

ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE A INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO JOÃO, PORTO NACIONAL - TO

ANALYSIS OF THE SUSCEPTIBILITY OF THE FLOODING THE WATERSHED STREAM SÃO JOÃO, PORTO NACIONAL - TO

Marcelo Divino Ribeiro Pereira
mdrpereira10@gmail.com

Sandro Sidnei Vargas de Cristo
sidneicristo@mail.uft.edu.br

Resumo

Localizada a sudeste do município de Porto Nacional, a bacia hidrográfica do córrego São João fez parte de um processo histórico e não planejado de uso e ocupação do solo urbano. Em virtude disso, alguns bairros surgiram desordenadamente nas proximidades dos cursos principais da bacia em estudo, sujeitos, periodicamente, a susceptibilidade a ocorrência de inundações. Além de causas naturais, os fenômenos relacionados às inundações têm sido potencializados pelas atividades antrópicas desordenadas. Diante disso, o objetivo da presente pesquisa foi analisar as áreas susceptíveis à ocorrência de inundações na bacia hidrográfica do Córrego São João. Para alcançar tal proposição, fez-se uso da análise integrada da declividade, hipsometria, densidade de drenagem, solo e uso e ocupação da terra. Os resultados obtidos na pesquisa demonstram que as regiões mais susceptíveis às inundações periódicas estão caracterizadas entre cotas altimétricas (210 e 240m) e declividade com terrenos planos a ondulados (0 – 2%; 2 – 5%). Desta forma, as áreas mais sujeitas às inundações, classificadas como média e alta situam-se nos trechos de médio a baixo curso da bacia hidrográfica.

Palavras-Chave: Susceptibilidade; Análise integrada; bacia hidrográfica

Abstract

Located in the southeast of the municipality of Porto Nacional, the watershed stream São João was part of a historical and unplanned process of urban land use and occupation. As a result, some districts arose randomly in the vicinity of the main courses of the basin under study, periodically subject to the susceptibility of floods or floods. In addition to natural causes, flood-related phenomena have been potentiated by disordered anthropogenic activities. Therefore, the objective of this research was to analyze the areas susceptible to the occurrence of floods in the watershed. In order to reach this proposition, we used integrated analysis of slope, hypsometry, drainage density, soil and land use and occupation. The results obtained in the research show that the regions most susceptible to periodic flooding are characterized by altimetric heights (210 and 240m) and slopes with flat and undulating soils (0 - 2%, 2 - 5%). In this way, the areas most subject to floods, classified as medium and high, are located in the mid- to low-lying stretches of the watershed.

Keywords: Susceptibility; Integrated Analysis; Watershed

Introdução

As bacias hidrográficas, compreendidas como unidades de planejamento que integram os elementos do quadro físico e humano, têm se tornado nas últimas décadas as principais áreas para compreensão de problemas relacionados à fragilidade ambiental e aos impactos ambientais estudados numa perspectiva integrada do ambiente (CUNHA; GUERRA, 2000).

83

Nessa perspectiva dos impactos ambientais em bacias hidrográficas, no que tange às áreas susceptíveis as inundações periódicas, inúmeros são os elementos que têm contribuído para as eventuais ocorrências, tais como: urbanização desenfreada de áreas de baixa declividade, terrenos impermeabilizantes, desmatamentos a montante, dragagem dos mananciais, dentre outros fatores que favorecem a elevação do nível de base dos talwegues e as possíveis inundações (CASSETI,1995).

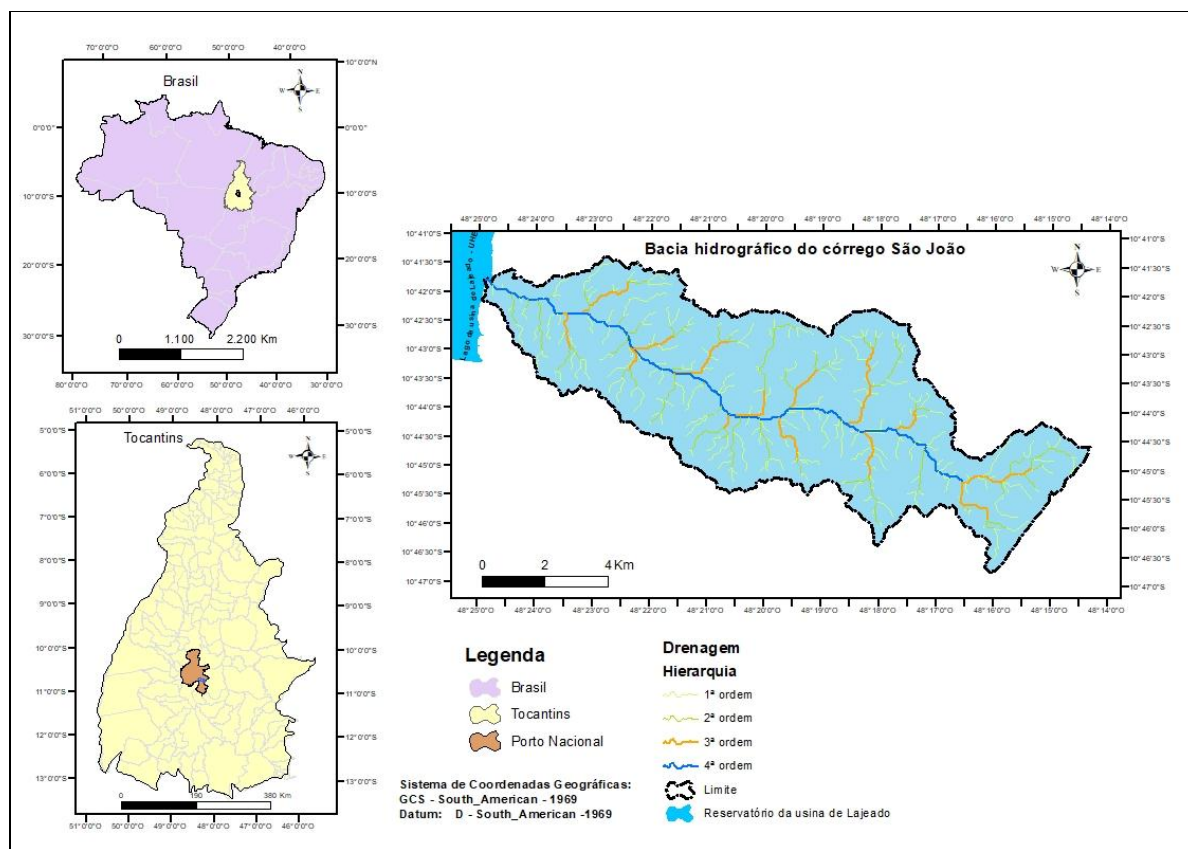
De modo geral, as inundações ocorrem quando as precipitações superam a capacidade de vazão dos mananciais, o que favorece a transposição dos leitos (maior e menor). Conforme Tucci (2003), as enchentes, mesmo sendo eventos naturais, têm sido potencializadas em função das atividades antrópicas em favorecer um rápido escoamento pluvial.

