



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Uso e cobertura do solo após eventos de queimadas no município de Floresta em Pernambuco

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 07/07/2022 e aceito em 09/10/2022

RESUMO

Queimadas são recorrentes no Brasil para limpeza e aumento de territórios. Análises temporais sobre o tema demonstram que o município de Floresta em Pernambuco se destaca no número de casos no mês de novembro de 2019. Este artigo tem como propósito coletar e quantificar a incidência dos focos de calor e áreas queimadas na região e mês supracitados, além das condições de uso e cobertura do solo baseado nas técnicas do sensoriamento remoto. Utilizou-se informações da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) para a climatologia. As bases do Banco de Dados de Queimadas foram empregadas na coleta e quantificação dos focos de calor. Imagens MODIS/TERRA, MODIS/Combinado e Landsat-8/OLI foram aplicadas na caracterização das áreas queimadas, interpretação de imagens e cálculo de índices de vegetação e de queimada. Foram identificadas 35 áreas de fogo, sendo 31 de focos de calor confirmados, totalizando 208. Dessas áreas, 7 coincidiram com o dia 06 de novembro de 2019, dia Juliano 310. Observou-se pelos índices de vegetação WDRVI, IAF e NDVI que o comportamento da vegetação saudável é uniforme, com densidade de baixa a moderada. Após a queimada, o uso e cobertura do solo se regenerou, não havendo modificação. O SAVI e os NBR e NBR2 expõem coeficientes de correlação positivos muito forte e forte, respectivamente, indicando a dependência de uma variável em relação a outra. Desse modo, o sensoriamento remoto se demonstrou eficaz no estudo das condições do uso e cobertura do solo, bem como a identificação das queimadas no município de Floresta.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, imagens de satélites, focos de calor, índices de vegetação, índices de queimada.

Land use and coverage after fire events in the municipality of Floresta in Pernambuco

ABSTRACT

Fires are recurrent in Brazil to clean up and increase territories. Temporal analyzes on the subject show that the municipality of Floresta in Pernambuco stands out in the number of cases in the month of November 2019. This article aims to collect and quantify the incidence of hotspots and burned areas in the aforementioned region and month, in addition to of land use and cover conditions based on remote sensing techniques. Information from the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) was used for climatology. The databases of the Burning Database were used to collect and quantify hotspots. MODIS/TERRA, MODIS/Combinado and Landsat-8/OLI images were applied in the characterization of burned areas, image interpretation and calculation of vegetation and fire indexes. 35 fire areas were identified, 31 of which were confirmed hotspots, totaling 208. Of these areas, 7 coincided with November 6, 2019, Julian day 310. It was observed by the WDRVI, IAF and NDVI vegetation indices that the Healthy vegetation behavior is uniform, with low to moderate density. After the fire, the use and cover of the soil regenerated, with no change. The SAVI and the NBR and NBR2 exhibit very strong and strong positive correlation coefficients, respectively, indicating the dependence of one variable on the other. In this way, remote sensing proved to be effective in the study of land use and cover conditions, as well as the identification of fires in the municipality of Floresta.

Keywords: remote sensing, satellite images, hotspots, vegetation indices, fire indices.

Introdução

As queimadas podem ser definidas como a deterioração da biomassa de um espaço através da queima, com origem natural ou antrópica

intencional ou não (Gouveia et al., 2021; Souza e Andrade, 2022). Dentre muitos dos seus usos, estes eventos são correntes no Brasil para a ampliação de território para pastagem, cultivo agrícola ou

habitação e controle de pragas e doenças (Ponte et al., 2021; Rocha e Nascimento, 2021; Oliveira e Anunciação, 2022). Porém, de acordo com Farias et al. (2022) e Fruehauf et al. (2022), as condições de clima quente e seco favorecem e impulsionam tal ocorrência, podendo suscitar em incomensuráveis prejuízos à fauna e à flora. Em uma análise temporal da incidência das queimadas nas mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano, Gouveia et al. (2021) destaca o município de Floresta como relevante, sobretudo no mês de novembro de 2019, por apresentar uma grande quantidade destes episódios.

