

ÍNDICES ESPECTRAIS APLICADOS A ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE NASCENTES, EM ÁREA SEMIÁRIDA DO PIAUÍ

SPECTRAL INDICES APPLIED TO ANALYSIS OF THE CONSERVATION STATE OF SPRINGS, IN SEMI-ARID AREA OF PIAUÍ

ÍNDICES ESPECTRALES APLICADOS AL ANÁLISIS DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE MANANTIALES, EN EL ÁREA SEMIÁRIDA DE PIAUÍ

LAYLA THAUANE MOTA SILVA¹
JOÃO ANTONIO DOS SANTOS COSTA²
FRANCÍLIO DE AMORIM DOS SANTOS³
GLAIRTON CARDOSO ROCHA⁴

¹Tecnologia em Design de Moda no Instituto Federal do Piauí - Campus Piripiri;
E-mail: laylathauanemotasilva@gmail.com ; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3338-8307>

²Técnico Integrado ao Médio em Administração no Instituto Federal do Piauí - Campus Piripiri.;
E-mail: joaoantonio201925@gmail.com ;ORCID:

³Doutor em Geografia; Docente vinculado ao Instituto Federal do Piauí;
E-mail: francilio.amorim@ifpi.edu.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0415-6673>

⁴Doutor em Geografia; Docente vinculado ao Instituto Federal do Piauí;
E-mail: glairtongeo@ifpi.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1706-7338>

RESUMO

As nascentes correspondem a afloramentos de águas subterrâneas que alimentam os corpos hídricos, essenciais para o ciclo da água na natureza, sendo, muitas vezes, afetadas por ações antrópicas, que podem vir a causar danos irreversíveis. Esse estudo visou identificar e analisar o estado de conservação de nascentes. Essas informações podem colaborar para o planejamento ambiental e a proposição de medidas de recuperação e monitoramento. Definiu-se como objeto de pesquisa do trabalho as nascentes que compõem a bacia do rio dos Matos, que encontram-se em território piripiriense, sendo aplicados os índices espectrais NDVI, NDWI e NBR sobre imagens de satélite referentes à área de estudo, para analisar as mesmas. Através da utilização da técnica foram gerados mapas que possibilitam a avaliação de qualidade ambiental da área estudada, em especial as regiões que circundam as nascentes. Foi constatado que a maioria destas, encontram-se rodeadas de vegetação, apresentando bom estado de conservação. Apesar disso, algumas, próximas à zona urbana, apresentam-se em elevado risco potencial, devido a presença de incêndios florestais nas proximidades e baixos níveis de vegetação.

Palavras-chave: Recursos hídricos; avaliação ambiental; conservação; monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Springs correspond to outcrops of groundwater that feed water bodies, essential for the water cycle in nature, and are often affected by human actions, which can cause irreversible damage. This study aimed to identify and analyze the conservation status of springs. This information can contribute to environmental planning and the proposal of recovery and monitoring measures. The research object of the work was defined as the springs that make up the Matos river basin, which are located in Piripiriense territory, with the spectral indices NDVI, NDWI and NBR being applied to satellite images referring to the study area, to analyze the same. Using the technique, maps were generated that made it possible to assess the environmental quality of the studied area, especially the regions surrounding the springs. It was found that the majority of these are surrounded by vegetation, presenting a good state of conservation. Despite this, some, close to the urban area, are at high potential risk, due to the presence of forest fires nearby and low levels of vegetation.

Keywords: Water resources; environmental assessment; conservation; environmental monitoring.

RESUMEN

Los manantiales corresponden a afloramientos de agua subterránea que alimentan cuerpos de agua, esenciales para el ciclo del agua en la naturaleza, y muchas veces se ven afectados por acciones humanas, que pueden causar daños irreversibles. Este estudio tuvo como objetivo identificar y analizar el estado de conservación de los manantiales. Esta información puede contribuir a la planificación ambiental y a la propuesta de medidas de recuperación y seguimiento. La misma. Con la técnica se generaron mapas que permitieron evaluar la calidad ambiental de la zona estudiada, especialmente de las regiones aledañas a los manantiales. Se encontró que la mayoría de estos se encuentran rodeados de vegetación, presentando un buen estado de conservación. Pese a ello, algunos, cercanos al casco urbano, se encuentran en alto riesgo potencial, debido a la presencia de incendios forestales en las cercanías y bajos niveles de vegetación.

Palabras clave: Recursos hídricos; evaluación ambiental; conservación; monitoreo ambiental.

INTRODUÇÃO

A água é um elemento fundamental para todos os seres vivos. Manter esse recurso preservado está cada vez mais difícil na nossa sociedade. O Brasil possui grande potencial hídrico, detendo grande parte das reservas subterrâneas mundiais e possuindo o maior percentual de áreas de recarga, contudo, exibe má distribuição do recurso no território nacional (Silveira; Oliveira, 2016) e deficiência em termos de monitoramento qualitativo, quantitativo e conhecimento das influências do uso do solo.

Os recursos hídricos são essenciais para o desenvolvimento da sociedade. Logo, conhecer a dinâmica e a qualidade da água por influência do uso e ocupação das terras e as estações do ano é de fundamental relevância para a engenharia de recursos hídricos. Nesse sentido, a reconhecida importância dessas técnicas auxilia no esforço contínuo para preservar as nascentes dos rios. O estudo em questão teve como foco principal as nascentes da Bacia Hidrográfica do rio dos Matos, em específico aquelas presentes nos limites do município de Piripiri.

