

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE QUEIMADAS NO PARQUE ESTADUAL ENCONTRO DAS ÁGUAS

Amanda Caroline de Oliveira – oliveira.c.amanda@outlook.com

Pedro Otávios da Silva Vieira Costa – pedro.otavios@yahoo.com.br

Rodrigo Belli Vieira – ro.belli.vieira@gmail.com

Sergio Vicente Denser Pamboukian (Orientador) – sergio.pamboukian@mackenzie.br

RESUMO

Diante da reconhecida importância socioambiental do Pantanal, causam grande preocupação as notícias relatando os devastadores incêndios e queimadas ocorridas no ano de 2020 na região. Este trabalho visa identificar e analisar a ocorrência de incêndios em 2020 no Parque Estadual Encontro das Águas, através de imagens dos satélites *Landsat-8* e *Sentinel-2*, além de comparar os índices espectrais *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para definir o mais adequado para essa análise. A comparação confirmou os resultados esperados, apontando o NBR como o índice mais adequado para a identificação e classificação de áreas queimadas, não só por se demonstrar mais sensível a área queimada, como por evitar a ocorrência de falsos positivos. As imagens processadas com a utilização do *software* QGIS para o índice NBR, demonstraram uma queimada agressiva no Parque no segundo semestre do ano, em especial nos meses de agosto, setembro e outubro. Além disso, quando esse mesmo período foi analisado para o ano de 2019, ficou claro que as queimadas no ano de 2020 duraram mais e foram mais devastadoras, com uma área queimada total aproximadamente 11 vezes maior para o ano de 2020.

Palavras-chave: Índice espectral. Monitoramento. NBR. NDVI. Queimadas. Sensoriamento remoto.

USE OF REMOTE SENSING FOR THE IDENTIFICATION OF BURNS IN THE ENCONTRO DAS ÁGUAS STATE PARK

ABSTRACT

Given the recognized socio-environmental importance of the Pantanal, the news reporting the devastating fires and fires that occurred in the year 2020 in the region are of great concern. This work aims to identify and analyze the occurrence of fires in 2020 in the Encontro das Águas State Park, through images from the *Landsat-8* and *Sentinel-2* satellites, and to compare the NBR (*Normalized Burn Ratio*) and NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) spectral indexes to define the most suitable for this analysis. The comparison confirmed the expected results pointing out, the NBR as the most adequate index for the identification and classification of burned areas,

not only because it's more sensitive to the burned area, but also for avoiding the occurrence of false positives. The images processed using the software QGIS for the NBR index showed an aggressive burning in the park in the second half of the year, especially in the months of August, September and October. Furthermore, when this same period was analysed for the year 2019, it becomes clear that the fires in the year 2020 lasted longer and were more devastating, with a total burned area approximately 11 times greater in the year 2020.

Keywords: Spectral index. Monitoring. NBR. NDVI. Burned. Remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

O Pantanal consiste em uma área úmida, de aproximadamente 150 mil quilômetros quadrados, abrangendo estados do Centro-Oeste brasileiro e países como Bolívia e Paraguai. Localizado no centro da América do Sul, o Pantanal se caracteriza por não ter uma fauna muito diferente dos biomas que o circundam, e sim por abrigar espécies de todos esses biomas. Ocorre, então, que o Pantanal possui mais espécies por hectare do que todos os biomas que o circundam (ALHO *et al.*, 2019). Segundo o levantamento de Pott *et al.* (2011), podem ser encontrados no bioma do Pantanal, aproximadamente, 2.000 espécies de plantas. Já no levantamento de Manoel *et al.* (2014), podem ser encontrados, aproximadamente, 1050 espécies de animais terrestres e aquáticos no bioma do Pantanal. Dentre essas espécies cerca de 460 são aves, classificando o Pantanal como a área úmida com maior número de espécies aviárias do mundo.

Além da importância no quesito biodiversidade, é preciso ressaltar, também, a importância socioeconômica que esta biodiversidade traz para a população local, seja pela sua influência na pesca comercial, seja pelo turismo trazido por ela, o que é uma fonte de renda importante para a população local. Torna-se clara a necessidade de conservação deste bioma, prezando por uma exploração biosustentável, a fim de garantir coexistência das atividades humanas com o ecossistema (ALHO *et al.*, 2019).

No período de janeiro até outubro de 2020, o bioma do Pantanal teve cerca de 23% da sua totalidade consumida pelas queimadas, o que mostra um aumento, de aproximadamente, quatro vezes maior em relação ao ano anterior (BOURSCHEIT, 2020; LIBONATI *et al.*; 2020). No mês de julho de 2020, nove focos de incêndio combinados representavam 68% de toda a área queimada no estado e, até o mês de agosto de 2020, sete desses focos ainda se mantinham ativos. Esses grandes focos de incêndio que atingiram o Pantanal mato-grossense estavam localizados nos municípios de Poconé e Barão do Melgaço, municípios que abrigam duas grandes áreas de reservas ambientais do bioma (SILGUEIRO; VALDIONES; BERNASCONI, 2020).

Diante desse cenário, as constantes manchetes nos noticiários no ano de 2020, relatando queimadas e incêndios de enormes proporções, destruindo boa parte do ecossistema do Pantanal,

são extremamente preocupantes, pois colocam em risco não só toda a biodiversidade da região, mas também a qualidade de vida da população local. Nesse cenário, as unidades de conservação do bioma despertaram preocupação durante o período de queimadas intensas. E entre elas, a mais afetada pelas chamas foi o Parque Estadual Encontro das Águas, onde grande parte de sua extensão foi consumida pelo fogo, ameaçando a preservação das espécies em extinção, como a arara-azul e a onça pintada (EINHORN, 2020; LEMOS, 2020; MENEGASSI, 2020).

O Parque Estadual Encontro das Águas, localizado entre os municípios de Poconé e Barão do Melgaço, é uma área do Pantanal protegida pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso, e considerado o maior santuário de onças pintadas do mundo, espécie que se encontra ameaçada de extinção. No período de queimadas no ano de 2020, diversos noticiários relataram a grandeza dos incêndios e a devastação causada no bioma. Estima-se que o parque teve 65% a 93% de sua área total queimada, até outubro de 2020 (RIBEIRO JÚNIOR, 2020; LACERDA, 2020, ILHÉU, 2020).

Frente a esses acontecimentos, o sensoriamento remoto se apresenta como um importante artifício para o monitoramento ambiental, visto que possibilita observar grandes áreas em apenas uma única imagem, o que reduz a mão de obra e custo necessários, evitando deslocamento de expedições de campo. O sensoriamento remoto faz uso da energia eletromagnética refletida para a diferenciação dos diversos espectros e coleta de dados em diferentes épocas (IBRAHIN, 2016).

A utilização de imagens de sensoriamento remoto, obtidas através de satélites, auxilia no monitoramento do bioma permitindo identificar as áreas queimadas e quantificar o dano gerado. Assim, os dados obtidos por esse tipo de instrumento podem auxiliar as gestões governamentais e entidades privadas na tomada de decisões no combate aos incêndios, podendo ainda fornecer uma cronologia de eventos passados, o que possibilita ações preventivas para minimizar eventos futuros (ABREU; COUTINHO, 2014; MORAES, 2002).

Portanto, este estudo tem como objetivo comparar os índices espectrais NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NBR (*Normalized Burn Ratio*) na identificação de áreas queimadas, quantificar as áreas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, durante o ano de 2020, e comparar as áreas queimadas em 2019 e 2020 nos meses mais intensos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

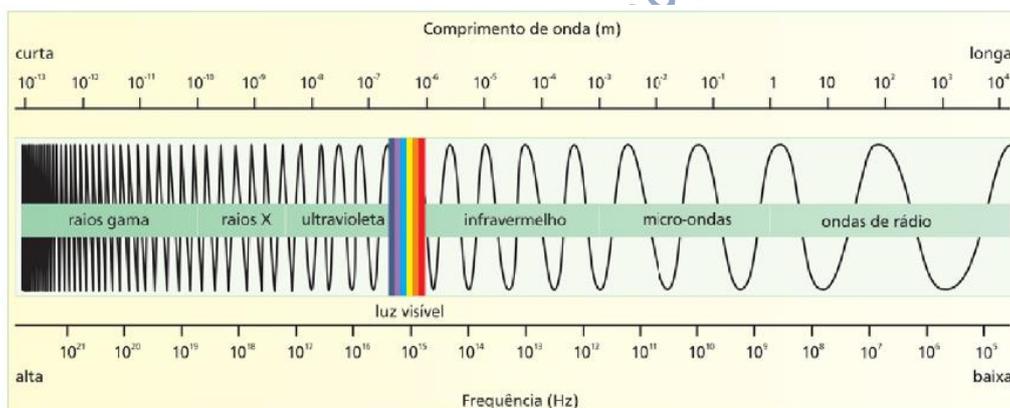
O sensoriamento remoto é definido por Florenzano (2011, p. 9), como “[...] a tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.”, consistindo em uma técnica que não apresenta contato físico com o objeto analisado. Para isso, utilizam-se sensores eletrônicos em

níveis aéreos ou orbitais que registram os fluxos da radiação eletromagnética dos objetos (FLORENZANO, 2011).

