



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Identificação Operacional de Áreas com Potencial de Regeneração e/ou Recuperação Vegetal nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano

José Rafael Ferreira de Gouveia¹, Cristina Rodrigues Nascimento²

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n; Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. E-mail: ferreira.gouveia@hotmail.com (autor correspondente). ² Professora Doutora, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n; Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 52171-900. E-mail: crisrodnas@gmail.com.

Artigo recebido em 16/12/2022 e aceito em 09/04/2023

RESUMO

O fogo é utilizado há muitos anos no Brasil, servindo para diversas finalidades. Porém, caso manuseado equivocadamente pode provocar incêndios com danos imensos ao ambiente. As mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano são susceptíveis ao acontecimento de queimadas, visto que o bioma predominante é a Caatinga, clima semiárido e baixa pluviosidade. O presente artigo tem como objetivo a caracterização e quantificação dos focos de calor e identificação de queimadas de forma operacional nas mesorregiões citadas no período de 2014 a 2020, nos meses mais secos do ano, assim como o poder de regeneração vegetal. As imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo da plataforma TERRA, produtos MOD14A1, MOD09GQ, MOD13Q1 e MOD09Q1 foram utilizadas a fim de caracterizar as áreas atingidas pelos focos de calor, analisar o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e implementar um *script* na plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para identificação operacional das áreas com potencial de regeneração vegetal. Resultados exibem um comportamento crescente na quantidade de focos de calor, com uma redução no ano de 2020. O ano de 2019 apresentou o maior número de áreas regeneradas, sendo de 37. O *script* se demonstrou eficaz com acertos mínimos de 56%, sendo em sua maioria superior a 75%. Além disso, os erros máximos foram de 25% de omissão em outubro de 2020 e 43,75% de comissão em setembro de 2016. Neste sentido, as técnicas empregadas foram capazes de detectar as regiões afetadas pelas queimadas, bem com o seu potencial para regeneração vegetal.

Palavras-Chave: NDVI, focos de calor, GEE, imagens de satélites.

Operational Identification of Areas with Potential for Regeneration and/or Plant Recovery in the Sertão and São Francisco Pernambucano Mesoregions

ABSTRACT

Fire has been used for many years in Brazil, serving for various purposes. However, if handled wrongly, it can cause fires with immense damage to the environment. The Sertão and São Francisco Pernambucano mesoregions are susceptible to the occurrence of fires, since the predominant biome is the Caatinga, semi-arid climate and low rainfall. This article aims to characterize and quantify hot spots and operationally identify fires in the mentioned mesoregions in the period from 2014 to 2020, in the driest months of the year, as well as the power of plant regeneration. The images from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor on board the TERRA platform, products MOD14A1, MOD09GQ, MOD13Q1 and MOD09Q1 were used in order to characterize the areas affected by hot spots, analyze the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and implement a script on the Google Earth Engine (GEE) platform for the operational identification of areas with potential for plant regeneration. Results show an increasing behavior in the number of hot spots, with a reduction in the year 2020. The year 2019 had the highest number of regenerated areas, with 37. The script proved to be effective with minimum hits of 56%, being in mostly greater than 75%. In addition, the maximum errors were 25% of omission in October 2020 and 43.75% of commission in September 2016. In this sense, the techniques employed were able to detect the regions affected by the fires, as well as their potential for plant regeneration.

Keywords: NDVI, hotspots, GEE, satellite images.

Introdução

No Brasil o fogo é amplamente utilizado há anos como técnica para limpeza de áreas como preparação de cultivo de diferentes espécies agrícolas, controle e/ou redução da ocorrência de pragas e doenças, e o aumento de áreas para o desenvolvimento de pastagem para o emprego da pecuária (Lima et al., 2021; Garcia et al., 2022). Porém, a prática das queimas constitui um risco considerável ao ecossistema, ao passo que esta pode provocar a destruição da fauna e flora, aumento dos processos erosivos e queima da matéria orgânica presente no solo causando impactos na lavoura (White, 2018; Benfica et al., 2020; Lima e Vieira Junior, 2022).

Os incêndios podem ser devastadores e causarem diversos danos ao meio ambiente, além disso, condições como baixa pluviosidade, clima quente e seco e ventos fortes podem ampliar a sua gravidade (Dias e Pessoa, 2020; Silva, 2020; Almeida et al., 2022). Neste sentido, estes eventos podem ocorrer de duas formas: antrópicas – pela ação accidental ou intencional do homem; naturais – pela incidência de raios ou condições adversas do ambiente (Prado, 2020; Rocha e Nascimento, 2021; Rost et al., 2021; Siqueira e Carvalho, 2022). Sendo assim, as mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano são altamente susceptíveis a ocorrência de queimadas em função da predominância do bioma Caatinga, clima semiárido e baixa pluviosidade que favorecem a incidência destes episódios (Gouveia et al., 2021).

Conforme Walder e Alves (2021), o monitoramento das queimadas é de suma importância para evitar os desastres advindos dessa prática, o que pode levar ao desenvolvimento de técnicas e atividades de prevenção. De acordo com Sales et al. (2019) e Fruehauf et al. (2022), a caracterização e o monitoramento dos eventos de queimadas através do sensoriamento remoto se demonstram como um importante instrumento no controle e combate do fogo. As informações obtidas através do sensoriamento remoto possibilitam a identificação da dinâmica espacial e temporal, que permitem a caracterização de ocorrências dos focos de calor, a mensuração das áreas e da biomassa de fato afetadas pelo fogo, assim como o dimensionamento das áreas recuperadas e/ou regeneradas após a queima (Zhou et al., 2019; Santos et al., 2020; Sena et al., 2022). Tais análises são possíveis pela utilização de um dos produtos mais populares do sensoriamento remoto, as imagens de satélites (Teixeira et al., 2021).

Com a intensão de aperfeiçoar a caracterização das queimadas é possível combinar diferentes informações com as imagens de

satélites. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza, a partir do Banco de Dados de Queimadas (BDQ), dados vetoriais de pontos geográficos que apresentam uma temperatura média na superfície terrestre de 47 °C e área mínima de 900 m², estes recebem o nome de focos de calor (Souza Neto et al., 2021; INPE, 2022; Oliveira e Anunciação, 2022). Os focos de calor são obtidos a partir de vários satélites de órbita polar e geoestacionários, gerando, respectivamente, dois grupos de imagens por hora e quatro imagens a cada hora, totalizando mais de 200 imagens processadas por dia para a constatação de focos de queima da vegetação (Santos e Santanna, 2020; Duarte, 2022).

Consoante a Simioni (2021), as imagens de satélites são produtos da interação entre a radiação eletromagnética e os objetos dispostos na face da terra. Dessa forma, cada objeto apresenta uma assinatura espectral, ou seja, um padrão de energia refletida e emitida por um corpo ao longo do espectro eletromagnético (PANTAROTTO et al., 2020; Barros et al., 2021; Santori, 2022). Isto possibilita o estudo de áreas com vegetações devastadas pela queima antes e após o evento a partir de índices de vegetação, os quais possibilitam o conhecimento do estado da vegetação através da associação de, no mínimo, duas bandas espectrais (França et al., 2021; Silva e Beltrão, 2021; Gouveia et al., 2022).

Os índices de vegetação são diversos, porém, um dos mais difundidos para a temática é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974) (Oliveira Júnior et al., 2019; Eduvirgem et al., 2021; Gouveia e Nascimento, 2022a). O NDVI é calculado a partir das bandas do vermelho e infravermelho próximo, dado que a vegetação apresenta baixa refletância na região do visível, especificamente no vermelho, enquanto que o contrário ocorre com a região do infravermelho próximo (Mabunda et al., 2021; Ghorbanian et al., 2022; Kumar et al., 2022). Os valores de NDVI variam de -1 a 1, onde as áreas com valores mais próximos a 1 representam alto vigor vegetativo, as mais próximas a 0 indicam senescência e àquelas que tendem a -1 são áreas de água (Gervásio, 2021; Jardim, 2021; PASSOS, 2021; Li et al., 2022; Sharma et al., 2022). Oliveira Júnior et al. (2021) e Xiao et al. (2022) afirmam que esta técnica é utilizada com o intuito de traçar perfis espaço-temporais do comportamento da vegetação, assim podendo dimensionar áreas em pleno vigor ou envelhecimento vegetal.

