



## Álgebra de Mapas na Elaboração de Carta de Risco à Inundação *Map Algebra in Flood Risk Map Elaboration*

Yani Scatolin Mendes<sup>1</sup>; Vinícius de Oliveira Ribeiro<sup>1</sup>; Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>2</sup> & Taís Arriero Shinma Galbetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Laboratório de Modelagem Computacional em Saneamento e Geotecnologias, Rodovia Dourados-Itahum Km 12, Cidade Universitária, 79804-970, Dourados, MS, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais, Avenida Costa e Silva s/n, Cidade Universitária, 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil

E-mails: [yanimendes@gmail.com](mailto:yanimendes@gmail.com); [vinciusoribeiro@yahoo.com.br](mailto:vinciusoribeiro@yahoo.com.br); [antonio.paranhos@pq.cnpq.br](mailto:antonio.paranhos@pq.cnpq.br); [profshinma@gmail.com](mailto:profshinma@gmail.com)  
DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_2\\_349\\_362](http://doi.org/10.11137/2020_2_349_362); Recebido: 01/02/2020 Aceito: 22/04/2020

### Resumo

A urbanização sem o devido planejamento tem provocado alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas, tendo como uma das consequências as inundações. A utilização de metodologias aplicadas à identificação de áreas inundáveis possibilita a prevenção da ocupação de locais susceptíveis à inundação, reduzindo impactos socioeconômicos. Dessa forma, o presente trabalho visou identificar as áreas com risco à inundação de uma bacia hidrográfica, com o auxílio de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) livre e gratuito. Foram elaboradas cartas temáticas, sendo utilizados os seguintes parâmetros: pontes; áreas úmidas; matas ciliares; solos; declividade; e uso e ocupação do solo. A partir da álgebra de mapas, foi possível combinar essas cartas e gerar a carta final das áreas de risco à inundação. As áreas que apresentam maiores riscos a inundações estão situadas em áreas dispersas: próximas ao exutório (região sul), também nas regiões nordeste (área urbanizada) e centro-oeste da bacia, sendo predominantemente áreas de baixa declividade, representando 37% da área total da bacia. Enquanto a classe de baixo risco a inundação abrange 3% da área total, sendo áreas compostas por vegetação e maiores declividades. A obtenção desses resultados poderá servir como de apoio aos gestores públicos municipais, para que então insiram regulamentos e fiscalização, garantindo que os locais com risco à inundação sejam ocupados de maneira adequada pela população.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Inundação; Álgebra de mapas

### Abstract

Unplanned urbanization has caused changes in the natural conditions of river basins, with one of the consequences being floods. The use of methodologies applied to the identification of flood areas makes it possible to prevent the occupation of flood susceptible sites, reducing socioeconomic impacts. Thus, the present work aimed to identify flood risk of a watershed, facilitated by free GIS (Geographic Information System). Thematic maps were elaborated using the following parameters: bridges; wetlands; PPAs (Permanent Preservation Areas); soils; slope; and soil use and occupation. From map algebra, it was possible to combine these maps and generate the final maps of flood risk areas. The areas of high risk to floods are located in scattered areas: near the exutory (southern region), also in the northeast region (urbanized area) and midwest region, being predominantly areas of low slope, representing 37% of the total area. While the class of low risk to floods covers 3% of the total area, being areas composed of vegetation, with higher slopes. These results can serve as a support to municipal public managers, so that they can insert regulations and enforcement, ensuring that the population appropriately occupies flood-risk places.

**Keywords:** Geoprocessing, Flood, Map algebra

## 1 Introdução

O processo de urbanização no Brasil teve a sua intensificação a partir da segunda metade do século XX, quando se aumentou a busca por locais para o desenvolvimento de atividades produtivas e para a construção de moradias (Nascimento & Matias, 2011). A urbanização não controlada tem provocado alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas (Poletto & Tassi, 2012), tendo como uma das consequências as inundações (Poletto & Tassi, 2012).

Dentre as principais causas das inundações, está a crescente e contínua impermeabilização do solo, que diminui a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial (Faria & Pedrosa, 2005; COBRAPE, 2018).

As inundações causam impactos ambientais e socioeconômicos, dentre os impactos ambientais cita-se a contaminação da água, o comprometimento da rede de água e esgoto, o comprometimento da coleta e disposição dos resíduos sólidos e a alteração nos ciclos dos vetores (Organização Pan-Americana da Saúde, 2015). Em relação aos impactos socioeconômicos observa-se: danos materiais e de infraestrutura, traumas físicos e psicológicos, óbitos e ainda a ocorrência de doenças (Organização Pan-Americana da Saúde, 2015). Segundo dados do Banco Mundial no Brasil, em 20 anos (1994-2014), os desastres naturais provocaram perdas de R\$ 182,7 bilhões e 40% delas são atribuídas aos eventos hidrológicos, presentes em todas as regiões do país (Brasil, 2018).

Considerando a necessidade de estudos que possam acompanhar e auxiliar na prevenção a inundações, as técnicas de geoprocessamento tornaram-se indispensáveis para o mapeamento de áreas de risco à inundação, sendo fundamentais para a aquisição de dados consistentes e para o processamento dos dados. Essas técnicas fornecem produtos capazes de subsidiar o planejamento e gestão de áreas, proporcionando uma significativa redução de tempo e custo (Santos *et al.*, 2016).

Ante o exposto, o objetivo deste trabalho foi elaborar uma metodologia para obtenção de carta das áreas com risco à inundação na área de estudo, por meio da utilização de geotecnologias livres e gratuitas. Assim, foi possível identificar as áreas mais favoráveis à ocupação humana, de forma a contribuir com o planejamento urbano e auxiliar nas tomadas de decisões realizadas na área.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do córrego Curral de Arame, que está localizada no município de Dourados/MS, nas coordenadas de 54°49' a 54°56' de longitude oeste, e 22°11' a 22°23' de latitude sul.

No município de Dourados/MS, na primeira década do século XXI, as atividades do mercado imobiliário geraram um padrão de expansão urbana extensiva, com o crescimento horizontal da cidade, por meio da conversão da terra rural em terra urbana (Silva, 2017).

A bacia hidrográfica do Córrego Curral de Arame, localizada na região central do município de Dourados (Ferreira, 2014), tem se tornado uma área vulnerável à degradação ambiental e à ocorrência de inundação, haja vista a recente ampliação do perímetro urbano, conforme a Lei Municipal nº 3.929 de 01 de outubro de 2015 que dispõe sobre o perímetro urbano da cidade de Dourados, e a ocupação do local por loteamentos (Dourados, 2015).

O Solo predominante da região é o Latossolo Vermelho Distroférico (IBGE, 2019). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos), pois a temperatura do mês mais frio é inferior a 18° C e a do mês mais quente é superior a 22° C (Fietz & Fisch, 2008). A precipitação média anual varia de 1.400 a 1.700mm, sendo os meses de novembro, dezembro e janeiro os mais chuvosos (EMBRAPA, 2000).

A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica do Rio Dourados, na UPG (Unidade de Planejamento e Gerenciamento) do Rio Ivinhema, na bacia do Rio Paraná, apresentando relevo plano e suave ondulado (IBGE, 2019).

