceptível	Valor médio (μ) + dois desvios padrões (2σ)	Valor médio (μ) + três desvios padrões (3σ)	$\mu + (2\sigma) - \mu + (3\sigma)$
Altamente susceptível	Valor médio (μ) + três desvios padrões (3σ)	Valor máximo (Vmax)	$\mu + (3\sigma) - V_{max}$

FIGURA 4. A) Depressões fechadas (CD); B) Distância vertical da rede de drenagem (VD); C) Área de captação modificada (MCA); D) Escoamento superficial (D8); E) Índice Topográfico de Umidade (TW1); F) Índice de Contraste Hidromorfométrico

FORNTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA



revela uma área dotada de declividades não tão acentuadas, com exceção dos setores noroeste e sul-sudoeste da área de estudo, apresentando um relevo um pouco mais dissecado. Estas áreas com uma distância vertical mais acentuada apresentam um relevo de características geomorfológicas mais convexas, o que justificaria o menor índice de depressões fechadas na mesma área (depressões fechadas, por sua vez, que possuem características côncavas), evidenciando a calha do rio Iguatemi como receptor imediato do escoamento superficial regional, elevando o risco de inundação destas áreas da calha do rio e seus afluentes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Köene (2013) na bacia hidrográfica do rio Negro, cujo os locais com relevo mais plano (declividade entre 0 e 6%) são os mais afetados por episódios de inundações. Nesse sentido, ocupações humanas em áreas de planícies de inundação devem ser evitadas, pois naturalmente são mais suscetíveis a esse fenômeno.

Continuando a apresentação dos mapas (correspondentes ao fator hidrológico, representados pela determinação da área de captação modificada, o de escoamento superficial (FIGURA 4D) e o Índice Topográfico de Umidade), (FIGURA 4E). O mapa na FIGURA 4C corrobora diretamente com a centralização da calha do rio Iguatemi e o seu principal afluente, o rio Jaguí, como os maiores receptores do escoamento hídrico superficial da área de estudo. O MAPA 4D, que se refere aos níveis de escoamento superficial, revela que toda a área apresenta níveis de escoamento similares, mesmo sendo a área dotada de aspectos topográficos e pedológicos distintos, o que reforça a presença de uma característica monótona da paisagem desta área. A FIGURA 4E, por sua vez, revela que os menores índices de umidade na topografia estão localizados nos setores sul-sudoeste, áreas que representam zonas interfluviais regionais, dotadas de características geomorfológicas convexas (com maiores níveis de declividade bem nestes inter-

flúvios), e de solos que apresentam significativa capacidade de infiltração e permeabilidade (por isso o menor índice destas áreas).

Este mesmo valor aparece bem na área da nascente do rio Iguatemi. Os valores da FIGURA 4E corroboram com os dados da FIGURA 4B. Percebe-se, também, que os índices topográficos de umidade, excetuando-se as áreas referentes às calhas da rede de drenagem, não são tão elevados, o que corrobora com uma rede de drenagem pouco densa, com propensão da água à infiltração ao invés do escoamento. Ou seja, a área possui uma tendência hídrica à infiltração ao invés do escoamento, o que é ainda mais perceptível nas áreas de Latossolo e de Neossolo Quartzarênico. Neste tipo de caracterização, o risco de inundação fica restringido às áreas bem próximas aos rios e córregos principais. Resultados parecidos foram encontrados por Mantovani e Bacani (2018), cujas áreas de relevo mais alto e íngreme apresentam pouca suscetibilidade a inundação, ficando restrita nas planícies de inundação. Outro fator elencado pelos autores é que a maior área de inundação ocorre em locais de confluência dos canais, pois há o represamento da água, o que dificulta seu escoamento.

Após esta etapa, os valores dos cinco mapas apresentados foram classificados mediante a processo de padronização estatística, aplicando-se a soma linear ponderada dos mesmos, para a obtenção do mapa de Índice de Contraste Hidromorfométrico (FIGURA 4F), onde os valores resultantes possuem uma amplitude de -5 a 5, representando -5 a mais baixa susceptibilidade e 5 a mais alta susceptibilidade às inundações.