Todos os objetos que sofrem a incidência das radiações eletromagnéticas apresentam uma resposta espectral distinta. No entanto, o solo e as culturas exibem um comportamento específico quanto às suas características, também chamado de assinatura espectral (Santos Neto, 2021; Gouveia et al., 2022). Este comportamento pode ser identificado a partir da utilização de imagens de satélites e o estudo de diferentes índices espectrais que estão baseados na resposta entre a relação da radiação eletromagnética e os diferentes alvos da superfície, destacando o solo, água e vegetação.

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974), é o mais disseminado entre os índices de vegetação (Oliveira Júnior et al., 2021). Este índice é utilizado para a avaliação do estado fenológico ou a transformação da vegetação (Lan e Dong, 2022). Proveniente das bandas do vermelho e infravermelho próximo, o NDVI exibe valores entre -1 a 1, no qual os valores mais próximos a 1 indicam maior vigor vegetativo e aqueles próximos a 0 exibem solo exposto (Costa e Lameira, 2022).

No entanto, o solo gera uma influência negativa nos resultados captados pelo NDVI. Diante disso, Huete (1988) estabeleceu o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), o qual apresenta o modo de leitura idêntico ao do NDVI. Porém, busca minimizar tais efeitos negativos através de um fator de ajuste consequente do tipo de solo, onde utiliza-se: 0,25 para áreas com vegetação densa; 0,5 para áreas com densidade intermediária; e 1 para áreas pouco densas (Bezerra et al., 2020). Baseado no SAVI foi desenvolvida uma equação empírica por Allen et al. (2002) denominada de Índice de Área Foliar (IAF) que determina a biomassa por pixel de uma imagem, sendo 6 o seu valor máximo (Oliveira et al., 2020).

O NDVI se aproxima da saturação quando a biomassa é de moderada a alta, ou seja, quando o IAF assume valores entre 2 e 6 há um decréscimo na reflectância do infravermelho próximo, levando a uma menor precisão do NDVI (Cao et al., 2020).

A fim de contornar essa situação e aprimorar o NDVI, Gitelson (2004) propôs o *Wide Dynamic Range Vegetation Index* (WDRVI), que utiliza uma constante de ponderação de valor positivo, não nulo e menor do que 1 na região do infravermelho próximo. Assim, diminui a influência do infravermelho próximo em condições de média a alta biomassa e consequentemente a saturação do índice. Todavia, quando o IAF é menor do que 1, o NDVI continua como o melhor parâmetro para a avaliação da vegetação (Marion et al., 2021).

Para a caracterização dos incêndios florestais através das imagens de satélites Key e Benson (1999) desenvolveram o *Normalized Burn Ratio* (NBR) e o *Variation of Normalized Burn Ratio* (NBR2). Estes permitem a caracterização das áreas atingidas pela queima através da resposta espectral da vegetação e do solo ao perderem conteúdo de água, visto que quando isso acontece há um aumento na refletância na banda do infravermelho de ondas curtas e uma diminuição no infravermelho próximo (Morresi et al., 2022; Singh et al., 2022; Sirin e Medvedeva, 2022). Os valores do NBR estão compreendidos entre -1 a 1, no qual os mais próximos a -1 são das áreas queimadas. Por outro lado, o NBR2 assume valores entre 0 a 1, onde aqueles próximos a 0 indicam as áreas afetadas (Teixeira et al., 2021). De acordo com Pereira et al. (2016) o NBR2 apresenta uma melhor separabilidade em relação ao NBR, o que significa que o NBR2 tem maior capacidade em distinguir queimadas de outros objetos.

Neste sentido, o artigo tem como objetivo a coleta e a quantificação da ocorrência dos focos de calor e das áreas efetivamente afetadas pela queima no município de Floresta no mês de novembro de 2019, além disso, a verificação das condições do uso e cobertura do solo no ano e após o evento da queima, a partir da utilização de dados do Mapbiomas, imagens de satélites dos sensores MODIS e OLI, e cálculo dos índices de vegetação WDRVI, IAF e NDVI. Objetiva-se também identificar a correlação entre o índice de vegetação SAVI e os índices de queimadas NBR e NBR2 no comportamento temporal local do ambiente.