### 2.2 Delimitação da Bacia Hidrográfica

Para a delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Curral de Arame foram utilizadas imagens da missão SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (USGS, 2019) de órbita-ponto 225/75 com resolução espacial de 30 m, e a carta topográfica oficial Dourados, escala 1:100.000, elaborada pela Divisão de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro

– DSG (DSG, 2019). O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM (Universal Transversa de Mercator), as imagens e as cartas foram convertidas para o Datum SIRGAS 2000.

A delimitação da Bacia Hidrográfica foi feita com o auxílio do *software* QGIS 2.18.16 (QGIS Development Team, 2019), através do pacote de algoritmos GRASS. Com a utilização do algoritmo *watershed*, foram geradas as direções de drenagem, em metodologia proposta por Correa *et al.* (2017),

para obtenção de Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de MDS SRTM.

A Figura 1 apresenta a carta da bacia, com os limites da bacia encontrados, assim como os segmentos de fluxo, com uma imagem de fundo do satélite Sentinel (USGS, 2019), com data de passagem no dia 16/09/2019, na composição cor verdadeira RGB 3-2-1.

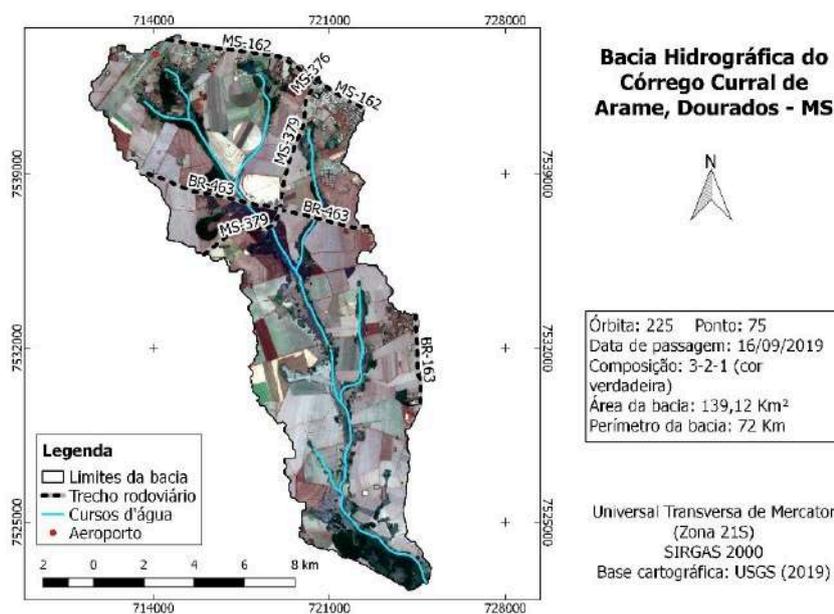


Figura 1 Carta apresentando os limites da bacia, os cursos d'água e os trechos rodoviários.

### 2.3 Cartas Temáticas

As cartas temáticas foram elaboradas com base em diferentes critérios, sendo que para definir as variáveis que seriam representadas, foi realizado um levantamento da literatura relacionada ao tema. As cartas foram divididas em limitantes e não limitantes.

Para a elaboração da carta limitante, consideraram-se as cartas que possuíam áreas que continham apenas duas possibilidades no tocante a ocorrência de inundações: 0 (áreas com alto risco à inundação) e 1 (áreas com baixo risco à inundação). Como cartas limitantes consideraram-se: a carta de pontes, a carta de áreas úmidas; e a carta de matas ciliares.

Consideraram-se como cartas não limitantes aquelas que possuíam áreas com variabilidade de risco à inundação. As cartas consideradas foram: a carta de solos; a carta de declividade; e a carta de

uso e ocupação do solo. Recebendo os pesos: 0 (áreas com alto risco à inundação); 1 (áreas com moderado risco à inundação); e 2 (áreas com baixo risco à inundação).

As cartas limitantes e não limitantes foram inter-relacionadas por meio de álgebra de mapas, a fim de gerar a carta de áreas de risco à inundação.

#### 2.3.1 Carta de Pontes (Po)

Segundo Tucci (1995), as inundações localizadas podem ser provocadas por estrangulamento da seção do rio devido a aterros e pilares de pontes, estradas, dentre outros. Com este enfoque, elaborou-se uma carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das pontes.

Para isso, foram selecionados na bacia hidrográfica pontos por onde passam pontes, de modo a simular os estrangulamentos. Foram feitas visitas *in loco*, em que se aferiu as coordenadas

dos pontos, com auxílio do GPS Garmin modelo GPSMAP 76CSx (precisão < 10 m); e as alturas das pontes foram medidas por meio de trena a laser modelo BOSCH GLM 30 (precisão de 2 mm).

Em ambiente SIG, a partir da imagem da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (USGS, 2019), com data de passagem em 23/09/2014, calculou-se as áreas de risco de inundação, por meio do algoritmo *r.lake.layer*, pertencente ao pacote de algoritmos *GRASS*.

O arquivo *raster* contendo os dados de elevação do terreno, correspondente à imagem SRTM; e os dados de altura do nível d'água, que é correspondente à soma da altitude do ponto aferido com GPS (nas margens do córrego) acrescida a altura da ponte, foram inseridos como parâmetros de entrada do algoritmo.

Como resultado, obteve-se as áreas que formam lagos de inundação, oriundos dos estrangulamentos de pontes, consideradas como áreas de alto risco de inundação; enquanto que as outras áreas que não seriam inundadas pela simulação são consideradas como áreas de baixo risco de inundação. Para os dois tipos de áreas foram atribuídos pesos de diferentes valores, como mostra a Tabela 1:

Área	Risco à inundação	Peso
Inundada	Alto	0
Não inundada	Baixo	1

Tabela 1 Pesos e riscos à inundação conforme as áreas inundadas pelas pontes.

Assim, gerou-se a carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das pontes (Figura 2).

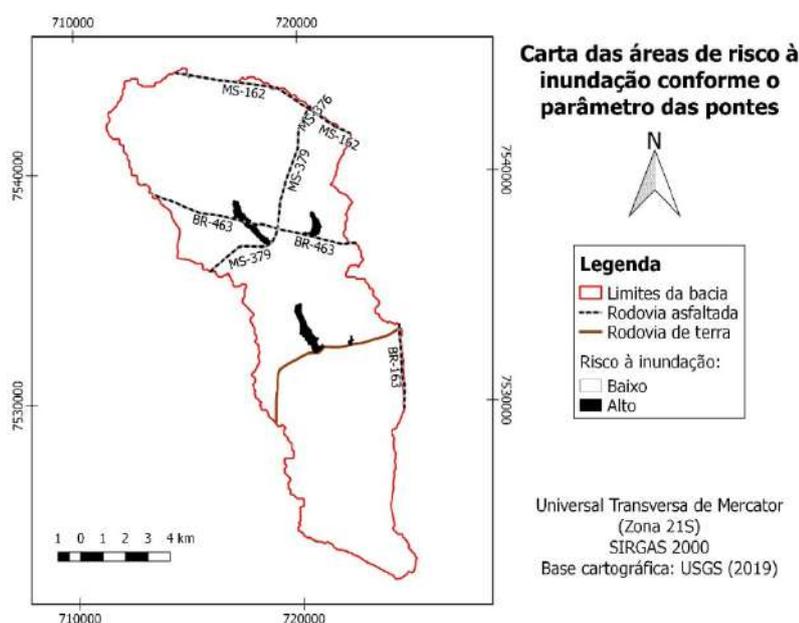


Figura 2 Carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das pontes.