O uso de índices espectrais desempenha um papel fundamental no estudo da conservação de nascentes de rios, visto que são derivados de imagens de Sensoriamento Remoto e permitem a quantificar e a monitorar as características do ambiente, como, por exemplo, a vegetação, a umidade do solo e até identificar as queimadas. O mapeamento e coleta de dados através de índices espectrais na região em que a nascente se encontra, tem grande importância. Pois registra a situação da fauna e vegetação em seu entorno, interferências e utilidade da mesma pela comunidade local e existência de agravantes como a poluição por resíduos sólidos, sendo relevante para o desenvolvimento de medidas que previnam o desaparecimento e contaminação desta.

Ao analisar esses índices, os pesquisadores podem identificar áreas degradadas, avaliar mudanças ao longo do tempo e desenvolver estratégias de conservação baseadas em dados sólidos. Além disso, a capacidade de monitorar remotamente vastas áreas geográficas torna os índices espectrais uma ferramenta eficiente para a identificação precoce de problemas ambientais, permitindo a intervenção antes que danos significativos ocorram.

Como benefício da execução destes procedimentos tem-se o monitoramento da disponibilidade hídrica, prevenindo o desaparecimento e assoreamento dessa bacia, bem como a disseminação de boas práticas de conservação da água e solo, particularmente em Piripiri. Dessa forma, será possível observar como a vegetação presente nessa região no entorno da bacia está sendo afetada pela ação humana. Será possível, ainda, melhorar a qualidade da relação da fauna e flora, melhorias na qualidade do solo que se torna mais preparado para práticas de agricultura, apresentar maior segurança no consumo e lazer, preservação do bioma da região, garantia da dessedentação de animais, etc.

Nesse sentido, a reconhecida importância dessas técnicas auxilia no esforço contínuo para preservar as nascentes dos rios. O estudo em questão teve como objetivos realizar a caracterização das áreas de nascentes e a análise do estado de conservação das nascentes do rio dos Matos, no município de Piripiri, a partir de índices espectrais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Aspectos conceituais e legais sobre nascentes

De forma conceitual, a nascente representa o afloramento natural de mananciais subterrâneos que apresenta permeabilidade, vindo a dar início a um curso de água (Brasil, 2012), sendo um elemento do curso hídrico imprescindível para a manutenção das bacias hidrográficas (Rocha *et al.*, 2019) e do ciclo da água na natureza, desempenhando atualmente funções muito além das necessidades biológicas (Gomes *et al.*, 2021).

Historicamente, a exploração e destruição dos recursos naturais em território brasileiro surge como consequência da falta de planejamento no decorrer do processo ocupacional, exploração ambiental, a princípio advinda de interesses europeus durante o período de colonização e expansão da fronteira agrícola, acarretando sérios problemas ambientais, aos quais atingiram também nascentes e região em seu entorno (Neves *et al.*, 2014).

Além possibilitar a sobrevivência de fauna, flora e vida humana no seu entorno, as bacias hidrográficas estão diretamente relacionadas a diversas atividades, como a contribuição substancial relacionada a questões econômicas e abastecimento de centros urbanos, onde a maioria desses recursos não retornará à natureza, impedindo seu curso natural, gerando conflitos socioambientais como crises de abastecimento, poluição e queda na qualidade da água, devido ao seu consumo predatório e ausência de aplicações de políticas públicas (Freitas; Yoshida; Silva, 2022).

As nascentes, também, encontram-se vulneráveis a essa condição predatória, pois, de acordo com Silveira e Oliveira (2016), as mesmas e outras fontes subterrâneas acabam servindo de recurso para o abastecimento de regiões, onde a escassez hídrica já é uma realidade e essa utilização se dá, geralmente, de forma a prejudicar a jusante da bacia, por diversas razões, sendo algumas destas o desvio total ou parcial de sua vazão, poluição em seu entorno e interior, e assoreamento.

As nascentes tornaram-se objeto de preservação, sendo assegurado por lei a preservação das mesmas e de sua Área de Preservação Permanente (APP), que apresenta raio de 50 metros. O Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012), aponta em seu Artigo 3º, a necessidade de proteger a biodiversidade local, paisagem, estabilidade geológica, assegurando bem estar das populações humanas e preservação do recurso hídrico. No entanto, vem a ser muito comum a não aplicação destas medidas, seja pelo desconhecimento da população em relação a estas ou pela falta de fiscalização a esses locais.

De acordo com Dias *et al.* (2023), há necessidade da imposição de um gerenciamento adequado direcionado a conservação e preservação das nascentes, que compreenda pontos básicos como a proteção e recuperação de barreira vegetal, controle da erosão, minimização de contaminação biológica e química, visando o bem estar coletivo e remediação de impactos ambientais, bem como o monitoramento dessas áreas. Além destas, buscar a conscientização da população local a respeito da importância dessa preservação e como as mesmas podem beneficiar-se a partir desse ato vem, também, a ser um método eficaz, como comprovado por Barros, Chaves e Pereira (2017).

Estudos, como o que aqui se propõe, auxiliam a população e os órgãos públicos ao se disporem a analisar individualmente o estado de cada nascente e desenvolver medidas que auxiliem na preservação do recurso tema desta pesquisa. Nesse sentido, Bohrer *et al.* (2015, p.111), destacam que “o conhecimento do comportamento, bem como do estado de preservação das nascentes e de seu entorno é de suma importância para predizer a quantidade de água disponível e a qualidade para o abastecimento urbano”.