No que diz respeito à bacia hidrográfica do córrego São João, situada geograficamente na porção sudeste da cidade de Porto Nacional (Figura 1), várias pesquisas já foram realizadas em seu contexto espacial, dentre outras, Bernardeli (2017) investigou a segurança hídrica do abastecimento urbano do município de Porto Nacional; Silva (2010) aplicou técnicas de geoprocessamento na análise e mapeamento geomorfológico; Silva Neto (2006 e 2008) e Cristo e Silva (2017) realizaram análises do uso e ocupação da terra.

Buscando uma abordagem de áreas de risco na área de estudo, Moraes (2017) analisou questões do risco de inundações e vulnerabilidade socioambiental das famílias no setor Jardim Querido e a percepção dos moradores e do papel dos órgãos públicos. Todavia, não se encontram registros na literatura especializada da análise da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Córrego São João como um todo, a qual é objetivo proposto neste texto.

De maneira geral, a área de estudo apresenta uma área de aproximadamente 80,75Km², 20 km de extensão de seu curso principal, cota altimétrica de aproximadamente 210 metros, uma variação entre as cotas, máxima (602m) e a mínima (210m) com sua foz localizada junto ao lago da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Rio Tocantins).

Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

Materiais e Método

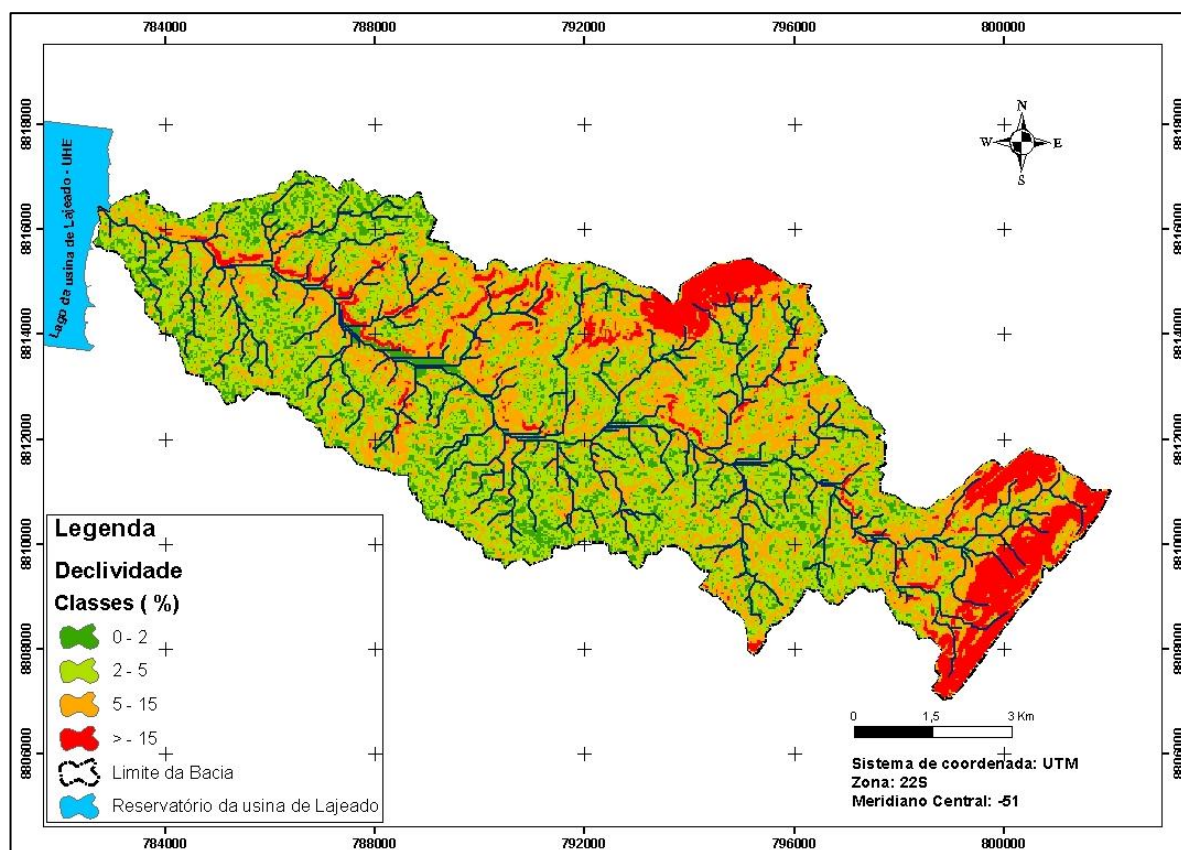
De maneira geral, a metodologia adotada consistiu no uso de Geoprocessamento para a identificação de áreas susceptíveis a inundação na bacia hidrográfica do Córrego São João. Deste modo, realizou-se o cruzamento de variáveis temáticas (álgebra de mapas) consideradas importantes (declividade, hipsometria, densidade de drenagem, uso da terra, solos e direção de fluxos) em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Também foi realizada uma compilação de trabalhos presentes na literatura especializada sobre áreas suscetíveis as inundações; desse modo, fez-se uma busca em artigos científicos, monografias, dissertações e teses. Paralelamente foram adquiridas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2018) as imagens do satélite Landsat8, Sensor OLI, e da *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* com 30m de resolução espacial, as quais serviram de âncoras para a geração dos mapas temáticos de uso e ocupação da terra, declividade e hipsometria.

No que diz respeito à declividade (Figura 2), foram definidas quatro classes adaptadas para o presente trabalho conforme o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPT), sendo elas: (0 – 2%), (2% – 15%), (15% - 30%) e (> - 30%).