### 2.3.2 Carta das Áreas Úmidas (AU)

As áreas úmidas foram mapeadas através do método do NDWI (*Normalized Difference Water Index*). A aplicação do índice NDWI permite ressaltar acumulações hídricas e minimizar o restante dos alvos da superfície (Rodrigues *et al.*, 2017). De acordo com Ji *et al.* (2009), a concepção do NDWI foi feita baseada no fato de que a água absorve energia em comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR), e ondas curtas de infravermelho

(SWIR), correspondente, respectivamente, às bandas 5 e 6 das imagens de satélite do *Landsat 8*.

A imagem utilizada para este estudo foi a do satélite *Landsat 8*, com data de passagem no dia 23/01/2016. Esta data foi escolhida devido ao mês anterior (dezembro de 2015) ter sido o mês mais chuvoso dentro do período dos últimos 10 anos, com precipitação de 343,2 mm, segundo dados da CEMTEC/MS - Centro de Monitoramento do Tempo e Clima (2019), para o município de Dourados.

O resultado do índice NDWI (Figura 3) pode ser obtido por meio de álgebra de mapas, através do cruzamento de bandas, obtendo-se valores que variam de -1 a 1, conforme a Equação 1:

$$NDWI = \frac{B5 - B6}{B5 + B6} \quad (1)$$

Onde: B5= Banda 5; B6= Banda 6.

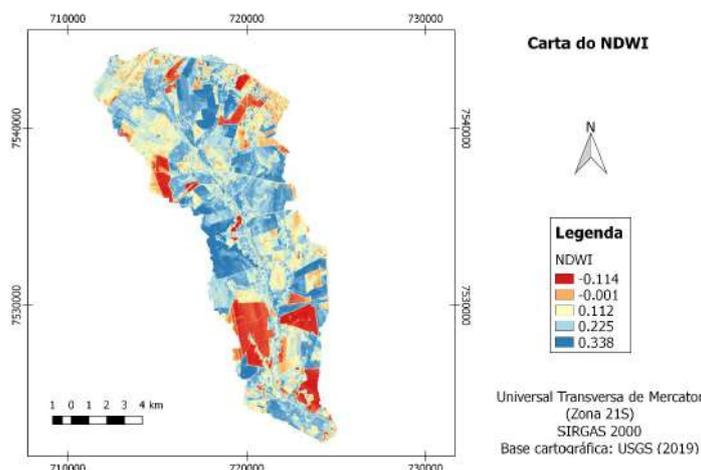


Figura 3 Carta apresentando os valores de NDWI.

Neste caso, os valores de NDWI variaram de -0,114 a 0,338. Sendo os valores negativos de NDWI representam áreas não úmidas, e, portanto, áreas mais permeáveis, enquanto valores positivos de NDWI representam áreas úmidas, e, portanto, áreas menos permeáveis. Classificou-se os valores de NDWI em 2 grupos: alto e baixo risco à inundação. E, por meio de álgebra de mapas, com auxílio da calculadora *raster*, foi atribuído à cada grupo um peso, como mostra a Tabela 2:

Valores de NDWI	Risco à inundação	Peso
-0,1140 a 0,3200	Baixo	1
0,3200 a 0,3380	Alto	0

Tabela 2 Valores de NDWI convertidos em alto e baixo risco à inundação.

A DSG produziu, com base em levantamento aerofotogramétrico, na década de 1970, os terrenos sujeitos às inundações que abrangem a área de estudo do presente trabalho, em escala 1:100.000 (DSG, 2019). Os terrenos sujeitos à inundação, segundo a DSG, estão apresentados na Figura 4:

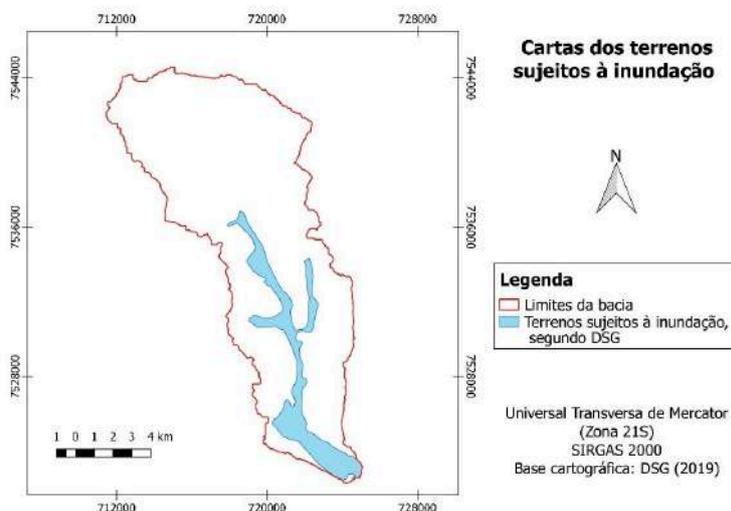


Figura 4 Carta dos terrenos sujeitos à inundação.

No intuito de elaborar-se a carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das áreas úmidas, somou-se as áreas de alto risco de inundação, geradas pelo parâmetro do NDWI, à carta dos terrenos sujeitos à inundação, disponibilizados pela DSG (DSG, 2019), conforme a Equação 2:

$$AU=NDWI+TSI \quad (2)$$

Onde: AU= Cartas das áreas úmidas; NDWI= Carta do NDWI; TSI= Carta dos terrenos sujeitos à inundação.

Dessa forma, a carta resultante das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das áreas úmidas está apresentada na Figura 5:

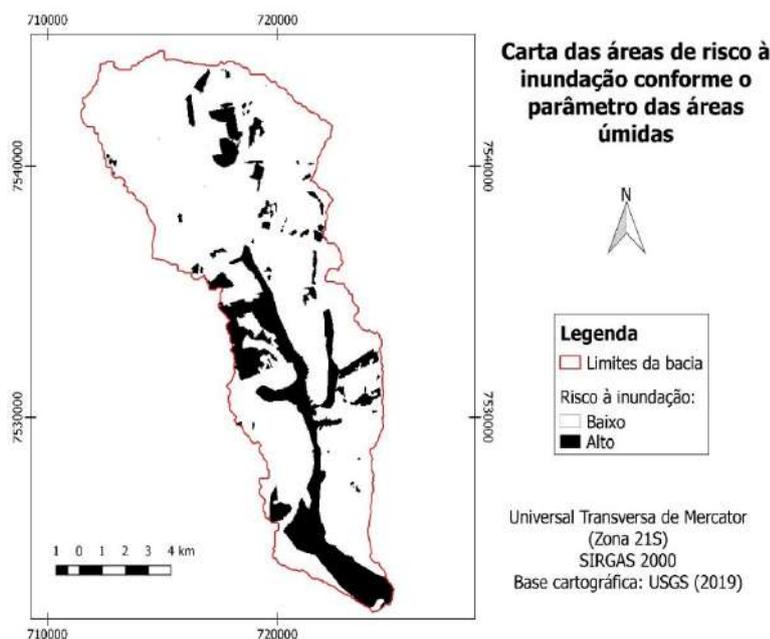


Figura 5 Carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das áreas úmidas.