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo das plataformas TERRA e AQUA possui diversos produtos para a aquisição de informações para o

monitoramento de áreas queimadas (Benfica et al., 2021; Chaves et al., 2021). Este sensor atua entre as faixas de 0,4 a 14,4 μm do espectro eletromagnético, possui resolução radiométrica de 12 bits, espectral de 36 bandas, temporal de 1 a 2 dias e espacial de 250 a 1000 m (Fernandes et al., 2020; Portela e Paula, 2020; Rosa et al., 2021; Bezerra et al., 2022; Caido et al., 2022; NASA, 2022). Dentre os seus produtos, o MOD14A1, diário e com 1000 m, é o responsável por detectar áreas que apresentem anomalias termais, sendo altamente utilizado para a caracterização de grandes queimadas (Chang et al., 2021; Shiraishi et al., 2021; Deshpande et al., 2022; Jin e Lee, 2022). O MOD13Q1 disponibiliza os valores de NDVI e EVI em uma composição de imagens de 16 dias em 250 m, portanto, é altamente utilizado quando se pretende conhecer o comportamento da vegetação durante uma série temporal (Rodríguez et al., 2021; Sarvia et al., 2021; Borges et al., 2022). Não obstante, os produtos MOD09GQ (diário) e MOD09Q1 (8 dias), ambos com 250 m, dispõem da refletância de superfície nas regiões do vermelho e infravermelho próximo, assim possibilitando o monitoramento ambiental diário ou em determinado período a partir do cálculo de índices de vegetação, como o NDVI (Castro et al., 2018; Zeng et al., 2021; Cao et al., 2022; Ding et al., 2022).

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma que possibilita ao usuário a obtenção de imagens de satélites e produtos decorrentes do processamento dessas imagens para análises temporais e espaciais através da implementação de *scripts* em uma linguagem textual de programação

(Cavalcante et al., 2020; Yang et al., 2022). A ferramenta é acessada e controlada através de uma Interface de Programação de Aplicativos (API) e um Ambiente de Desenvolvimento Interativo (IDE), permitindo que o usuário desenvolva o seu próprio *script*, dado que esta ferramenta pode ser utilizada para diversas vertentes no estudo da geociência, inclusive para a identificação de áreas queimadas (Teixeira, 2020; Carvalho et al., 2021; Correia, 2021; Piralilou et al., 2022).

Neste sentido, o artigo tem como objetivo a caracterização e quantificação dos focos de calor e identificação de queimadas de forma operacional a partir da implementação de *script* no GEE e utilização de imagens do satélite MODIS/TERRA, nas mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano, nos meses mais secos do ano, na série temporal de 2014 a 2020, bem como o potencial de regeneração vegetal das áreas afetadas. Concomitantemente, foi possível identificar a condição necessária para a recuperação e/ou regeneração vegetal de áreas com alta probabilidade de ocorrência de queimada através do NDVI.

Material e métodos

Realizou-se a pesquisa nas mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano (Figura 1). Estas possuem 41 e 15 municípios, abrangendo 37.871 km² e 24.483 km², respectivamente, o que corresponde a aproximadamente 64% da área total do estado de Pernambuco (IBGE, 2022). Ambas as mesorregiões apresentam o bioma Caatinga, clima semiárido e precipitação média anual inferior a 700 mm (Cerqueira et al., 2020).

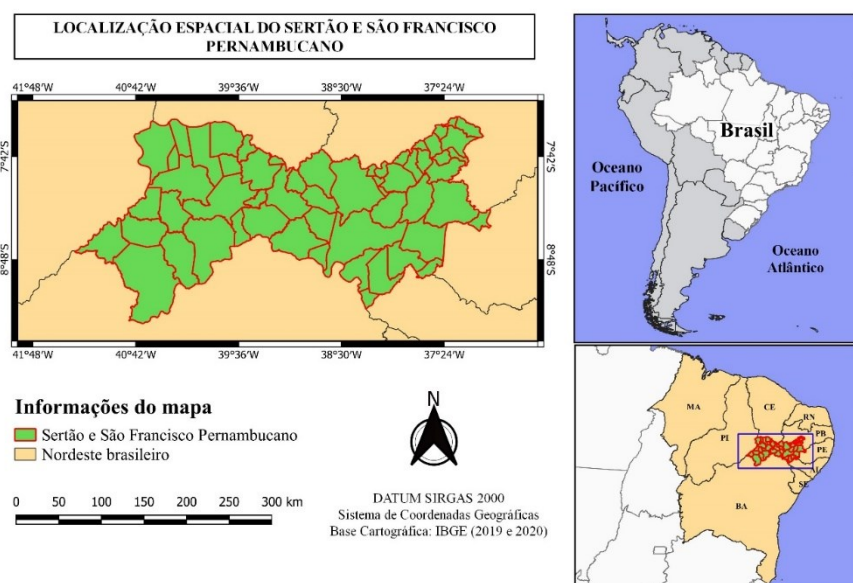


Figura 1. Localização espacial das mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano.

Os eventos de queimadas podem ser facilmente detectados caso a área afetada seja classificada como clima seco. Assim, faz-se necessário analisar o clima das mesorregiões de estudo a fim de caracterizar o período do ano que apresenta, portanto, maior susceptibilidade à incidência desses focos de calor.

Com este intuito, foi realizada uma análise climática através da aplicação da técnica de *Quantis*, segundo a metodologia proposta por Monteiro et al. (2012). Para tanto foi utilizada uma série mensal de 30 anos de informações (1961-1990), a partir das normais climatológicas do total de precipitação anual, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2009), dos municípios: Arcoverde, Cabrobó, Floresta, Petrolândia e Petrolina.

Os municípios foram distribuídos de forma que o resultado da observação pudesse ser aplicado para as mesorregiões de estudo em sua totalidade, ou seja, que o resultado fosse representativo. Com isto, possibilitando classificar os anos de 2014 a 2020 dos municípios acima descritos como sendo: Seco, Normal ou Chuvoso; a partir dos dados pluviométricos captados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), do INMET e do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO).

Em seguida a classificação dos meses mais secos dos anos de 2014 a 2020, foi determinada e identificada a ocorrência mensal dos focos de calor com base nas informações adquiridas por meio do Banco de Dados de Queimadas – BDQ do INPE.

Para a identificação das queimadas e compreensão da dinâmica de regeneração e/ou recuperação vegetal foram utilizadas as imagens do sensor MODIS/TERRA, produtos: MOD14A1 – para caracterização espacial da ocorrência de queimadas coincidentes com os dados vetoriais de focos de calor obtidos pelo INPE; MOD09GQ – Avaliar, através da refletância da superfície, o comportamento da vegetação no dia da queima a partir do índice de vegetação NDVI (Equação 1); MOD13Q1 – Avaliar o comportamento do NDVI nos períodos de 16 dias antes da queima (pré-queima) e em uma sequência de três imagens totalizando o período de 48 dias após a queima (pós-queima). Esta análise possibilitou avaliar a capacidade de regeneração e/ou recuperação vegetal, simultânea à resposta do bioma Caatinga frente à precipitação; MOD09Q1 – As imagens, desse produto, foram utilizadas no GEE para a implementação do algoritmo de identificação de áreas com possibilidade de regeneração e/ou recuperação vegetal analisadas a partir da obtenção do NDVI.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ρ_{NIR} = Refletância da banda do infravermelho próximo;

ρ_{RED} = Refletância da banda do vermelho.

Todas as imagens MODIS utilizadas pertencem ao tiles h13v09 e h14v09 e foram obtidas gratuitamente no site da *United States Geological Survey* (USGS). O software *Modis Reprojection Tool* (MRT) foi utilizado para a realização da conversão do formato *HDF-EOS para *GeoTiff, ao passo que o processamento das imagens para o desenvolvimento de mosaicos e análise da área de estudo foi executado no software ENVI 5.3.

Com o objetivo de estabelecer padrões para a regeneração e/ou recuperação vegetal nas áreas atingidas pela queima foi aplicada a técnica de árvores de decisão através dos dados de NDVI e precipitação local nos períodos pré, durante e pós-queima. Para esta finalidade foi utilizado o algoritmo “REPTree” presente no software *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA), versão 3.9.2.