Para Cristo (2013), os terrenos planos com declividade entre 0 – 2%, situados próximos as drenagem, estão sujeitos a ocorrência de inundações periódicas; os terrenos com declives entre 2% – 5% são classificados como suave ondulados onde pode ocorrer processos acumulativos; as áreas caracterizadas entre 5% - 15% são tidas como onduladas e o limiar para algumas práticas antrópicas; os terrenos que apresentam declividades > - 15% estão sujeitos aos escorregamentos e movimentos de massa.

Figura 2- Declividade da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

Na Tabela 1 pode ser observada a classificação da declividade, a ponderação das classes e as áreas correspondentes na bacia hidrográfica do córrego São João.

Tabela 1. Classificação e ponderação da Declividade

Classes	Pesos	Km ²
0-2	5	10,54
2-5	3	34,19
5-15	2	27,99
>-15	0	8,02
Total	-	80,75

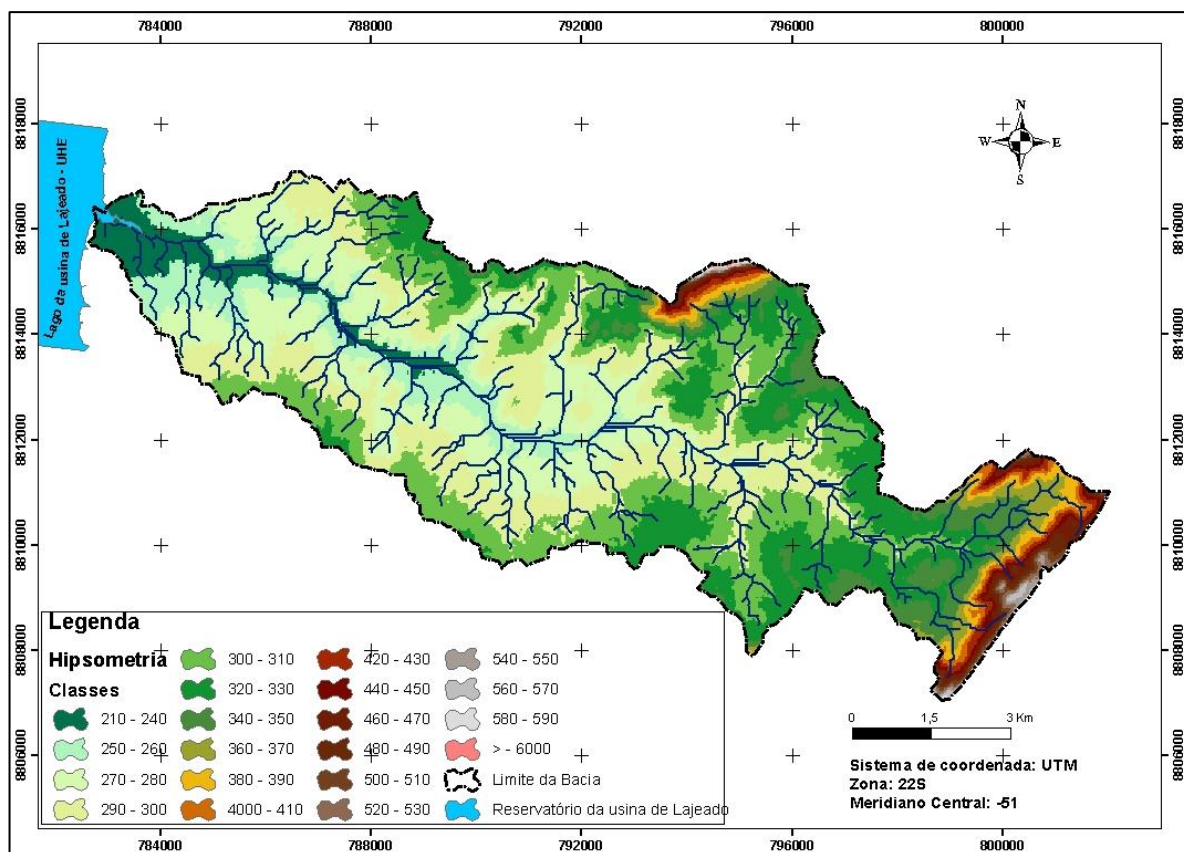
Organização: Pereira e Cristo, 2018

A hipsometria, como um componente do quadro ambiental Ross (2000), tem se tornado uma variável de suma importância nos diagnósticos ambientais, pois favorece uma percepção sinóptica dos compartimentos geomorfológicos e as possíveis áreas sujeitas aos deslizamentos de encostas, escorregamentos de massa e, também, suscetíveis às inundações.

No que diz respeito à área de estudo, conforme Figura 3, foram definidas 20 classes hipsométricas, buscando a melhor forma de ajustamento do modelado hipsométrico a suscetibilidade as inundações periódicas. Tais classes foram classificadas conforme a altitude e a representação espacial em quilômetros.

Ao analisarem áreas suscetíveis a ocorrência de enchentes ou inundações, Prima e Trentin (2014) defenderam que a hipsometria e a declividade, como variáveis do quadro físico, devem ser consideradas indubitavelmente no conjunto da análise.

Figura 3- Hipsometria da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

Conforme se percebe na Tabela 2, as classes hipsométricas da bacia hidrográfica em estudo foram ponderadas conforme a altitude apresentada e a melhor adequação aos pressupostos da pesquisa em lócus.