### 2.3.3 Carta de Matas Ciliares (MC)

As matas ciliares possuem um papel essencial na amenização dos eventos de inundação, uma vez que os caules e troncos da vegetação reduzem a energia proveniente do escoamento superficial e as raízes auxiliam a fixação do solo, favorecendo a infiltração da água (Souza, 2012).

Sabe-se que a ocupação das matas ciliares pelo homem prejudica as condições naturais das bacias hidrográficas, pois, conforme Venturieri *et al.* (2005), a redução da mata ciliar agrava o escoamento superficial e subsuperficial das águas.

Dada a importância das matas ciliares para a manutenção dos processos naturais, fez-se o mapeamento das matas ciliares do Córrego Curral de Arame a partir da carta vetorial de cursos d'água disponibilizada no site da DSG (DSG, 2019). Assim, considerou-se a vetorização do curso d'água a partir de seu eixo, em que foi feito um buffer de 32,5 m de cada lado, a fim de simular a largura do leito regular do córrego (5 m) mais a largura do limite da APP (30 m), totalizando um buffer de 65 m de largura. Adotou-se o valor de 30 m para a largura

da APP, como um valor genérico, referente à mata ciliar, conforme preconiza o Código Florestal (Brasil, 2012b).

Além disso, nas áreas de nascentes, adotou-se um raio de 50 m para a elaboração do buffer, conforme recomenda-se o Código Florestal (Brasil, 2012b).

Dessa forma, obteve-se as áreas formadas pelas matas ciliares, que foram consideradas como alto risco de inundação; enquanto que as outras áreas restantes foram consideradas como áreas de baixo risco de inundação. Para os dois tipos de áreas foram atribuídos pesos de valores diferentes, como mostra a Tabela 3:

Área	Risco à inundação	Peso
Com mata ciliar	Alto	0
Sem mata ciliar	Baixo	1

Tabela 3 Pesos e riscos à inundação conforme as áreas inundadas pelas matas ciliares.

Então, elaborou-se a carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das matas ciliares (Figura 6).

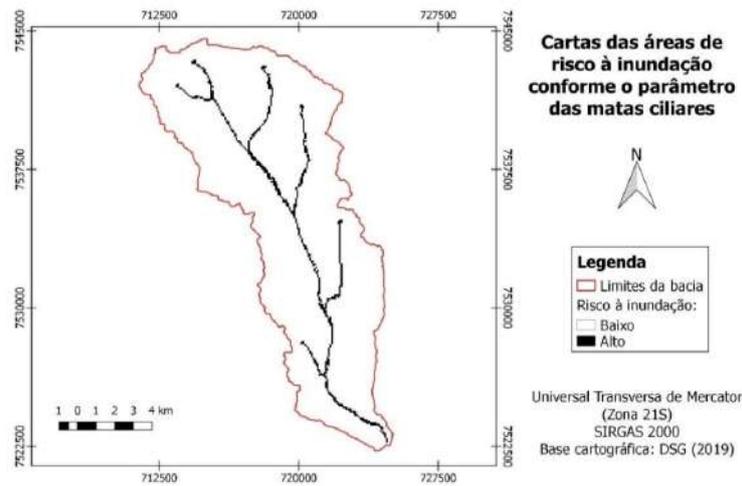


Figura 6 Carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro das matas ciliares.

### 2.3.4 Carta de Solos (So)

A carta de solos foi feita baseada no mapa de solos elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) escala 1:250.000 (IBGE, 2019) e levantamentos de campo na área de estudo. O tipo de solo predominante encontrado na região de estudo é do tipo Latossolo Vermelho Distroférico (solos argilosos), com textura muito argilosa e argilosa. Poucas regiões pontuais de Neossolos Quartzarênicos (solos arenosos) foram identificadas próximos aos cursos d'água na região do exutório. Contudo, pela escala de trabalho estes não seriam representativos na carta elaborada (Figura 7).

De acordo com Reinert & Reichert (2006), solos argilosos apresentam drenagem lenta, o

que aumenta o risco de ocorrências de inundação, enquanto solos arenosos apresentam baixa retenção de água, com boa drenagem e aeração.

Dessa forma, a carta de solos foi reclassificada por meio de álgebra de mapas, e o valor do peso atribuído para o solo da área de estudo foi 0 (zero), como mostra a Tabela 4:

Tipo de textura	Risco à inundação	Peso atribuído
Solos argilosos	Alto	0
Solos arenosos	Baixo	2

Tabela 4 Peso e risco à inundação atribuídos para o solo.

Assim, gerou-se a carta das áreas com risco à inundação de acordo com o parâmetro do solo (Figura 7):

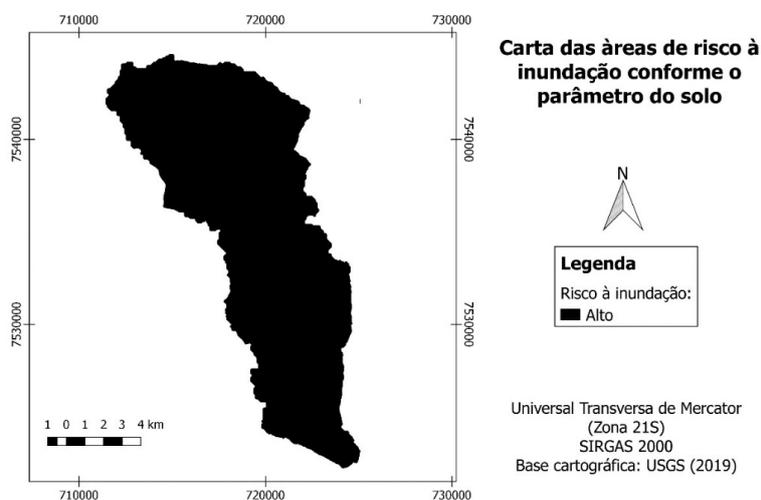


Figura 7 Carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro do solo.

### 2.3.5 Carta de Declividade (De)

A carta de declividade foi gerada a partir da imagem SRTM (USGS, 2019) com pixel de 30 (trinta) metros. Utilizando a ferramenta MDE (Modelo Digital de Elevação) contida no menu *raster*, na opção Análise, do QGIS 2.18.16 (QGIS Development Team, 2019), obteve-se a declividade

percentual da área de estudo. A declividade resultante variou de 0,60% a 11,12%.

A declividade foi reclassificada através do algoritmo *r.reclass*, inserido no pacote de algoritmos GRASS GIS, de acordo com a classificação proposta pela EMBRAPA (1979) disposta na Tabela 5, e assim gerou-se a carta de declividade da Figura 8.