Após a utilização da técnica de mineração de dados através do algoritmo “REPTree” para a obtenção das árvores de decisão e consequentemente a dinâmica do índice NDVI e da precipitação local para a ocorrência de regeneração e/ou recuperação vegetal, foi utilizada a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para a implementação de um *script* baseado nas informações obtidas das árvores de decisão que possibilitasse a classificação das áreas passíveis de regeneração e/ou recuperação vegetal a partir de imagens de satélites do sensor MODIS/TERRA, produto MOD09Q1, e exportação das imagens filtradas.

De acordo com Ermida et al. (2020) e Sartorio e Maier (2022), o GEE é uma plataforma *on-line* desenvolvida com o intuito de facilitar as análises de big data pelos seus usuários. O GEE vem demonstrando ser uma ferramenta muito útil para a análise temporal da cobertura do solo, visto que esta permite o processamento de imagens de diversas fontes, em escalas diferentes e em séries temporais. Dessa forma, abrangendo uma grande quantidade de dados em sua plataforma (Alencar et al., 2020; Li et al., 2020; Ghosh et al., 2022; Lira et al., 2022).

Resultados e discussão

A classificação do período mais seco do ano nas mesorregiões de estudo, a partir da análise climática é apresentada na Figura 2.

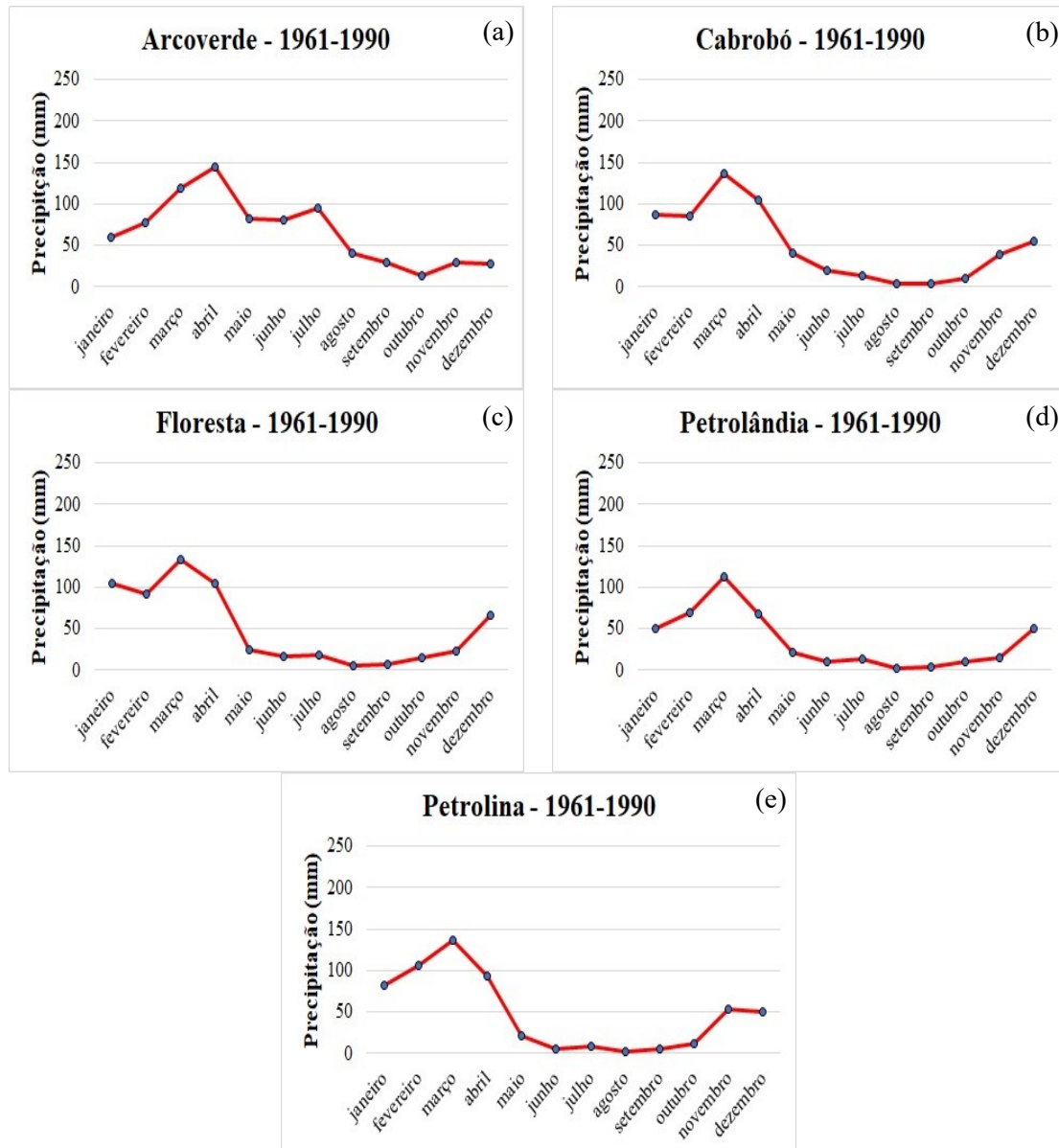


Figura 2. Série temporal de 1961 a 1990 dos municípios (a) Arcoverde, (b) Cabrobó, (c) Floresta (d) Petrolândia e (e) Petrolina.

É possível observar que a época mais seca do ano se concentra entre os meses de agosto a novembro, corroborando as constatações de Guimarães et al. (2023). Em contrapartida, de janeiro a abril são os meses mais chuvosos. Tais informações são importantes porque o bioma Caatinga, se torna mais susceptível à ocorrência de focos de calor no período seco (Gouveia e Nascimento, 2022b).

A técnica do *Quantis* foi realizada segundo o total de precipitação média anual, conforme as informações obtidas na Figura 2. Para que haja três faixas – Seco, Normal e Chuvoso – foi necessário

utilizar os *Quantis* equivalentes a 0,33 e 0,66. Ou seja, sendo a precipitação média total anual e um ano igual a “P” e “i”, respectivamente, logo: se $P_i \leq 551,4$ mm, então, Seco; se $551,4 \text{ mm} < P_i < 674,8$ mm, então, Normal; se $674,8 \text{ mm} \leq P_i$, então, Chuvoso. A classificação dos municípios de acordo com o critério acima está disposta na Tabela 1. Pode-se observar que apenas o município de Arcoverde, no ano de 2020, foi classificado como “Chuvoso”, enquanto que todos os municípios apresentam ao menos um ano classificado como “Seco”.

Tabela 1. Classificação dos municípios entre os anos 2014 a 2020 conforme a técnica de *Quantis*.

Municípios	Anos						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Arcoverde	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Chuvoso
Cabrobó	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
Floresta	Seco	Seco	Seco	Seco	Normal	Seco	Normal
Petrolândia	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
Petrolina	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco

Em seguida à análise climática, foram definidos os dias e municípios que apresentaram incidência de focos de calor em maior número entre os meses de agosto a novembro de 2014 a 2020 nas mesorregiões Sertão e São Francisco Pernambucano, conforme a Tabela 2. Destaca-se

que os municípios afetados pela queima apresentam risco de incêndio igual a 1. Segundo Pirajá et al. (2023), este índice assume valores compreendidos entre 0 e 1 e manifesta a probabilidade de eventos e ampliação de um foco de calor no campo.

Tabela 2. Ocorrências de Focos de Calor por município.

