



# Delimitação cartográfica de nascentes difusas com o uso de sensoriamento remoto em Várzea Grande – MT

Cartographic delimitation of diffuse springs with the use of remote sensing in Várzea Grande – MT

Delimitación cartográfica de manteneros con el uso de la detección remota en Várzea Grande - MT

**Barbara Fernanda da Cunha Tasca**  

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá (MT), Brasil  
[barbarafernandatasca@gmail.com](mailto:barbarafernandatasca@gmail.com)

**Lucas Neris Araújo**  

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá (MT), Brasil  
[lucasneri1987@gmail.com](mailto:lucasneri1987@gmail.com)

**Fernanda Miguel Franco**  

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT, Cáceres (MT), Brasil  
[fernanda.franco@ifmt.edu.br](mailto:fernanda.franco@ifmt.edu.br)

---

## Resumo

Muitas cidades se desenvolveram rapidamente ao longo de rios, como é o caso da cidade de Várzea Grande-MT. Entretanto, a urbanização desordenada gera problemas quanto à oferta e qualidade da água, em vista da ocupação de locais que cumprem função de salvaguarda dos corpos hídricos, como as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e Áreas Úmidas (AUs). Desta forma, a identificação de áreas com importantes serviços ambientais, como as nascentes difusas, tratadas aqui como AUs, são um importante instrumento para guiar o desenvolvimento das cidades e conservar ecossistemas de grande valor ambiental. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi delimitar cartograficamente as nascentes difusas catalogadas pelo projeto Água para o Futuro na Zona Urbana e Periurbana de Várzea Grande e suas respectivas APPs utilizando as técnicas de sensoriamento remoto NDWI, MNDWI e DWV. Os resultados mostram que os índices espectrais demonstraram uma boa eficiência para a delimitação de corpos d'água na área de estudo, no entanto, não foram capazes de delimitar as nascentes difusas. A partir dos resultados, denota-se que é necessário associar outras técnicas de sensoriamento remoto aos índices espectrais, capazes de distinguir as respostas espectrais de áreas úmidas em relação a outras coberturas e usos da terra.



**Palavras-chave:** Nascentes difusas. Delimitação. Sensoriamento remoto.

---

#### **Abstract**

Many cities have been developed rapidly along the rivers, like the city of Várzea Grande – MT. However, the inordinate urbanization generates issues on the supply and quality of the water, in view of occupancy of sites that execute a function of guarding the bodies of water, such as the Areas of Permanent Preservation. (APP) and humid areas (AU). In this way, the identification of areas with great environment services, such as the diffuse springs, treated here as (AU), are an important instrument to guide the development of the cities and preserve the ecosystem of great environment value. Therefore, the purpose of this study is to cartographically delimitate the diffuse springs cataloged by the “Water for the future” in the Urban and Peri-urban zones of Várzea Grande and its respective APPs, using the NDWI, MNDWI and DWV remote sensing technics. The results show that the spectral indicators have demonstrated a good efficiency to delimitate the bodies of water in the study site, however, they were not capable to delimitated the diffuse springs. From those results, is denoted that is necessary to insert others technics of remote sensing to the spectral indicators, that can be able to distinguish the spectral results of humid areas to others coverages and ground usages.

**Keywords:** Diffuse springs. Delimitation. Remote sensing.

---

#### **Resumen**

Muchas ciudades se desarrollaron rápidamente a lo largo de los ríos, como es el caso de la ciudad de Várzea Grande-MT. La urbanización desordenada genera problemas en cuanto al abastecimiento y calidad del agua, así como la ocupación de lugares que cumplen la función de preservar los cuerpos de agua, como las Áreas de Preservación Permanente (APP) y las Áreas Húmedas (AU). La identificación de áreas con importantes servicios ambientales, como los manantiales difusos, tratados aquí como UA, son un importante instrumento para orientar el desarrollo de las ciudades y conservar ecosistemas de gran valor ambiental. El objetivo de este estudio fue mapear los manantiales difusos catalogados por el proyecto Água para o Futuro en la Zona Urbana y Periurbana de Várzea Grande y sus respectivas APP utilizando técnicas de teledetección NDWI, MNDWI y DWV. Los resultados muestran que los índices espectrales mostraron una buena eficiencia para la delimitación de cuerpos de agua en el área de estudio, sin embargo, no lograron delimitar los manantiales difusos. De los resultados se desprende que es necesario asociar a los índices espectrales otras técnicas de teledetección, capaces de distinguir las respuestas espectrales de los humedales en relación con otras coberturas y usos del suelo.

**Palabras-clave:** Manantiales. Delimitación. Detección remota.

---

## **Introdução**

A política nacional de desenvolvimento urbano foi estruturada nos anos de 1960/1970 por meio de um sistema de financiamento de habitação e saneamento (ROLNIK; KLINK, 2011). De acordo com os autores, nem a habitação, nem o saneamento, baseados nesse modelo de financiamento privado do desenvolvimento urbano foram capazes de produzir moradia digna para a maior parte da população, tendo

em vista que os sistemas se expandiram mais nas regiões de maior renda, onde o retorno financeiro dos investimentos era garantido. Aos habitantes de baixa renda, restou o parcelamento ilegal do solo e a autoconstrução em áreas periféricas, sem condições mínimas de urbanização.

A ausência do controle urbanístico e de programas habitacionais para a população de baixa renda, somada a fiscalização precária nesses locais, em vista da dispensa dos governos municipais e estaduais de responderem pelo “poder de polícia” sobre o uso e ocupação do solo (MARICATO, 2008), gera uma série de dificuldades de ordem sanitário-ambiental e social, sendo notório o impacto ao meio natural, pois a construção das cidades consiste na desestabilização do equilíbrio ecológico existente, a qual se inicia pela remoção da cobertura vegetal, alterando a dinâmica das populações orgânicas, assim como no ciclo da água e os nutrientes do solo (MALUF, 2010).

Muitas cidades se desenvolveram ao longo de rios, devido a navegação fluvial e a disponibilidade hídrica, como é o caso da cidade de Várzea Grande, Mato Grosso. Entretanto, a urbanização sem diretrizes, gera sérios problemas quanto à oferta e qualidade da água, em vista da ocupação de locais que cumprem função de salvaguarda dos corpos hídricos, como as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e Área Úmidas (AUs). As áreas úmidas, como é o caso de nascentes difusas, são consideradas pela RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT (2013) o ambiente mais produtivo do mundo, em vista da grande diversidade ecológica e notável fornecimento de água, o que demonstra a sua importância na manutenção dos processos ecológicos essenciais e de sistemas de suporte à vida, na preservação da diversidade genética e na utilização sustentável desses microecossistemas.