Declividade (%)	Classificação (EMBRAPA, 1979)
0 a 3	Relevo plano
3 a 8	Relevo suavemente ondulado
8 a 20	Relevo ondulado
20 a 45	Relevo fortemente ondulado
45 a 75	Relevo montanhoso
≥ 75	Relevo fortemente montanhoso

Tabela 5 Classificação da declividade de acordo com a EMBRAPA (1979).

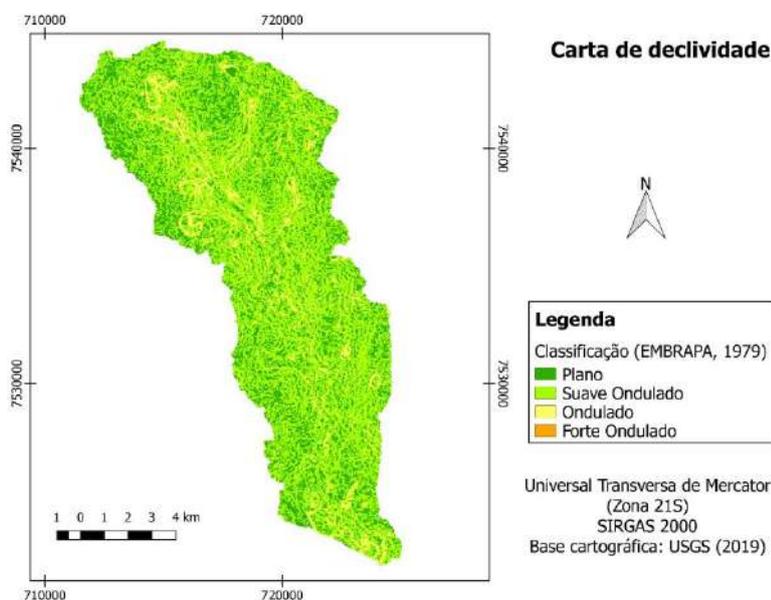


Figura 8 Carta de declividade de acordo com a classificação proposta pela EMBRAPA (1979).

Segundo Prochmann (2014), a declividade interfere na capacidade de armazenamento, sendo as áreas mais declivosas geralmente com menor capacidade de armazenamento superficial do que as mais planas.

Dessa forma, a fim de se elaborar uma

carta das áreas de risco à inundação de acordo com o parâmetro declividade, as classes foram reclassificadas novamente, por meio de álgebra de mapas, de maneira que foram atribuídos pesos para as classes conforme o método proposto por Prochmann (2014), como mostra a Tabela 6:

Declividade (%)	Risco à inundação	Peso atribuído
0 a 3	Alto	0
3 a 8	Moderado	1
≥ 8	Baixo	2

Tabela 6 Pesos e riscos à inundação de acordo com a declividade.

Então, foi elaborada a carta das áreas com declividade (Figura 9).  
risco à inundação de acordo com o parâmetro da

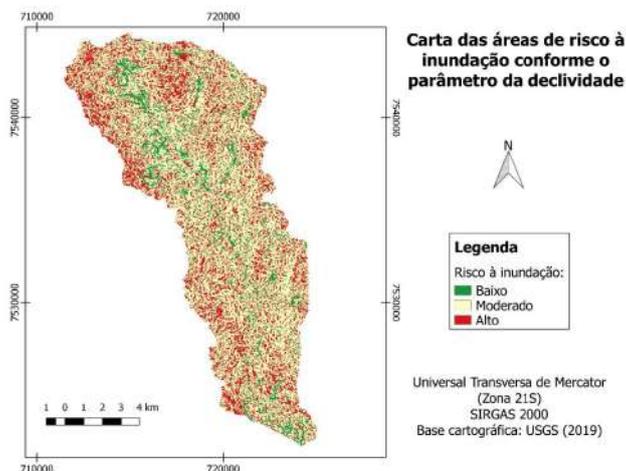


Figura 9 Carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro da declividade.

### 2.3.6 Carta de Uso e Ocupação do Solo (UO)

Para a classificação de uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel (USGS, 2019), de órbita-ponto 225/75, com data de passagem no dia 03/02/2019. Fez-se a fusão das bandas da imagem através da ferramenta “mosaico”, em miscelânea, utilizando as bandas 8-4-3-2. Depois, aplicou-se a composição cor verdadeira RGB (*Red, green, blue*): 3-2-1.

A classificação de uso e ocupação do solo foi realizada pelo método supervisionado através do complemento *Dzetsaka*. As classes escolhidas foram: área agropecuária; área urbanizada; vegetação; e corpos d’água. A classe da área agropecuária é composta por áreas agrícolas e

pastagens; a área urbanizada é composta por manchas urbanas decorrentes da concentração populacional (Nascimento & Fernandes, 2017); a vegetação é formada em sua maioria pela floresta estacional semidecidual (Arruda & Daniel, 2007); e a classe de corpos d’água inclui áreas formadas por corpos hídricos, como córregos e pequenos lagos.

Na imagem foram selecionadas áreas de controle, ou seja, pequenas áreas de interesse para serem amostradas. Foram escolhidos para cada classe 6 pontos de controle em campo, de maneira que suas distribuições representem a maior parte da área de cada classe.

A carta de uso e ocupação do solo pode ser visualizada na Figura 10:

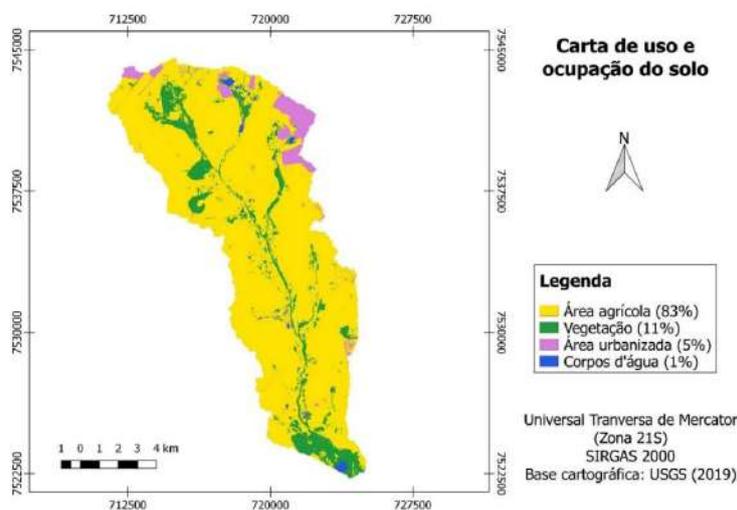


Figura 10 Carta de uso e ocupação do solo.

As classes de uso e ocupação do solo foram reclassificadas através do complemento *SCP* (*Semi-Automatic Classification Plugin*), sendo atribuídos pesos para as classes, de maneira que as

áreas que apresentam maior impermeabilização da água receberam o peso mais alto e as classes que apresentam menor impermeabilização receberam peso mais baixo (Tabela 7):

Classe de uso e ocupação do solo	Risco à inundação	Peso atribuído
Áreas urbanizadas e corpos d'água	Alto	0
Áreas agrícolas	Moderado	1
Vegetação	Baixo	2

Tabela 7 Pesos e riscos à inundação de acordo com as classes de uso e ocupação do solo.