Município	Latitude	Longitude	Data de ocorrência	Número de focos	Focos de calor confirmados	Risco
Araripina	-7,42°	-40,38°	13/08/2014	18	3	1
São José do Belmonte	-7,89°	-38,79°	30/09/2014	68	1	1
Iguaracy	-7,74°	-37,31°	30/09/2014	68	2	1
Petrolina	-9,31°	-40,46°	30/09/2014	68	2	1
Santa Cruz	-8,34°	-40,28°	06/11/2014	108	4	1
Serra Talhada	-7,78°	-38,44°	06/11/2014	108	1	1
Solidão	-7,57°	-37,73°	06/11/2014	108	1	1
Afogados da Ingazeira	-7,68°	-37,67°	06/11/2014	108	2	1
Dormentes	-8,45°	-40,64°	06/11/2014	108	1	1
Petrolina	-8,81°	-40,79°	06/11/2014	108	6	1
Parnamirim	-8,29°	-39,71°	17/10/2015	92	1	1
Granito	-7,69°	-39,69°	17/10/2015	92	3	1
Lagoa Grande	-8,23°	-40,29°	17/10/2015	92	3	1
Santa Cruz	-8,32°	-40,34°	20/09/2016	75	2	1
Ipubi	-7,57°	-40,19°	25/11/2016	113	1	1
Araripina	-7,36°	-40,38°	21/11/2017	137	2	1
São José do Belmonte	-8,03°	-38,64°	21/11/2017	137	1	1
Santa Cruz da Baixa Verde	-7,90°	-38,18°	21/11/2017	137	2	1
Serra Talhada	-7,93°	-38,38°	30/08/2019	49	4	1
Santa Filomena	-8,13°	-40,44°	28/09/2019	120	1	1
Santa Cruz	-8,32°	-40,34°	28/09/2019	120	2	1
Parnamirim	-8,29°	-39,71°	28/09/2019	120	1	1
Serrita	-7,67°	-39,48°	28/09/2019	120	1	1
Iguaracy	-7,79°	-37,50°	28/09/2019	120	2	1
Dormentes	-8,58°	-40,72°	28/09/2019	120	4	1
Santa Maria da Boa Vista	-8,45°	-39,78°	28/09/2019	120	1	1
Solidão	-7,61°	-37,62°	31/10/2019	236	4	1
Trindade	-7,75°	-40,35°	06/11/2019	549	11	1
Betânia	-8,15°	-38,06°	06/11/2019	549	1	1
Dormentes	-8,58°	-40,72°	06/11/2019	549	3	1
Santa Maria da Boa Vista	-8,45°	-39,78°	06/11/2019	549	8	1
Floresta	-8,64°	-38,34°	06/11/2019	549	241	1

Ibimirim	-8,60°	-37,57°	15/08/2020	50	1	1
Petrolina	-9,46°	-40,64°	15/08/2020	50	3	1
Petrolina	-9,09°	-40,65°	24/09/2020	127	10	1
São José do Belmonte	-7,81°	-38,70°	11/10/2020	316	8	1
Mirandiba	-8,18°	-38,77°	11/10/2020	316	1	1
Sertânia	-7,97°	-37,42°	11/10/2020	316	52	1
Ibimirim	-8,59°	-37,57°	11/10/2020	316	2	1
Petrolina	-8,90°	-40,88°	11/10/2020	316	8	1
Tabira	-7,64°	-37,50°	13/11/2020	330	2	1
Iguaracy	-7,91°	-37,50°	13/11/2020	330	2	1
Petrolina	-8,83°	-40,53°	13/11/2020	330	4	1

As áreas a serem avaliadas são aquelas coincidentes entre os dados vetoriais de focos de calor do INPE na coluna “Número de focos” e os pixels registrados como de anomalias térmicas/incêndios de acordo com as imagens do sensor MODIS/TERRA, produto MOD14A1, o que resulta na coluna “Focos de calor confirmados”.

De modo a analisar o comportamento das queimadas no Sertão e São Francisco Pernambucano durante os anos de forma quantitativa, a Figura 3 demonstra um paralelo dos focos de calor identificados pelo INPE onde é possível observar que do ano de 2014 a 2020 há uma tendência ao aumento anual do número de focos de calor. Apesar desta crescente, o mês de novembro apresentou uma decrescente a partir no

ano de 2020, visto que no ano de 2019 foi registrado o pico da curva crescente com 549 focos de calor e no mesmo mês no ano de 2020, foram registrados 330 focos.

É possível perceber que apesar de na série temporal de 2014 a 2020 os meses de agosto e setembro serem os menos afetados pela queima, quando comparado o mês de setembro no ano de 2020 com outubro e novembro de 2014, outubro de 2015, novembro de 2016 e 2018 e o próprio setembro de 2014 a 2019, foi observado que houve um aumento significativo de queimadas neste mês. Isto implica que um mês dito menos afetado pela queima se comportou, em 2020, como aqueles com maior ocorrência de focos de calor em anos anteriores.

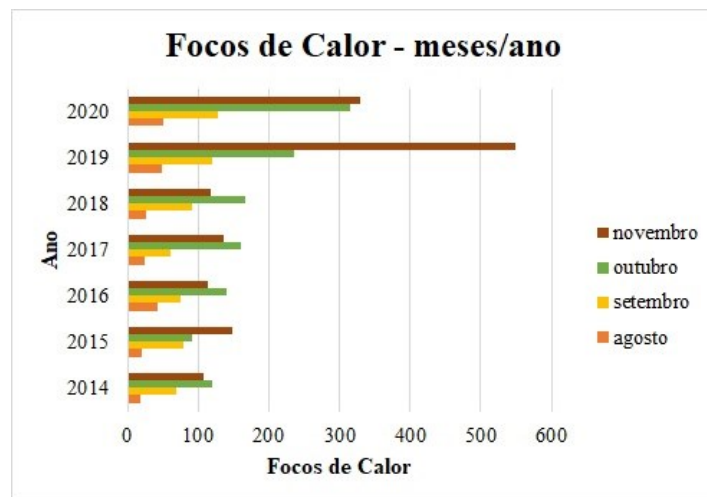


Figura 3. Quantitativo de focos de calor detectados pelo INPE nos meses de agosto a novembro de 2014 a 2020.

Subsequentemente à caracterização das áreas queimadas, foi realizada a avaliação do NDVI nos períodos pré, durante e pós-queima, concomitantemente à precipitação local, dado que o bioma Caatinga tem como uma de suas características uma resposta vertiginosa da

vegetação em função da precipitação, dessa forma, sendo capaz de alterar o valor deste índice.

Na Figura 4 pode-se observar quantitativamente as áreas que alcançaram a regeneração e/ou recuperação vegetal depois de serem afetadas pela queima de acordo com a incidência de focos de calor por município.

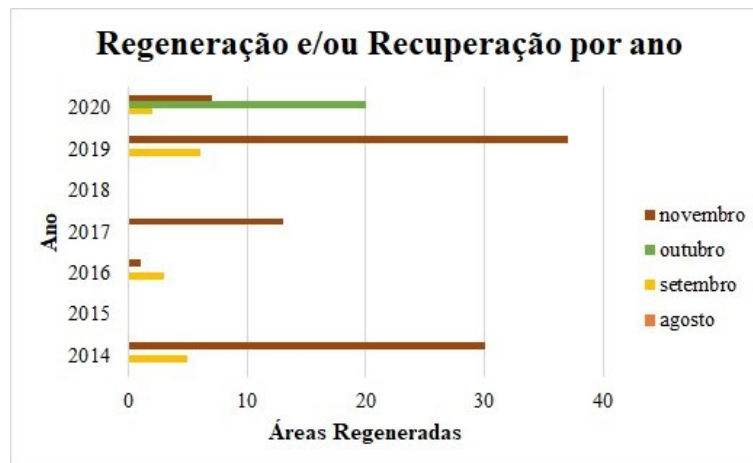


Figura 4. Áreas com regeneração e/ou recuperação vegetal.

O mês de novembro de 2019 foi o mais acometido pelos focos de calor, apresentando 549 detectados pelo INPE, sendo 241 focos confirmados no município de Floresta. Ainda assim, de acordo com a Figura 4, o mês que apresentou o maior número em regeneração vegetal foi novembro de 2014. Esta reposta está associada ao início da pré-estação chuvosa e a rápida resposta da vegetação à precipitação, o que exibe a essencialidade da precipitação local para a regeneração local (Tavares, 2023). O mês de outubro de 2020 também merece destaque, visto que expôs um número considerável de áreas regeneradas e/ou recuperadas, sendo até maior que a quantidade de áreas do mês seguinte.

A fim de estabelecer os padrões para a ocorrência da regeneração e/ou recuperação vegetal foi utilizado o software WEKA, onde os dados de NDVI pré, durante e pós-queima e precipitação local foram submetidos ao método de árvores de decisão através do algoritmo “REPTree” para análise da correlação entre tais variáveis.