A avaliação do estado de conservação ambiental engloba uma série de fatores que devem ser cuidadosamente averiguados, levando em consideração a coleta de dados hidrográficos, topográficos e imagens de satélite, como aplicado por Pieroni *et al.* (2019), onde foi empregada a metodologia desenvolvida por Gomes, Melo e Vale (2005), referente ao Índice de Impactos Ambientais em Nascentes (IIAN), para a análise macroscópica de Uberlândia (MG), como forma de avaliação dos impactos ambientais nas áreas de nascentes do município. Essa metodologia apresenta diversos parâmetros distribuídos ao em uma tabela onde cada fator apresenta diferentes níveis para a classificação do objeto de estudo, a saber: cor e odor da água; preservação da vegetação ao longo da APP; presença de lixo no entorno; utilização por animais e por seres humanos; proteção local; e proximidade com a estrada.

Índices espectrais aplicados ao estudo da conservação de nascentes

Dispondo das ferramentas tecnológicas necessárias, pode-se trabalhar a aplicação de índices espectrais como forma de metodologia (ou parte dela) destinada a análises ambientais. Esses índices compreendem operação matemática realizada através dos valores numéricos encontrados nos *pixels*, retirados das imagens de satélite. Segundo Mendes e Rosendo (2013), a utilização de índices espectrais pode ser aplicada como forma remota de análise do território e averiguação da preservação de nascentes, facilitando a fiscalização, que dessa forma pode ser realizada de forma mais rápida, mapeando o local, apontando áreas de risco e possíveis alterações no ambiente, em especial nas que se encontra em regiões de difícil acesso. Nesse sentido, Silva, Miranda e Nascimento (2013, p.6924) destacam que:

O sensoriamento remoto surge como uma ferramenta ímpar no monitoramento e controle ambiental em escala global, pela sua capacidade de fornecer levantamentos sinóticos e repetitivos de grandes áreas, às vezes inacessíveis, custo operacional relativamente baixo, de modo rápido e sem necessidade de deslocamentos rotineiros aos locais de estudo.

Leivas *et al.* (2013) retratam em sua pesquisa a relevância da aplicação dos Índices de Água de Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index - NDWI*) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) para o monitoramento de grandes áreas, como forma de avaliar as condições hídricas e cobertura vegetal de dada região objetivando a detecção de possíveis riscos ambientais e anomalias existentes no local. O Índice de Queimada Por Razão Normalizada (*Normalized Burn Ratio - NBR*) mostra-se, também, como uma ferramenta de apoio fundamental nesse tipo de estudo, auxiliando na identificação de áreas degradadas, comprometidas pelo fogo, determinando sua localização, extensão e nível de dano (Leite *et al.*, 2017).

O NDWI é um método desenvolvido por McFeeters (1996), com o objetivo de delinear feições aquáticas e realçar sua presença em imagens de sensoriamento remoto. Este índice foi derivado do NDVI, que se baseia na assinatura espectral característica da vegetação verde e saudável, apresentando um contraste evidente entre as bandas vermelho e infravermelho próximo (Leivas *et al.*, 2013).

O NDVI é empregado com frequência para o monitoramento da vegetação em grandes escalas por que compensa parcialmente a variação nas condições de iluminação, inclinação da superfície terrestre e aspectos das visadas do sensor em função da ampla largura da órbita (2.700 km). Nuvens, água e neve têm reflectâncias maiores no visível do que no infravermelho, sendo que nestas condições o NDVI tem valores negativos. Rochas e solos expostos têm reflectâncias similares nestas duas bandas e o resultado no índice de vegetação é aproximadamente zero. Em cenas com vegetação o NDVI varia de 0,1 a 1,0, onde os valores mais altos são associados com o maior vigor e densidade da cobertura vegetal. Efeitos atmosféricos como o espalhamento por poeira, aerossóis e nuvens do tamanho dos subpixels agem no sentido de aumentar a reflectância na banda 3 em relação à banda 4 e reduzir o valor do índice da vegetação (Holben, 1986).

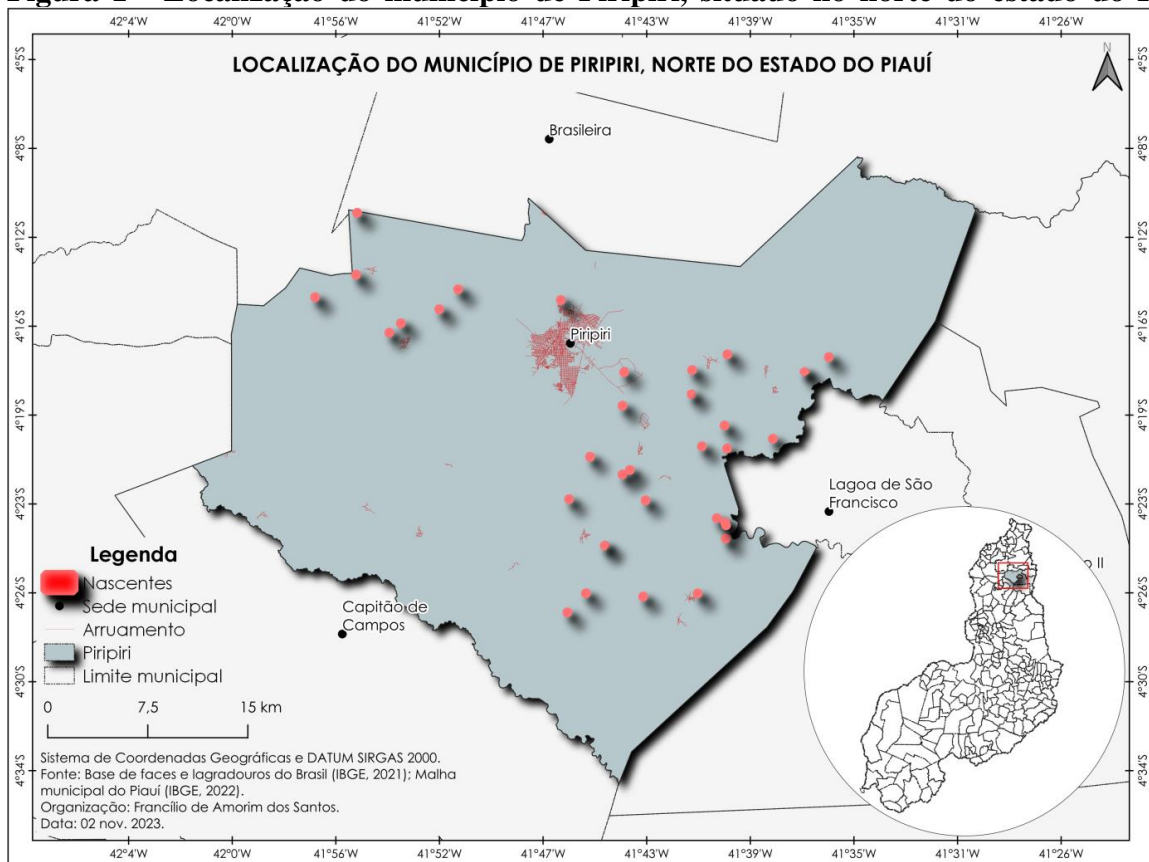
Formulado por Key e Benson (2006), o índice NBR considera em sua equação duas faixas espectrais, correspondentes ao infravermelho próximo (NIR), que apresenta altos valores de reflectância independente da matéria orgânica existente na cobertura vegetal, e infravermelho médio (MIR), que mostra baixa reflectância para matéria orgânica queimada e alta reflectância para vegetação saudável, permitindo a identificação das áreas de queimadas, quantificação e análise de seu comportamento ao longo de determinado período (Silva; Pestana; Martins, 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo

O município de Piriipiri/PI dista 160 km da capital Teresina. O município é um importante polo têxtil e é privilegiado no que se refere a oferta de recursos hídricos, mesmo considerando sua condição semiárida. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 04°16'24"S e 41°46'37"W. Piriipiri compreende uma área irregular de 1.302 km², tendo os seguintes limites municipais: Batalha e Brasileira ao norte; ao sul Capitão de Campos e Pedro II; a oeste Barras, Boa Hora, Batalha e Capitão de Campos; e a leste Domingos Mourão, Pedro II e Lagoa de São Francisco (AGUIAR; GOMES, 2004).

Figura 1 - Localização do município de Piriipiri, situado no norte do estado do Piauí.



Fonte: IBGE (2023).

Do ponto de vista ambiental, o município de Piriipiri, onde se encontram as nascentes relacionadas para esse estudo, apresenta marcante complexidade e diversidade, tanto do ponto de vista dos componentes bióticos (biodiversidade), quanto daqueles abióticos (geodiversidade). Nesse contexto, o território municipal apresenta estruturas geológicas predominantemente sedimentares, pertencentes à Bacia sedimentar do Parnaíba, como os arenitos, folhelhos e siltitos, das formações Cabeças, Longá e Pimenteiras Além de coluviões e aluviões Holocênicos, de origem recente predominantemente próxima a drenagens atuais (Amorim, 2022). A geologia local condiciona um relevo típico de bacia sedimentar, com chapadas planas, presença de escarpas serranas, planaltos e baixos platôs, superfícies aplainadas conservadas e dissecadas, com predomínio dessas últimas (CPRM, 2006).

Os grupos de solos encontrados no referido município são: Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc), Latossolo Amarelo Distrófico (LAD), Nitossolo Vermelho Eutrófico

(NVe), Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe), Neossolo Litólico Distrófico (RLd), Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), Planossolo Háplico Eutrófico (SXe) (INDE, 2014).

Em relação às condições climáticas, trata-se de um clima hipertérmico, com uma estação chuvosa no primeiro semestre, com duração média de 5 (cinco) a 6 (seis) meses, com isoietas anuais que oscilam entre 800 e 1600 mm. Essas precipitações estão quase que exclusivamente atreladas ao período de atuação da Zona de Convergência Intertropical no Hemisfério Sul, principal sistema provedor de chuvas no Norte do Nordeste do Brasil.

Procedimentos metodológicos

Para análise espaço-temporal da fisionomia da cobertura vegetal, níveis de umidade do solo e áreas queimadas foram obtidas imagem do satélite *Landsat 9*, junto ao *United States Geological Service (USGS)*, distribuídas gratuitamente no site <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. A imagem possui as seguintes características: órbita/ponto 219/63, resolução espacial de 30 metros, com data de passagem do dia 29 de setembro de 2023. A imagem passou por conversão geográfica, onde foi exportada para o sistema de referência SIRGAS 2000 / *Brazil Polyconic*, para facilitar procedimentos posteriores.

Para conhecimento das classes de fisionomia da cobertura vegetal foi utilizado o índice de vegetação ajustado ao solo (NDVI), por meio do emprego da Equação 1 (Jensen, 1996 *apud* Melo; Sales; Oliveira, 2011). O índice varia de +1 a -1, cujos valores próximos a +1 representam a melhor condição da cobertura vegetal, ao passo que valores próximos a -1 correspondem às piores condições encontradas na área de estudo.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad Eq. [1]$$

Onde: NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada; NIR = fluxo radiante no infravermelho próximo; R = fluxo radiante na região do vermelho visível.