Com o objetivo de classificar este mapa sintético em categorias representativas do fenômeno de inundações, analisou-se o comportamento estatístico dos valores obtidos (TABELA 2). A FIGURA 5, portanto, mostra o histograma correspondente

a estes dados, de onde foi possível observar uma boa distribuição normal dos dados.

Além da forma gaussiana do histograma de frequência, nos descritores estatísticos do comportamento dos dados (TABELA 2), é possível observar como a média é -0,34117 e o desvio padrão é 1.48396, muito próximo da média com valor zero, e o desvio padrão é igual a 1 da distribuição normal. Da mesma forma, a média, o modo e a mediana mostram valores muito próximos (-0,34117, -0,35913 e -0,37000 respectivamente), comportamento típico de uma distribuição normal, enquanto se analisarmos assimetria e curtose (0,35200 e 1,27662, respectivamente), é verídico outro postulado de normalidade em que a assimetria é zero e a curtose deve ser menor que 3. Finalmente, também é verdade que os valores máximo e mínimo ficam entre a faixa da média + 3 (desvios padrão) e a média - 3 (desvios padrão). No mais, além do que foi dito acima, de acordo com o Teorema do Limite Central, pode-se inferir que, para amostras grandes, os dados se ajustam a uma distribuição normal e o mapa do Índice consiste em 10.884.876 dados.

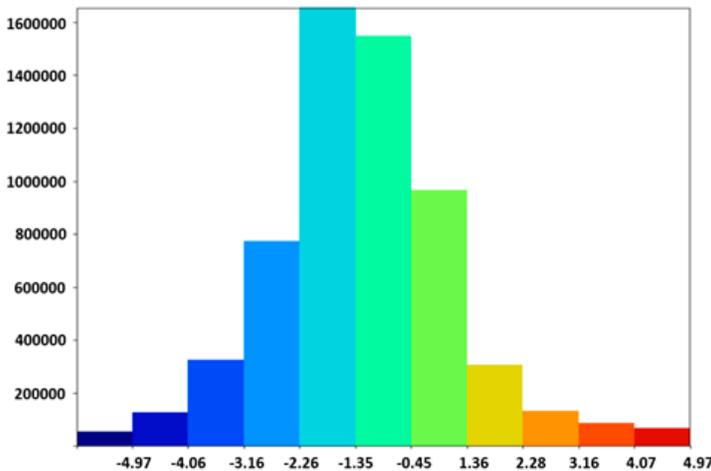
TABELA 2. Principais descritores estatísticos do comportamento dos dados do mapa de Índice de Contraste Hidromorfométrico

FONTES: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

Variável	Valor
Número total de dados	10 884 876
Mínimo	-4.99997
Máximo	4.99970
Range	9.99994
Média	-0.34117
Moda	-0.35913
Mediana	-0.37000
Variância	2.21200
Desvio padrão	1.48396
Curtose	1.27662
Assimetria	0.35200

FIGURA 5. Histograma dos valores do mapa de Índice de Contraste Hidromorfométrico. As cores se referem aos intervalos do mapa da figura 4F. No eixo X se expressam os valores obtidos para cada categoria nesse mapa, e no eixo Y, está representada a frequência dos referidos valores

FORTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA



Dadas as evidências descritas, não se manifesta como necessária a realização de um teste de qualidade do ajuste para confirmação de uma distribuição normal para aplicação da metodologia dos desvios padrão para sua categorização, chegando ao produto cartográfico final de susceptibilidade às inundações fluviais na área da Unidade de Planejamento e Gerenciamento do rio Iguatemi.

Os dados revelam, através da utilização da metodologia proposta, que a UPG do rio Iguatemi é uma área que apresenta setores suscetíveis à inundação, quase que totalmente nas margens de seus principais afluentes e nas margens do próprio rio Iguatemi (FIGURA 6).