A Figura 5 exibe a árvore de decisão gerada através do cruzamento das variáveis apresentadas acima, a qual aponta duas ocasiões principais para que ocorra a regeneração vegetal com base em um índice de NDVI de 0,34 no dia da queima. Foi observada uma correlação de 94,84% entre os fatores necessários para que aconteça a regeneração vegetal.

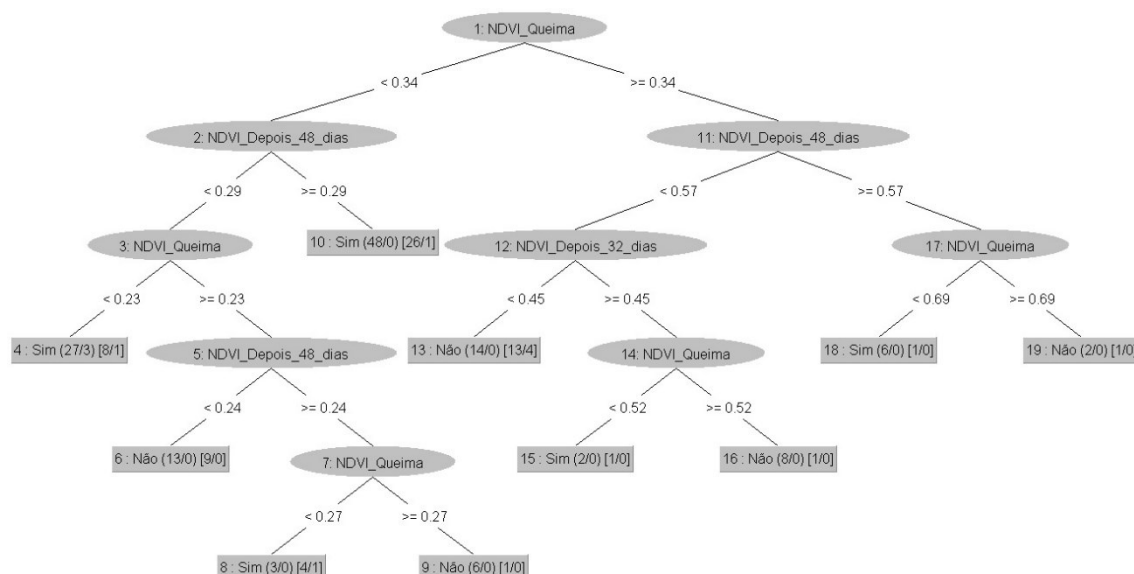


Figura 5. Árvore de decisão com condições para Regeneração Vegetal.

Considerando que o artigo visa estudar as áreas mais susceptíveis à queima, o ramo da árvore de decisão que possui valores de NDVI no dia da queima iguais ou superiores a 0,34 foi descartado.

Os valores do NDVI nesse ramo são relativamente altos, indicando um aumento do vigor vegetativo. Dessa forma, não havendo valores críticos do

NDVI e consequentemente baixa incidência de queima.

Para o ramo aos quais os valores do NDVI são menores que 0,34 no dia da queima, percebe-se que a regeneração e/ou recuperação vegetal é dependente dos valores do índice tanto no dia da queima quanto depois de 48 dias. É possível constatar que os valores do índice são bem menores do que àqueles do ramo oposto, indicando áreas mais susceptíveis à queima.

Ao observar a Figura 5, no ramo à esquerda (valores de NDVI no dia da queima menores que 0,34), pode-se inferir que a regeneração e/ou recuperação vegetal vai ocorrer em duas circunstâncias em relação ao NDVI no dia da queima: quando este índice for menor que 0,23 ou menor que 0,27. Com base nessas informações, ao realizar uma interseção entre esses dois valores obteve-se os limites do NDVI que satisfazem as duas condições supracitadas. Sendo assim, percebe-se que os valores de NDVI menores que 0,23 satisfazem as condições impostas para que haja a regeneração e/ou recuperação vegetal a partir do índice no dia da queima.

Através do conhecimento dos limites dos índices necessários no dia da queima para que

ocorresse a regeneração vegetal, foi desenvolvido no GEE o *script* para a detecção operacional dessas áreas com potencial de regeneração. Onde a plataforma, através de linguagem textual de programação, esteve apta a exportar as imagens das mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano, no período de agosto a novembro de 2014 a 2020, com apenas os pixels referentes a valores de NDVI menores que 0,23, sendo calculado a partir do sensor MODIS/TERRA, produto MOD09Q1.

A fim de validar o *script* desenvolvido no GEE foi realizado um cruzamento entre as informações obtidas anteriormente de áreas com possibilidade de regeneração vegetal e os dados advindos do algoritmo. Observa-se, de acordo com a Figura 6, que a resposta do algoritmo é satisfatória, visto que a porcentagem de acertos na identificação das áreas com possibilidade de regeneração vegetal é superior a 75% na maior parte dos meses e anos analisados. Ainda naqueles meses e anos em que a porcentagem de acertos foi inferior a 75%, os acertos permaneceram maiores do que 56%.

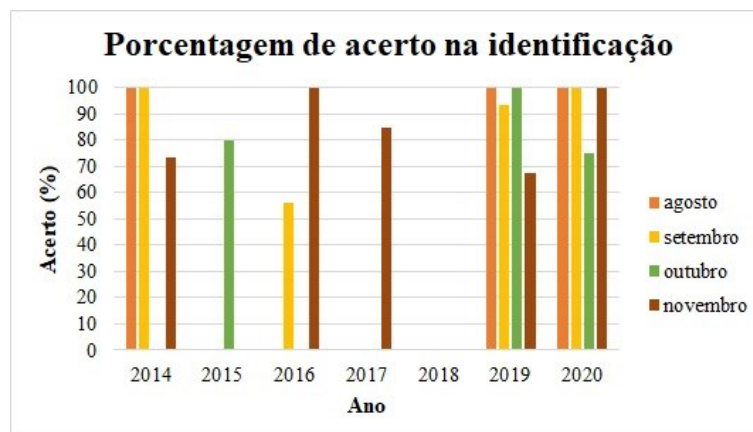


Figura 6. Porcentagem de acerto na identificação das áreas com possibilidade de regeneração vegetal.

Vale salientar que o fato de o algoritmo não possuir 100% de acerto em todas as áreas está inteiramente relacionado com os erros de omissão e comissão encontrados na análise da sobreposição dos dados do algoritmo com àqueles encontrados anteriormente (Figura 7). Os erros de omissão representam o número de amostras não

identificadas como sendo de sua classe de referência. Enquanto que os erros de comissão representam o número de amostras que apesar de não pertencerem à uma determinada classe são identificadas como se assim fossem (Oliveira et al., 2020).

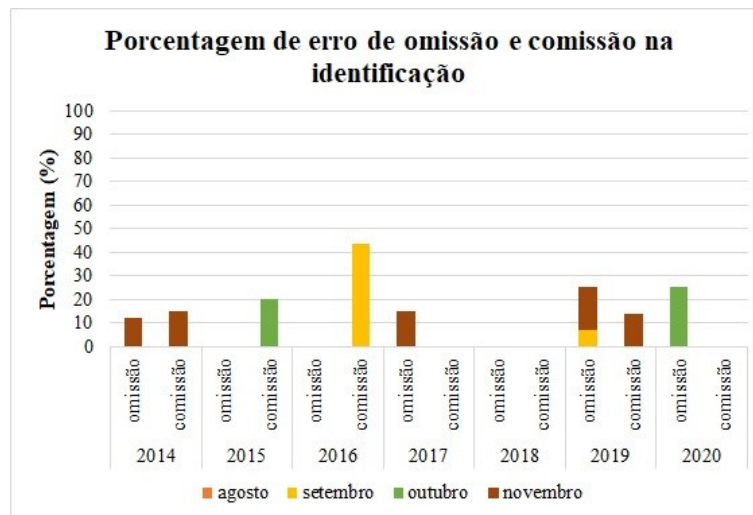


Figura 7. Porcentagem de erro na identificação das áreas com possibilidade de regeneração vegetal.