Material e métodos

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Floresta/PE, Figura 1. Presente na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, na Microrregião de Itaparica, o município localiza-se sob as coordenadas geográficas de latitude 8°36'02" S e longitude 38°34'05" W, a 316 m de altitude (IBGE, 2017; Santos, 2021). Segundo Santos (2019), o

clima da região é o semiárido quente (BSh), com temperatura média anual de 26,1 °C, precipitação média anual de 400 mm e período chuvoso entre os meses de janeiro a abril. A vegetação dominante é a de Caatinga Hiperxerófila, com presença de

espécies caducifólias (Silva Junior e Pacheco, 2021). O solo é categorizado como Luvisolo Crômico, que tem como característica ser pouco profundo e conter transição textural súbita (Costa Júnior, 2021).

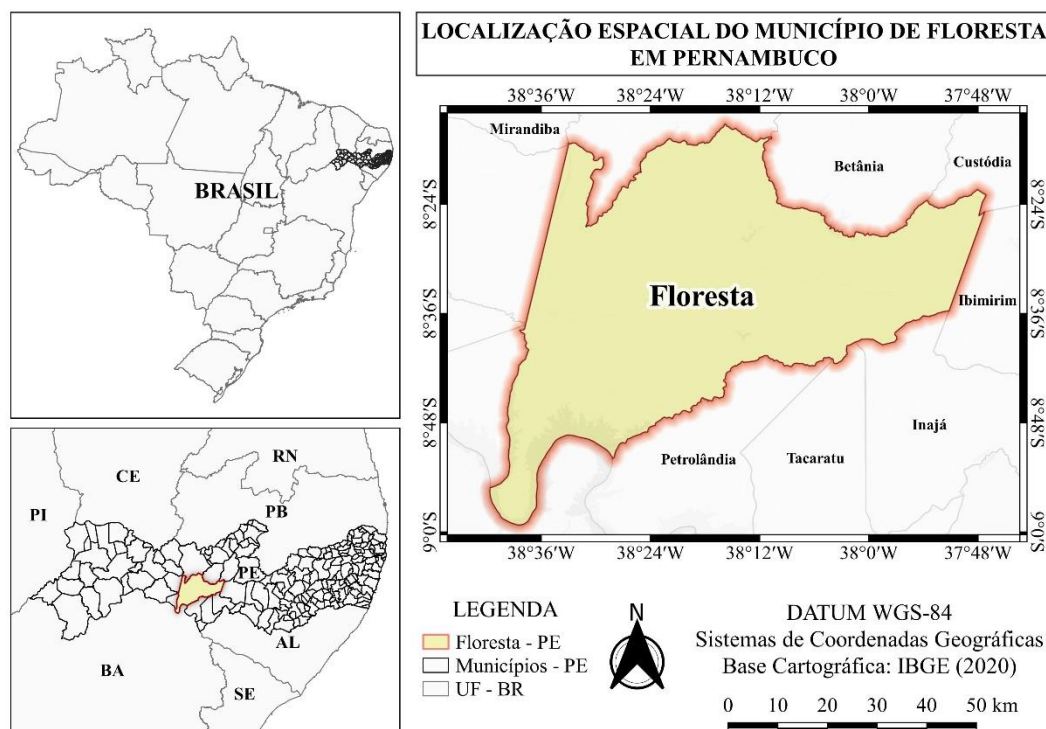


Figura 1. Localização espacial da área de estudo.

Climatologia

Com o intuito de definir os meses mais secos do ano, portanto mais susceptíveis à ocorrência e a intensificação das queimadas no município de estudo, utilizou-se os dados relativos ao monitoramento pluviométrico disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) no Posto da CHESF em Floresta. Nesse sentido, foram empregados os totais mensais da precipitação local em um período de 29 anos de dados (1993-2021) (APAC, 2022). Esses dados possibilitaram o cálculo das normas climatológicas e consequentemente a constatação da época seca do ano.

Incidência de focos de calor

Para a análise do dia com a maior ocorrência de focos de calor e mensuração desses na região e no mês de novembro de 2019 foram utilizados os dados dispostos pelo Banco de Dados de Queimadas – BDQ/INPE (INPE, 2022).