Entretanto, em vista da omissão de políticas ambientais quanto à conservação dessas áreas, há um conflito entre a necessidade de protegê-las de forma legal e as questões ligadas à urbanização e agricultura, além de outros usos potencialmente impactantes (DAROLD; IRIGARAY, 2018). Essa situação contribui para a consolidação de irracionalidades no uso e ocupação do solo, principalmente em zonas urbanas, onde a falta de uma política de desenvolvimento urbano-ambiental leva a um crescimento urbano insustentável, o qual tem como principal objetivo atender aos interesses dos diferentes mercados imobiliários, tanto o formal como o informal, levando

a ações negligentes como a transformação de áreas protegidas em loteamentos, a ocupação de fundos de vales e impermeabilização de áreas brejosas (GROSTEIN, 2001).

Além disso, a ausência ou ineficiência de programas habitacionais para a população de baixa renda, a ineficácia nos processos de licenciamento ambiental e a falta de instrumentos que permitam que o poder público possa ter celeridade em suas ações de proteção ambiental, acarreta a incapacidade de combater a degradação de APPs e AUs em áreas urbanas. Nesse contexto, as áreas brejosas por serem consideradas (erroneamente) locais com valores marginais, são, muitas vezes, drenadas e aterradas para a ocupação urbana, comprometendo todo o sistema ambiental naquela região, (COMITÊ BRASIL, 2012).

Somado a isso, existe na literatura uma lacuna no conhecimento sobre os limites de AUs e faltam dados que sirvam de parâmetros para ações de preservação e uso racional de seus recursos (DIAS, 2014). A presença de AUs em áreas urbanas, muitas vezes, é interpretada por projetistas e planejadores urbanos como um complicador ou empecilho à urbanização por suas características naturais, principalmente devido ao encharcamento provocado pela interceptação do lençol freático com a superfície em processo de urbanização.

Segundo Dias (2014), a variação do lençol freático ao longo do ano, a dificuldade de acesso nesses locais e, em muitos casos, as suas grandes extensões, tornam os métodos tradicionais de delimitação de AUs inviáveis. Portanto, é essencial se pensar em procedimentos que permitam delimitar e catalogar essas áreas para que sirvam de insumos na tomada de decisão quanto ao planejamento urbano.

É sabido que a urbanização sempre resultará em alterações ambientais, competindo aos tomadores de decisões planejarem e adequarem esse processo às características do ambiente existente, de modo que os efeitos negativos sejam os mínimos possíveis. A identificação de áreas com importantes serviços ambientais, como as nascentes difusas, tratadas aqui também como AUs, não só são um importante instrumento para guiar o desenvolvimento das cidades, como também para conservar ecossistemas de grande valor ambiental. Nessa perspectiva, as técnicas de

sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas para caracterizar diversos elementos da paisagem, pois propiciam maior agilidade, precisão e viabilidade econômica durante a análise dos dados, sendo alternativas viáveis para a delimitação e análise de corpos d'água.

Em muitos estudos, são utilizadas imagens orbitais como dado para obtenção de classes de cobertura do solo, pois representam graficamente os elementos presentes na superfície terrestre, os quais podem ser distinguidos a partir de suas respostas espectrais captadas pelos sensores orbitais. Segundo Schowengerdt (1997), existem diversos métodos que podem ser aplicados nas imagens de satélite, como a extração de índices por meio de álgebra entre bandas espectrais, que evidenciam características pouco realçadas nos dados originais.

Calculado nessa prerrogativa e no contexto apresentado, indaga-se a possibilidade da utilização das técnicas de sensoriamento remoto (SR) para delimitar cartograficamente nascentes difusas para fins de planejamento urbano. Tendo em vista que as nascentes difusas são superfícies cobertas por água e colonizadas por plantas associadas a presença de umidade assim como as AUs, a hipótese é a possibilidade de utilizar índices que maximizam a reflectância típica da água e realçam o contraste entre a água e a cobertura vegetal, sendo assim delimitar cartograficamente nascentes difusas na região urbana e periurbana de Várzea Grande -MT.

Tendo o conhecimento que a cidade de Várzea Grande já possui quatorze nascentes confirmadas, sendo nove caracterizadas como difusas, e, destas, oito já foram delimitadas em campo utilizando métodos tradicionais como parâmetro prático de demarcação, o objetivo deste estudo foi delimitar cartograficamente as nascentes difusas catalogadas pelo projeto Água para o Futuro na Zona Urbana e Periurbana de Várzea Grande (MORAES et al, 2018). Para isso, em primeiro lugar, fez-se necessário delimitar os corpos d'água da área de estudo por meio de índices espectrais como o NDWI, MNDWI e DWV para, assim, identificar qual faixa espectral melhor representa as nascentes difusas. Além disso, analisou-se a situação ambiental dessas nascentes difusas catalogadas, a fim de constatar a degradação causada pela urbanização nesses locais.

## Metodologia

O método de abordagem desta pesquisa se enquadra no método científico hipotético-dedutivo, uma vez que o estudo tem a sua origem em um problema para o qual se procura uma solução, por intermédio de uma hipótese e eliminação de erros ou, conforme Popper (1975) definiu, teste de falseamento, que se resume em tentativas de refutação por meio da observação e experimentação.

## Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na região urbana e periurbana do município de Várzea Grande (MT), Brasil, onde, por meio do projeto Água para o Futuro, houve a identificação de 9 nascentes difusas e delimitação da área de afloramento hídrico em 8 delas (Figura 1). A Tabela 1 mostra as coordenadas de cada nascente. Utilizou-se como referência espacial o Perímetro Urbano do referido município, conforme publicado na Lei complementar de Várzea Grande nº 4.696/2021, e as nascentes difusas catalogadas na área urbana e periurbana.

Localizado na Mesorregião do Centro-Sul Mato-Grossense, o município de Várzea Grande possui uma extensão territorial de 724,279 km<sup>2</sup>, sendo que a Zona Urbana corresponde a uma área de 163,244 Km<sup>2</sup>. Com uma população estimada em 290.383 habitantes no ano de 2021 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Várzea Grande tem densidade populacional de 240,98 hab/km<sup>2</sup>.

Um estudo de compartimentação numa abordagem geoecológica foi realizado por Dantas et al. (2006) nas cidades de Cuiabá, Várzea Grande e Região. O método utilizado considera que a unidade de paisagem (ou ecótono) é um produto da combinação entre geologia, pedologia, hidrologia, climatologia e biogeografia, dentre outros campos do conhecimento.