Assim sendo, a partir da metodologia proposta por Cho (2021) e Miranda et al. (2023), as áreas com potencial de regeneração vegetal identificadas pelo algoritmo que coincidiram com as encontradas anteriormente foram caracterizadas como acerto. As áreas classificadas como de possibilidade de regeneração vegetal, porém, que não haviam sido identificadas pelo algoritmo, receberam a caracterização de erro de omissão. Aquelas áreas não classificadas anteriormente como de potencial de regeneração, identificadas pelo algoritmo como se obtivessem essa capacidade foram caracterizadas como erro de comissão.

Verifica-se com base na Figura 7 que o mês de outubro de 2020 apresentou o maior percentual de erro de omissão (25%). Percebe-se também que o mês de setembro de 2016 detém o maior percentual de erro de comissão (43,75%). Os erros de omissão podem ser provocados pela existência de ruídos, nuvens ou outras sombras nas imagens de satélites, já os erros de comissão se relacionam com a dimensão e intensidade das áreas queimadas (Pacheco e Silva Junior, 2021; Silva, 2023).

Conclusões

Os dados vetoriais do INPE sobrepostos às imagens MOD14A1 possibilitaram a caracterização e quantificação das áreas queimadas no período mais seco dos anos (meses de agosto a novembro) de 2014 a 2020, ao passo que as imagens MOD13Q1 e MOD09Q1 proporcionaram o acompanhamento do NDVI nos períodos antes, durante e depois da queima.

O algoritmo “REPTree”, demonstrou ser uma alternativa para o conhecimento das condições necessárias para que haja a regeneração e/ou recuperação vegetal a partir do cruzamento de dados de NDVI e precipitação local.

A plataforma GEE foi capaz de realizar a identificação operacional e exportação de imagens MOD09Q1 de áreas regeneradas com uma resposta positiva de no mínimo 56%, sendo superior a 75% na maioria dos meses avaliados, com base na apreciação do *script* implementado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo à pesquisa.

Referências

- Alencar, A., Shimbo, J.Z., Lenti, F., Marques, C.B., Zimbres, B., Rosa, M., Arruda, V., Castro, I., Ribeiro, J.P.F.M., Varela, V., Alencar, I., Piontekowski, V., Ribeiro, V., Bustamante, M.M.C., Sano, E.E., Barroso, M., 2020. Mapping three decades of changes in the brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the google earth engine platform. *Remote Sensing* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12060924>. Acesso: 12 dez. 2022.
- Almeida, A.F.A., Santos Junior, J.B., Leão, F.M., Andrade, T.C.G.R., 2022. Incêndios em Vegetação no Perímetro Urbano de Altamira, PA, no Período de 2011 à 2020. *Revista GeoAmazônia* [online] 10. Disponível: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/13400>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Barros, P.P.S., Rosalen, D.L., Iost Filho, F.H., Martins, G.D., Di Leo, N., 2021. Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 73. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-56597>. Acesso: 09 dez. 2022.

- Benfica, N.S., Silva, D.P., Delgado, R.C., 2021. Dinâmica de áreas queimadas através de dados orbitais do sensor modis e influência climática no parque nacional da Chapada Diamantina. *Brazilian Journal of Development* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-014>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Benfica, N.S., Silva, D.P., Figueiredo, R.M., Brunow, J.C., 2020. Validação do Produto de Área Queimada MCD64A1 de Resolução Moderada / Validation of the MCD64A1 Moderate Resolution Burned Area Product. *Brazilian Journal of Development* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-504>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Bezerra, A.C., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., Pessoa, E.R., Galvêncio, J.D., Leal, E.X., 2022. Como os Produtos MODIS têm sido Utilizados para Análise dos Parâmetros Biofísicos em Regiões Semiáridas? Uma Revisão Bibliométrica e de Literatura. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 74. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n3-64974>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Borges, E.F., Fortunato, U.M.C., Fernandes, L.A., 2022. Séries temporais de dados de Sensoriamento Remoto no estudo do comportamento fenológico no Polo de Desertificação de Jeremoabo - BA. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p443-464>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Caido, N.G., Ong, P.M., Rempillo, O., Galvez, M.C., Vallar, E., 2022. Spatiotemporal Analysis of MODIS Aerosol Optical Depth Data in the Philippines from 2010 to 2020. *Atmosphere*, [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/atmos13060939>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Cao, R., Xu, Z., Chen, Y., Chen, J., Shen, M., 2022. Reconstructing High-Spatiotemporal-Resolution (30 m and 8-Days) NDVI Time-Series Data for the Qinghai-Tibetan Plateau from 2000-2020. *Remote Sensing* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14153648>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Carvalho, W.S., Magalhães Filho, F.J.C., Santos, T.L., 2021. Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação. *Brazilian Journal of Development* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-243>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Castro, A.I., Six, J., Plant, R.E., Peña, J.M., 2018. Mapping Crop Calendar Events and Phenology-Related Metrics at the Parcel Level by Object-Based Image Analysis (OBIA) of MODIS-NDVI Time-Series: A Case Study in Central California. *Remote Sensing* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs10111745>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Cavalcante, J.C., Almeida, C.A., Castelo, T.B., 2020. Análise de NDVI e Temperatura da Superfície Terrestre Utilizando a Plataforma do Google Earth Engine em Área de Savana Amazônica e Floresta Secundária, no Município de Vigia-PA. *Revista de Geociências do Nordeste* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n1ID18978>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Cerqueira, M.A., Rodrigues, F.M., Almeida, G.V.L., 2020. Susceptibilidade a desertificação para o estado de Pernambuco. *Geosul* [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p151>. Acesso: 11 dez. 2020.
- Chang, D.Y., Yoon, J., Lelieveld, J., Park, S.K., Yum, S.S., Kim, J., Jeong, S., 2021. Direct radiative forcing of biomass burning aerosols from the extensive Australian wildfires in 2019-2020. *Environmental Research Letters* [online] 16. Disponível: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abecfe>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Chaves, M.E.D., Martins, F.C.M., Mataveli, G.A.V., Conceição, K.V., Barros, K.O., Guerrero, J.V.R., 2021. Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto* [online] 2. Disponível: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4743931>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Cho, D.F., 2021. Processamento de imagens Sentinel na nuvem para o monitoramento das autorizações de supressão de vegetação em empreendimentos hidrelétricos na Amazônia Legal: estudo de caso na UHE São Manoel. *Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica)*. Brasília, Universidade de Brasília.
- Correia, T.P., 2021. Aplicação de Geotecnologias na Elaboração de Índices Socioeconômicos Associados às Ocorrências de Desastres Naturais no Entorno da Ferrovia entre as Estações Caieiras e Francisco Morato, SP. *Dissertação (Mestre em Ciências)*. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Deshpande, M.V., Pillai, D., Jain, M., 2022. Agricultural burned area detection using an integrated approach utilizing MultiSpectral Instrument based fire and vegetation indices