No sensoriamento remoto, a radiação eletromagnética é utilizada como canal de interação entre o sensor e o objeto. A radiação eletromagnética se propaga na forma de ondas com a velocidade da luz inserida ou não em um meio. As características mais importantes da radiação eletromagnética são a frequência e o comprimento das ondas, que definem os diversos espectros eletromagnéticos por bandas (LIU, 2015).

Os espectros da radiação eletromagnética podem ser organizados, como mostrado na Figura 1, onde está ordenado de forma crescente quanto a comprimento de onda e decrescente, quanto à frequência, visto que a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais. As bandas do espectro eletromagnético são divididas em bandas visíveis, compreensíveis nas cores vermelho, verde e azul (conjunto de bandas conhecido como RGB – *Red, Green, Blue*), e bandas invisíveis que compreendem as bandas de infravermelho e as bandas ultravioletas, além das ondas de rádio e micro-ondas (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: Florenzano (2011, p.11)

A radiação eletromagnética está presente em qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto (0 graus *Kelvin*). Assim, qualquer objeto na superfície terrestre pode ser detectado pelos sensores de satélites que registram as energias refletidas ou emitidas por diferentes objetos, em que cada objeto produz uma curva espectral distinta. Essas curvas são conhecidas como assinaturas espectrais e permitem a identificação dos objetos ou fenômenos da superfície terrestre. Portanto, as imagens das bandas espectrais geradas pelos sensores nos satélites são resultantes do registro da reflectância da radiação eletromagnética. A reflectância consiste na proporção entre a radiância, que é a radiação refletida em uma área diretamente para o sensor, e a irradiância, que é o total de radiação incidida nessa área. Além disso, a imagem gerada pelo sensor representa os valores aproximados da reflectância para uma faixa do espectro da radiação eletromagnética, na escala de cor monocromática (LIU, 2015).

Desse modo, as técnicas de sensoriamento remoto buscam utilizar as bandas espectrais para realçar uma característica ou fenômeno presente na superfície terrestre. Dentre essas técnicas, as duas mais comuns em análises são: a combinação colorida das bandas espectrais e os índices espectrais (FLORENZANO, 2011).

A combinação colorida das bandas espectrais é utilizada para realçar as características contidas na imagem. Essa técnica consiste na combinação de duas ou mais bandas espectrais em uma única imagem, onde cada banda espectral é associada a uma cor, resultando em uma imagem colorida. As imagens coloridas podem ser com cores verdadeiras, quando usadas as bandas da luz visível, ou com falsa-cor, quando usadas na combinação as bandas da faixa invisível. Um exemplo é a combinação das bandas do infravermelho de ondas curtas ou infravermelho médio, do infravermelho próximo e da cor vermelha, que realça a vegetação saudável possibilitando a análise da cobertura vegetal (FLORENZANO, 2011; LIU, 2015).

Os índices espectrais são algoritmos calculados a partir de valores de reflectância espectral da radiação eletromagnética obtida pelos sensores, neste caso, a bordo do satélite. Esses algoritmos possuem as mais diversas finalidades e as bandas utilizadas variam conforme os aspectos físico-químicos do que se deseja estudar, podendo ser utilizadas tanto as bandas do espectro visível (*Red Green Blue* – RGB), quanto do espectro invisível, como infravermelho (FLORENZANO, 2011).

Para análise de vegetação, o índice mais difundido entre os pesquisadores é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973), com o objetivo de se identificar as condições da cobertura vegetal. Para isso, o NDVI utiliza a banda espectral vermelha (*Red* - R) e banda do infravermelho próximo (*Near-infrared* – NIR), conforme a Equação 1.

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

O valor do NDVI para cada pixel apresenta um número no intervalo de -1 a +1, onde os valores positivos representam a saúde da cobertura vegetação, os valores próximos do zero representam o solo sem vegetação e os valores negativos são representados pelas nuvens, águas e rochas (ROUSE *et al.*, 1973).

Essa classificação é possível, porque o NDVI aborda a reflectância da clorofila e a estrutura interna da folha da vegetação assim, quando a vegetação está saudável, apresenta uma reflectância baixa das bandas visíveis e alta reflectância das bandas de infravermelho, resultando em um valor positivo próximo de um (LIU, 2015; ROUSE *et al.*, 1973).

Outro índice espectral aplicado para a identificação de áreas queimadas é o *Normalized Burn Ratio* (NBR), elaborado por Key e Benson (2006) com a aplicação das bandas espectrais de infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho médio (*Mid-Wavelength Infrared* – MWIR), conforme a Equação 2.

$$NBR = \frac{NIR - MWIR}{NIR + MWIR} \quad (2)$$

A escala de valores do NBR é compreendida entre o intervalo de -1 a +1, onde os valores negativos representam a cobertura vegetal queimada, os valores próximos de zero representam os corpos d'águas e solo sem vegetação, e a os valores positivos representam a vegetação saudável (KEY; BENSON, 2006).

Segundo Key e Benson (2006), a escolha das bandas NIR e MWIR se justifica, pois são as bandas que mais respondem a áreas queimadas, quando comparadas antes e depois do fogo, porém em direções diferentes, sendo que o caso mais comum é que NIR diminua e MWIR aumente, após o fogo. Ainda segundo Key e Benson (2006), levanta-se a hipótese que a diferença do índice NBR (ΔNBR) entre o NBR pré-queimada e o NBR pós-queimada, esteja correlacionada com o tamanho do dano causado pelo fogo à vegetação pré-existente, definido pela Equação 3.

$$\Delta NBR = NBR_{pré} - NBR_{pós} \quad (3)$$

Para a difusão e validação dos índices de vegetação na identificação das áreas queimadas, diversos trabalhos científicos foram elaborados com essa finalidade, como a análise realizada por Silva, Pestana e Martins (2019) que aplicaram o índice NBR para identificar as regiões afetadas pelo fogo no Parque Estadual do Mirador, no Maranhão, no período de maio a setembro de 2018. Com esse estudo foi possível identificar com êxito as regiões afetadas e, também, foi possível quantificar o dano no Parque. Assim, pôde-se fornecer à gestão do Parque dados auxiliares e comparativos para o momento e para o futuro.

Outros estudos buscaram realizar comparações entre os índices espectrais com o objetivo de definir as melhores aplicações, como o estudo desenvolvido por Leite *et al.* (2017), onde os pesquisadores compararam a eficiência dos índices NDVI e NBR na identificação de queimadas, utilizando como área de estudo o Parque Nacional da Chapada Diamantina, nos limites do município de Macugê, na Bahia. No estudo comparativo, foi observado que ambos os índices conseguiram classificar as regiões afetadas pelo fogo, porém, concluiu-se que o índice NBR apresentou maior eficiência na identificação, uma vez que realçou melhor as áreas queimadas. Além disso, foi observado que o NDVI conseguiu diferenciar as nuvens dos alvos na imagem.

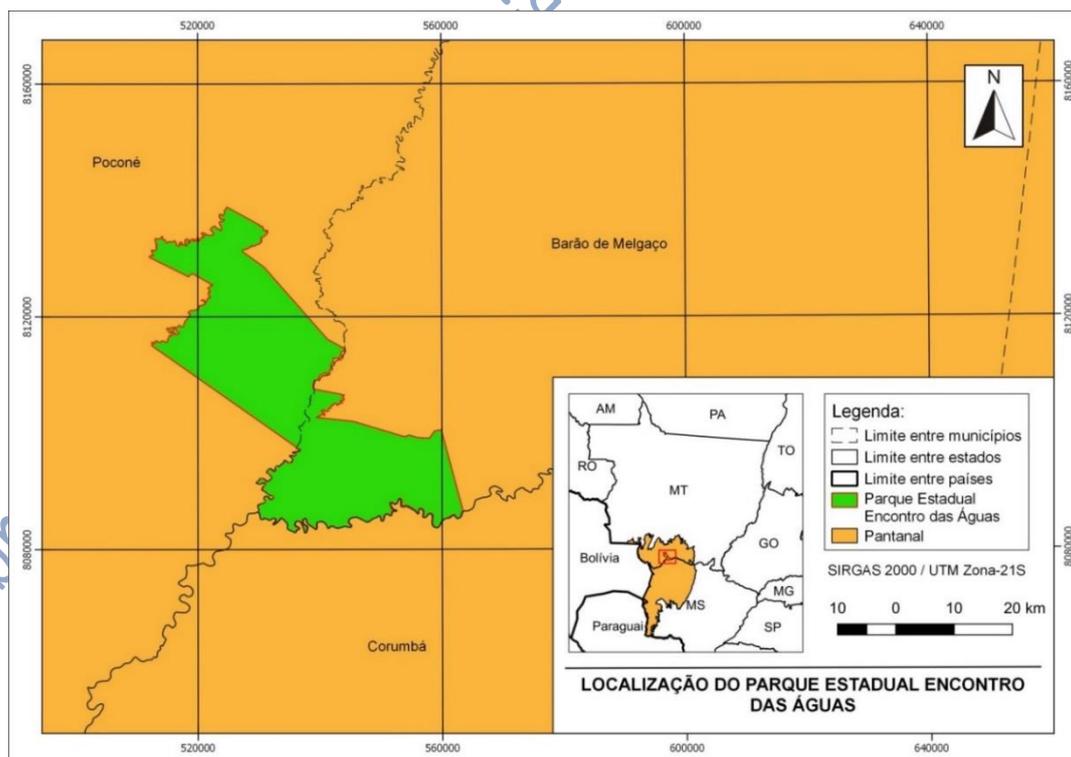
Pereira *et al.* (2015) realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar os índices espectrais para a identificação de queimadas, tomando como área de estudo o Cerrado, restringindo a duas regiões diferentes do bioma. As imagens utilizadas foram as do sensor *Thematic Mapper* (TM), do programa *Landsat*. Ao todo foram testados dez índices espectrais, entre eles destacam-se: *Burned Area Index* (BAI); *Normalized Burn Ratio* (NBR); *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); *Variation of Normalized Burn Ratio* (NBR2) e o *Mid-Infrared Burn Index* (MIRBI). Para a realização dessa comparação foi utilizado um índice de separabilidade para avaliar a capacidade dos índices espectrais na classificação das áreas queimadas ou não queimadas, utilizando os resultados