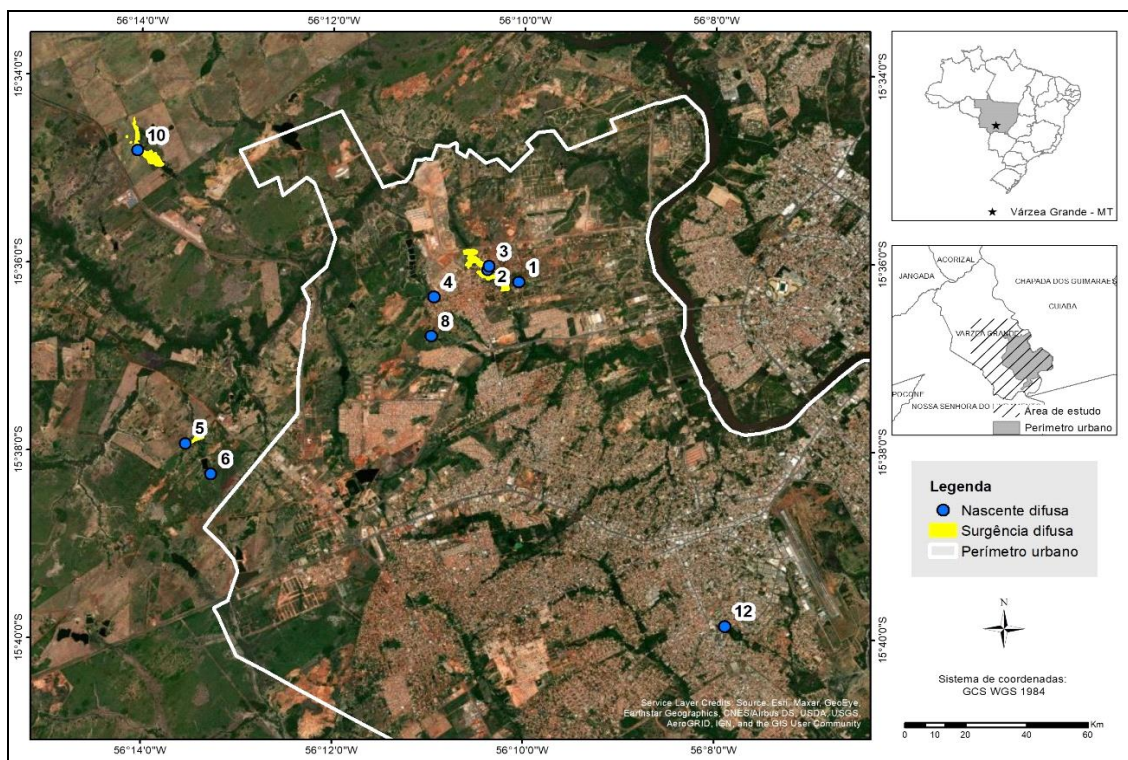
Com base nesse estudo, a área urbana de Várzea Grande está situada no Domínio Geoambiental da Depressão Cuiabana, o qual se caracteriza por um conjunto

de superfícies aplainadas modeladas na Faixa Dobrada Neoproterozóica do Alto Paraguai.

Ocupando uma vasta área neste domínio, a Unidade Geoambiental Superfícies Aplainadas Conservadas caracteriza-se por um relevo plano a levemente ondulado, em colinas rampeadas amplas e suaves, com baixas amplitudes de relevo e sedimentação aluvial expressiva, ocupando as bacias do rio Aricá-Açu e ribeirão Cocaes em terrenos a sul e leste da cidade de Cuiabá. Apresenta alta capacidade de carga e alto potencial hidrogeológico (DANTAS et al, 2006, p. 6, s/d, grifo dos autores).

Ainda segundo o autor, nos amplos fundos de vales, há ocorrência de solos rasos, imperfeitamente drenados e concrecionários (Plintossolos Pétricos), com baixa fertilidade natural, moderada a alta suscetibilidade à erosão laminar e linear (sulcos e ravinas) e severas restrições para agricultura.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. O número das nascentes segue a numeração da catalogação do projeto Água para o Futuro



Fonte: Banco de dados geográficos do projeto Água para o Futuro (2019).

Tabela 1: Coordenadas das nascentes difusas catalogadas pelo projeto Água para o Futuro em Várzea Grande. O Datum utilizado para a coleta das coordenadas foi o WGS 1984

<b>Número da nascente</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>1</b>	15° 36' 11.998" S	56° 10' 3.714" W
<b>2</b>	15° 36' 4.345" S	56° 10' 23.190" W
<b>3</b>	15° 36' 1.851" S	56° 10' 22.138" W
<b>4</b>	15° 36' 21.474" S	56° 10' 56.822" W
<b>5</b>	15° 37' 55.798" S	56° 13' 32.438" W
<b>6</b>	15° 38' 15.185" S	56° 13' 16.351" W
<b>8</b>	15° 36' 46.616" S	56° 10' 58.521" W
<b>10</b>	15° 34' 48.379" S	56° 14' 2.916" W
<b>12</b>	15° 39' 51.389" S	56° 7' 53.601" W

Fonte: Banco de dados geográficos do projeto Água para o Futuro (2019).

Segundo Tarifa (2011, p. 56), Cuiabá e Várzea Grande se encontram regionalmente situadas numa área de clima Tropical Continental Alternadamente Úmido e Seco megatérmico da depressão do médio Cuiabá. E o clima regional é Tropical Continental Alternadamente Úmido e Seco do estado de Mato Grosso tem, como as mais importantes características, a repetição e alternância sazonal do movimento estacional quente e úmido e quente e seco.

Em estudo realizado por Silva e Tarifa (2017) para determinar o ritmo da temperatura no clima das cidades de Cuiabá e Várzea Grande a partir de uma análise secular (1912 a 2012), foi constatado que:

As cidades de Cuiabá e Várzea Grande constituem em uma metrópole regional em torno das quais vem expandindo importantes áreas industriais. Vários fatores são determinantes como: extensão territorial, quantidade de habitantes, concentração de serviços, universidades, bancos, entre outros aspectos. Como em todo processo de ocupação dos espaços urbanos onde existem alterações significativas no ambiente natural inevitavelmente ocorrem derivações no clima local, nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande não seria diferente” (SILVA e TARIFA, 2017, p. 3).