Imagens do sensor MODIS

Em seguida a definição do dia com a maior incidência de focos de calor foi utilizada a imagem

do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo da plataforma TERRA, produto MOD14A1, para o cruzamento dos pixels identificados como de queima e as informações dos focos de calor do INPE. Sendo que aqueles pixels que coincidiram com os focos de calor foram classificados como de queima confirmada. Esse produto gera imagens com resolução espacial de 1 km e temporal diária, onde o produto de Anomalias Térmicas/Incêndio faz a distinção da área em 3 classes: fogo, sem fogo e sem observação; com nível de confiança baixo, nominal ou alto (Shiraishi e Hirata, 2021; Shiraishi et al., 2021). Após a classificação das áreas de queima, utilizou-se a imagem do produto MCD64A1, derivado do sensor MODIS com a plataforma TERRA e AQUA combinada para a determinação exata dos dias das áreas afetadas. Isso porque tal produto disponibiliza imagens com resolução temporal mensal e espacial de 500 m, onde o produto de Área Queimada fornece as informações da queima com base no dia juliano no intervalo de 1-366, onde os valores iguais a 0 indicam terra não queimada, -1 para dados ausentes e -2 para áreas de água (Giglio et al., 2020; Lima et

al., 2022). Ambos os produtos foram obtidos no site da *United States Geological Survey* (USGS), Coleção 6, tiles h13v09 e h14v09. Todo o processamento das imagens foi realizado no software *Environment for visualizing images* (ENVI), versão 5.3, sendo necessária a conversão do formato *HDF-EOS para *GeoTIFF a partir da aplicação do software *Modis Reprojection Tool* (MRT).

Imagens Landsat 8

Para a observação da dinâmica da região afetada pela queima e da sua vegetação nos períodos antes, durante e após o evento, foram utilizadas as imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) presente no satélite Landsat 8, Coleção 2 e Nível 1. Essas imagens apresentam resolução temporal de 16 dias e espacial de 30 m (USGS, 2020). Foram obtidas 13 imagens no site da *United States Geological Survey* (USGS), caminho 216 e fileira 66, a fim de abranger um intervalo de 6 meses antes e 1 ano após a queima, possibilitando assim a inferência sobre as condições locais a partir das imagens em composição colorida cor verdadeira (RGB), no qual as bandas B2, B3 e B4 simbolizam as bandas azul, verde e vermelho, respectivamente (Rodrigues et al., 2022). Além disso, com a aplicação de tais imagens foi possível o cálculo de índices de vegetação e de queima no município afetado. O processamento dessas imagens também foi realizado no software *Environment for visualizing images* (ENVI), versão 5.3, sendo necessária a reprojeção do sistema UTM para coordenadas geográficas no próprio software com o Método Rigoroso e a Reamostragem Convulsão Cúbica. Ademais, foi essencial a conversão dos níveis de cinza das bandas reflexivas para refletância TOA através das Equações 1 e 2 (USGS, 2022).

$$\rho'_\lambda = M_\rho * Q_{cal} + A_\rho \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

ρ'_λ = Refletância planetária TOA sem correção para o ângulo solar;

M_ρ = Fator de reescalonamento multiplicativo específico da banda dos metadados;

A_ρ = Fator de reescalonamento aditivo específico da banda dos metadados;

Q_{cal} = Valores de pixel de produto padrão.

$$\rho_\lambda = \frac{\rho'_\lambda}{\sin(\theta_{SE})} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

ρ_λ = Refletância planetária TOA com correção para o ângulo solar;

θ_{SE} = Ângulo de elevação solar local.

Os mapas referentes às imagens em composição colorida cor verdadeira foram implementados no software QGIS, versão 3.16.9, após o processamento das mesmas no software ENVI.

Índices de vegetação

A fim de se ater à dinâmica da vegetação local quanto a sua biomassa antes, durante e após a queima para o estudo da mudança ou não do uso e cobertura do solo foram calculados os índices:

- i. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) – permite a avaliação das condições da vegetação local quanto à sua densidade e condições fenológicas e fisiológicas. Com valores entre -1 a 1, no qual os valores mais próximos a 1 indicam alto vigor vegetativo e os próximos a -1 demonstram corpos hídricos (Equação 3);

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

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

ρ_{RED} = Refletância da banda do vermelho.