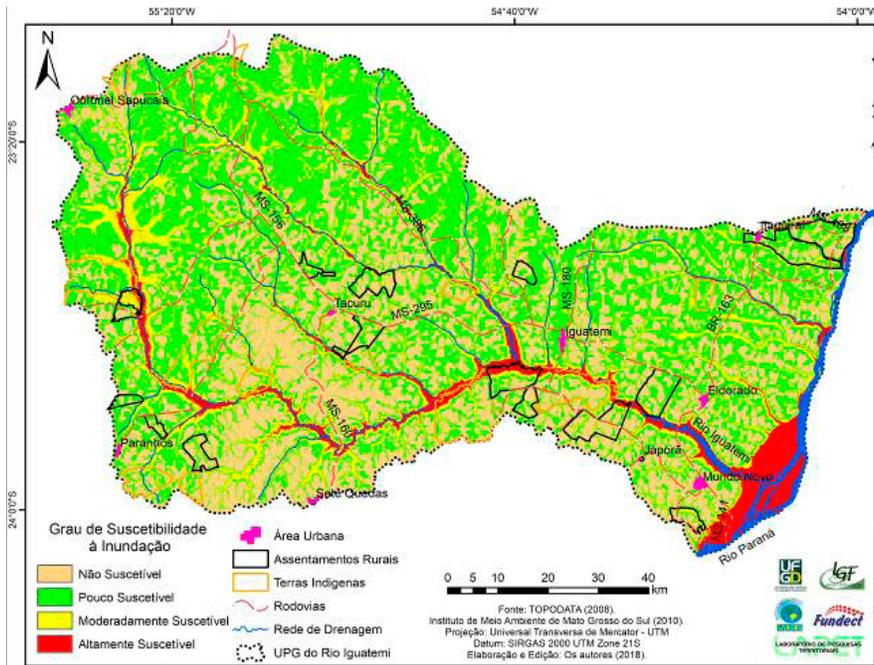
A UPG do Iguatemi apresenta um Índice de Circularidade de Müller de 0,7 (Müller, 1953), o que indica favorecimento no processo de inundação, e um Índice de Compacidade de Gravellius no de valor 1,5 (que se encontra dentro da média de 1,14 a 1,52), (Teixeira, *et al.*, 2012; Singh, 2016). Esta bacia, como reforçamos, é composta por uma área plana a suavemente ondulada, dotada, em grande parte, por solos com textura arenosa

que fazem deste território uma área dotada de maior vulnerabilidade às inundações quase que apenas próximos aos canais e áreas de várzea. Nesses locais, estão localizados principalmente, assentamentos rurais e terras indígenas, áreas portanto, vulneráveis a inundações o que pode possibilitar danos materiais como a perda de lavouras e animais em decorrência de cheias e transbordamento dos rios e até mesmo risco de perdas humanas.

Uma característica geológica/geomorfológica típica desta área de estudo é o talvegue do rio Iguatemi e de afluentes principais como o rio Jaguá que são compostos, em boa parte de seus cursos, por basaltos da Formação Serra Geral (Mesozóico, 130 m.a a 140 m.a), enquanto as margens dos rios e córregos são predominantemente compostas pelos arenitos da Formação Caiuá (Cenozóico, 70 m.a). Esta configuração geológica faz com que os rios e córregos da UPG Iguatemi fluam por canais superficiais encaixados, aspecto geomorfológico que ‘controla’ as áreas de inundação próximas à rede de drenagem. Em áreas dotadas de talvegues

FIGURA 6. Mapa de Suscetibilidade à Inundação da UPG do rio Iguatemi

FORTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA



arenosos, onde os rios e córregos não correm pelas rochas basálticas, o canal tende a ser mais largo e raso, onde se favorece a formação de banhados e áreas de várzea. Todavia, esta ainda é uma configuração física limitada às áreas próximas da rede de drenagem, segundo os resultados apresentados.