Dessa forma, pôde-se gerar a carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro do uso e ocupação do solo (Figura 11).

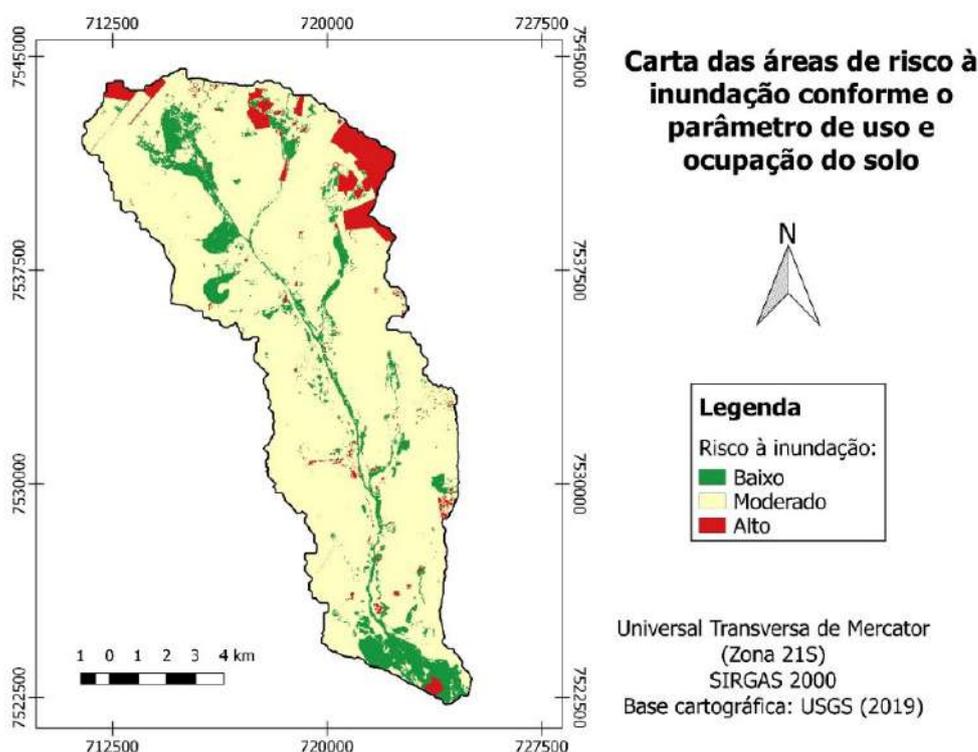


Figura 11 Carta das áreas de risco à inundação conforme o parâmetro de uso e ocupação do solo.

### Álgebra de Mapas (CRI)

Para a obtenção da carta de risco à inundação (CRI), foi feita uma equação na calculadora *raster* onde foram utilizadas as cartas elaboradas como parâmetros. As cartas limitantes foram multiplicadas entre si, e depois pela média aritmética das cartas não limitantes (Equação 3), resultando na carta das áreas de risco à inundação.

$$CRI = P_o . AU . MC . \left( \frac{S_o + D_e + UO}{3} \right) \quad (3)$$

Onde: CRI= Carta de risco à inundação; Po = Carta de pontes; AU = Carta de áreas úmidas; MC = Carta de mata ciliar; So = Carta de solo; De = Carta de declividade; UO = Carta de uso e ocupação do solo.

### 3. Resultados e Discussões

A partir dos cruzamentos das cartas temáticas limitantes e não limitantes obteve-se a carta integrada das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do Córrego Curral de Arame (Figura 12).

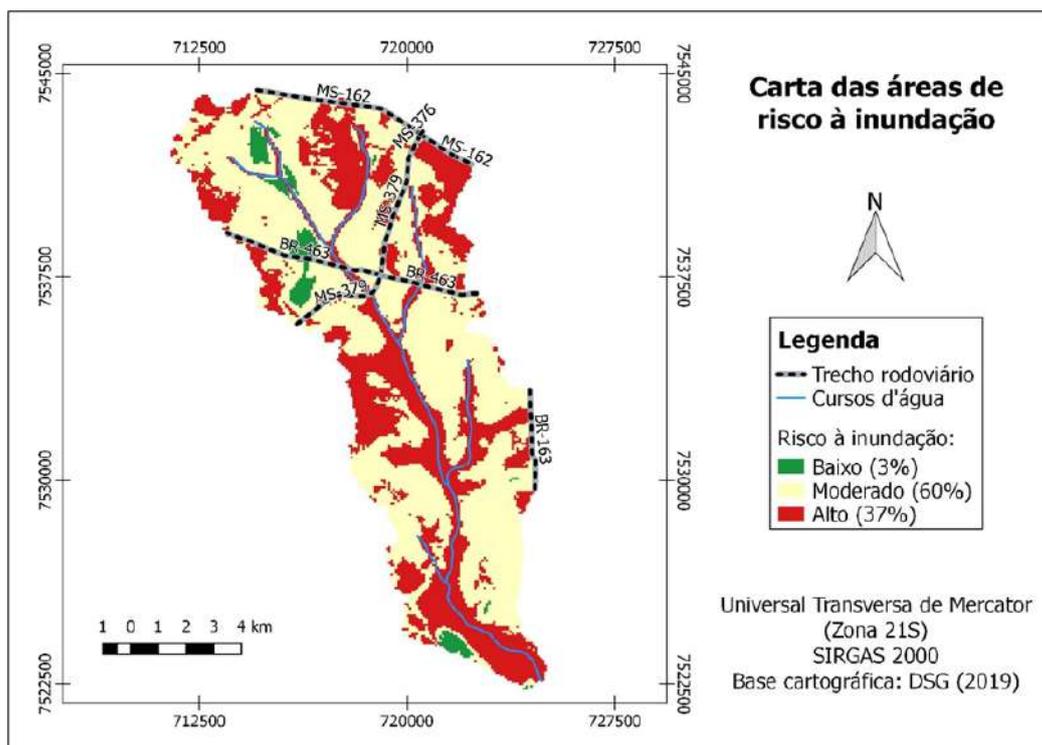


Figura 12 Carta das áreas de risco à inundação.

Os valores de risco de inundação gerados com a carta variaram de 0 a 1,68, dessa forma, as classes de risco de inundação foram divididas em: alto, moderado e baixo, conforme mostra a Tabela 8.

Classe de risco à inundação	Valor
Alto	0 – 0,56
Moderado	0,56 – 1,12
Baixo	1,12 – 1,68

Tabela 8 Classes de risco à inundação e seus respectivos valores.

Observando os resultados obtidos, percebe-se que a carta que exerceu maior influência ao produto final foi a carta de áreas úmidas (Figura 5), pois ela é composta pelas áreas que possuem alto valor de NDWI e pelos terrenos sujeitos a inundação, o que implica que já são áreas cobertas de forma periódica por águas (Brasil, 2012), e por isso mais suscetíveis à inundação.