Os níveis de umidade do solo foram identificados através da aplicação do índice de diferença da água normalizado (NDWI), conforme está representado na Equação 2 (McFeeters, 1996, *apud* Brubacher; Guasselli, 2013). Esse índice pode variar de +1 a -1, logo foram delimitados os valores de 0 a 0,2 como sendo água, valores menores que 0 como sendo não água e valores acima de 0,2 correspondendo a solo seco.

$$NDWI = \left(\frac{V - IR_p}{V + IR_p} \right) \quad Eq. [2]$$

Onde: NDWI = índice de diferença da água normalizado; V = comprimento de onda do verde; IR_p = comprimento de onda do infravermelho próximo.

Para identificação das áreas com cicatrizes de queimadas foi utilizado o índice espectral de queimada por razão normalizada (NBR), que considera a diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas para identificação das referidas áreas (Allen; Sorbel, 2008). O NBR varia de -1 a 1+, onde os valores negativos representam a cobertura vegetal queimada, enquanto os valores próximos de zero representam os corpos d'água e solos sem vegetação e os valores positivos dizem respeito à vegetação saudável (Key; Benson, 2006).

$$NBR = \left(\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \right) \quad Eq. [3]$$

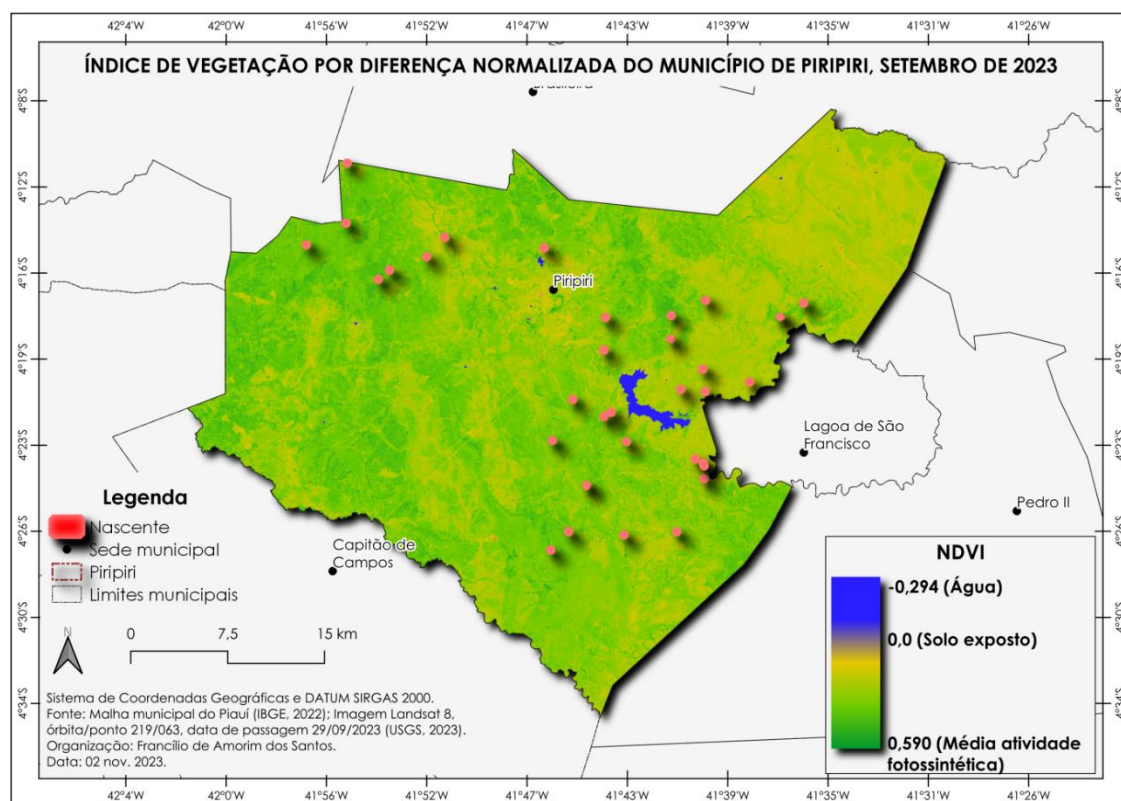
Onde: *NBR* = índice espectral de queimada por razão normalizado; *NIR* = reflectância relativo ao comprimento de onda do infravermelho próximo; *SWIR* = comprimento de onda relativo ao infravermelho médio.

Ressalta-se que para a geração do *NDVI*, *NDWI* e *NBR* utilizou-se a calculadora raster, disponível na versão 3.28 do QGIS, para inserção das respectivas equações. Ao passo que para melhor visualização da imagem gerada utilizou-se o tipo de renderização “banda simples falsa-cor” e legenda contínua.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é exibido mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, onde observa-se a quantidade considerável de solo exposto (correspondente aos valores próximos a 0,0 e coloração amarelada), que se intercala com a vegetação (valores próximos a 1,0 e representação em cor verde), confundindo-se com a vegetação rala (verde mais suave). A presença de áreas sem vegetação está presente principalmente no setor urbano e no setor Nordeste do município de Piriipiri. O *NDVI*, também, aponta pequena quantidade de corpos hídricos (valores abaixo de 0, com a cor azul), com destaque para o açude Caldeirão, que está circundado por nascentes.

Figura 2 - Índice de vegetação por diferença normalizada para o município de Piriipiri, para setembro de 2023.