A área da UPG Iguatemi possui declividades geralmente não superiores a 8%, constituindo-se, em sua maioria, em áreas planas a levemente onduladas sendo que declividades levemente mais acentuadas (15% a 20%) podem se apresentar em áreas constituídas por Neossolos Quartzarênicos, presentes, em especial, no setor centro-oeste e noroeste da área da unidade de planejamento e gerenciamento. Estas baixas declividades, que são típicas da topografia do extremo-sul do estado do Mato Grosso do Sul, aliadas à ocorrência de solos Latossólicos Vermelho Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, favorecem a uma alta porosidade

edáfica e, conseqüentemente, uma alta permeabilidade hídrica. Esta porosidade edáfica e esta permeabilidade hídrica elevada (próprios de solos de natureza arenosa em áreas relativamente planas) fazem com que esta bacia hidrográfica tenha uma rede de drenagem pouco densa e, quando está presente esta drenagem, que esta se configure as áreas com susceptibilidade às inundações.

Nas áreas mais deprimidas, por sua vez, ocorre à presença de solos mais saturados (Gleissolos, Organossolos e Planossolos em especial) e de Argissolos Vermelho Amarelos em áreas de baixa vertente. A combinação Latossolo Vermelho Amarelo, em áreas de alta a média vertente, e de Argissolo Vermelho Amarelo em áreas de média a baixa vertente, são comuns na área de estudo, em especial no setor oriental da bacia do rio Iguatemi, próximo ao rio Paraná. Por sua vez, no setor mais ocidental da bacia, em especial

nos municípios de Tacuru e Paranhos, as áreas de Neossolo Quartzarênico são mais presentes e os cursos que perpassam estas áreas são geralmente rasos, com alta tendência ao assoreamento quando não protegidos por vegetação ciliar.

Assim sendo, a susceptibilidade às inundações é uma probabilidade possível em áreas ambientalmente bem determinadas na bacia do rio Iguatemi, em especial em áreas próximas aos rios onde estão situados assentamentos e aldeias indígenas (que possuem terras demarcadas). Esta situação, por sua vez, pode levar a uma futura expansão da susceptibilidade às inundações das áreas deprimidas, caso o uso da terra nestas áreas seja ambientalmente mau empregada, perante às limitações da paisagem local e regional. No mais, os altos níveis de carregamento de sedimentos não são apenas uma preocupação dos afluentes do rio Iguatemi ou do próprio Iguatemi (rio que historicamente é considerado com boa profundidade e boa vazão hídrica em seus setores médio e baixo), mas ao próprio acúmulo de sedimentos no rio Paraná, o que é uma preocupação de décadas da represa de Itaipu, localizada aproximadamente 300 km mais ao sul.

Em uma escala mais detalhada em locais como distritos, cidades e rodovias ou mesmo patrimônios que estejam localizados próximos ao rio Iguatemi ou principais afluentes, estes possuem uma maior vulnerabilidade aos eventos de inundações. Entretanto, a maior probabilidade de ocorrência de dano ambiental, na área de estudo, parece estar mais vinculada aos processos erosivos e não às inundações. Outra questão que deve ser levada em consideração é de que quase toda a área de estudo, que, em princípio foi classificada como de preservação ambiental pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Mato Grosso do Sul (2006), está sendo gradativamente mais impactada pelas atividades agrícolas vinculadas ao plantio de soja e milho, que também sofrem prejuízos com inun-

dação. Convém ressaltar que os solos da área de estudo são de característica arenosa e a expansão das áreas de lavouras acarreta influência direta na quantidade de solos erodidos e no carregamento de sedimentos nos rios e córregos da área, impactando os canais, assoreando-os. Este tipo de procedimento já é vigente no rio Jaguí, afluente do rio Iguatemi, com amplas áreas assoreadas. Este fato pode, em breve, fazer ampliar as áreas suscetíveis à inundações.

4. Conclusões

Através do uso da metodologia empregada neste trabalho foi possível a delimitação das áreas suscetíveis às inundações na Unidade de Planejamento e Gerenciamento do rio Iguatemi. Trata-se de uma metodologia de pesquisa ainda pouco utilizada no Brasil, o que valoriza o presente trabalho. As áreas de inundações, portanto, estão restritas às áreas próximas às redes de drenagem, em especial às áreas próximas das margens do rio Iguatemi e principais afluentes como o rio Jaguí. Estas áreas próximas a estes principais corpos de água são realmente as áreas de maior vulnerabilidade para com este tipo de evento extremo.