- ii. Índice de Vegetação Ajustado às Condições do Solo (SAVI) – também permite a avaliação da vegetação, porém, com uma correção em relação ao solo. Este índice apresenta uma constante (L) de ajuste do solo que depende do tipo de cobertura. Nesse trabalho foi utilizado 0,5 devido ao bioma da região ser a Caatinga, conforme Silva et al. (2021). Os valores possíveis para a leitura do SAVI são os mesmos constantes no NDVI (Equação 4);

$$SAVI = \frac{(1+L) * (\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(L + \rho_{NIR} + \rho_{RED})} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

L = Constante de ajuste do solo;

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

ρ_{RED} = Refletância da banda do vermelho.

- iii. Índice de Área Foliar (IAF) – proporciona a área foliar em relação a área utilizada pela vegetação. Tem o valor máximo igual a 6 quando o SAVI também é máximo (Equação 5);

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad \text{Eq. (5)}$$

- iv. Índice de Vegetação de Ampla Faixa Dinâmica (WDRVI) – estabelece um melhoramento no NDVI por aplicar um coeficiente de ponderação (α) à banda do infravermelho próximo, o qual foi utilizado o valor de 0,20 neste trabalho, de acordo com Marion et al. (2021). Esse índice demonstra as características fenológicas e fisiológicas das culturas de forma mais consistente do que o NDVI quando o IAF se encontra entre 2 a 6, ou seja, quando a densidade da vegetação é de moderada a alta (Equação 6).

$$WDRVI = \frac{(\alpha \cdot \rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\alpha \cdot \rho_{NIR} + \rho_{RED})} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

α = Coeficiente de ponderação;

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

ρ_{RED} = Refletância da banda do vermelho.

Índices de queimada

Como meio para a caracterização das áreas queimadas e dimensionamento da sua intensidade foram calculados os índices:

- i. Taxa de Queimada Normalizada (NBR) – este permite a determinação da intensidade da queima a partir do decréscimo da quantidade da água na cultura e no solo. Os valores desse índice variam de -1 a 1, no qual as áreas queimadas são indicadas pelos valores que se aproximam de -1 (Equação 7);

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - SWIR2}{\rho_{NIR} + SWIR2} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

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

$SWIR2$ = Infravermelho de ondas curtas (2,11 – 2,29 μm).

- ii. Variação da Taxa de Queima Normalizada (NBR2) – este índice demonstra a vulnerabilidade da vegetação à queima de acordo com a água contida nela. Com valores entre 0 a 1, as áreas mais próximas a 0 representam aquelas mais susceptíveis ao fogo (Equação 8).

$$NBR2 = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

$SWIR1$ = Infravermelho de ondas curtas (1,57 – 1,65 μm);

$SWIR2$ = Infravermelho de ondas curtas (2,11 – 2,29 μm).

Imagens Mapbiomas

Para verificar o tipo de uso e cobertura do solo na região afetada no ano e após o evento de queima, foram utilizadas as imagens do Mapbiomas, Coleção 6. Esse projeto proporciona a obtenção de mapas anuais relativos ao uso e cobertura do solo no Brasil de 1985 a 2020, em um formato matricial (30x30 m), com cada pixel caracterizado em distintos tipos a partir de uma identificação numérica (ID) (Mapbiomas, 2021a; Mapbiomas, 2021b).

Correlação entre os parâmetros SAVI x NBR e SAVI x NBR2

Com o propósito de indicar a relação entre o índice de vegetação SAVI e os de queima NBR e NBR2, as informações desses foram submetidas à análise de correlação linear de Pearson. Tal correlação pode ser positiva para os valores acima de 0 ou negativa para os menores que 0, sendo que os máximos são 1 e -1, respectivamente. Assim, esse método possibilita a verificação da interferência de uma variável em relação a outra (Equação 9) (Dutra et al., 2021; Fialho e Santos, 2021).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

r_{xy} = coeficiente de correlação linear de Pearson;

n = quantidade de pares de observações;

x_i = i-ésima observação da variável x ;

y_i = i-ésima observação da variável y ;

$\bar{X}$ = média das observações da variável x ;

$\bar{Y}$ = média das observações da variável y .