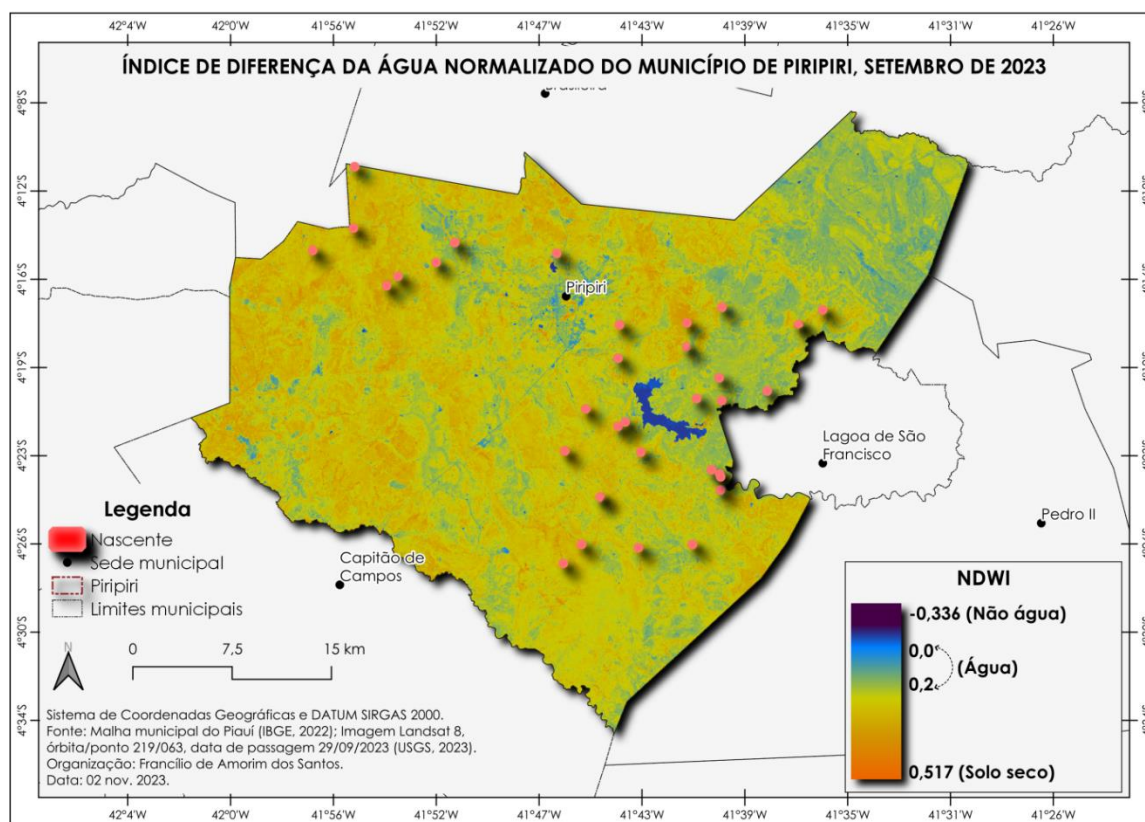
Fonte: USGS (2023).

Pode-se averiguar que na distribuição espacial da vegetação a mesma não se mantém constante, seja por intervenções antrópicas ou pelas próprias características do clima semiárido. A vegetação apresenta em sua maioria tons verdes menos densos, devido a presença de cobertura vegetal de baixo a médio porte, embora ocorram áreas com manchas de vegetação de alto porte, principalmente na região Oeste.

A maioria das nascentes mapeadas encontram-se em locais com presença de vegetação, mesmo que de pequeno porte. Dessa forma, entende-se que a oferta hídrica, fornecida pelas mesmas, têm beneficiado o desenvolvimento da região em seu entorno, devido a presença de atividade fotossintética registrada. Possivelmente, esses afloramentos apresentam baixos níveis de erosão, devido a presença de cobertura vegetal.

A Figura 3 representa o índice de NDWI, que apontou áreas com água ou vegetação com alta umidade. Portanto, ao observar as manchas azuis no mapa, é possível identificar várias regiões com alto teor de umidade. Através da análise do mapa, é possível estabelecer uma relação entre as áreas identificadas com alto teor de umidade pelo índice NDWI e as nascentes localizadas nessa região. As áreas com valores entre 0,2 e 0,0 no índice NDWI correspondem a nascentes perenes, que possuem fluxo de água contínuo ao longo do ano.

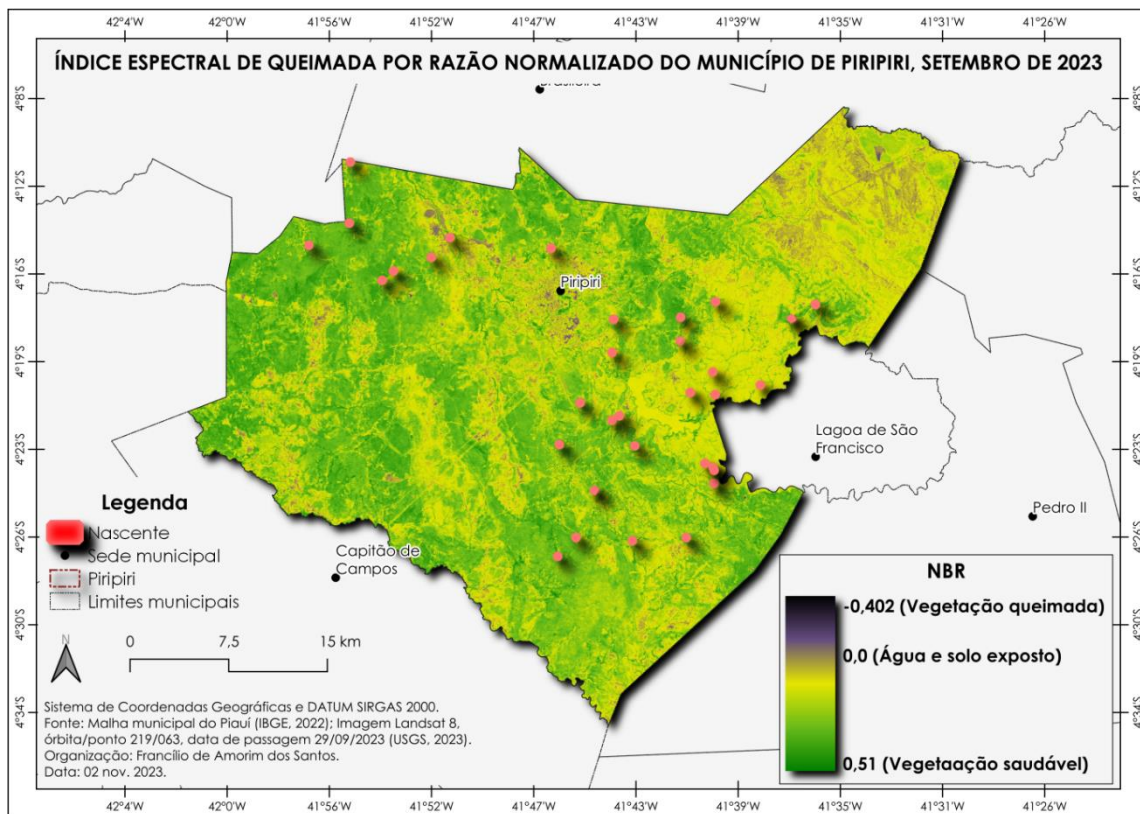
Figura 3 - Índice de diferença da água normalizado para o município de Piri-piri, para setembro de 2023.