## Caracterização ambiental

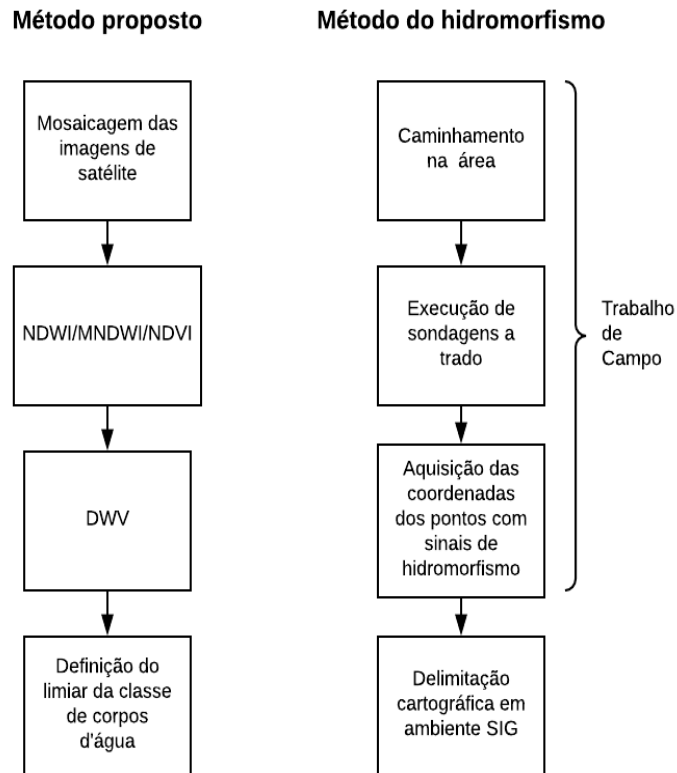
As nascentes foram identificadas e caracterizadas pelos técnicos do projeto Água para o Futuro, que realizaram um levantamento em campo entre os dias 02/09/2019 e 09/09/2019, a partir do qual foi possível observar a situação ambiental da APP e se houve algum tipo de degradação no entorno das nascentes.

Destaca-se que o projeto Água para o Futuro é uma parceria entre o Ministério Público Estadual de Mato Grosso, a Universidade Federal de Mato Grosso, o Instituto Ação Verde e a Concessionária Águas Cuiabá, que, em cooperação, realizam a identificação de nascentes nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande, possibilitando a caracterização, monitoramento, preservação e recuperação de suas Áreas de Preservação Permanente.

## Delimitação dos corpos d'água

Buscou-se delimitar as zonas de afloramento hídrico difuso por intermédio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas às imagens orbitais obtidas pelo sensor Multispectral Instrument (MSI), instalado a bordo do satélite Sentinel-2, na data 22/11/2020. Para isso, foi feito os mosaicos das bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo, que possuem resolução espacial de 10 metros, e do infravermelho médio, que possui resolução espacial de 20 metros, das imagens com Tile Number T21LXC e T21LWC, os quais foram submetidos às técnicas de álgebra de bandas espectrais NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), que consiste em uma expressão modificada do NDWI, e DWV (Difference Between the Water and Vegetation Index) (Figura 2). Ao final, definiu-se, por meio de interpretação visual dos índices sobrepostos à imagem orbital com cor verdadeira, o limiar da escala de valores dos índices a partir do qual os corpos d'água são melhor representados.

Figura 2: Fluxograma comparativo do método proposto e utilizando o hidromorfismo como parâmetro prático para a delimitação cartográfica de nascentes difusas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O NDWI (MCFEETERS, 1996) se baseia em uma relação entre medidas espectrais de reflectância das bandas do infravermelho próximo e do verde, variando em uma escala de -1 a 1, onde valores maiores que zero correspondem a locais com presença de lâmina de água. O NDWI pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$NDWI = \frac{(\rho_{green} - \rho_{NIR})}{(\rho_{green} + \rho_{NIR})} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $\rho_{green}$  = banda do verde

$\rho_{NIR}$  = banda do infravermelho próximo

No entanto, segundo Xu (2006), o NDWI não separa de forma eficiente o solo da água, provocando certa mistura entre as respostas espectrais desses dois alvos. Desta forma, o autor propôs um índice de diferença normalizada da água que utilizada as bandas do verde e do infravermelho médio, uma vez que a água possui maior taxa de

absorção de radiação eletromagnética na faixa do infravermelho médio do que no infravermelho próximo e as áreas edificadas, de solo exposto e vegetação possuem maior reflectância no infravermelho médio do que no infravermelho próximo, ampliando o contraste entre corpos d'água e as demais feições do terreno. Sendo assim, a água será representada por valores mais positivos e os valores das áreas edificadas, solo exposto e vegetação tendem a ser mais negativos. O MNDWI pode ser obtido de acordo com a seguinte equação:

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{MIR}}{\rho_{green} + \rho_{MIR}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$\rho_{MIR}$  = Banda de reflectância da radiação na região do infravermelho médio.

Ademais, fez-se o uso do DWV (GOND et al, 2004), que é o índice de diferença entre a água e a vegetação, aumentando a evidência da presença de água livre e de zonas úmidas em regiões secas. O DWV é calculado pela seguinte equação:

$$DWV = NDWI - NDVI \quad (\text{Equação 3})$$

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (ROUSE, 1973), por sua vez, é dado pela combinação das bandas do vermelho e infravermelho próximo e mede a intensidade de atividade clorofiliana entre uma escala que varia de -1 a 1, haja vista, a faixa do vermelho possui forte absorção da clorofila, enquanto a faixa do infravermelho próximo possui alta reflectância da vegetação (GAO, 1996). Dessa forma, por meio da razão entre a diferença e a soma dessas duas bandas (Equação 4), tem-se o realce da vegetação.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:  $\rho_{red}$  = banda do vermelho

A nível de comparação, utilizou-se a delimitação das nascentes difusas feita pelo projeto Água para o Futuro por meio do método hidromorfismo (ALVES, 2016), que consiste na execução de sondagens a trado georreferenciadas ao longo de toda área

úmida e posterior extrapolação do limite cartográfico com base nas coordenadas geográficas dos pontos que tiveram interceptação com o lençol freático próximo à superfície ou que apresentarem sinais de hidromorfismo, bem como a delimitação das massas d'água e os rios duplos vetorizados e disponibilizados com escala de 1:25000 pela Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2018) como referência para a definição da taxa de acerto (Equação 5) dos corpos d'água representados pelos índices.

$$TA = \frac{\text{Corpo d'água de referência}}{\text{Corpos d'água obtidos pelo índice}} \quad (\text{Equação 5})$$

## Resultados e discussões

O aumento populacional expressivo nas últimas décadas associado à exclusão socioespacial de populações urbanas e a ausência do poder público na regulação do uso, cobertura e ocupação do solo da região urbana e periurbana tem ocasionado a supressão de corpos hídricos vitais à disponibilização de água potável na superfície.