das imagens pré-queimada e pós-queimada. O resultado do estudo apontou que, para o Cerrado brasileiro, os índices com a melhor separabilidade foram o MIRBI e o NBR2, e os índices NBR e NDVI apresentaram uma separabilidade boa, onde o NBR foi mais eficiente na identificação das áreas queimadas do que o NDVI. O índice BAI foi o que apresentou uma separabilidade fraca, porque misturou os pixels com áreas queimadas e não queimadas. Já os demais índices dos estudos se demonstraram inconsistentes, com boa separabilidade em alguns casos e fraca em outros.

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Parque Estadual Encontro das Águas, localizado entre os municípios de Poconé e Barão de Melgaço, no Mato Grosso, pertencente ao bioma Pantanal. Criado em 2004 pelo decreto 4.881 de 22 de dezembro, pelo Governo Estadual do Mato Grosso, o Parque é definido em termos legais como unidade de proteção integral, permitindo apenas atividades de pesquisa científica e turismo ecológico. Com uma área total, aproximada, de 101.131 hectares, e um perímetro, aproximado, de 300 quilômetros, o Parque encontra-se dividido entre os municípios de Poconé e Barão de Melgaço, onde sua área está dividida, respectivamente, em 43,3% e 56,7% da área total para cada município, como mostrado pelo Mapa 1 (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, c2020).

Mapa 1 – Localização do Parque Estadual Encontro das Águas



Fonte: Elaborado pelos autores

As análises realizadas estão divididas em três etapas subsequentes. A primeira consiste na comparação dos índices espectrais com o objetivo de definir o mais adequado para a identificação das áreas queimadas. Em seguida, a partir da definição do índice espectral mais adequado, ele foi

aplicado nas imagens dos meses de 2020 e, posteriormente, realizada a quantificação das áreas queimadas em cada imagem. A segunda análise tem o objetivo de visualizar a evolução das queimadas ao longo do ano. Na terceira análise, foi feita a aplicação do índice espectral e a quantificação das áreas queimadas no segundo semestre do ano de 2019. Em seguida, foi feita a comparação entre os meses desse período para os anos de 2020 e 2019, buscando entender o comportamento da queimada nesse período.

O processo para a aquisição das imagens de satélites inicia-se com a escolha de um satélite que atenda o objetivo do estudo. Essa escolha é realizada através da análise das resoluções espaciais, temporais e radiométricas dos satélites disponíveis e informações complementares referentes ao produto final disponibilizado. Neste estudo, foi definida inicialmente a possibilidade de se utilizar as imagens dos programas espaciais *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4*, devido à facilidade na aquisição das imagens em plataformas gratuitas. Assim, para a comparação das resoluções, entre os satélites dos programas desejados, foi montada a Tabela 1, que apresenta as características dos satélites *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4*.

Tabela 1 – Comparação das resoluções entre os satélites *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4*

Satélite	Sensor	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Resolução Espectral e Comprimento de Onda (μm)	
<i>Sentinel-2</i> (A/B)	MSI	20	5	(B) 0,49 (G) 0,56 (R) 0,67	(NIR) 0,87 (SWIR1) 1,61 (SWIR2) 2,19
<i>Landsat-8</i>	OLI	30	16	(B) 0,45-0,52 (G) 0,50-0,60 (R) 0,63-0,69	(NIR) 0,76-0,90 (MIR) 1,55-1,75 (MIR2) 2,11-2,29
<i>CBERS-4</i>	MUX	16,5	31	(B) 0,45-0,52 (G) 0,52-0,59	(R) 0,63-0,69 (NIR) 0,77-0,89

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (c2018)

Com base nas características da área de estudo e as informações levantadas dos satélites, mostradas na Tabela 1, o satélite *CBERS-4* foi descartado por não apresentar a banda espectral do infravermelho médio (2,11-2,29 μm), a qual é necessária para o cálculo dos índices espectrais. Já na comparação entre os satélites *Sentinel-2* e *Landsat-8*, ambos apresentam resoluções que atendem ao estudo. Assim, o fator decisivo na escolha do satélite foi à disposição na união das imagens. A necessidade dessa união ocorre pelo fato de os satélites não conseguirem cobrir a totalidade da área de estudo com uma única imagem, portanto há necessidade de se utilizar duas imagens que se completam. Nos satélites *Sentinel-2*, essa união ocorre com imagens no mesmo instante, ou seja, do mesmo dia e hora. Já no satélite *Landsat-8*, a união ocorre com imagens de dias diferentes, provocando uma quebra visual na região de junção das imagens. Com a avaliação das resoluções e o fator da união das imagens, foram escolhidas as imagens do programa espacial *Sentinel-2*,

composta por dois satélites: o *Sentinel-2A* e o *Sentinel-2B*, como fonte principal do estudo (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, c2018).

Durante a escolha das imagens, além de observar a data de captura, também foi observada a qualidade da imagem, de modo a descartar as imagens que estavam cobertas por nuvens, fumaça, e qualquer outro fator que impossibilitasse a visualização da superfície terrestre. No entanto, em alguns casos, não havia opção com boa qualidade para o estudo, ou o programa espacial deixava de fornecer a imagem por alguma falha ocorrida no registro dela. Assim, a utilização de dois ou mais programas espaciais tornou-se necessária para evitar a falta de imagens e não prejudicar o período do estudo. Neste caso, foi adotado como satélite secundário o *Landsat-8*, cuja resoluções espaciais, também, atendem às necessidades do estudo.

O desenvolvimento deste trabalho iniciou com a aquisição das imagens que cobriam a área do Parque Estadual Encontro das Águas, abrangendo todos os meses do ano de 2020 e o segundo semestre de 2019. Para a aquisição das imagens, foi utilizada a plataforma *Copernicus Open Access Hub* (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) da *European Space Agency* (ESA); para as imagens do programa espacial o *Sentinel-2* e o catálogo de imagens (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para aquisição das imagens do satélite *Landsat-8*.

Para o processamento das imagens de satélites, foi utilizado o *software* QGIS versão 3.10, desenvolvido por colaboradores voluntários da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). O *software* é caracterizado como *open source*, ou seja, apresenta seu código fonte aberto, além de ser disponibilizado gratuitamente. Outra característica dos *softwares* de código aberto é a criação de ferramentas externas (*plugin*) por terceiros, que buscam auxiliar ou complementar as funções do *software*. Um exemplo é o *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP), desenvolvido por Congedo (2020), utilizado dentro do *software* QGIS, que possui diversas ferramentas que facilitam as etapas de processamento e pré-processamento das imagens de satélites. Neste estudo, o *plugin* SCP foi utilizado para facilitar a realização das correções atmosféricas na etapa de pré-processamento das imagens de satélites, etapa seguinte à aquisição das imagens do estudo.

As imagens adquiridas do *Sentinel-2*, através da plataforma *Copernicus Open Access Hub*, são disponibilizadas em dois níveis de correções atmosféricas, sendo que no primeiro nível, o 1C, é aplicado um algoritmo que corrige os valores da radiância registrados pelo sensor em valores da reflectância no topo da atmosfera. Para isso utilizam-se os registros multiespectrais, além de corrigirem as camadas de máscara das nuvens e outras camadas. Já no segundo nível, o 2A, é aplicado o algoritmo desenvolvido por Richter e Schläpfer (2015), para corrigir os valores da reflectância no topo da atmosfera para valores da reflectância no fundo da atmosfera, utilizando como base o nível 1C. Neste estudo, as imagens adquiridas da missão *Sentinel-2* são do nível de

correção 2A, sem a necessidade de se realizar qualquer correção externa nos valores dos *pixels* (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2012).