Fonte: USGS (2023).

É exibido ainda vastas áreas com presença de solo seco, valores próximos a 0,1, (em destaque na região Oeste e Noroeste), comum nesse momento pela ausência de chuvas e altas temperaturas, estando estas em grande parte do território, circundando muitas das áreas de nascentes. Apesar disso, as mesmas, de maneira geral, encontram-se próximas ou inseridas em área úmida devido sua constância hídrica e contribuição para a vegetação que a cerca.

A Figura 4 exibe o Índice de queimada por razão normalizada, onde se visualiza as áreas mais escuras, em coloração acinzentada (valores próximos a -1,0), que indicam uma diminuição no vigor vegetativo, sugerindo a ocorrência de secas, degradação ou queimadas. As áreas mais próximas do verde (valores próximos a 1,0) indicam um aumento no vigor vegetativo e possivelmente um estágio avançado de recuperação da vegetação.

Figura 4 - Índice espectral de queimada por razão normalizado para o município de Piriipiri, para setembro de 2023.

Fonte: USGS (2023).

As áreas que apresentam tons em cinza e preto indicam presença de vegetação degradada devido às queimadas. Em grande parte, as regiões com matéria orgânica queimada estão presentes na zona urbana da cidade e no extremo Nordeste do município. No NDVI essas áreas foram apontadas como apresentando solo exposto ou presença de vegetação com baixa atividade fotossintética, apesar de apresentarem-se em extensão considerável em pontos distintos ao longo de todo o território. As nascentes próximas à área urbanizada, seguindo a Norte, Nordeste e Sudeste, encontram-se muito próximas ou inseridas em áreas afetadas pela ação do fogo, o que pode alertar para um possível risco às mesmas por ausência ou diminuição da vegetação saudável de sua APP.

O município de Piriipiri exibe presença significativa de vegetação saudável, apesar das áreas afetadas pelas queimadas. Esse fato indica que a região possui um bom estado de conservação ambiental, com um baixo número de ocorrências de incêndios florestais. Além disso, a presença de nascentes em seus arredores contribui para a manutenção da vegetação saudável, uma vez que essas nascentes fornecem água para o desenvolvimento das plantas. As mesmas estão, em grande parte, localizadas em áreas com presença de umidade e com cobertura vegetal, sem ocorrência de incêndio nas proximidades. Contudo, essa condição não se aplica a todas as áreas, em especial as mais próximas do meio urbano.

A vegetação saudável observada no município de Piriipiri é resultado de uma série de fatores. A existência de uma cobertura florestal densa contribui para a proteção do solo contra a erosão e a manutenção da umidade, criando um ambiente propício para o crescimento das plantas. Além disso, a presença das nascentes fornece água em quantidade suficiente para suprir as necessidades hídricas da vegetação.

No entanto, é importante ressaltar que mesmo em regiões com vegetação saudável e presença de nascentes, ainda é possível encontrar áreas afetadas pelas queimadas. Essas áreas

podem ser resultado tanto de fatores naturais, como ocorrência de raios durante tempestades, quanto de ações humanas, como queimadas não controladas. Portanto, é fundamental manter um monitoramento constante e adotar medidas de prevenção e combate aos incêndios florestais, visando preservar a vegetação e os nascentes presentes na região de Piripiri.

CONCLUSÕES

A ocorrência de queimadas florestais em áreas próximas às nascentes é uma preocupação, fato que deve levar ao monitoramento pelos órgãos responsáveis, a fim de garantir a proteção dos recursos naturais. O uso de imagens de satélite e técnicas de Sensoriamento Remoto tem se mostrado um método eficiente, simples e viável para estudar as queimadas, a erosão do solo e a qualidade da água no município de Piripiri.

Ao analisar o NDWI podemos concluir que a região de Piripiri apresenta em grande parte da sua área um alto teor de umidade, especialmente próximo às nascentes permanentes. Isso ocorre porque essas nascentes fornecem água durante todo o ano, o que torna o solo mais úmido, influenciando no crescimento de uma vegetação mais saudável ao redor dessas nascentes. O NBR se mostrou mais preciso do que o NDVI na quantificação das áreas queimadas, sendo considerado o índice mais adequado para esse estudo. Como a área queimada pertence ao bioma cerrado, podemos concluir que a resposta da vegetação presente segue as expectativas esperadas pelo uso do NDVI, mas principalmente pelo uso do NBR.