Com o processo de urbanização provocado pelo aumento populacional como consequência da expansão agroindustrial, a sociedade e seus dirigentes têm tratado os cursos d'água de forma avessa ao seu potencial de cumprimento da função social de abastecimento da população com água própria ao consumo humano, manutenção da biodiversidade por meio da formação de corredores ecológicos, dentre outros benefícios associados a conservação de cursos d'água e seu entorno.

O abandono desses ambientes no atual quadro de crise habitacional pode propiciar a ocupação irregular pela população que não dispõe de moradia. Contudo, há de se chamar atenção para a insalubridade de moradias instaladas nestes locais. Em alguns casos, para que seja possível edificar, são construídos de forma empírica canais de drenagem abertos que margeiam as ruas e casas construídas irregularmente no terreno.

Em decorrência desse processo de ocupação, normalmente ocorre a total impermeabilização da superfície através da pavimentação e com relação ao ecossistema urbano é possível destacar a alta densidade demográfica, o desequilíbrio da relação entre ambiente construído e ambiente natural, o grande volume de resíduos, a alteração da diversidade biológica nativa com a remoção da vegetação ripária e a alteração dos cursos da água (MALUF, 2010).

Essa impermeabilização do solo é preocupante, pois aumenta o volume de água que escoar pela superfície, seja na forma de enxurrada pelas ruas ou acumulada nas galerias pluviais, onde servidas com esgoto sanitário atingem cursos d'água naturais, gerando erosão, assoreamento, poluição e contaminação. Em muitos casos ocorre, até mesmo o desaparecimento de nascentes e a efemerização de córregos, como pode ser o caso de um canal, afluente do córrego Taqual, considerado perene em 2008 (período do estudo do Instituto de Pesquisa Matogrossense - IPEM) e atualmente se encontra seco. Todavia, é necessário realizar um estudo mais longo, levando em conta a sazonalidade hídrica, para determinar se esse canal realmente se tornou efêmero ou se encontra intermitente.

No estudo de caracterização da Nascente do Córrego da Onça em Várzea Grande-MT (cidade conurbada com Cuiabá), Port (2016, p. 8) descreve a situação das nascentes da cidade:

Em Várzea Grande, como em muitas outras cidades, grande parte dos cursos d'água apresentam sérios impactos ambientais como a supressão de matas ciliares, ocupação irregular das áreas protegidas, aterramento de nascentes, canalização de córregos, impermeabilização do solo, lançamento de efluentes sem tratamento, bolsões de lixo, promovendo um cenário com baixa qualidade ambiental.

Posto isso, nota-se a importância da identificação e delimitação da APP de nascentes urbanas em tempo hábil, como uma forma de subsidiar a proteção frente aos processos de degradação desses ambientes de grande importância hídrica na zona urbana e periurbana de Várzea Grande.

## Caracterização ambiental

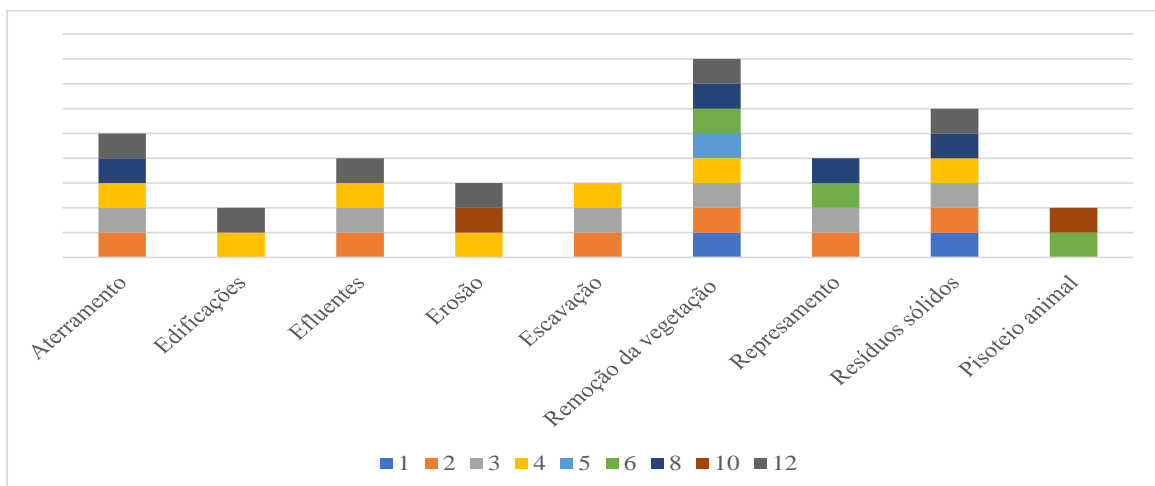
As 9 nascentes difusas identificadas em Várzea Grande apresentaram o seu entorno degradado (Figura 3). Os processos de degradação detectados foram: aterramento de parte da APP, construção de edificações, disposição de resíduos sólidos, escavação de canais de drenagem, lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, pisoteio animal, processos erosivos, remoção da cobertura vegetal e represamento da surgência hídrica (Figura 4).

Figura 3: Exemplo de nascente conservada (A) e degradada (B)



Fonte: Acervo do projeto Água para o Futuro (2020). \* (A) Nascente difusa localizada na região administrativa Sul de Cuiabá, na bacia do Córrego Aricá, relativamente conservada, com presença de danos ambientais de baixo impacto; e (B) Nascente difusa em avançado processo de degradação ambiental, localizada no bairro Jardim Manaira, Várzea Grande-MT (Nascente identificada com número 4 pela equipe do projeto Água para o Futuro).

Figura 4: Ocorrência dos tipos de degradações nas nascentes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 e 12 identificadas e catalogadas pelo projeto Água para o Futuro



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Um aspecto que necessita ser salientado é que para garantir a integridade e a constância dos recursos hídricos é a massa vegetal que os circundam, as matas ciliares, precisam ser preservadas. Sobre o ponto de vista da hidrologia florestal, “as matas ciliares ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, prestando serviços ecossistêmicos essenciais ao meio ambiente” (LIMA; ZAKIA, 2004).

Esses processos de degradação causam a perda ou diminuição da biodiversidade, queda dos atributos nutricionais do solo, diminuição da surgência hídrica de nascentes, a contaminação da água e do solo, o assoreamento dos corpos hídricos, além do processo de fragmentação de habitats e todas as suas consequências ecológicas e ecossistêmicas. O aterramento de uma nascente (Figura 5) ou região de cabeceira altera a sua dinâmica hídrica superficial e subsuperficial local, podendo descaracterizar a nascente, diminuir a sua vazão e, até mesmo, proporcionar o seu desaparecimento.

Figura 5: Foto aérea registrando o aterramento de nascente difusa no bairro Petrópolis, Várzea Grande-MT



Fonte: Acervo do projeto Água para o Futuro (2020).