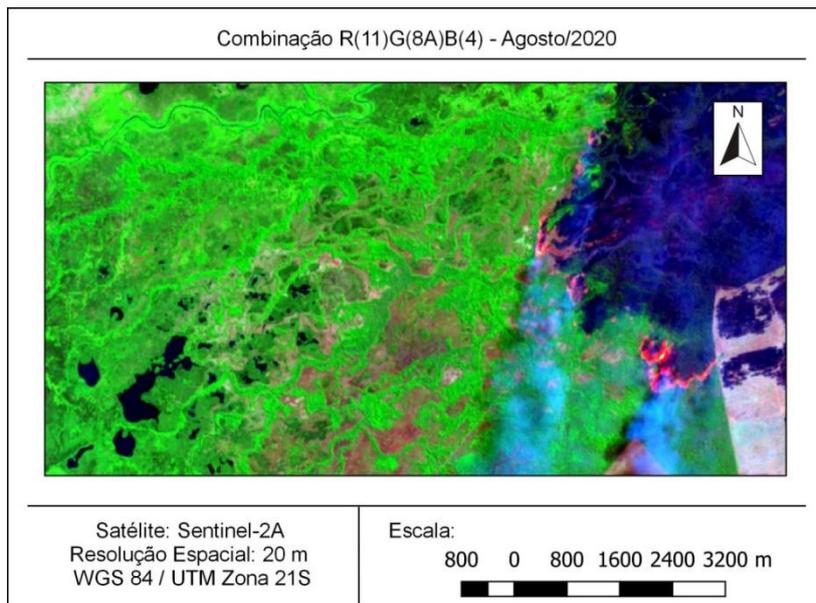
Para as imagens das bandas do *Landsat-8*, adquiridas pelo catálogo de imagens do INPE, são fornecidas imagens sem a correção atmosférica, onde foram realizadas apenas as correções espaciais e radiométricas. Desse modo, é necessário realizar as correções atmosféricas com o uso de ferramentas externas. Neste estudo, foi utilizado o *plugin Semi-Automatic Classification (SCP)* versão 7.0.0.1, no software QGIS v3.10. No *plugin*, a ferramenta de correção atmosférica utiliza o método *Dark Object Subtraction (DOS)*, desenvolvida por Chávez Jr. (1996). Esse método consiste, primeiramente, na correção do valor da radiância para o valor da reflectância no topo da atmosfera e, em seguida, a correção dos valores da reflectância no topo da atmosfera para valores próximos da superfície terrestre, resultando em um produto final com as correções atmosféricas (CONGEDO, 2020).

Após a realização da etapa de pré-processamento, inicia-se a etapa de processamento que consiste na utilização das técnicas de sensoriamento remoto para a criação de imagens que facilitem a análise da superfície terrestre. Neste estudo, foram utilizadas duas técnicas para realçar características das imagens de satélites: a primeira é a combinação de bandas espectrais que consiste na união de duas ou mais bandas formando uma imagem colorida e a segunda são os índices espectrais que, através da aplicação de uma equação, estabelece uma escala numérica para os valores dos *pixels*. Além dessas técnicas, foram utilizadas ferramentas que permitem manipular as imagens, tais como, a ferramenta “mesclar” que possibilita a união de duas imagens ou mais imagens em uma única imagem, e a ferramenta “Recortar *raster* pela camada de máscara”, que possibilita o recorte de uma camada *raster* através de uma camada vetorial. O software QGIS v3.10, também, auxiliou na criação de mapas temáticos para exemplificar a localização da área estudada e nas imagens que auxiliam a demonstração das conclusões, através do compositor de impressão.

A combinação de bandas que permite a análise da vegetação busca realçar com cores a saúde da cobertura vegetal: locais que apresentam uma cor, determinada pelo usuário, caracterizam vegetações saudáveis e locais que apresentam outra cor, também determinada pelo usuário, caracterizam vegetações mortas ou doentes. Para isso, utilizam-se as bandas do infravermelho de ondas curtas ou infravermelho médio, do infravermelho próximo e da cor vermelha. Essas bandas variam conforme o satélite utilizado, sendo, respectivamente, para os satélites *Sentinel-2* as bandas 11, 8A e 4, e para o satélite *Landsat-8* as bandas 6, 5 e 4. No software QGIS v3.10, podemos realizar a combinação de bandas espectrais através da ferramenta “mesclar” no menu “*raster*” e, na categoria “miscelânea”, que além de permitir a combinação de bandas, também, possibilita a união das camadas *raster*. A Figura 2 mostra a combinação de falsa-cor para a análise da vegetação, geradas a partir das bandas 11, 8A e 4 do *Sentinel-2A*, em que através da combinação a vegetação

saudável fica mais evidente com a cor verde, e a vegetação morta ou doente fica na cor violeta escuro (FLORENZANO, 2011).

Figura 2 – Combinação de falsa-cor (R11G8AB4) para análise da vegetação



Fonte: Elaborado pelos autores

Para a identificação das áreas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, foram utilizados os índices espectrais por meio de imagens de falsa-cor, o que facilita a visualização das áreas afetadas. A partir da revisão da literatura, constatou-se que os índices espectrais *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) eram frequentemente utilizados nos estudos sobre a vegetação na superfície terrestre e na identificação de áreas queimadas. Como exemplo, cita-se o estudo realizado por Silva, Pereira e Martins (2019), que tinha o objetivo de identificar as áreas afetadas pelas queimadas no Parque Estadual do Mirador, no Maranhão, e para isso foi utilizado o índice NBR. Já no estudo realizado por Leite *et al.* (2017), além da identificação das áreas queimadas no Parque Nacional da Chapada Diamantina, na Bahia, também, foi realizada a comparação entre os índices NDVI e NBR. Assim, foram criadas, para este estudo, imagens dos índices NBR e NDVI, nos meses de agosto e setembro de 2020, buscando, através de comparação, identificar aquele que melhor se adequa às necessidades dos objetivos do estudo.

Para o cálculo do NDVI, conforme a Equação 1, foram utilizadas as bandas do infravermelho próximo e a da cor vermelha, sendo, respectivamente, para o *Sentinel-2* as bandas 8A e 4, conforme a Equação 4.

$$NDVI = \frac{8A-4}{8A+4} \quad (4)$$

Para o cálculo do NBR, conforme a Equação 2, foram utilizadas as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio, sendo que para o *Landsat-8*, conforme a Equação 5, correspondem as bandas 5 e 7, respectivamente. Já para o *Sentinel-2*, são utilizadas as bandas do infravermelho

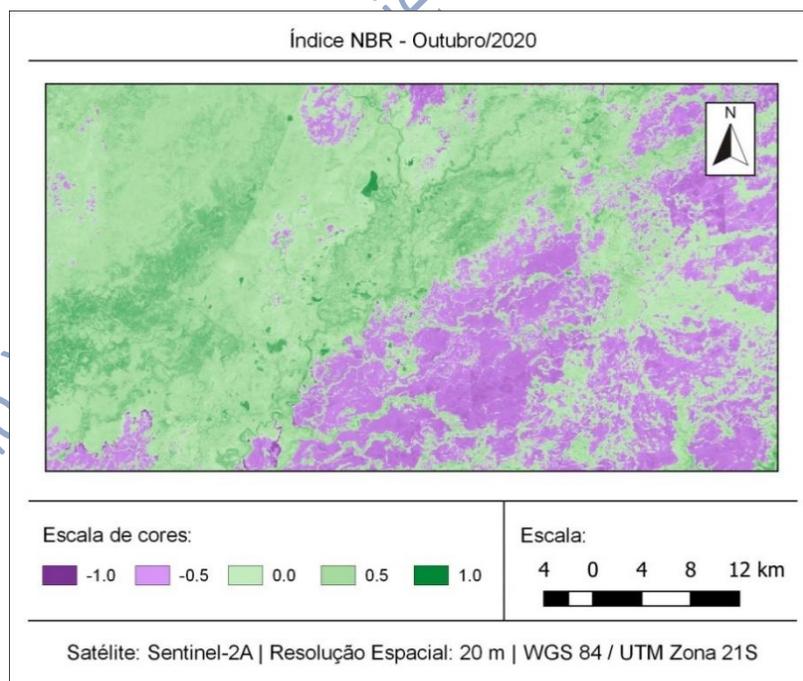
próximo e do infravermelho de ondas curtas, sendo que o infravermelho de ondas curtas do *Sentinel-2* corresponde ao infravermelho próximo do *Landsat-8*. Assim, são utilizadas as bandas 8A e 12, conforme a Equação 6.

$$NBR = \frac{5-7}{5+7} \quad (5)$$

$$NBR = \frac{8A-12}{8A+12} \quad (6)$$

Com o *software* QGIS v3.10, já realizada a inserção das bandas necessárias para o cálculo do índice espectral desejado, foi utilizada a ferramenta “calculadora *raster*”, disponível no menu “*raster*”. A utilização da ferramenta se dá com a digitação da fórmula desejada e a indicação da camada de saída. Após o término do processamento, o resultado é uma imagem *raster* monocromática, onde os *pixels* representam o valor do índice calculado. Assim, é necessária aplicar à imagem uma escala de cor. Para isso, altera-se o tipo de renderização da banda nas propriedades da camada *raster*, no *software* QGIS v3.10, que se localiza na categoria “Simbologia” na janela das propriedades da camada. Nessa categoria, pode-se alterar o intervalo da escala de cor, suas cores e o modo em que é feito o escalonamento. Para esse estudo, foi adotada escala de cores *Purple-Red-Green* (PRGn), de cinco classes com um intervalo de -1 a 1, como mostrado na Figura 3. Para fins de comparação foi atribuída a mesma escala para ambos os índices espectrais.