Também é possível notar que as áreas correspondentes à classe de alto risco à inundação ocupam cerca de 37% da área total. Estão situadas de maneira dispersa pela extensão da bacia, entretanto nota-se que há uma predominância dessas áreas próximas ao exutório do córrego, e também nas regiões centro-oeste e nordeste da bacia.

A região próxima ao exutório do córrego apresentou valores de alto risco à inundação, por ser uma área formada por terrenos sujeitos à inundação,

conforme a carta da DSG (DSG, 2019). Parte da região centro-oeste da bacia apresentou áreas de alto risco à inundação por ser formada por áreas úmidas, o que foi comprovado pelos altos valores de NDWI desse local. Já a região centro-oeste também possui áreas úmidas, com altos valores de NDWI, além de apresentar locais com áreas urbanizadas, o que contribuiu para a presença de áreas com alto risco de inundação.

As regiões que apresentaram altos valores de risco à inundação devem ter prioridade para a implantação de parques urbanos, praças, canteiros centrais e áreas de preservação permanente (APP), sob forma de auxiliar na minimização das cheias urbanas, uma vez que os fatores de risco à inundação são elevados.

A classe de moderado risco à inundação ocupa cerca de 60% da área total. Enquanto a de baixo risco abrange cerca de 3% da área total, sendo composta por regiões onde há maior incidência de vegetação, com relevos suavemente ondulado e ondulado.

A classe moderada é a mais indicada para instalação dos equipamentos urbanos (loteamentos e infraestrutura de saneamento básico), por já se encontrarem antropizadas e não possuírem risco elevado de inundação. Contudo, dado a predominância de relevo plano a suavemente

ondulado na bacia, não favoráveis ao escoamento superficial, aliado ao solo predominantemente argiloso, tornam-se indispensáveis o adequado dimensionamento de estruturas de drenagem urbana, de forma a evitar problemas de inundação das vias, e até mesmo de residências, quando da ocorrência de eventos pluviométricos.

As regiões urbanizadas mais antigas do município sofrem constantemente com inundações urbanas (Dourados, 2015). O presente mapeamento das áreas de risco é fundamental sob esta ótica, pois pode auxiliar no planejamento do uso e ocupação da área, evitando e/ou minimizando que tais problemas ocorram nas futuras expansões da urbanização.

O processo de urbanização, por si só, já eleva o risco da área avaliada a elevado, devido ao

processo de retirada da vegetação e compactação do solo para instalação dos componentes urbanos (residências, arruamento, redes de saneamento básico, energia, etc.) que, via de regra, elevam o grau de impermeabilização do solo. A sobreposição da carta de susceptibilidade com a malha de loteamentos (Figura 13), permite vislumbrar que as áreas urbanizadas da bacia estudada, atualmente, são bastante reduzidas (5% do total da área da bacia), ocupadas por loteamentos de baixo a alto padrão, ocupando regiões de moderado a alto risco à inundação. Tal fato deve-se a recente ampliação do perímetro urbano, em 2015 (Dourados, 2019), avançando sobre a bacia em estudo.

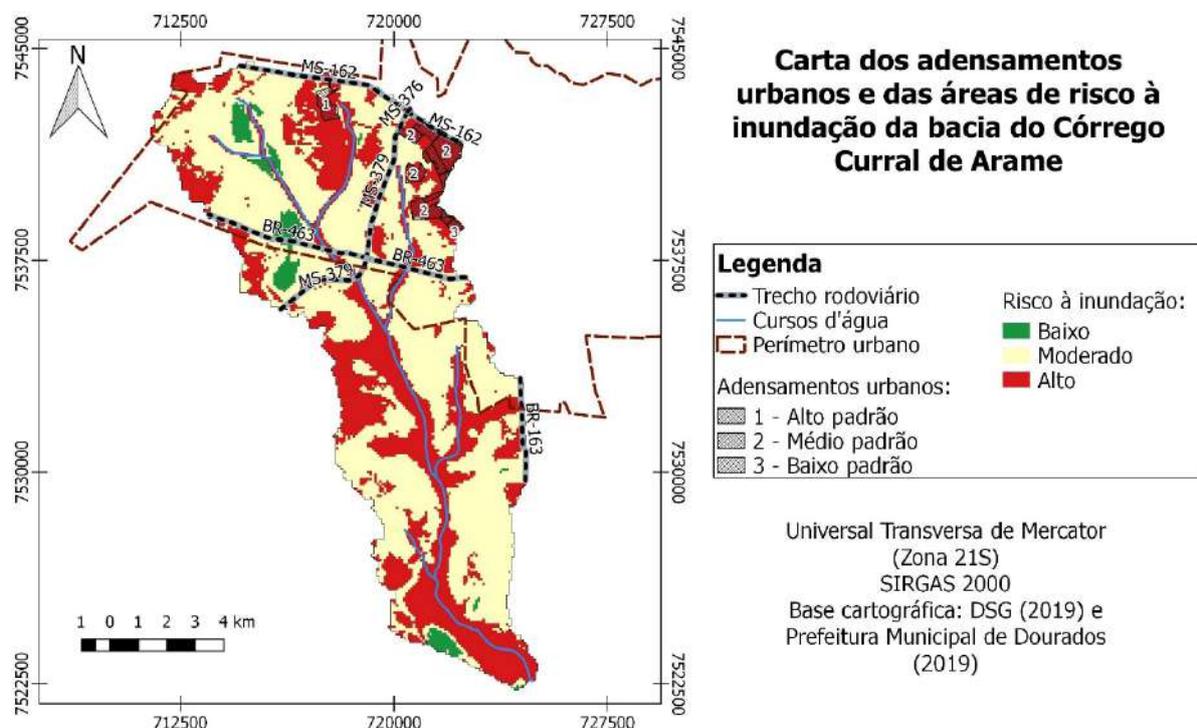


Figura 13 Carta dos adensamentos urbanos e das áreas de risco à inundação da Bacia Hidrográfica do Córrego Curral de Arame.

As comunidades de menor poder aquisitivo tendem a ocupar áreas de menor custo de aquisição, sendo estas, em geral, as áreas mais sensíveis do ponto de vista da segurança ambiental a ocorrências de desabamentos, inundações e incêndios (Brasil, 2006). Por tal, a ocupação de áreas com alto risco, em regiões ainda não urbanizadas, devem ser preconizados de estudos de engenharia detalhados, no que tange a macrodrenagem e microdrenagem, para definição da viabilidade de implementação dos loteamentos urbanos, a fim de se evitar futuros

riscos de morte e transtornos à população, além de danos ao meio ambiente.

Segundo a lei 12608, de 10 de abril de 2012, é competência dos municípios a identificação e o mapeamento de risco de desastres, além de promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas (Brasil, 2012a). O trabalho desenvolvido abarca condicionantes ainda não consideradas pela Defesa Civil do município de Dourados/MS ou por seu Instituto de Meio Ambiente (IMAM), podendo também contribuir

para aprimoramento da política municipal de meio ambiente, uso e ocupação do solo e Defesa Civil, dentre outras diretrizes que possam ser elaboradas com base neste e em outros similares.