A retirada da vegetação em áreas de nascente contribui para a diminuição da infiltração de água da chuva no subsolo, resultando na redução de afloramento de água,

assoreamento e descaracterização dos corpos d'água. De acordo com estudos desenvolvidos por Bertoni e Lombardi Neto (2005) a presença da mata ciliar possibilita o acréscimo na rugosidade da superfície da bacia, aumentando assim a permanência da água na superfície do solo, elevando sua infiltração. A impermeabilização do solo com a construção de edificações aumenta a velocidade de escoamento superficial da água nesses locais, bem como diminui o seu tempo de permanência na bacia hidrográfica. Dessa forma, durante o período chuvoso, a água atinge os cursos d'água com maior energia cinética, ocasionando erosão, assoreamento e, em casos mais intensos, enchentes.

Ressalta-se que a construção de moradias nessas zonas ripárias (Figura 6), além de proporcionar a perda da qualidade ambiental, podem acarretar danos às edificações, como infiltrações e rachaduras, levando ao risco iminente de desabamento. A ocupação irregular dessas áreas decorre de fatores como a ausência ou ineficiência de programas habitacionais para famílias em situação de vulnerabilidade e devido à falta de fiscalização pelas autoridades públicas, que agem somente após a ocorrência de acidentes com perdas de vidas humanas.

Figura 6: Aerofoto demonstrando o avanço das ocupações urbanas sobre a Nascente 04, identificada pelo projeto Água para o Futuro no bairro Jardim Manaira, Várzea Grande-

MT



Data da imagem: 10/02/2020. Fonte: Acervo do projeto Água para o Futuro (2020).



Enchentes e erosões nas proximidades das residências, são decorrentes das ocupações irregulares nas áreas de preservação, tornando-as áreas de risco. Atrelado a isso, estão os vários riscos em contrair doenças, devido aos resíduos e efluentes presentes no local (SANTANA, 2011). A ocupação irregular das áreas próximas a cursos d'água, como acontece nas APPs, acabam gerando situações de risco, o que pode levar o município a decretar estado de calamidade pública em casos extremos. A situação pode ser agravada quando o sistema de drenagem urbana não está em boas condições (SILVA et al., 2018). Ao se executar um planejamento urbano calcado nos instrumentos urbanísticos e ambientais como o Estatuto da Cidade, Zoneamento Urbano, Plano diretor e Código Florestal, trabalha-se para evitar a formação de zonas de risco.

### **Delimitação dos corpos d'água**

Para que seja possível o cumprimento da legislação urbanística e ambiental, é necessário se colocar em prática o planejamento urbano. Neste sentido, faz-se necessário uma eficiente e viável estratégia de delimitação física e cartográfica dos corpos d'água presentes no ambiente urbano e das áreas de preservação permanente.

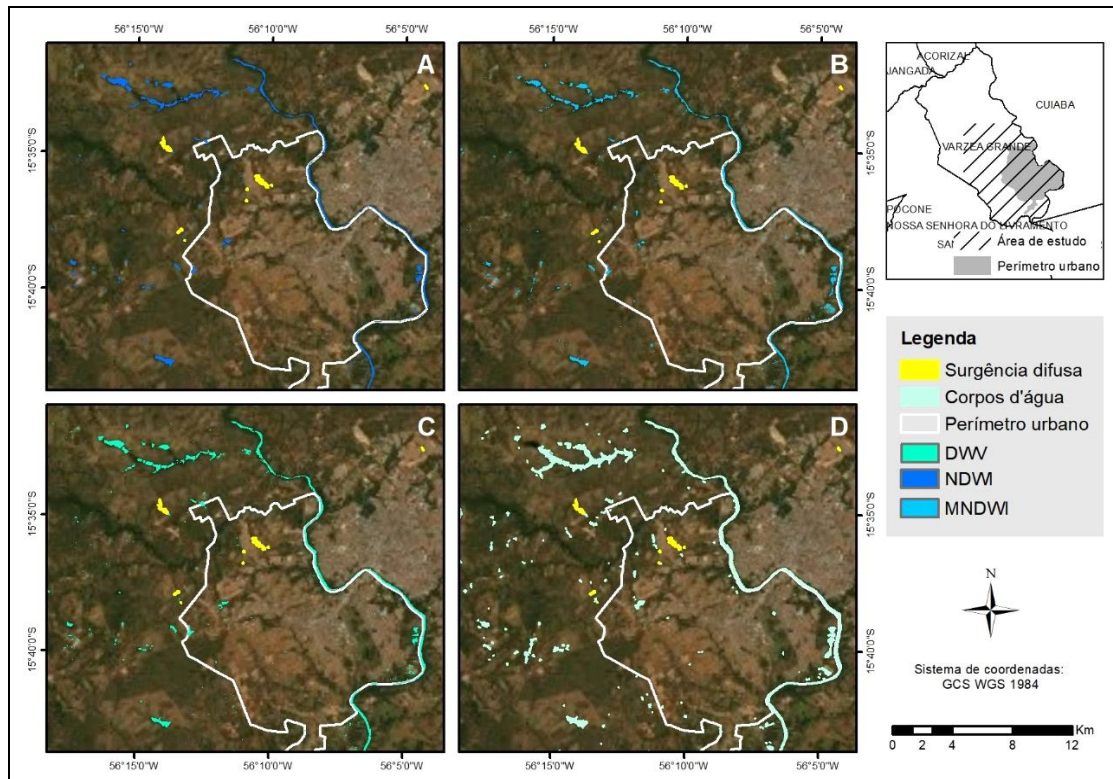
O NDWI apresentou valores com variação entre -0,9232 e 0,8903. O intervalo que melhor representou os corpos d'água foi acima de 0,1 (Figura 7-A), uma vez que entre 0 e 0,1 houve muita interferência de outras coberturas e usos da terra. O intervalo entre 0,1 e 0,8903 totalizou uma área igual a 788,1643 ha.

O MNDWI, por sua vez, gerou valores com variação entre -0,8644 e 0,8688, mantendo-se o intervalo acima de 0,1 para representar os corpos d'água (Figura 7-B), o que totalizou uma área de 718,3123 ha. Já o DWV apresentou valores com variação entre -1,7594 e 1,2291, totalizando uma área igual a 801,7512 ha com valores acima de 0,1, que supostamente são os corpos d'água (Figura 7-C).

A nível de comparação, utilizou-se as massas d'água e os rios duplos vetorizados e disponibilizados com escala de 1:25000 pela Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2018) (Figura 7-D) para quantificar a taxa de acerto dos corpos

d'água gerados pelos índices. Ressalta-se que, segundo a FBDS, a área de estudo da presente pesquisa possui 1.046,4433 ha de lâmina d'água. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos.