Figura 3 – Imagem do uso da escala de cores para o índice NBR, no Parque Estadual Encontro das Águas



Fonte: Elaborado pelos autores

Além da identificação das áreas queimadas, o índice NBR permite realizar a quantificação dessas áreas. Isso é possível através da contagem dos *pixels* de valores negativos que representam as áreas queimadas, conforme a escala do índice. Porém, antes de usar a ferramenta para calcular a área desejada, deve-se recortar a camada *raster* nas dimensões ou limitações da área de estudo,

sendo que, neste estudo, a delimitação é o limite do Parque Estadual Encontro das Águas. Para isso, foi utilizada a ferramenta “Recortar *raster* pela camada de máscara”, no menu “*raster*” e, na categoria “extrair” do *software* QGIS v3.10.

Com a imagem *raster* delimitada na área de estudo, podemos utilizar a ferramenta “Reporta camada *raster* de valor único”, do *software* QGIS v3.10, que possibilita realizar o cálculo da área de uma imagem de satélite. Essa ferramenta utiliza uma camada *raster* na entrada de dados e retorna como resultado uma tabela que pode ser usada dentro do *software*, ou exportada para outros aplicativos. A tabela resultante do processamento da ferramenta é dividida em três colunas onde: a primeira coluna apresenta os valores numéricos de todos os *pixels* que formam a imagem; a segunda coluna apresenta quantas vezes esses valores se repetem na imagem; a terceira coluna apresenta a área total para cada valor de *pixels*. Para facilitar a análise dos resultados, as tabelas da contagem gerada para cada imagem do índice NBR foram exportadas para o Microsoft Excel, onde foi calculada a somatória dos valores da área total do Parque e das áreas queimadas, que podem ser identificadas pelos *pixels* com valores negativos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

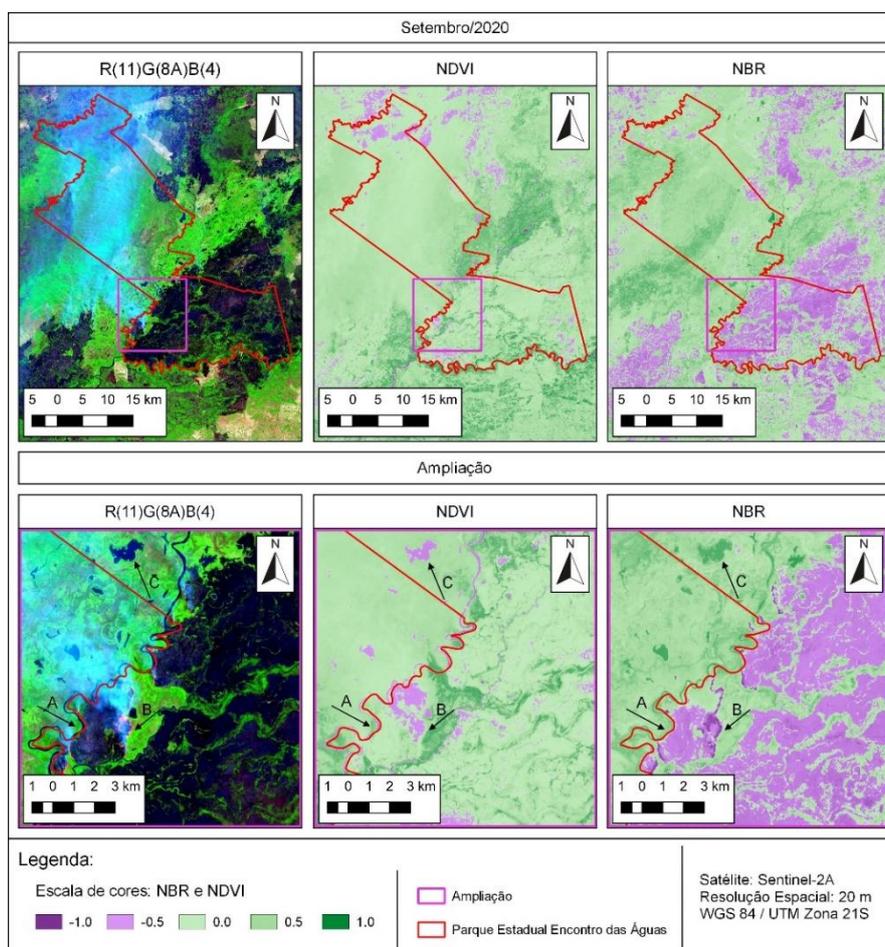
Os resultados dos processamentos estão divididos em três análises: na primeira, foi feita a comparação entre os índices espectrais e combinação de bandas; na segunda, foi feita a análise do comportamento da queimada no Parque Estadual Encontro das Águas, no ano de 2020, e na terceira, a comparação do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019.

A comparação entre os índices espectrais e a combinação de bandas foi realizada com o objetivo de escolher qual seria o índice mais adequado para o objetivo do trabalho, ou seja, qual índice apresenta melhor resultado na identificação de áreas queimadas. Diante da revisão da literatura, estudos como o de Leite *et al.* (2017) e Pereira *et al.* (2015) realizaram a comparação entre os índices *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), e concluíram que o índice NBR é mais apropriado para a identificação de queimadas do que o índice NDVI. Desse modo, realizamos a comparação com o objetivo de verificar se as conclusões daqueles trabalhos valiam para a área de estudo deste trabalho.

Para as comparações, foram utilizadas as imagens geradas a partir da combinação R(11)G(8A)B(4) e dos índices NDVI e NBR. A comparação foi realizada com a imagem do mês de setembro de 2020, apresentada na Figura 4. Nas ampliações das imagens, a região afetada pela queimada é representada na composição de bandas pela cor violeta-escura, indicada pela seta “A”. Na imagem do índice NDVI, a região é representada pela cor verde-claro, que representa os valores positivos próximos de zero. Já na imagem do índice NBR, essa região é representada na cor roxo-claro, que representa os valores negativos. Ao comparar a região indicada pela seta “A”, nas

imagens dos dois índices espectrais, nota-se que o NBR apresenta superioridade na visualização das áreas queimadas quando comparado ao NDVI.

Figura 4 – Comparação entre a combinação R(11)G(8A)B(4) e os índices espectrais NDVI e NBR, no mês de setembro de 2020, a partir das imagens do *Sentinel-2A*