A especial delimitação das áreas das calhas dos rios e córregos é característica regional de uma delimitação topográfica e pedológica, configurações estas que permitem uma significativa infiltração e transmissividade hídrica, com posterior escoamento superficial em caso de excesso hídrico. A área de estudo, composta por relevo plano a suave, dotada de colinas com vertentes geralmente longas e solos profundos e arenosos influem neste tipo de espacialização das áreas de inundações.

Também é importante que se ressalte que este trabalho possui uma escala de análise na abrangência mesoescalar, onde se enfatiza o regional e não o local. Isto significa que este trabalho não

possui condições técnicas para analisar as áreas de inundação nas margens dos rios em um aspecto local (em escalas de análise de 1:10.000 ou mesmo 1:25.000). Ou seja, o trabalho delimita áreas de susceptibilidade às inundações, mas não se arrisca a analisar áreas de propriedades privadas,

aldeias ou outros tipos de benfeitorias localizados em área de potencial e direto risco. O trabalho em questão possui, portanto, um aspecto territorial regional, visando contribuir com zoneamentos e/ou ordenamentos regionais e estaduais.

5. Referências citadas

- ALMEIDA, L. F. R. DE; BROCH, S. A. O.; DIAS, C. A. e T. ALVES. 2013. "Análise do gerenciamento dos recursos hídricos de Mato Grosso do Sul". *REGA*, 10(1): 5-1
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). 2012. *El Reto del manejo integrado de cuencas hidrográficas*. Washington, Estados Unidos de América.
- CHARLES DARWIN UNIVERSITY - UNIVERSITAS NUSA CENDANA & UNIVERSITAS HALU OLEO. 2017. *Satellite Image Analysis and Terrain Modelling – A practical manual for natural Resource management, desastre risk and development planning using free geospatial data and software*. Disponível em: <http://sagatutorials.wordpress.com>. [Acessado: outubro, 2018].
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. & L.W. MAYS. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. New York, USA.
- COHEN, A. & S. E. DAVIDSON. 2011. "The watershed approach: challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit". *Water Alternatives*, 4(1): 1-14.
- CONRAD, O; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; V. WICHMANN, V. & J. BÖHNE. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. 2015. *Geosci. Model Dev*, 8: 1.991-2.007. doi:10.5194/gmd-8-1991-2015
- DOUROJEANNI, A.; JOURAVLEV, A. y G. CHÁVEZ. 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL. Santiago de Chile, Chile.
- DRAKE, K. & M. HOGAN. 2013. *Watershed management guidebook: a guide to outcome-based watershed management*. Integrated Environmental Restoration Services Inc. California, USA.
- EMBRAPA. 1979. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Brasil.
- FORKUO, E. K. 2013. "The use of digital elevation models for water-shed and flood hazard mapping". *International Journal of Remote Sensing and Geosciences*, 2(2): 56-65.
- GARCÍA-RIVERO, A. E.; OLIVERA, J.; SALINAS, E. y I. FARRÉS. 2017a. "Uso de índices hidrogeomorfológicos para la caracterización de áreas inundables en Madre de Dios, Perú, y cuenca del río Cojímar, Cuba". En: M. N. BOIN y C. S. MARTINS (Orgs.), *Planejamento e análises ambientais*. pp. 133-161. Primera Edición. Editora ANAP. São Paulo, Brasil.
- GARCÍA-RIVERO, A. E.; OLIVERA, J.; SALINAS, E.; YULI, R. A. & W. BULEGE. 2017b. "Use of Hydrogeomorphic Indexes in SAGA-GIS for the characterization of flooded areas in Madre de Dios, Peru". *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(19): 9.078-9.086.