Tabela 2. Classificação e ponderação da Hipsometria

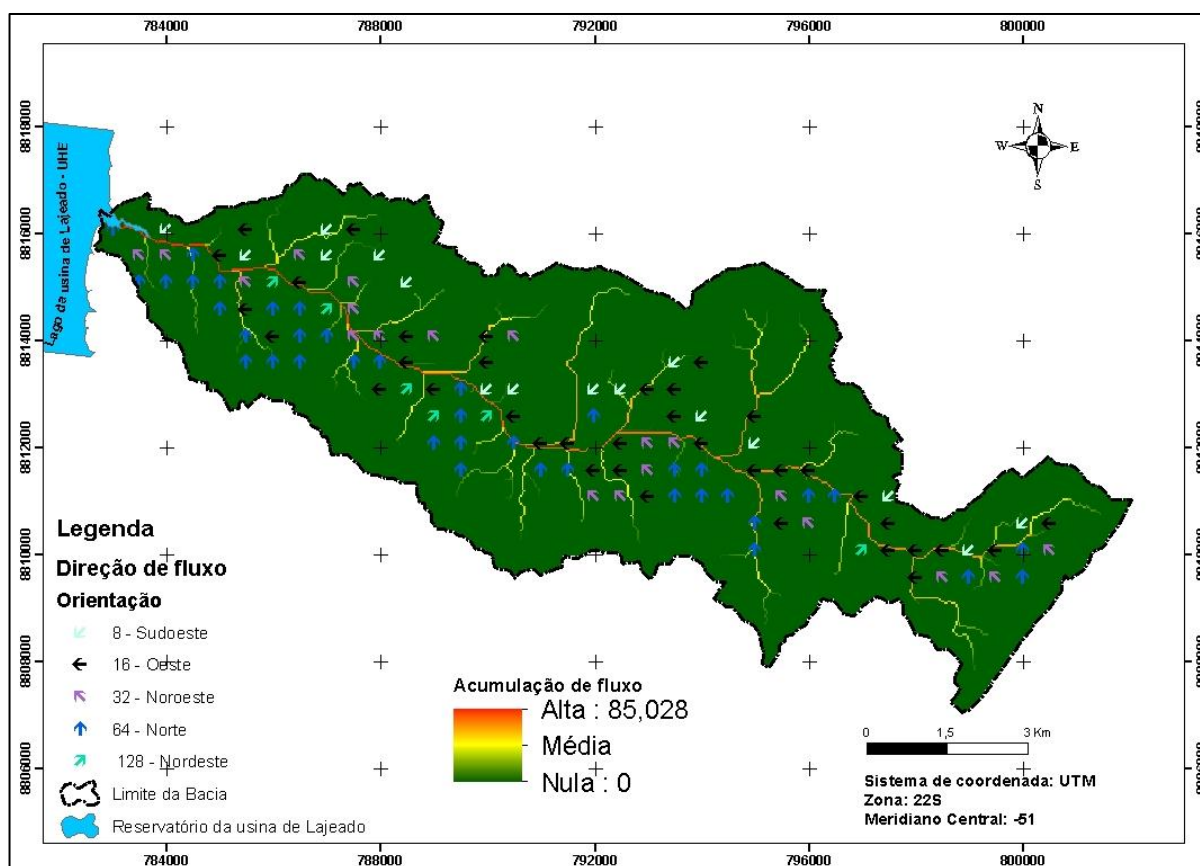
Classes	Pesos	Km ²
210 - 240	10,0	4,345
250 - 260	6,0	8,436
270 - 280	3,0	13,527
290 - 300	2,9	14,414
310 - 320	2,8	14,290
330 - 340	2,7	10,602
350 - 360	2,6	5,835
370 - 380	2,5	2,392
390 - 400	2,4	1,407
410 - 420	2,3	1,090
430 - 440	2,2	0,833
450 - 460	2,1	0,718
470 - 480	2,0	0,634
490 - 500	1,9	0,688
510 - 520	1,8	0,511
530 - 540	1,7	0,351
550 - 560	1,6	0,357
570 - 580	1,5	0,228
590 - 600	1,2	0,048
> - 600	1,0	0,045
Total	-	80,75

Organização: Pereira e Cristo, 2018

Nesse contexto de análise integrada da paisagem, a compreensão da dinâmica da direção e acumulação de fluxos em bacias hidrográficas tem recebido a atenção de vários pesquisadores, dentre outros, O' Callaghan e Mark (1984), que comentam que o fluxo de água na vertente ou direção de fluxo tende a seguir oito (D8) caminhos possíveis nas células ou pixels até alcançar o talvegue.

A Figura 4 representa o direcionamento da água nas vertentes até atingir os cursos principais do córrego São João.