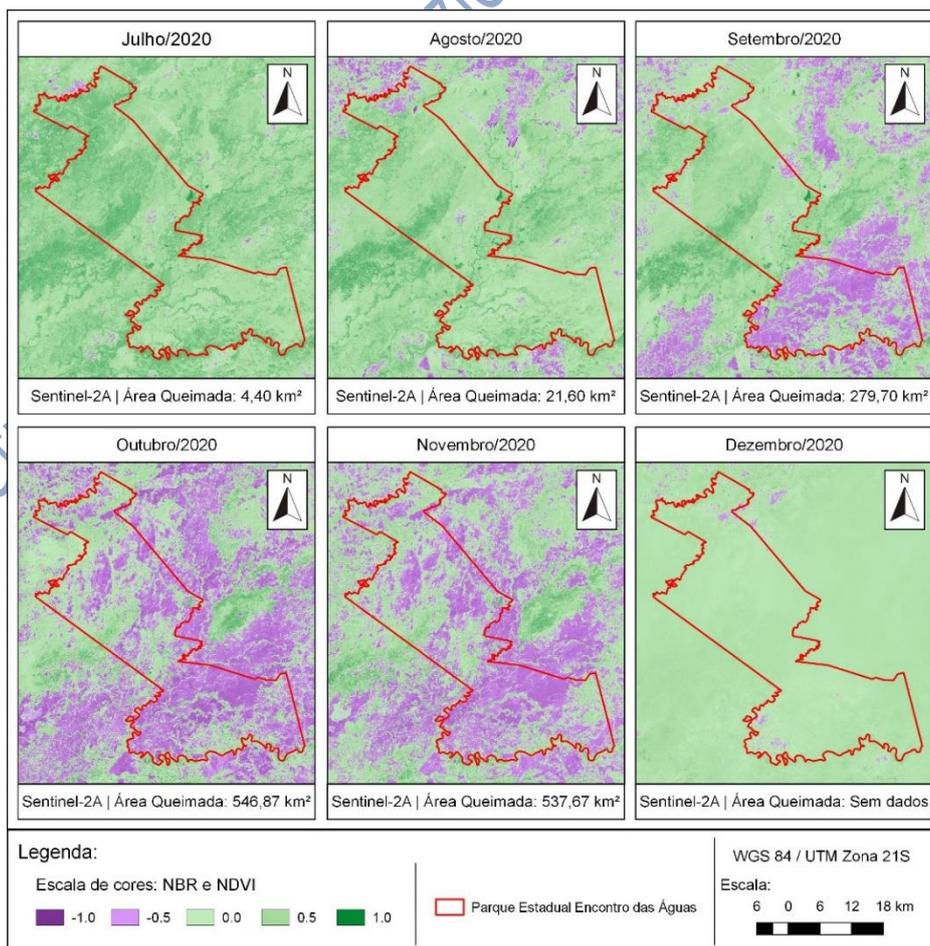
Fonte: Elaborado pelos autores

A região indicada pela seta “B” apresenta um foco de incêndio ativo com a fumaça crescente ao norte e ao analisar essa região na imagem do NDVI foi observado que o foco é representado com a mesma cor que as demais áreas queimadas. Já na imagem do NBR, os focos de incêndio ativo são representados pela cor roxo-escuro, que representa os valores próximos do limite negativo (-1). Também nessa região é possível observar que a fumaça originária do foco de incêndio, no NDVI, aparece na mesma cor das áreas queimadas, gerando uma interferência sobre os valores da superfície terrestre. Já no NBR, em casos normais, essa fumaça é quase imperceptível, o que permite a avaliação da superfície terrestre sem grandes interferências. Isso ocorre devido às bandas utilizadas no cálculo de cada índice, onde para o NBR utilizam-se as bandas do infravermelho, que reduzem as interferências atmosféricas, diferentemente do que ocorre com o NDVI, que utiliza a banda vermelha da luz visível e, conseqüentemente, é afetada pelos componentes da camada atmosférica.

O corpo d'água indicado pela seta "C" permite analisar o comportamento dos índices em relação à identificação e classificação da água na superfície terrestre. No NDVI, foi observado que o corpo d'água é representado pela cor roxa, que representa valores negativos. Já no NBR, o corpo d'água é representado pela cor verde-escuro, representando os valores positivos. Para as análises, cujo objetivo é a quantificação das áreas queimadas, o NBR apresenta ser superior ao NDVI pelo fato de os corpos d'águas serem classificados com valores positivos, evitando a distorção dos valores das áreas.

A partir da escolha do índice NBR, como o mais adequado para a identificação e quantificação das queimadas, foram criadas imagens utilizando esse índice para cada mês do ano de 2020. O objetivo dessas séries de imagens mensais, ao longo do ano, foi a visualização do comportamento da queimada e a identificação do mês e do período em que a queimada foi mais intensa. Para alcançar esse objetivo, foram utilizadas as técnicas de sensoriamento remoto, em específico, os índices espectrais e a contagem dos pixels de valores negativos nas imagens do índice NBR, o que permitiu o cálculo das áreas queimadas dentro do limite do Parque Estadual Encontro das Águas. Os resultados do processamento são as imagens do índice NBR e os valores numéricos das áreas queimadas. A Figura 5 mostra as imagens dos meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro do ano de 2020, compreendendo o segundo semestre do ano.

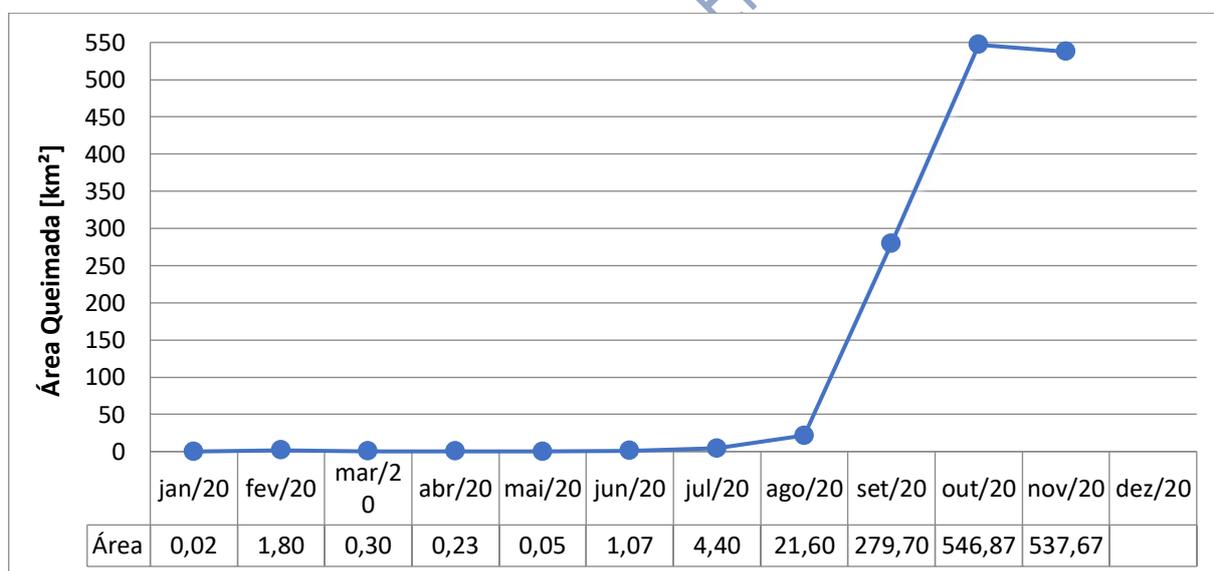
Figura 5 – Imagens do índice espectral NBR, dos meses do segundo semestre de 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

Com os valores das áreas queimadas do Parque, foi criado o Gráfico 1 que possibilita a análise da evolução das áreas queimadas. Assim, foi observado que o Parque sofreu danos maiores em decorrência das queimadas entre os meses de agosto e outubro de 2020. Esse período foi definido a partir da análise da variação das áreas queimadas sendo que entre os meses de agosto e setembro ocorreu um aumento de 1194,9% na área queimada e entre os meses de setembro e outubro ocorreu um aumento de 95,5%, o que caracteriza esse período como o mais intenso. O mês de outubro de 2020, apesar de apresentar a maior área queimada no ano, não demonstra uma grande intensidade, pois se observa que entre o mês de outubro e novembro ocorreu uma queda no valor da área, o que indica o fim da queimada e o início da recuperação do bioma. Ressalta-se que o valor da área queimada no mês de dezembro foi descartado por apresentar um valor inconsistente, que ocorreu devido às grandes interferências atmosféricas e a ausência de alternativas na seleção das imagens. Mesmo selecionando a melhor imagem disponível, ela ainda apresentava interferências atmosféricas muito densas, o que gerou uma máscara sobre a superfície terrestre impedindo a sua visualização.

Gráfico 1 – Áreas queimadas mensais do ano de 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