- from Sentinel-2 satellite. *MethodsX* [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101741>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Dias, E.M.S., Pessoa, Z.S., 2020. Percepções sobre os riscos das mudanças climáticas no contexto da região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* [online] 55. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v55i0.73783>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Ding, X., Wang, Q., Tong, X., 2022. Integrating 250 m MODIS data in spectral unmixing for 500 m fractional vegetation cover estimation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online] 111. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102860>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Duarte, M.L., 2022. Previsão da suscetibilidade à incêndios e queimadas utilizando um modelo baseado em inteligência artificial e sistema de inferência fuzzy. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Sorocaba, Universidade Estadual Paulista.
- Eduvirgem, R.V., Pericato, A.J., Athaydes, T.V.S., Parolin, M., 2021. Breve abordagem utilizando Índice de Vegetação em Unidades de Conservação com Google Earth Engine. *Terrae Didactica* [online] 17. Disponível: <https://doi.org/10.20396/td.v17i00.8665635>. Acesso: 09 dez. 2022
- Ermida, S.L., Soares, P., Mantas, V., Götsche, F.M., Trigo, I.F., 2020. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sensing* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12091471>. Acesso: 12 dez. 2020.
- Fernandes, L.C., Nero, M.A., Temba, P., Elmiro, M.A.T., 2020. The use of remote sensing techniques by Modis (MCD45A1) images using to identify and evaluate burned areas in the metropolitan region of Belo Horizonte - MG, Brazil. *Sustainability in Debate* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n2.2020.28145>. Acesso: 09 dez. 2022.
- França, J.F., Souza, C.C., Garcia, A.P., Carneiro Júnior, J.B.A., Castelhão, R.A., 2021. Previsão da Produção de Soja Utilizando Imagens de Satélite e Lógica Fuzzy. *Revista Ensaios e Ciência* [online] 25. Disponível: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n2p232-238>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Fruehauf, A.L., Silva, P.V., Lombardo, M.A., 2022. O uso da geotecnologia e análise estatística dos incêndios florestais na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Brazilian Journal of Development* [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-030>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Garcia, P.S., Pompeo, G.D.S., Garcia, C.S, Garcia, L.S., 2022. Uso de Geotecnologias no Auxílio do Monitoramento de Desflorestamento e Queimadas na Microrregião de Tucuruí, no Sudeste do Pará. *Revista GeoAmazônia* [online] 10. Disponível: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/13401>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Gervásio, D.R.V.P., 2021. Análise da variação de áreas de vegetação em imagens NDVI em diferentes bandas espectrais da plataforma SENTINEL-2A. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia). Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia.
- Ghorbanian, A., Mohammadzadeh, A., Jamali, S., 2022. Linear and non-linear vegetation trend analysis throughout Iran using two decades of MODIS NDVI imagery. *Remote Sensing* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14153683>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Ghosh, S., Kumar, D., Kumari, R., 2022. Google earth engine based computational system for the earth and environment monitoring applications during the COVID-19 pandemic using thresholding technique on SAR datasets. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* [online] 127. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103163>. Acesso: 12 dez. 2022.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., 2022b. Determinação dos Usos e Cobertura do Solo com Sensibilidade aos Eventos de Queimadas no Sertão e São Francisco de Pernambuco. *Agrarian Academy* [online] 9. Disponível: https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2022B1. Acesso: 30 mar. 2023.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., 2022a. Uso e cobertura do solo após eventos de queimadas no município de Floresta em Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3121-3135>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., Oliveira Júnior, J.G., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., 2021. Caracterização de Cicatrizes de Queimadas nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano a partir de dados do

- Sensor MODIS. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p881-996>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Gouveia, J.R.F., Nascimento, C.R., Oliveira Júnior, J.G., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., 2022. Correlação entre área plantada x queima da cana-de-açúcar no Litoral e Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p841-855>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Guimarães, A.G.C., Fernandes, E.F.N., Herculano, É.V.A., Figueiredo, E.L.O., Costa, L.J.S., Mendes, M.K.S., Medeiros, A.M., Souto, P.C., 2023. Variação Espaço-Temporal de Serapilheira em Fragmento de Caatinga Preservada no Semiárido da Paraíba. *Revista Foco* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n3-038>. Acesso: 30 mar. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Malha Municipal. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso: 11 dez. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Bases cartográficas contínuas – Brasil. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso: 11 dez. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Áreas Territoriais. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>. Acesso: 11 dez. 2022.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990, Edição revista e ampliada. Editora Letra livre, Brasília.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022. BDQUEIMADAS. Disponível: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Jardim, R.O., 2021. Mudança na Cobertura Vegetal do Município de Brejo (MA): uma análise a partir do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). *Ensaios de Geografia* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.22409/eg.v7i14.45855>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Jin, R., Lee, K.S., 2022. Investigation of Forest Fire Characteristics in North Korea Using Remote Sensing Data and GIS. *Remote Sensing* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14225836>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Kumar, B.P., Babu, K.R., Anusha, B.N., Rajasekhar, M., 2022. Geo-environmental Monitoring and Assessment of Land Degradation and Desertification in the Semi-arid regions using Landsat 8 OLI/TIRS, LST, and NDVI approach. *Environmental Challenges* [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100578>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Li, Q., Qiu, C., Ma, L., Schmitt, M., Zhu, X.X., 2020. Mapping the land cover of Africa at 10 m resolution from multi-source remote sensing data with Google Earth Engine. *Remote Sensing* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs12040602>. Acesso: 12 dez. 2022.
- Li, Y., Gong, J., Zhang, Y., Gao, B., 2022. NDVI-Based Greening of Alpine Steppe and Its Relationships with Climatic Change and Grazing Intensity in the Southwestern Tibetan Plateau. *Land* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/land11070975>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Lima, A.S., Vieira Junior, B.C., 2022. Estudo sobre as queimadas no município de Codó (MA), Brasil. *Boletim Paulista de Geografia* [online] 1. Disponível: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/2055>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Lima, E.G.S, Kato, O.R., Freitas, T.P.M., Nagaishi, T.Y.R., Costa, M.S.S., Silva, J.S.L., Guimarães, J.J.V., Rodrigues, R.R.L., Maltarolo, B.M., 2021. Uso de sistemas alternativos e a redução das queimadas: uma análise temporal de focos de calor nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, Pará / Use of alternative systems and reducing burns: a temporal analysis of heat outputs in the city of Igarapé-Açu and Marapanim, Pará. *Brazilian Journal of Development* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-775>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Lira, D.J.S, Vieira, V.C.B., Silva, A.J., 2022. Spatial-temporal analysis of land use and land cover in the area of the Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. *Research, Society and Development* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33368>. Acesso: 12 dez. 2022.

- Mabunda, I.R.S., Guasselli, L.A., Nhongo, E.J.S., Bandeira, B., 2021. Estimativa da Biomassa Florestal para Fins Energéticos Utilizando Índices de Vegetação e Dados de Campo, Distrito de Mabalane–Moçambique. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 73. Disponível: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-46828>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Miranda, G.H.B., Ramos, R.S., Santos, A.P., Barbosa, L.S., Cunha, M.M., Medeiros, N.G., 2023. Avaliação da Acurácia Posicional e da Completude em Áreas de Pivôs Centrais Identificadas com a Transformada de Hough em uma Análise Multitemporal. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 75. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv75n0a-63468>. Acesso: 30 mar. 2023.
- Monteiro, J.B., Rocha, A.B., Zanella, M.E., 2012. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009). *Revista do Departamento de Geografia* [online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0010>. Acesso: 12 dez. 2022.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2022. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): MODIS Design. Disponível: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Oliveira Júnior, J.G., Nascimento, C.R., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., Silva, L.C., 2019. Caracterização de Cicatrizes de Queimadas na Mesorregião do Sertão Pernambucano a partir de Imagens de Satélites. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia* [online] 16. Disponível: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2019A35. Acesso: 09 dez. 2022.
- Oliveira Júnior, J.G., Santos, J.M., Polycarpo, J.S.M., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., Nascimento, C.R., 2021. Mapeamento Espectral de Cicatrizes de Queimadas na Caatinga através de dados Orbitais MODIS e LANDSAT. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* [online] 15. Disponível: <https://dx.doi.org/10.7127/rbai.v1501164>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Oliveira, B.G., Anunciação, V.S., 2022. Focos de calor, queimadas e problemas respiratórios na cidade de Campo Grande (MS) no período de 2014-2020. *Revista Estrabão* [online] 3. Disponível: <https://doi.org/10.53455/re.v3i.26>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Oliveira, H.S., Marchesan, J., Alba, E., Honnef, D.H., Wolfer, M.F., Pereira, R.S., 2020. Avaliação de Algoritmos para Classificação de Uso e Cobertura da Terra na Porção Central do Rio Grande do Sul a partir de Imagens de Alta e Média Resolução Espacial. *Geo UERJ* [online] n. 37. Disponível: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.43259>. Acesso: 13 dez. 2022.
- Pacheco, A.P., Silva Junior, J.A., 2021. Análise Espaço-Temporal de Áreas de Queimadas no Estado do Maranhão a partir de Imagens MODIS e Classificação Random Forest. *Anuário do Instituto de Geociências* [online] 44. Disponível: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_36119. Acesso: 13 dez. 2022.
- Pantarotto, H.S., Encina, C.C.C., Paranhos Filho, A.C., 2020. Análise da Efetividade de uma Unidade de Conservação no Pantanal. *Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais: XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*.
- Passos, A.O., 2021. Índices de Reflectância, NDVI e EVI como Indicadores de Níveis de Degradação das Pastagens Tropicais. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.
- Pirajá, R.V., Oliveira, A.K.M., Matias, R., Rezende Filho, A.T., 2023. Sistemas de Geotecnologias para Monitoramento de Queimadas: Viabilidade de Utilização de Sensores Orbitais e Geoestacionários para Identificar Incêndios Florestais, Utilizando como Modelo uma Área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. *Caderno de Geografia* [online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2023v33n72p30>. Acesso: 30 mar. 2023.
- Piralilou, S.T., Einali, G., Ghorbanzadeh, O., Nachappa, T.G., Gholamnia, K., Blaschke, T., Ghamisi, P., 2022. A Google Earth Engine Approach for Wildfire Susceptibility Prediction Fusion with Remote Sensing Data of Different Spatial Resolutions. *Remote Sensing* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14030672>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Portela, U.F., Paula, E.M.S., 2020. Análise Espaço-Temporal da Distribuição dos Focos de Queimadas no Município de Vitória do Xingu-PA (2009-2018). *Revista GeoAmazônica* [online] 8. Disponível: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/12568>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Prado, G.M.S., 2020. Evolução da ocorrência de fogo na América do Sul durante o Holoceno. Dissertação (Mestrado). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.
- Rocha, M.I.S., Nascimento, D.T.F., 2021. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência

- conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbfg.v14.3.p1220-1235>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Rodríguez, J.L.L., Fun, J.C.C.C., Cruz, O.E.T., Gutiérrez, H.O.C., Gutiérrez, M.M.C., 2021. Evaluación espacial del comportamiento fenológico de la vegetación mediante imágenes satelitales distrito de chiara-ayacucho 2000-2015. *South Florida Journal of Development* [online] 2. Disponível: <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n4-058>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Rosa, M.C.B., Moura, P.V., Mendonça, L.F.F., Lentini, C.A.D., 2021. Mapeamento e caracterização de ondas internas ao largo da foz do rio Amazonas através do sensor modis-satélite terra (2008 a 2019). *Brazilian Journal of Development* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-024>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Rost, É., Cabral, R.M.G., Silva, T.A.R., 2021. As Dinâmicas Ambientais e Sociais das queimadas do Cerrado na microrregião do Meia Ponte. *Brazilian Journal of Development* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-133>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium 1*, 48-62.
- Sales, G.M., Pereira, J.L.G., Thalês, M.C., Pocard-Chapuis, R., Almeida, A.S., 2019. Emprego dos focos de calor na avaliação das queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v14i1.140>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Santori, A.R., 2022. Amostragem de componentes puros (vegetação, solo, água/sombra) em imagens de satélite Sentinel-2 como subsídios à interpretação do NDVI na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cruzes, Selvíria/MS. *Boletim Paulista de Geografia* [online] 1. Disponível: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1991>. Acesso: 10 dez. 2022.
- Santos, K.S., Silva, D.D., Guimarães, R.J.P.S., 2020. Análise Multitemporal de Focos de Queimadas e Variáveis Climáticas, no Estado do Pará. *Revista Geográfica Acadêmica* [online] 14. Disponível: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/6228>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Santos, W.A., Santanna, N.C.R., 2020. Comparativo da Proporção de Focos de Queimadas do Noroeste de Minas Gerais em Relação ao Cerrado Brasileiro entre 2015 e 2019. *Anais do 2º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma*.
- Sartorio, L.F., Maier, É.L.B., 2022. Identificação das Mudanças Espaço-temporais nos Biomas Brasileiros por Intermédio da Análise de Componentes Principais (ACP). *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 74. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n2-63991>. Acesso: 12 dez. 2022.
- Sarvia, F., De Petris, S., Borgogno-Mondino, E., 2021. Exploring Climate Change Effects on Vegetation Phenology by MOD13Q1 Data: The Piemonte Region Case Study in the Period 2001–2019. *Agronomy* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030555>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Sena, A.F.S., Rodrigues, C.C., Pinheiro, K.A.O., Araújo, S.C.A., Braga, E.O., Amaral, A.P.M., Chagas, G.F.B., Bezerra, M.G.S., Minori, S.B., Carneiro, F.S., 2022. Distribuição dos focos de queimadas no município do Acará em uma década. *Research, Society and Development* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.35403>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Sharma, M., Bangotra, P., Gautam, A.S., Gautam, S., 2022. Sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) to land surface temperature, soil moisture and precipitation over district Gautam Buddh Nagar, UP, India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* [online] 36. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02066-1>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Shiraishi, T., Hirata, R., Hirano, T., 2021. New Inventories of Global Carbon Dioxide Emissions through Biomass Burning in 2001–2020. *Remote Sensing* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs13101914>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Silva, A.B.N., Beltrão, N.E.S., 2021. Metodologias de sensoriamento remoto para análise de queimadas com base em índices espectrais e diagnóstico de severidade. *Revista Ciência Geográfica* [online] 25. Disponível: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXV_3/agb_xxv_3_web/agb_xxv_3-10.pdf. Acesso: 09 dez. 2022.
- Silva, A.D., 2020. Conhecimento sobre o papel do fogo: No olhar multifacetado do saber e fazer dos sujeitos sociais. *Dissertação (Mestrado*

- Profissional). Lavras, Universidade Federal de Lavras.
- Silva, D.M., 2023. Arenização e Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Arroio Taquari-Miracatu: Uma Análise Sob a Ótica do Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado em Geografia). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Simioni, J.P.D., 2021. Métodos de Classificação de imagens de satélite para delineamento de banhados. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Siqueira, J.R., Carvalho, B.M., 2022. Temporal analysis of hotspots in the municipalities of Macae-RJ and Campos dos Goytacazes-RJ during the period 2014-18. *Research, Society and Development* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.36643>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Souza Neto, L.T., Silva, M.T., Vale, W.K.S., Grigio, A.M., 2021. O Uso do Mapa de Kernel como Subsídio para Identificação da Dispersão dos Focos de Queimadas no Município de Mossoró (RN). *Revista de Geografia (Recife)* [online] 38. Disponível: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.247425>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Tavares, D.M.F., 2023. Análise do Desempenho de Um Modelo Hidrológico a Dados de Entrada de Uso do Solo Obtidos Através de Índice de Vegetação para a Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
- Teixeira, A.L.S., 2020. Correlação entre índices espectrais de verdor, umidade e senescência e ocorrências de queimadas no Parque Nacional de Brasília. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Brasília, Universidade de Brasília.
- Teixeira, N.C., Danelichen, V.H.M., Pereira, O.A., Seixas, G.B., 2021. Dinâmica de Queimadas no Município de Cuiabá-MT por Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p607-618>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Walder, M.T., Alves, D.B., 2021. Mapeamento dos Padrões Espaço-Temporais de Incidência do Fogo no Enclave de Cerrado dos Campos Amazônicos. *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA* [online] 15. Disponível: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/689>. Acesso: 09 dez. 2022.
- White, B.L.A., 2018. Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016. *Acta Amazonica* [online] 48. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201704522>. Acesso: 08 dez. 2022.
- Xiao, J., Huang, K., Lin, Y., Ren, P., Zu, J., 2022. Assessing Vegetation Phenology across Different Biomes in Temperate China—Comparing GIMMS and MODIS NDVI Datasets. *Remote Sensing* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14236180>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Yang, L., Driscoll, J., Sarigai, S., Wu, Q., Chen, H., Lippitt, C.D., 2022. Google Earth Engine and Artificial Intelligence (AI): A Comprehensive Review. *Remote Sensing* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14143253>. Acesso: 11 dez. 2022.
- Zeng, L., Wardlow, B.D., Hu, S., Zhang, X., Zhou, G., Peng, G., Xiang, D., Wang, R., Meng, R., Wu, W., 2021. A Novel Strategy to Reconstruct NDVI Time-Series with High Temporal Resolution from MODIS Multi-Temporal Composite Products. *Remote Sensing* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs13071397>. Acesso: 09 dez. 2022.
- Zhou, L., Wang, Y., Chi, Y., Wang, S., Wang, Q., 2019. Contrasting post-fire dynamics between Africa and South America based on MODIS Observations. *Remote Sensing* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs11091074>. Acesso: 09 dez. 2022.