Figura 4- Direção de Fluxos da bacia hidrográfica do Córrego São João

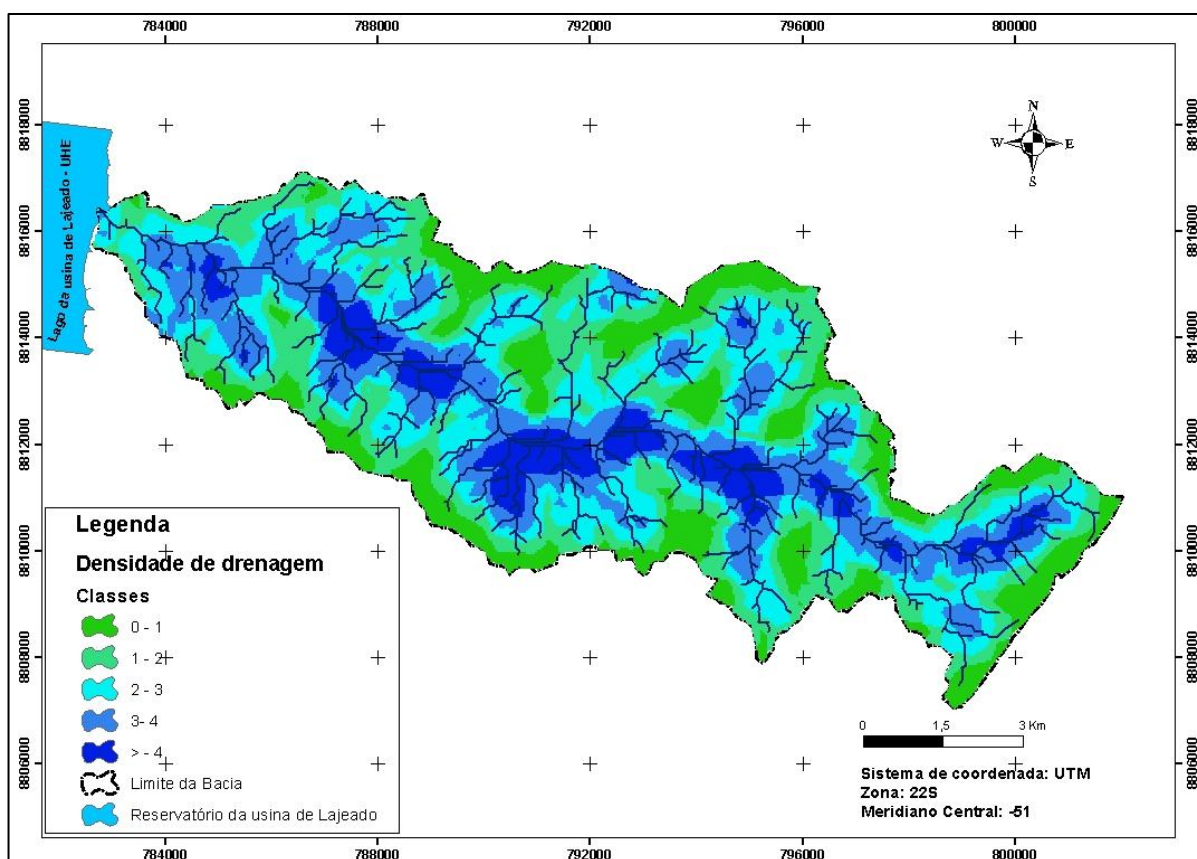


Edição: Pereira e Cristo, 2018

A direção de fluxo nas vertentes morro abaixo, além de favorecer a existência de uma rede de drenagem funcional, permite-se uma percepção mensurável da formação hidrológica da bacia hidrográfica em função da acumulação de fluxo ou manutenção dos canais. O conhecimento dessa variável do meio físico pode apontar às áreas mais suscetíveis as inundações periódicas em virtude do fluxo de água no perímetro da bacia hidrográfica tender a se concentrar nas partes mais baixas e planas do terreno.

Nesse contexto de análise integrada de bacia hidrográfica, outra variável de suma importância no entendimento de áreas susceptíveis as inundações diz respeito à densidade de drenagem (Dd). Esta pode ser caracterizada como “o comprimento dos canais de drenagem por unidade de área” (Florenzano, 2008, p.17). A Figura 5 representa a densidade de drenagem da área em estudo.

Figura 5- Densidade de Drenagem da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

Conforme demonstrado na Tabela 3, as classes de densidade de drenagem (Dd) foram ponderadas conforme a maior concentração dos canais fluviais e suas representações espaciais por unidade de área. A partir desses pressupostos, fez-se uma adequação aos objetivos da pesquisa.

Tabela 3. Classificação e ponderação da Densidade de Drenagem

Densidade de drenagem (Dd)	Pesos	Km ²
Muito Baixa	0,0	13,55
Baixa	1,0	20,13
Média Baixa	2,0	21,73
Média	3,0	17,63
Alta	10,0	7,70
Total	-	80,75

Organização: Pereira e Cristo, 2018

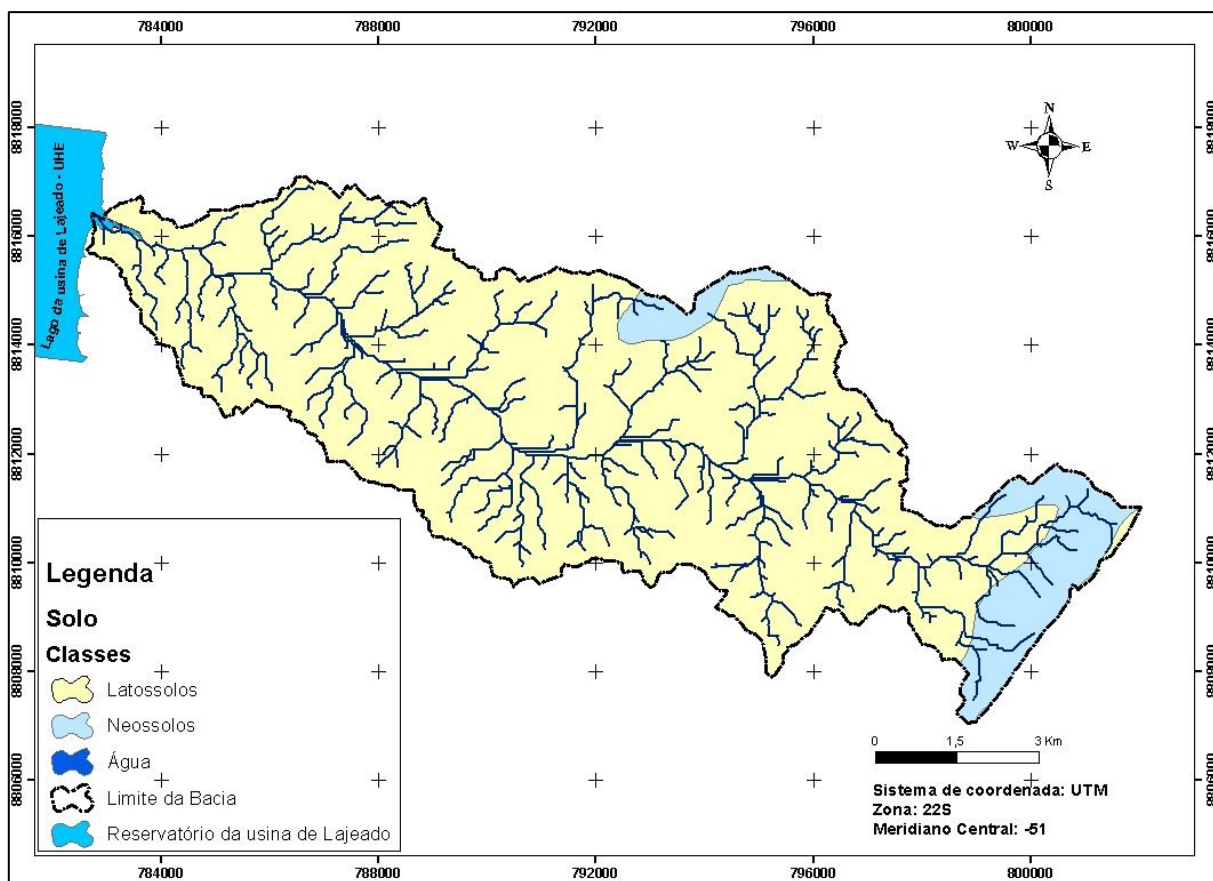
Como outro parâmetro do quadro natural, o solo tem sido empregado em vários estudos onde envolve análise integrada da paisagem, pois, conforme Crepani (2001), Ross (1994; 2000), dentre outros pesquisadores, esta componente ambiental possibilita diagnosticar

as fragilidades que o ambiente apresenta com base em suas características intrínsecas de formação e desenvolvimento.

No que diz respeito à bacia hidrográfica do Córrego São João, os vetores da cobertura pedológica, na escala geográfica para todo o estado do Tocantins, foram adquiridos no site da Secretaria de Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins – (SEPLAN, 2012), e recortado para os limites da área de estudo em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Considerando que o mapa de solo com abrangência estadual se apresenta numa escala média de 1:250.000, quando recortado para os limites da área de interesse da presente pesquisa, observou-se a ocorrência de duas classes de solo, Figura 6, sendo elas: Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo.