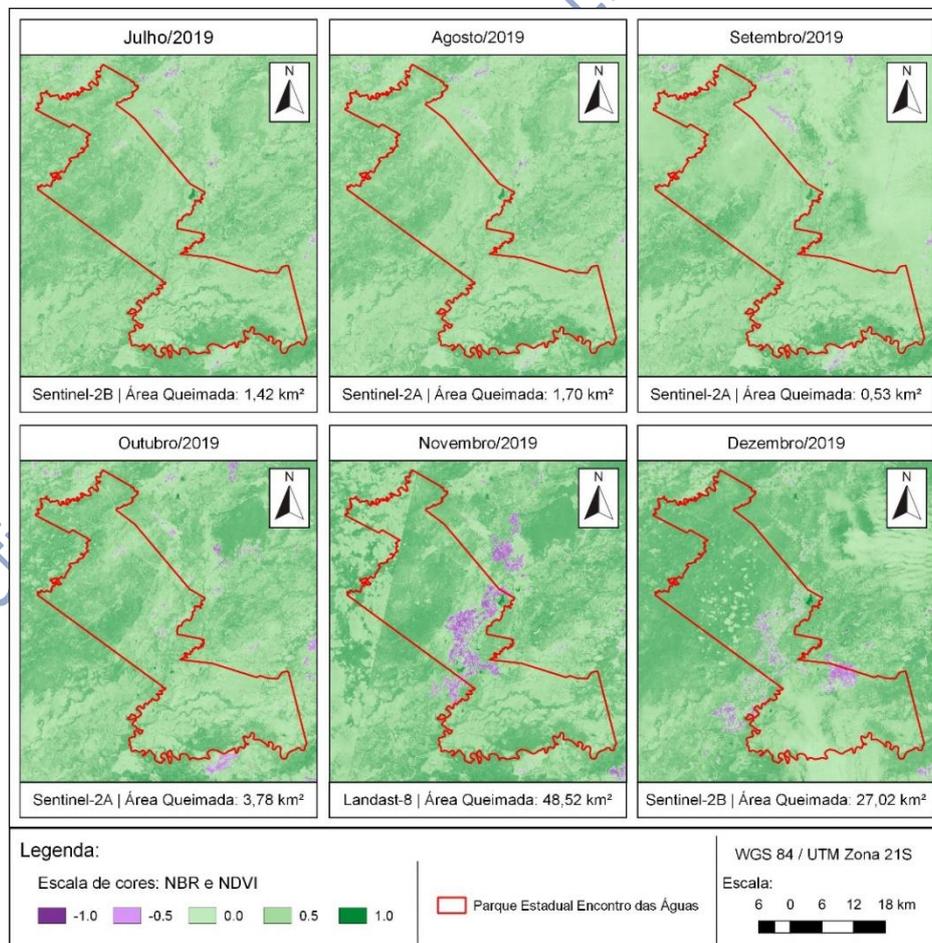
Portanto, os meses em que a queimada ocorreu de maneira mais agressiva foram os meses de agosto, setembro e outubro, no ano de 2020. Entre eles, o mês de outubro apresentou a maior área queimada, resultante dos eventos intensos do mês anterior e o mês de setembro foi classificado como o mês mais intenso do ano, por estar entre o início e término do período mais agressivo, além de apresentar o maior crescimento nos valores das áreas queimadas.

Em comparação com as reportagens veiculadas durante o ano de 2020, estimou-se que até o mês de outubro, o Parque teria uma área queimada entre 65% e 93% de sua área total, valores encontrados nas notícias de Ribeiro Júnior (2020), Lacerda (2020) e Ilhéu (2020). Através das

imagens e dados coletados por esse estudo e tomando como base a imagem do mês de outubro, foi calculada uma área queimada de 546,87 km², o que representa cerca de 50,6 % da área total do Parque, diferente do valor noticiado durante o ano de 2020. Essa variação entre os valores está relacionada com a fonte dos dados e a metodologia utilizada para o quantitativo. Neste estudo, foi adotada a imagem do dia 18 de outubro de 2020 como representante do mês, o que pode gerar valores diferentes em comparação com estudo que realizam o monitoramento diário, como o levantamento do Instituto Centro de Vida divulgado por Lacerda (2020). Além da frequência do monitoramento, outros fatores como a resolução espacial das imagens e a resolução espectral dos dados podem ocasionar valores diferentes.

Também observou-se que, no segundo semestre do ano, ocorreu o período mais intenso de queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas. Assim, foi estabelecido que, para a comparação entre os anos de 2020 e 2019, seriam utilizadas as imagens do segundo semestre. Com a definição do segundo semestre como período de comparação entre os anos, foram geradas as imagens do índice NBR para esse período no ano de 2019. Com o processamento, foi obtido o resultado das imagens do índice NBR e os valores numéricos das áreas queimadas, apresentados na Figura 6.

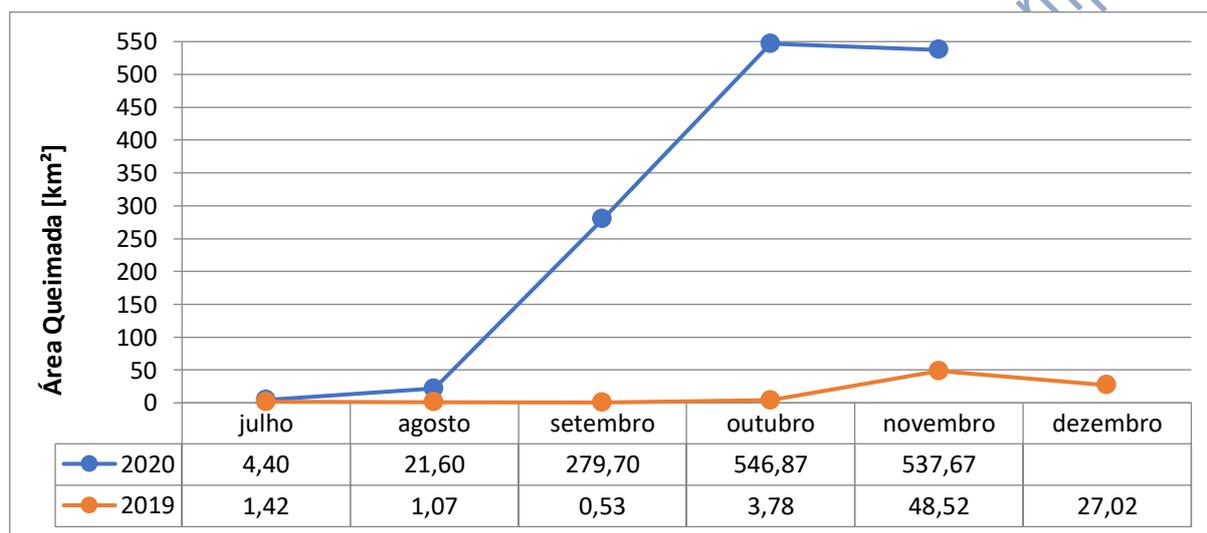
Figura 6 – Imagens do índice espectral NBR, dos meses do segundo semestre de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dos valores das áreas queimadas do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019, foi criado o Gráfico 2. Com isso, ao observar os meses com maiores valores de queimadas em cada ano, percebe-se que o mês de outubro de 2020 apresentou uma área onze vezes maior do que o mês de novembro de 2019. Além disso, também é possível observar que o período de alta das queimadas no Parque variou entre os anos: no ano de 2020, esse período foi entre os meses de agosto e outubro; no ano de 2019, esse período ocorreu entre os meses de setembro e novembro. Esse comportamento está relacionado a diversos fatores, entre eles o principal é o período de seca e a intensidade de seus efeitos, que no ano de 2020 ocorreu de maneira intensa e adiantada em relação ao ano de 2019.

Gráfico 2 – Áreas queimadas do segundo semestre dos anos de 2020 e 2019



Fonte: Elaborado pelos autores

Desse modo, o monitoramento permite avaliar os efeitos da queimada, além de associá-los com os fatores naturais ou antrópicos que levaram a alta dos eventos. A realização do monitoramento, de maneira constante, permite a criação de alertas para as autoridades, aumentando a velocidade de combate aos incêndios, que traz como resultado a diminuição das áreas atingidas pelas queimadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do sensoriamento remoto para o monitoramento dos recursos ambientais cresce, juntamente, com o desenvolvimento das tecnologias. A aplicação na área ambiental possibilita observar grandes áreas sem a necessidade da visita de campo, o que permite a análise de áreas de difícil acesso. Além disso, as técnicas de sensoriamento remoto permitem o processamento de dados não visíveis ao olho humano, através do registro dos diversos espectros da radiação eletromagnética.

A utilização do sensoriamento remoto inicia-se com a definição do programa espacial que atende aos objetivos do estudo. Para isso, devem-se analisar as resoluções espaciais, espectrais e

radiométricas dos satélites disponíveis e as características do produto final disponibilizado. Neste estudo, foram selecionados inicialmente os programas espaciais *Landsat-8*, *Sentinel-2* e CBERS-4 como possíveis fontes, porém, a partir da análise das resoluções, excluiu-se o satélite CBERS-4 por não atender ao estudo, porque não forneceria umas das bandas espectrais utilizadas no cálculo dos índices espectrais. Já na comparação entre as resoluções dos satélites *Sentinel-2* e *Landsat-8*, ambos apresentaram resoluções adequadas para o estudo, porém o fator decisivo foi a maneira como seria realizada a união das imagens que cobrem a área total do Parque. Diante desse fator, os satélites do programa *Sentinel-2* apresentaram ser a melhor opção, pois a união ocorreu com imagens do mesmo dia, ao contrário do satélite *Landsat-8*, que para a área de estudo forneceu imagens de dias diferentes, gerando em uma quebra visual. Porém, em alguns casos o programa *Sentinel-2* não forneceu uma imagem com qualidade, ou ocorreu a ausência dela. Nessa situação, foi utilizado o *Landsat-8* como fornecedor secundário de imagem, evitando a ausência de imagens no estudo.