Essas informações são relevantes para entender os impactos das queimadas nas áreas próximas às nascentes e auxiliar na tomada de decisões para a proteção dos recursos naturais. O monitoramento contínuo dessas áreas por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e análise dos índices mencionados pode contribuir para a implementação de medidas de prevenção e controle das queimadas, visando à conservação do meio ambiente e à preservação dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R.B.; GOMES, J.R.C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de São José do Peixe**. Fortaleza: CPRM, 2004.

ALLEN, J. L.; SORBEL, B. Assessing the differenced Normalized Burn Ratio's ability to map burn severity in the boreal forest and tundra ecosystems of Alaska's national parks. **International Journal of Wildland Fire**. 2008.

AMORIM, J. C. P. de. **Geopatrimônio e patrimônio cultural do município de Piripiri, Piauí**. 2022. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2022.

BARROS, A. M.; CHAVES, C. de O.; PEREIRA, G. M. Recovery of springs: Formation of environmental multipliers in degraded area of Rural Settlement, Eldorados dos Carajás, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 814–819, 2017.

BOHRER, R. E. G.; VASCONCELOS, M. de C.; SIPPERT, L.; BISOGNIN, R.; SOUZA, E. L. de. Estudo e implantação de projeto de monitoramento de vazão das principais nascentes do Lajeado Erval Novo. **Revista Monografias Ambientais**, [S. l.], v. 14, p. 108–111, 2015.

BRASIL. Novo Código Florestal. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 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 Lei nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012.

BRUBACHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo - RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBSR, 2013, p.4.540-4.547.

DIAS, J. S.; CARPANEZ, T. G.; SILVA, J. B. G.; BRANCO, O. E. de A. Caracterização do estado de conservação de nascentes do Córrego da Pindaíba/MG. **Revista Internacional de Ciências**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 60-78, 2023.

FREITAS, V. P. de; YATSUDA, C. M. Y.; SILVA JUNIOR, G. A. da. As medidas legais protetivas de bacias hidrográficas e seus reflexos na preservação ambiental dos recursos hídricos. **Revista Eletrônica Direito e Política**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 638–673, 2022.

GOMES, C. S.; FERREIRA, L. L. B.; HENRIQUES, R. J.; BARROS, J. de S.; CARVALHO, R. P. B. de; MAGALHÃES JR., A. P. Nascentes naturais em áreas urbanas: usos e funções socioambientais em Belo Horizonte, MG. **Geo UERJ**, [S. l.], n. 39, p. 1-20, 2021.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p. 103-120, 2005.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 7, n. 11, p.1417-1434, 1986.

INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPECIAIS. **Mapa de solos**: folha SB.23 (Teresina). Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. 2014. Acesso em: 10 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de faces e logradouros do Brasil**: situação em 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 abr. 2023.

_____. **Malha municipal digital do Brasil**: situação em 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/malhas_digitais/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. **Landscape assessment (LA)**: Sampling and analysis methods. 2006. Disponível em: < <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/24066>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

LEITE, C. C. S. S.; SANTOS, S. M. B.; SILVA, A. B.; ROCHA, W. J. S. F. Utilização dos índices espectrais NBR e NDVI na caracterização de incêndios no PARNA Chapada Diamantina (Bahia): Estudo de caso dos Gerais do Machobongo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 2131-2137.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICENTE, L. E.; TORRESAN, F. E.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, É. L. Monitoramento da seca de 2011/12 a partir do NDWI e NDVI padronizado do SPOT-Vegetation. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 364-370.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Aplicação do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. **Revista RAÍÇA**, Curitiba, v.23, p.520-533, 2011.

MENDES, L. da S.; ROSENDO, J. dos S. Mapeamento da intervenção antrópica em áreas de preservação permanente de nascentes no Cerrado brasileiro. **Brazilian Geographical Journal**, Ituiutaba, v. 4, n. 2, 2013.

NEVES, L. da S.; SOUSA- LEAL, T.; BORIN, L.; CAVALCANTE, V. R.; ROSSETTO, L.; PASCOTTI, D. P.; MORAES, C. P. de. Nascentes, áreas de preservação permanente e restauração florestal: histórico de degradação e conservação no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, v. 7, n. 3, p. 747-760, 2014.

PIERONI, J. P.; RODRIGUES BRANCO, K. G.; VALLE DIAS, G. R. do; FERREIRA, G. C. Avaliação do estado de conservação de nascentes em microbacias hidrográficas. **Revista Geociência**, São Paulo, v. 38, n. 1, p.185-193, 2019.

ROCHA, I. L.; SALOMÃO, L. C.; IWATA, B. F.; SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A. Qualidade ambiental das nascentes do Rio Paraim, extremo sul do Piauí. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.385-399, 2019

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapa Geológico do Estado do Piauí**. 2. ed. Teresina, 2006.

SILVA, F; PESTANA, A; MARTINS, L. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no cerrado maranhense: uma aplicação no Parque Estadual do Mirador . **Revista Geografia Acadêmica**, v. 13, n. 2 p. 90-105), 2020.

SILVA, R. G.; MIRANDA, J. R.; NASCIMENTO, C. R. Detecção de áreas queimadas no Parque Estadual de Serra Nova/MG utilizando os índices espectrais NDVI e NDBR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 6923-6929.

SILVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, V. de P. S. Identificação dos impactos ambientais da ocupação irregular nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 179-200, 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (Serviço Geológico dos Estados Unidos). **Collection**: Landsat archive. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 01 nov. 2023.