Figura 6 - Pedologia da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

A Tabela 4 representa as classes da cobertura pedológica da bacia hidrográfica em estudo ajustadas e/ou ponderadas de acordo com os tipos de solos encontrados e suas representações espaciais em quilômetros quadrados.

Tabela 4. Classificação e ponderação da Pedologia

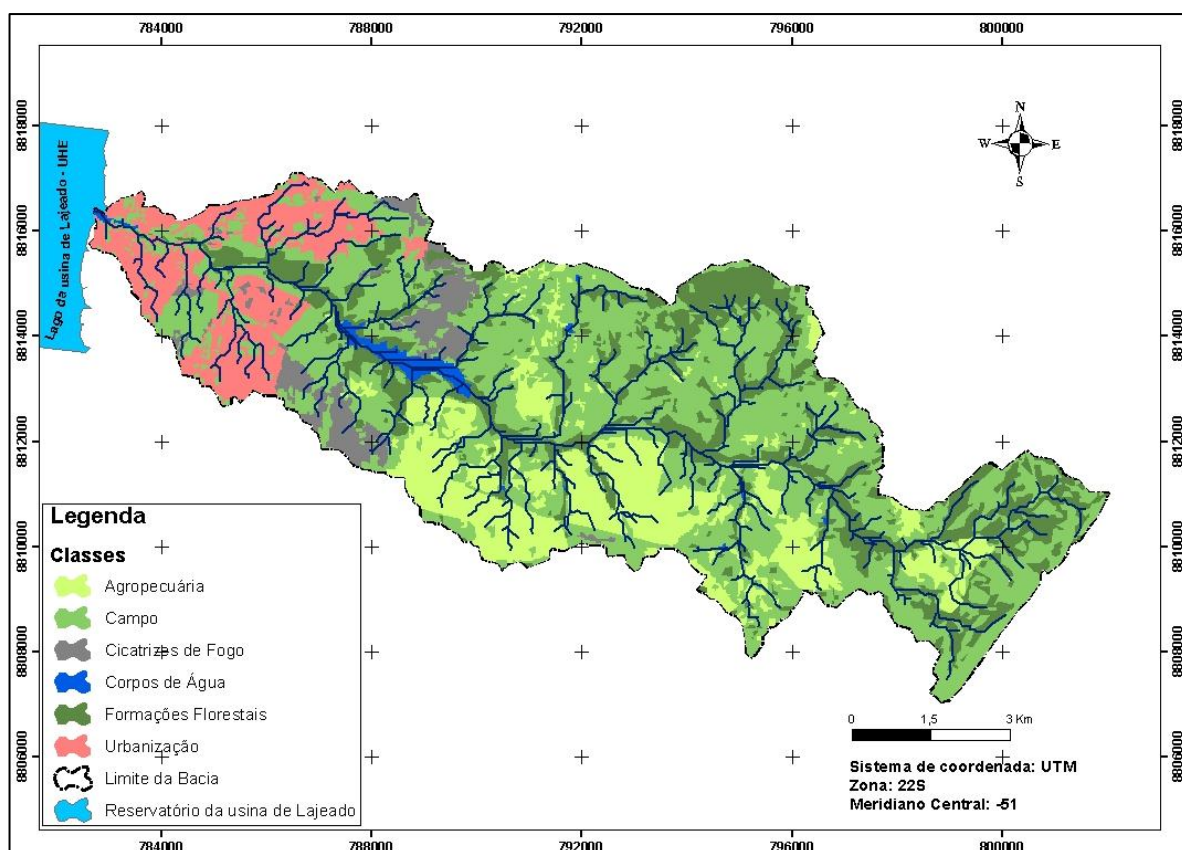
Classes	Pesos	Km ²
Latossolo Vermelho	1,0	73,25
Neossolo	3,0	7,50
Total	-	80,75

Organização: Pereira e Cristo, 2018

Variável de grande relevância para a previsão de áreas suscetíveis as inundações periódicas diz respeito às interferências antrópicas Ross (2000) representadas principalmente através do processo de uso e ocupação da terra.

Para a elaboração do mapa temático de uso da terra, Figura 7, optou-se pela classificação supervisionada, onde o algoritmo utilizado foi a Máxima Verossimilhança (Maximum-Likelihood); segundo Florenzano (2011). A classificação supervisionada nos permite coletar amostras (áreas de treinamento) dos alvos de superfície com base em suas características espectrais, dessa forma, definiu-se as classes temáticas: Agropecuária, Campo, Cicatrizes de fogo, Corpos de água, Formações Florestais e Urbanização.

Figura 7 - Uso da terra da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

Conforme se representa na Tabela 5, as classes do mapeamento de uso e ocupação da terra da área em estudo foram ponderadas de acordo com suas características de uso e ocupação Ross (2000).