- GOERL, R. F. e KOBIYAMA MASATO. 2005. Considerações sobre as inundações no Brasil. *Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. CD-ROM. João Pessoa, Porto Alegre, Brasil. (09-13 de novembro).
- GONZALEZ-ARQUERO, M. L.; MENDOZA, M. E.; BOCCO, G & B. SOLÍS. 2018. "Flood susceptibility in rural settlements in remote zones: the case of a mountainous basin in the Sierra-Costa region of Michoacán, Mexico". *Journal of Environmental Management*, 223: 685-693.
- GWP-INMBO. 2009. *Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas*. Paris, Francia. Disponível em https://issuu.com/gwp-publ/docs/inbo_gwp_handbook_i_sp/7. [Acessado: julho, 2018].
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2018. *Cidades*. Brasília, Brasil. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/>. [Acessado: março, 2018]
- KÖENE, R. 2013. "A relação entre as inundações e as características geomorfológicas da cidade de Rio Negro/PR". *Rev. Geografia Ensino & Pesquisa*, 17(3): 175-190.
- LIENDRO, J. y E. OJEDA. 2018. "Aproximación al mapa de susceptibilidad a inundación en la cuenca del río Boconó". *Terra Nueva Etapa*, XXXIV (55): 119-140.
- MANTOVANI, J. R. e V. M. BACANI. 2018. "Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS". *GEOUSP Espaço e Tempo*, 22(3): 687-706. Disponível em: www.revistas.usp.br/geousp. doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.146752>.
- MATO GROSSO DO SUL. 1990. *Atlas Multirreferencial do Mato Grosso do Sul*. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Campo Grande, Brasil.
- MATO GROSSO DO SUL. 2006. *Zoneamento Ecológico-Econômico do Mato Grosso do Sul*, Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Campo Grande, Brasil.
- MATO GROSSO DO SUL. 2010. *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul*, Editora UEMS. Campo Grande, Brasil:
- MEDEIROS G. B.; CORREA, J. W. C.; TONDATO, K.K.; ANGEOLETTO, F. e S. M. LOVERDE-OLIVEIRA. 2019. "Mapeamento da inundação por LSWI e caracterização dos fluxos d'água na bacia do Alto Paraguai, Pantanal Norte, Brasil". *Revista Geográfica Venezolana*, 60(1): 33-22. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/46062>. [Acessado: agosto, 2019].
- MÜLLER, V. C. 1953. *A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee*. Dept. of Geology. New York, USA.
- OLCINA, J. 2007. *Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en España*, Editorial Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. Murcia, España.
- OLCINA, J. y A. DÍEZ-HERRERO. 2017. "Cartografía de inundaciones en España". *Estudios Geográficos*, LXXVIII (282): 283-315.
- PAOLI, C. U.; DONDEYNAZ, C. y C. CARMONA-MORENO. 2015. *Gestión integrada de crecidas. Guía y caso de estudio*. Report EUR 27493 ES, Joint Research Centre–Institute for Environment and Sustainability. Copenhagen, Denmark.
- PÉREZ, A. 2012. "Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la Región de Murcia". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58: 57-82.
- QUESADA-ROMAN, A. 2017. "Geomorfología fluvial e inundaciones en la cuenca alta del río General, Costa Rica". *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 40(2): 278-288.

- SINGH, V. P. 2016. *Handbook of Applied Hydrology*, Second Edition, McGraw-Hill. New York, USA.
- TEIXEIRA, A.; GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. e F. GRISON. 2012. Morfometria de bacias embutidas na gestão de bacias hidrográficas-rio Negrinho, SC. *VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental*, UNESC/ASBEA. Criciúma, Paraná. (29 de abril à 01 de maio).
- TUCCI, C. E. M. e C. A. MENDES. 2006. *Avaliação ambiental integrada da bacia hidrográfica*. Secretaria de Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasil. Disponível em <https://www.iisd.org/itn/2013/06/26/the-quest-for-commodities-chinese-investment-in-farmland/>. [Acessado: agosto, 2018].
- VALERIANO, M. M. e P. C. G. de ALBUQUERQUE. 2015. Derivação de Modelo Digitais de Elevação (MDE) em coordenadas geográficas. *ANAIS...Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. pp. 1.860-1.867. Joao Pessoa, Brasil. (25 a 29 de abril).
- VALERIANO, M. M. 2008. *TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais*. INPE. São Jose dos Campos, Brasil.