Figura 7: Índice espectral NDWI (A), MNDWI (B), DWV (c) e corpos d'água vetorizados pela FBDS (D)



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 2: Taxa de acerto dos corpos d'água gerados pelos índices.

Índice	Área total (ha)	Sobreposição com os corpos d'água vetorizados (ha)	Ruídos (ha)	Taxa de acerto
NDWI	788,16	635,16	153,01	60,69%
MNDWI	718,31	602,26	116,05	57,55%
DWV	801,75	637,63	164,12	60,93%

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Os resultados mostram que os índices representaram mais da metade dos corpos d'água presentes na área de estudo, em média 59,72%. O MNDWI foi o que apresentou a menor quantidade de ruídos, o que pode estar relacionado ao fato de possuir uma resposta espectral mais sensível à lâmina d'água perante outras classes, em vista da presença da banda do infravermelho médio na equação. No entanto, foi o índice que menos representou os corpos d'água da área de estudo, devido a menor área total com valores acima de 0,1.

Fernandes (2012) obteve bons resultados com o MNDWI para representar os corpos d'água da região do médio Araguaia, os quais foram associados aos valores de 0,48 a 2,06. Considerando os valores acima de 0 do NDVI, Marth et al (2016) delimitou os corpos hídricos perenes e áreas alagadas, tanto ocupadas por atividades agrícolas e pecuárias, como em áreas preservadas, da Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel, Rio Grande do Sul, confirmando a qualidade da aplicação do NDWI no mapeamento de lâmina d'água.

Destarte, os índices espectrais demonstraram resultados satisfatórios para a delimitação de corpos d'água na área de estudo, possibilitando a identificação de massas d'água acima de 100 m<sup>2</sup>, em vista da resolução espacial da imagem orbital. No entanto, não possibilitaram delimitar as 9 nascentes difusas catalogadas pelo projeto Água para o Futuro na zona urbana e periurbana de Várzea Grande. Sendo assim, a hipótese apresentada é nula.

Por fim, verificou-se que as técnicas de sensoriamento remoto NDWI, MNDWI e DWV não são capazes de distinguir a resposta espectral de áreas alagadas com presença de cobertura vegetal em comparação com outras coberturas e usos do solo, mesmo com a utilização do DWV, pois seus valores são muito similares.

### **Considerações finais**

O intenso e inadequado uso da terra na cidade de Várzea Grande vem comprometendo cada vez mais a sustentabilidade dos ecossistemas e a segurança hídrica, afetando a recarga dos mananciais e o abastecimento de água na cidade. Nessa

perspectiva, o mapeamento das nascentes difusas e delimitação de suas respectivas APPs é um passo importante para a conservação dos recursos hídricos em Várzea Grande.

Assim sendo, a execução de estudos a respeito de nascentes difusas é de fundamental importância, pois constituem-se na primeira etapa para a efetiva conservação destas áreas. A aplicação dos índices espectrais para a execução desta pesquisa, embora não tenha atingido o objetivo de delimitar cartograficamente as nascentes difusas na área urbana e periurbana da cidade de Várzea Grande, mostrou-se satisfatório para a delimitação dos seus corpos d'água.

Desta forma, este estudo representa uma contribuição acadêmica a respeito da delimitação cartográfica de nascentes difusas e corpos d'água. A partir dos resultados, denota-se que é necessário associar outras técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aos índices espectrais, capazes de distinguir as respostas espectrais de áreas com lâmina d'água e presença de vegetação rasteira em relação a outras coberturas e usos da terra. Sugere-se a utilização de técnicas de retroespalhamento e de classificação de imagens.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Projeto “Água Para o Futuro”, desenvolvido por meio de uma parceria entre o Ministério Público Estadual de Mato Grosso, a Universidade Federal de Mato Grosso e o Instituto Ação Verde, sob coordenação geral do Promotor de Justiça Marcelo Caetano Vacchiano (20ª Promotoria Cível de Cuiabá), por nos disponibilizar os dados e estrutura necessários para desenvolver esta pesquisa; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida por meio da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

### Referências

ALVES, João Carlos de Freitas. **Hidromorfismo como parâmetro para delimitação da zona ripária de nascentes no município de Viçosa, MG**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016. Disponível em: <<https://locus.ufv.br/handle/123456789/15225>> Acesso em: 20 abr. 2022.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 352 p.

COMITÊ BRASIL EM DEFESA DAS FLORESTAS E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Código Florestal e a Ciência: O que nossos legisladores ainda precisam saber**. Comitê Brasil. Brasília-DF, 2012. Disponível em: <[http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_criminal/Boas\\_praticas/Relacao\\_Projetos/projetoflorestar1/revista\\_codigo\\_florestal\\_e\\_a\\_ciencia.pdf](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_criminal/Boas_praticas/Relacao_Projetos/projetoflorestar1/revista_codigo_florestal_e_a_ciencia.pdf)> Acesso em: 20 Abr. 2022.

DANTAS, Marcelo Eduardo; SHINZATO, Edgar; SCISLEWSKI, Gilberto; THOMÉ FILHO, Jamilo José; ROCHA, Gustavo Adolfo; CASTRO JUNIOR, Prudêncio Rodrigues de; SALOMÃO, Fernando Ximenes Tavares. **Diagnóstico geoambiental da região de Cuiabá / Várzea Grande e entorno (MT)**. 2006. 15 p. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/643>> Acesso em: 20 abr. 2022.

DAROLD, F. R.; IRIGARAY, C. T. J. H. A importância da preservação e conservação das áreas úmidas como mecanismo de efetivação do direito constitucional ao meio ambiente ecologicamente equilibrado para as futuras gerações. **Revista Direito e Justiça: Reflexões Sociojurídicas**, Santo Ângelo, v. 18, n. 31, p. 167-180, maio/ago. 2018. Disponível em: <[http://srvapp2s.santoangelo.uri.br/seer/index.php/direito\\_e\\_justica/article/view/2535](http://srvapp2s.santoangelo.uri.br/seer/index.php/direito_e_justica/article/view/2535)> Acesso em: 20 abr. 2022.

DIAS, André Pereira. **Análise espacial aplicada à delimitação de áreas úmidas da planície de inundação do Médio Araguaia**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá, 2014. Disponível em: <<http://ri.ufmt.br/handle/1/713>> Acesso em: 20 abr. 2022.

FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros**. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://geo.fbds.org.br/>> Acesso em: 31/07/2021.