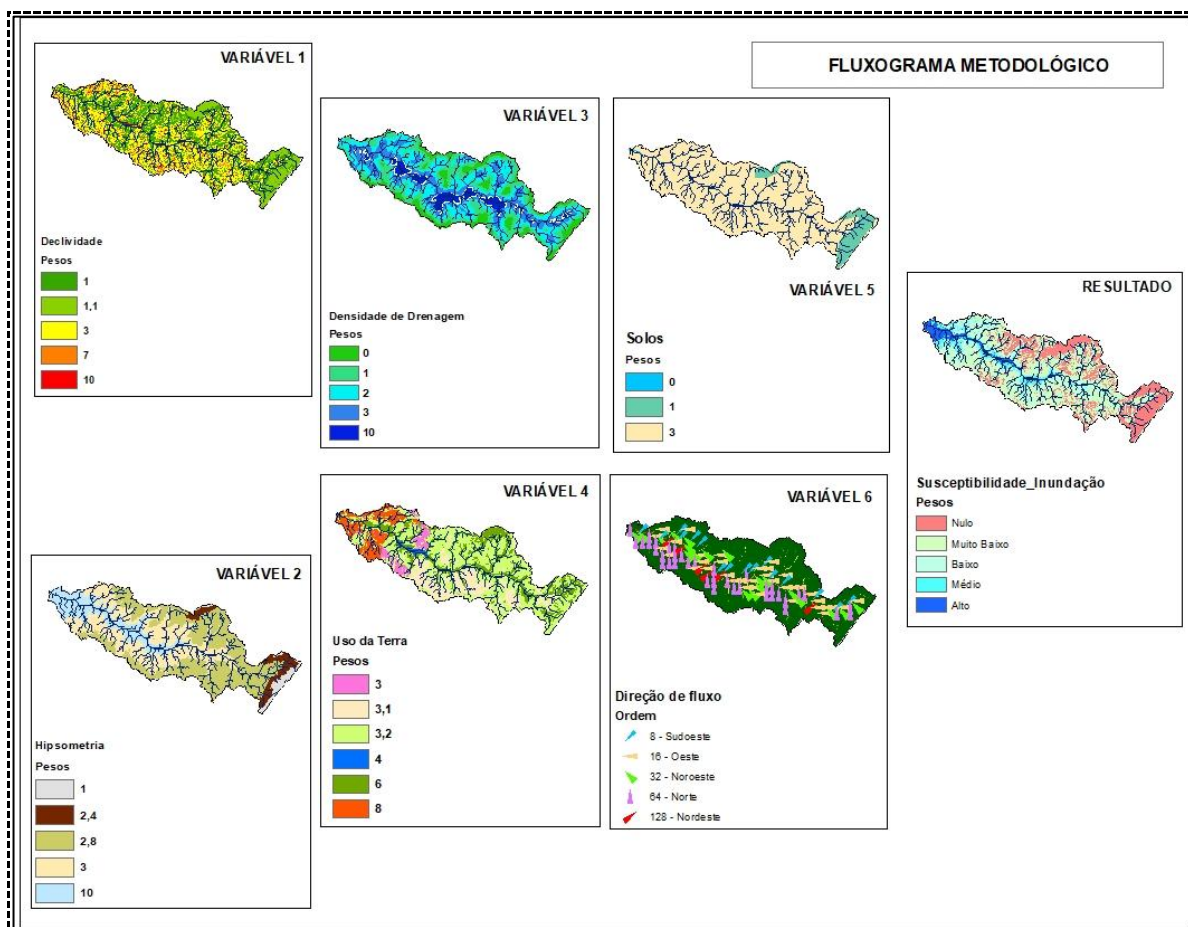
Tabela 5. Classificação e ponderação do Uso e Ocupação da Terra

Classes	Pesos	Km ²
Agropecuária	3,1	13,51
Campo	3,2	40,70
Cicatrices de Fogo	3,0	5,61
Corpos de água	1,0	0,90
Formações Florestais	6,0	20,03
Urbanização	8,0	7,83
Total	-	80,75

Organização: Pereira e Cristo, 2018

Quanto ao procedimento metodológico adotado para o desenvolvimento da presente pesquisa, o fluxograma representado na Figura 8, sintetiza o passo a passo realizado.

Figura 8 - Síntese dos procedimentos metodológicos



Organização: Pereira e Cristo, 2018

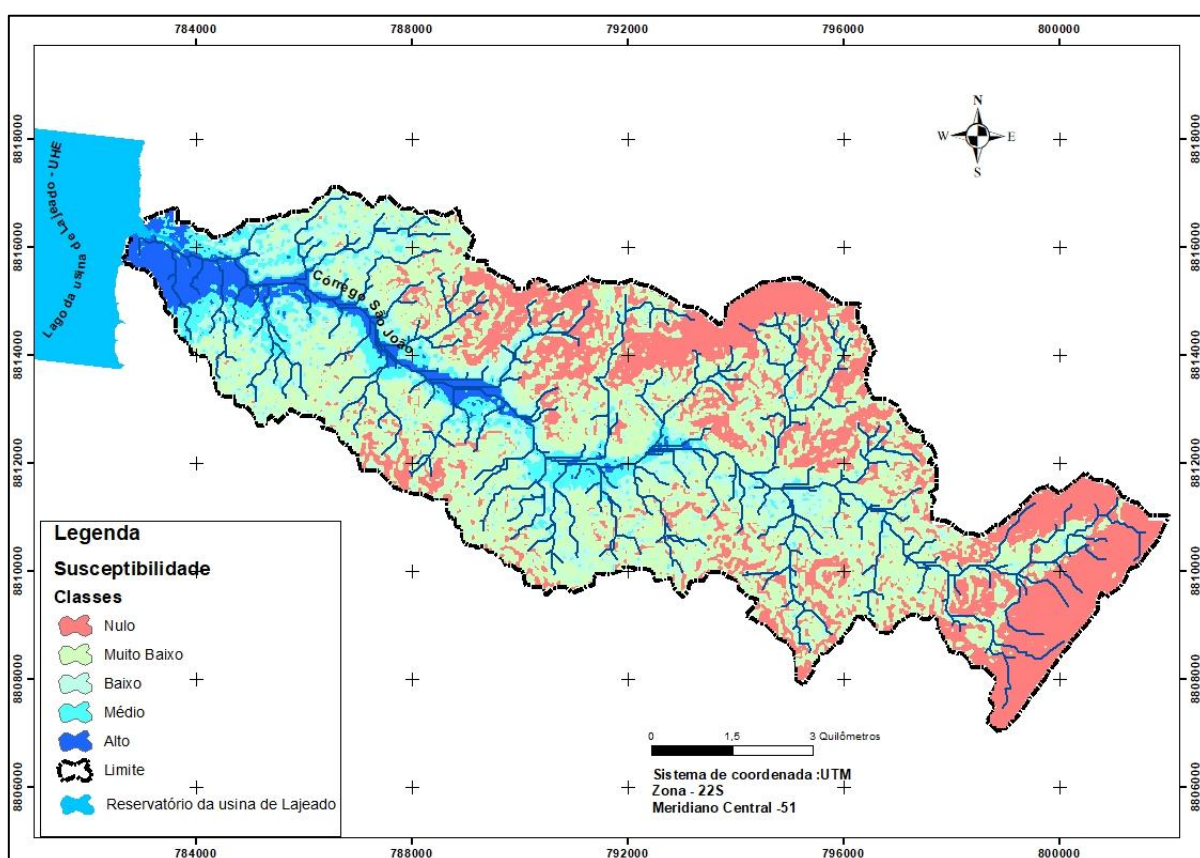
Para a execução da presente pesquisa, fez-se uso do Software Arcgis 10.5.1 do Laboratório de Geoprocessamento (LABGEOP) do Curso de Geografia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Porto Nacional.