#### 4 Conclusões

O presente trabalho identificou e concluiu que a bacia hidrográfica do Córrego Curral de Arame possui áreas de alto risco à inundação, correspondendo a cerca de 37% do total, localizadas em áreas próximas ao exutório, bem como em áreas à nordeste da bacia, compostas por áreas urbanizadas, e no centro-oeste, compostas por áreas úmidas.

Dessa forma, pode-se inferir que possíveis avanços urbanos sobre as áreas mais críticas, sem o devido planejamento, acarretarão em impactos econômicos e estruturais, além do risco à vida humana.

Nesse sentido, recomenda-se aos gestores públicos a elaboração de regulamentos e fiscalização relacionados à ocupação da população, principalmente nas áreas identificadas como alto risco. Por fim, entende-se que o presente estudo pode embasar futuros projetos de macrodrenagem nessa bacia, como implantação de reservatórios de amortecimento, parques e áreas verdes, de forma a minimizar os problemas de inundações decorrentes do processo de expansão da urbanização.

#### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS pela bolsa de iniciação científica de Y. S. Mendes, e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da UEMS e da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC – Brasil.

#### 6 Referências

Arruda, L. & Daniel, O. 2007. Florística e diversidade em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial em Dourados-MS. *Floresta*, 37: 189-199.

Brasil. 2006. Ministério das Cidades. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Disponível em: <[http://plano-diretor.mprs.mp.br/arquivos/prevencao\\_riscos.pdf](http://plano-diretor.mprs.mp.br/arquivos/prevencao_riscos.pdf)>.

Acesso em: 07 nov. 2019.

Brasil. 2012a. Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm)>. Acesso em: 26 out. 2019.

Brasil. 2012b. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 09 nov. 2019.

Brasil. 2018. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Desastres naturais e saúde: análise do cenário de eventos hidrológicos no Brasil e seus potenciais impactos sobre o Sistema Único de Saúde. *Boletim Epidemiológico*, 49: 1-13.

CEMTEC/MS. 2019. Centro de Monitoramento do Tempo e Clima. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

COBRAPE. 2018. Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba. Disponível em: <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2018/00238310.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

Correa, N.F.; Ribeiro, V.O.; Miotto, C.L. & Paranhos Filho, A.C. 2017. Obtenção de MDE Corrigido para Delimitação de Bacia Hidrográfica com Auxílio de Geotecnologias Livres. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 40: 217-225.

Dourados. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. 2019. Mapa de risco de Dourados, 2019. 1 mapa: 3300 x 2550 px. Escala 1:50.000.

Dourados. 2015. Lei n.º 3929, de 01 de dezembro de 2015. Dispõe sobre o perímetro urbano da cidade de Dourados. Disponível em: <<http://www.dourados.ms.gov.br/index.php/lei-no-3929-perimetro-urbano-2015/>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

DSG. 2019. Diretoria de Serviço Geográfico. Geoportal do Exército Brasileiro. Disponível em: <<http://www.dsg.eb.mil.br/>>. Acesso em: 28 jul. 2019.

EMBRAPA. 1979. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

- ria. *Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos*. Rio de Janeiro, SNLCS, 83 p.
- EMBRAPA. 2000. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Levantamento semidetalhado dos solos do campo experimental de Dourados, da EMBRAPA Agropecuária Oeste, município de Dourados, MS*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 68 p.
- Faria, R. & Pedrosa, A. 2005. Impactos da Urbanização na Degradação do solo urbano e sua relação com o incremento de inundações urbanas em Santa Maria da Feira. Disponível em: <<http://web.lettras.up.pt/aspedros/Inunda%C3%A7%C3%B5es%20urbanas%20St%20Maria%20da%20Feira.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- Ferreira, P.S. 2014. *Elementos para enquadramento da classe de uso da água do Córrego Curral de Arame, Dourados, MS*. Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Monografia, 43 p.
- Fietz, C.R. & Fisch, G.F. 2008. *O Clima da Região de Dourados, MS*. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 32 p.
- IBGE. 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Downloads. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 06 out. 2019.
- Ji, L.; Zhang, L. & Wylie, B. 2009. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75: 1307-1317.
- MMA. 2018. Ministério do Meio Ambiente. *Geo Catálogo MMA*. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- Nascimento, E. & Matias, L.F. 2011. Expansão urbana e desigualdade socioespacial: uma análise da cidade de Ponta Grossa (PR). *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise*, 23: 65-97.
- Nascimento, T.V. & Fernandes, L.L. 2017. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. *Revista Ciência e Natura*, 39: 169-177.
- Organização Pan-Americana da Saúde. 2015. Ministério da Saúde (BR). *Desastres naturais e saúde no Brasil*. Brasília, OPAS, 56 p.
- Poleto, C. & Tassi, R. 2012. Sustainable urban drainage systems. In: MUHAMMAD S.J. (Org.). *Drainage Systems*. BoD – Books on Demand. p. 55-72.
- Prochmann, J.R. 2014. *Análise espacial da susceptibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis – SC*. Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental Centro Tecnológico – CTC, Universidade Federal de Santa Catarina, Trabalho de Conclusão de Curso, 88p.
- QGIS Development Team. 2019. QGIS 2.18.16. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/site/forusers/download>>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- Reinert, J.D. & Reichert, J.M. 2006. Propriedades físicas do solo. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/337498761\\_Reinert\\_Reichert\\_-\\_Propriedades\\_fisicas\\_do\\_solo](https://www.researchgate.net/publication/337498761_Reinert_Reichert_-_Propriedades_fisicas_do_solo)>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- Rodrigues, W.B.; Morais, F. & Paschoal, L.G. 2017. Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) calculado para estações chuvosas e secas na bacia do Córrego Barreiro, Lagoa da Confusão – TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18, Campinas, Unicamp, Trabalhos completos, p. 1-10.
- Santos, L.L.; Ribeiro, V.O. & Silva, J.L.A. 2016. Aplicação de geotecnologias gratuitas e livres na delimitação e análise do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do córrego Laranja Doce. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 6, Cuiabá, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, Trabalhos completos, p. 936-945.
- Silva, M.C.T. 2017. Dourados-MS: Expansão urbana extensiva e impactos socioambientais. In: DA SILVA, W.G.; JURADO DA SILVA, P.F. (Org.), *Mato Grosso do Sul no início do século XXI: Integração e desenvolvimento urbano-regional*. Life Editora, p. 201-229.
- Souza, M.C.B. 2012. *Influência da mata ciliar na qualidade da água do trecho do rio Jacarecica - Maceió/AL*. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado, 195 p.
- Tucci, C.E.M. 1995. Inundações Urbanas. Disponível em: <[http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF](http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF)>. Acesso em: 05 set. 2019.
- USGS. 2019. United States Geological Survey. Earth Explorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.
- Venturieri, A.; Figueiredo, R.; Watrin, O.S. & Markewitz, D. 2005. Utilização de imagens Landsat e CBERS na avaliação da mudança de uso e cobertura da terra e seus reflexos na qualidade da água em microbacia hidrográfica do município de Paragominas, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia. INPE, Trabalhos completos, p. 1127-1134.