FERNANDES, Rener Ribeiro. **Uso de geotecnologias no mapeamento do uso da terra e estudo de fitofisionomias em áreas úmidas na região do Médio Araguaia**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá, 2012. Disponível em: <<http://ri.ufmt.br/handle/1/1856>> Acesso em: 20 abr. 2022.

GAO, Bo-cai. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], n. 58, p. 257-266, dez. 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000673?via%3Dihub>> Acesso em: 20 abr. 2022.

GOND, Valéry; BARTHOLOMÉ, Etienne; OUTTARA, F.; NONGUIERMA, A.; BADO, L. Surveillance et cartographie des plans d'eau et des zones humides et inondables en régions arides avec l'instrument VEGETATION embarqué sur SPOT-4.

**International Journal of Remote Sensing**, [S./l.], v. 25, n. 5, p. 987-1004, mar. 2004.

Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0143116031000139908>> Acesso em: 20 abr. 2022.

GROSTEIN, Marta Dora. METRÓPOLE E EXPANSÃO URBANA a persistência de processos “insustentáveis”. **São Paulo em Perspectiva**, [S./l.], v. 15, n. 1, 7 p., jan. 2001. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/spp/a/mRWNMjWxbhGqfvZJkrdryDG/?lang=pt>> Acesso em: 20 abr. 2022.

LIMA, Walter de Paula; ZAKIA, Maria José Brito. Hidrologia de matas ciliares. In: LEITÃO FILHO, Hermógenes de Freitas; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro. **Matas Ciliares: Conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, FAPESP, 2.ed. 2004. 320 p.

MALUF, Adriana Caldas do Rego Freitas. **Limitações urbanas ao direito de propriedade**. São Paulo: Atlas, 2010. 302 p.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2008. 204 p.

MARTH, Jonathan Duarte; MOURA, Nina Simone Vilaverde; KOESTER, Edinei. Localização e mapeamento de Áreas Úmidas na Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel, através do Método NDWI. **Geografia** (Londrina), [S./l.], v. 25, n. 1, p.23-41, jan/jun, 2016. Disponível em:

<<https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/21437> Acesso em:20> abr. 2022.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, [S./l.], v. 17, n. 7, p. 1425-1432. 27 abr. 1996. Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=top>  
[HYPERLINK](https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=top&needAccess=true)  
["https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=top&needAccess=true"& HYPERLINK](https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=top&needAccess=true)  
["https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=top&needAccess=true"](https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01431169608948714?scroll=top&needAccess=true)> Acesso em: 20 abr. 2022.

MORAES, A. J. F. PANSONATO, A. BARBOSA, G. N. **Procedimentos metodológicos do projeto Água para o Futuro utilizados nas nascentes urbanas de Cuiabá**. Cuiabá - MT: EdUFMT, 2018. 39 p.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica**. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1975. 282 p.

RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. **The Ramsar Convention Manual: A guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)**. 6. ed. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, 2013. Disponível em:

<<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-e.pdf>>

Acesso em: 20 abr.

PORT, Roseli. **Caracterização da nascente do Córrego da Onça no município de Várzea Grande – MT**. 2016. 30 f. TCC (Especialização em Gestão e Perícia Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Biociências, Cuiabá, 2016. Disponível em: <<http://bdm.ufmt.br/handle/1/520>> Acesso em: 20 abr. 2022.

ROLNIK, Rolnik; KLINK, Jeroen. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias?. **Revista Novos Estudos**, [S./l.], v.89, p. 89-109, mar. 2011. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/nec/a/RVtd8zVwYXXbP74GzMM7tsD/?lang=pt>> Acesso em: 20 abr. 2022.

ROUSE, John W, Jr. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**, Remote Sensing Center, Texas A&M University, College Station, Texas, mar. 1973, 120 p. Disponível em:

<<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19730017588/downloads/19730017588.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2022.

SANTANA, M. N. R. **Identificação dos impactos ambientais da ocupação irregular na área de preservação permanente (APP) do Córrego Tamanduá em Aparecida de Goiânia**. In: Anais - Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Vol. 2 (2011): II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Londrina, 2011. Disponível em:

<<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/VI-009.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2022.

SILVA, Carina Cleone Ribeiro; SANTOS, Rosineide Pessoa; DE SÁ, Talita Freitas Filgueira; MATOS, Lila Francisca de Oliveira Reis; PERES, Luciano Medina; ARAÚJO, Larissa Costa. Influência das construções irregulares em área de preservação permanente (app) em trecho do rio Pirarara, Cacoal- RO/Brasil. **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação**, [S./l.], v.1, n.3, 2018. Disponível em:

>[https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Roberto-Francisco/publication/329782431\\_Caderno\\_de\\_Pesquisa\\_Ciencia\\_e\\_Inovacao\\_v1\\_n3\\_2018/links/5c1a52da458515a4c7e9c647/Caderno-de-Pesquisa-Ciencia-e-Inovacao-v1-n3-2018.pdf#page=78](https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Roberto-Francisco/publication/329782431_Caderno_de_Pesquisa_Ciencia_e_Inovacao_v1_n3_2018/links/5c1a52da458515a4c7e9c647/Caderno-de-Pesquisa-Ciencia-e-Inovacao-v1-n3-2018.pdf#page=78)> Acesso em: 20 abr. 2022.

SILVA, Maurinésia Pereira; TARIFA, José Roberto. Ritmo da temperatura no clima local da cidade de Cuiabá-Várzea Grande (MT): Uma análise secular (1912-2012).

**Revista Biodiversidade**, [S./l.], v. 16, n. 2, set. 2017. Disponível em:

<<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/5597>>

Acesso em: 20 abr. 2022.

TARIFA, José Roberto. **Mato Grosso: clima – análise e representação cartográfica**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011. 102 p.

SCHOWENGERDT, Robert A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 2. ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.

XU, Hanqiu. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [S.l.], v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160600589179>> Acesso em: 20 abr. 2022.

---

#### Autores

---

**Barbara Fernanda da Cunha Tasca** – É Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (MT). Atualmente é Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

**Endereço:** Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 - Bairro Boa Esperança - Cuiabá – MT - CEP: 78060-900

**Lucas Neris Araújo** – É Graduado em Engenharia Florestal e Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Atualmente é Mestrando no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso.

**Endereço:** Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 - Bairro Boa Esperança - Cuiabá – MT - CEP: 78060-900.

**Fernanda Miguel Franco** – É Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Mestre em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e Doutora em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Atualmente é professora efetiva do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT).

**Endereço:** Avenida Europa, nº 3000 – Bairro Vila Real/Distrito Industrial – Cuiabá-MT – CEP: 78201-382.

---

**Artigo recebido em: 06 de maio de 2022.**

**Artigo aceito em: 15 de junho de 2022.**

**Artigo publicado em: 30 de junho de 2022.**