Discussão dos Resultados

O mapa integrado de susceptibilidade á inundação da bacia hidrográfica do Córrego São João (Figura 9), resultou do cruzamento dos mapas temáticos de declividade, hipsometria, densidade de drenagem, solo e uso e ocupação da terra. Este mapa permitiu-se fazer algumas inferências quanto à espacialização zonal do risco a inundação periódica em nula, muito baixa, baixa, média e alta.

As classes de susceptibilidade a inundação nula e muito baixa, ocupam aproximadamente 68,23% de toda a área da bacia hidrográfica, situadas nas regiões mais íngremes da área de estudo. Já as classes caracterizadas como baixa e média susceptibilidade a inundação, situadas entre as declividades de 0 a 2% e 2 a 5%, compreendem cerca de 24,28% do conjunto de terras abrangidas pela bacia hidrográfica do córrego São João.

Figura 9 - Susceptibilidade a inundação da bacia hidrográfica do Córrego São João



Edição: Pereira e Cristo, 2018

A região da bacia em estudo, com maior previsão de susceptibilidade a ocorrência de inundações, diz respeito ao seu baixo e médio curso, locais caracterizados com os maiores índices de adensamento urbanísticos.

Além dessa variável antrópica, nas proximidades da foz do córrego São João, encontra-se as menores cotas altimétricas da área perimetral da bacia.

Cabe destacar que nesta porção da bacia já houve registros de ocorrência de inundações em outros períodos, a exemplo do que ocorreu em março de 2014 (Figura 10).

Figura 10. Efeito de inundação ocorrida no Setor Jardim Querido em 2014.



Fonte: <http://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2014/03/nove-familias-retornam-para-casas-apos-inundacao-em-porto-nacional.html> (Fotografias: Vilma Nascimento/G1)

A Tabela 6 sintetiza as classificações da bacia em estudo no que diz respeito às categorias de inundações, as áreas representadas e os percentuais correspondentes às denominações adotadas na pesquisa.

Tabela 6. Classificação e áreas susceptíveis a Inundação

Susceptibilidade	Km	%
Nula	23,49	29,09
Muito Baixa	31,61	39,14
Baixa	12,91	15,98
Média	6,71	8,30
Alta	6,03	7,49
Total	80,75	100,00

Organização: Pereira e Cristo, 2018

Considerações finais

Como resultado da intersecção de variáveis do quadro físico e antrópico, o mapa de susceptibilidade a inundação da bacia hidrográfica do Córrego São João pode contribuir para o processo de planejamento e ordenamento territorial urbano do município de Porto Nacional, uma vez que possibilita o conhecimento das áreas que apresentam susceptibilidade média e alta as inundações esporádicas.

Tais resultados, podem favorecer o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas de prevenção às inundações no município de Porto Nacional, bem como auxiliar a Defesa Civil e órgãos de planejamento na tomada de decisão e em ações de sensibilização dos moradores das áreas de risco sobre os cuidados que devem tomar nos períodos de chuvas intensas e rápidas.

Também destaca-se a importância da metodologia adotada na pesquisa, bem como do uso do Geoprocessamento na análise de risco de inundação na bacia hidrográfica do Córrego São João e outras áreas do município.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas de Abastecimento Urbano de Água**. Disponível em: < <http://atlas.ana.gov.br/atlas/> > Acesso em: 12 Set. 2018.

BERNARDELI, M. A. F. D. **Bacia hidrográfica do córrego São João e Segurança hídrica do abastecimento urbano do município de Porto Nacional**, TO, 2017, 142f.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo** – São Paulo: Contexto, 1995.

CREPANI, E.M.:et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRISTO, S. S. V. de. **Abordagem geográfica e análise do patrimônio geomorfológico em unidade de conservação da natureza: aplicação na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e área de entorno – estados do Tocantins e Bahia**. Porto Alegre: Tese de Doutorado. IGEO/UFRGS, 2013.

CRISTO, S. S. V. de; SILVA NETO, A. A. **Análise do Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do córrego São João através de técnicas de Sensoriamento Remoto, Porto Nacional - Tocantins - Brasil**. In: V Seminário Latino-americano e I Seminário Ibero-americano de Geografia Física, 2008, Santa Maria Rio Grande do Sul. V Seminário Latino-americano e I Seminário Ibero-americano de Geografia Física, 2008. v. 1. p. 1-14.

CRISTO, S. S. V. de; SILVA, P. O. E. . **ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO JOÃO, PORTO NACIONAL - TOCANTINS: ASPECTOS DE USO E OCUPAÇÃO**. In: I Seminário Internacional Meio Ambiente, Dinâmicas Regionais e Planejamento Territorial na Amazônia e no Cerrado, 2017, Porto Nacional - Tocantins.

ANAIS I Seminário Internacional Meio Ambiente, Dinâmicas Regionais e Planejamento Territorial na Amazônia e no Cerrado, 2017. v. 1. p. 520-527.

CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (Org.) Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 372p.

96

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ªed. ampl. e atual. – São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

MORAES, E. **Riscos de inundações e vulnerabilidade socioambiental das famílias no setor Jardim Querido em Porto Nacional – TO: a percepção dos moradores e o papel dos órgãos públicos**. Palmas – TO: Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós- Graduação (Mestrado) em Ciências do Ambiente, 2017. 121 f.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK. D. M. *The extraction of drainage networks from digital elevation data*. Computer Vision, Graphics and Image Processing, v. 28, n. 3, p. 328-344, 1984.

PRINA, B. Z; TRENTIN, R.; **Metodologia para mapeamento de áreas suscetíveis à inundação**: estudo de caso para o município de Jaguari/RS. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado/RS, 2014. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/anais.html>. Acessado em 20 de dezembro de 2018.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. São Paulo: Revista do Departamento de Geografia, FFLCH/USP, v.8, p 63 -74,1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 2000.
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE (SEPLAN). Atlas do Tocantins: **Subsídio ao Planejamento da Gestão Territorial**. Secretaria do planejamento e Meio Ambiente, Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. 6ªed. Palmas: Seplan, 2012.

SILVA NETO, A. A. da. Análise do Uso da Terra na sub-bacia hidrográfica do Córrego São João, Porto Nacional - TO. Porto Nacional – TO: UFT, Especialização em Geografia, 2006.

SILVA, A. A. F. **Geoprocessamento aplicado à análise e mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João-TO**. / Aion Angelu Ferraz Silva. – Porto Nacional, TO: UFT, 2010.35 p.; il.

TERESA, G, F. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais** / (org.). - - São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.) **Inundações Urbanas da América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 471p.