Com o uso das técnicas de combinação de bandas e índices espectrais, este estudo teve como um dos objetivos a comparação dos índices espectrais *Normalized Burn Ratio* (NBR) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Para a identificação de queimadas foi concluído que o índice NBR apresentou melhor separabilidade entre a vegetação saudável e queimadas, realçando bem os pontos ativos de chamas e diferenciou os corpos d'água das áreas queimadas, diferentemente, do que ocorreu com o índice NDVI. Além disso, o índice NBR utiliza em sua formulação as bandas espectrais do infravermelho, o que resulta na redução da interferência dos componentes das atmosferas, como fumaça e nuvens.

A aplicação do índice espectral NBR, nas imagens dos meses do ano de 2020 e, posteriormente, nos meses do segundo semestre de 2019, permitiu a identificação e quantificação das áreas queimadas, através da escala numérica do índice, a qual classifica as queimadas com valores negativos. A partir dos valores das áreas queimadas, é possível analisar o comportamento da queimada, o que resulta na identificação dos meses mais intensos, que foram os meses de agosto, setembro e outubro para o ano de 2020, e os meses de setembro, outubro e novembro para o ano de 2019.

Este estudo demonstrou a importância do monitoramento de eventos agressivos nas unidades de preservação, pois as informações obtidas, através do sensoriamento remoto, permitem a avaliação da eficácia das políticas públicas já utilizadas e podem auxiliar nas decisões futuras, tornando-as mais rápidas e eficazes. A eficiência do uso do monitoramento está diretamente relacionada às técnicas de sensoriamento remoto e à velocidade com que as imagens são disponibilizadas para as análises, que buscam identificar os eventos naturais ou antrópicos ocorridos na superfície terrestre. Assim, o sensoriamento remoto é utilizado para a avaliação dos aspectos ambientais como no caso das queimadas, onde é possível avaliar as regiões mais afetadas e a

intensidade dos eventos, sem a necessidade de muitos equipamentos, diminuindo custos, tempo e risco do monitoramento.

Recomenda-se, para pesquisas futuras, a ampliação dos meses e anos do período de estudo e a utilização de mais imagens para o mesmo mês, a fim de que diminuindo o intervalo entre as imagens, a análise, ao longo do evento, se torne mais aprimorada. Também, se recomenda a avaliação de outros índices espectrais para a identificação de queimadas, buscando melhoria na qualidade dos resultados. E sugere-se a aplicação do índice ΔNBR para avaliação da agressividade das queimadas e a análise do comportamento do bioma do Pantanal durante o ciclo das queimadas. Pode-se ainda realizar um estudo relacionando os fatores climáticos do planeta com os eventos das queimadas em diversas regiões.

REFERÊNCIAS

ABREU, K. M. P. de; COUTINHO, L. M. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem**. Revista Vértices, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 16, n. 1, p. 173-198, jan. 2014. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Sensoriamento-remoto-aplicado-ao-estudo-da-com-em-e-Abreu-Coutinho/8c1167253471c25c12a06b4ccfeed51c7562a653>> Acesso em: 09 nov. 2020.

ALHO, C. J. R. *et al.* **Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra**. Ambient. soc., São Paulo, v. 22, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2019000100318&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 02 nov. 2020.

BOURSCHEIT, A. **Mais fogo e muita chuva ameaçam o Pantanal**. Brasil, 29 set. 2020. O Eco. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/reportagens/mais-fogo-e-muita-chuva-ameacam-o-pantanal/>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

CHAVEZ JR, P. S. **Image-Based atmospheric corrections: Revisited and improved**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 62, n. 9, p. 1025-1036, set. 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236769129_Image-Based_Atmospheric_Corrections_-_Revisited_and_Improved>. Acesso em: 06 maio 2021.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. v. 7.0.0.1, 25 out. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25480.65286/1>>. Acesso em: 05 maio 2021.

EINHORN, C. *et al.* **O Pantanal se tornou um inferno**. 27 out. 2020. *The New York Times*. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/o-pantanal-se-tornou-um-inferno>>. Acesso em: 07 nov. 2020.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services**. *ESA Communications*, 2012. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf>. Acesso em: 05 maio 2021.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 120 p.

- IBRAHIN, F. I. D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. São Paulo, Editora Érica, 2016. 128 p.
- ILHÉU, T. **Pantanal em chamas: como é o bioma e como ele é cobrado nas provas**. 16 set. 2020. Guia do Estudante. Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/pantanal-em-chamas-como-o-bioma-e-como-ele-e-cobrado-nas-provas/>>. Acesso em: 26 maio 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Satélites**. São José dos Campos (SP). c2018. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites>>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Unidades de conservação no Brasil**. Busca. Parque Estadual Encontro das Águas. c2020. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/4253>>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- KEY, C. H.; BENSON, N. C. **Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods**. 2006. Disponível em: <<https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/24066>>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- LACERDA, N. **Pantanal: chuva não ajuda e fogo já destruiu 93% do parque do Encontro das Águas**. São Paulo, 29 set. 2020. Brasil de Fato. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2020/09/29/pantanal-chuva-nao-ajuda-e-fogo-ja-destruiu-93-do-parque-do-encontro-das-aguas>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
- LEITE, C. C. S. S. *et al.* **Utilização dos índices espectrais NBR e NDVI na caracterização de incêndios no PARNA Chapada Diamantina (Bahia): Estudo de caso dos Gerais do Machobongo**. Trabalho apresentando no XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Campinas: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sarah_Moura/publication/332566943_Utilizacao_dos_indices_espectrais_NBR_e_NDVI_na_caracterizacao_de_incendios_no_PARNA_Chapada_Diamantina_Bahia_Estudo_de_caso_dos_Gerais_do_Machobongo/links/5cbe03c44585156cd7ab502a/Utilizacao-dos-indices-espectrais-NBR-e-NDVI-na-caracterizacao-de-incendios-no-PARNA-Chapada-Diamantina-Bahia-Estudo-de-caso-dos-Gerais-do-Machobongo.pdf> Acesso em: 12 nov. 2020.
- LEMONS, V. **Incêndios no Pantanal: por que o fogo ainda ameaça o ecossistema mesmo após a chegada das chuvas**. 07 nov. 2020. BBC Brasil. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-54848995>>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- LIBONATI, R.; *et al.* **Sistema ALARMES – Alerta de área queimada Pantanal, situação atual - quarta semana de outubro de 2020**. 12p, Rio de Janeiro, Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais - UFRJ, 2020.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2015. 788 p.
- MANOEL, P. S.; *et al.* FAUNA. In: GUIMARÃES, E.; TREVÉLIN, C. C.; MANOEL, P. S. (Org.) **Pantanal: paisagens, flora e fauna**. São Paulo, Cultura Acadêmica, 2014. p. 47-75. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126247/ISBN9788579835407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 jun. 2021.
- MENEGASSI, M. E. **Fogo já atingiu mais que um quinto de todo o Pantanal**. 24 set. 2020. O Eco. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/noticias/fogo-ja-atingiu-mais-de-um-quinto-de-todo-pantanal/>>. Acesso em: 26 maio 2021.

MORAES, E. C. de. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: MORAES, E. C. de; ÁVILA, J. (org.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Disponível em: < http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf >. Acesso em: 09 nov. 2020.

PEREIRA, A. A. *et al.* **Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no Cerrado brasileiro utilizando dados Landsat TM**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, n. 68/8, p. 1665-1680, 2015. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44386>> Acesso em: 21 dez. 2020.

POTT, A. *et al.* **Plant diversity of the Pantanal wetland**. São Carlos , v. 71, n. 1, supl. 1, p. 265-273, Apr. 2011 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842011000200005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 nov. 2020.

RIBEIRO JÚNIOR, A. **Queimada em refúgio das onças em MT teve origem em fazenda clandestina**. São Paulo, 30 set. 2020. UOL Notícias. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/colunas/amaury-ribeiro-jr/2020/09/30/queimada-em-refugio-das-oncas-teve-origem-em-fazenda-clandestina.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

RICHTER, R.; SCHLÄPFER, D. **Atmospheric/Topographic correction for airborne imagery: ATCOR-4 user guide**. *ReSe Applications Schläpfer, Switzerland*, jun. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268376667_Atmospheric_Topographic_Correction_for_Airborne_Imagery/link/55bf120e08ae092e96651af2/download>. Acesso em: 05 maio 2021.

ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. 1973. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740004927>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SILGUEIRO, V.; VALDIONES, A. P.; BERNASCONI, P. **Caracterização das áreas atingidas por incêndios em Mato Grosso**. Instituto Centro de Vida. Cuiabá (MT). 2020. Disponível em: <<https://www.icv.org.br/publicacao/caracterizacao-das-areas-atingidas-por-incendios-em-mato-grosso/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SILVA, F. S. da; PESTANA, A. L. M.; MARTINS, L. S. **Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no cerrado maranhense: uma aplicação no parque estadual do mirador**. Revista Geográfica Acadêmica, Boa Vista (RR), v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019. Anual. Disponível em: <<https://revista.ufrb.br/rga/article/view/5759>>. Acesso em: 09 nov. 2020.