Resultados e discussão

Em princípio, para o reconhecimento das condições pluviométricas do município foi realizada uma análise climática com dados em um intervalo ininterrupto de 29 anos, de 1993 a 2021. Conforme a Tabela 1, Floresta apresenta uma

média total anual de 429,51 mm, com o período mais seco do ano ocorrendo entre os meses de junho a outubro, portanto, os meses mais susceptíveis aos eventos naturais e/ou intensificação das queimadas causadas por agentes naturais ou antrópicos na região.

Tabela 1. Normal climatológica do município de Floresta de 1993 a 2021.

Município	Precipitação (mm)						
	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho
Floresta	61,39	81,55	92,96	51,40	29,31	13,69	10,88
Município	Precipitação (mm)						
	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	Total	
Floresta	3,07	2,68	7,25	29,52	45,82	429,51	

É possível inferir que o início da estação pré chuvosa acontece no mês de novembro, com os meses chuvosos de dezembro a março e redução a partir de maio até atingir os mais secos do ano.

Em seguida a análise climatológica foi observado o dia de maior quantidade de casos de focos de calor em Floresta no mês de novembro de 2019. Por meio dos dados disponibilizados pelo INPE, constatou-se que esse tal havia sido o dia 06 de novembro de 2019. Concomitantemente foi realizada a coleta das áreas identificadas como de fogo, onde foram captados 35 pixels nas imagens MOD14A1. O cruzamento dos focos de calor com os pixels identificados como de fogo possibilitou a classificação das áreas compreendidas como de queima.

A Tabela 2 destaca as áreas classificadas como de queima. Houve 31 coletas de áreas com focos de calor confirmados como de queima, ou seja, aqueles detectados pelo INPE por diversas plataformas orbitais que coincidiram exatamente com os pixels de fogo. Essas áreas resultaram em um total de 208 focos confirmados.

É importante salientar que o município recebeu o grau de risco de incêndio igual a 1 em todas as suas observações. Esse índice está compreendido entre os valores de 0 a 1, e é altamente influenciável pelas condições atmosféricas locais do dia. Ele manifesta a capacidade de um episódio de foco de calor no campo e a aptidão para a sua propagação.

Tabela 2. Focos de calor confirmados como de queima.

Município – Pixel	Latitude (S)	Longitude (W)	Focos Confirmados	Risco
Floresta - 1	8°38'43,48"	38°20'11,37"	1	1
Floresta - 2	8°38'43,48"	38°19'41,26"	1	1
Floresta - 3	8°38'43,48"	38°19'11,14"	2	1
Floresta - 5	8°39'13,60"	38°19'41,26"	3	1
Floresta - 6	8°39'13,60"	38°19'11,14"	13	1
Floresta - 7	8°39'13,60"	38°18'41,03"	6	1
Floresta - 8	8°39'43,71"	38°20'11,37"	8	1
Floresta - 9	8°39'43,71"	38°19'41,26"	8	1
Floresta - 10	8°39'28,66"	38°19'26,20"	12	1
Floresta - 11	8°39'28,66"	38°18'56,09"	6	1
Floresta - 12	8°40'13,83"	38°20'41,49"	3	1
Floresta - 13	8°40'13,83"	38°20'11,37"	8	1
Floresta - 14	8°40'13,83"	38°19'41,26"	10	1
Floresta - 15	8°39'58,77"	38°19'26,20"	9	1
Floresta - 16	8°39'58,77"	38°18'56,09"	9	1
Floresta - 17	8°40'13,83"	38°18'10,91"	9	1
Floresta - 19	8°40'43,94"	38°20'11,37"	7	1
Floresta - 20	8°40'43,94"	38°19'41,26"	5	1
Floresta - 21	8°40'43,94"	38°19'11,14"	13	1
Floresta - 22	8°40'43,94"	38°18'41,03"	17	1
Floresta - 23	8°40'28,89"	38°18'25,97"	9	1
Floresta - 24	8°40'43,94"	38°17'40,80"	1	1
Floresta - 25	8°40'43,94"	38°17'10,69"	2	1
Floresta - 26	8°40'43,94"	38°16'40,57"	7	1
Floresta - 27	8°41'14,06"	38°19'41,26"	1	1
Floresta - 28	8°41'14,06"	38°19'11,14"	5	1
Floresta - 29	8°41'14,06"	38°18'41,03"	5	1
Floresta - 30	8°41'14,06"	38°18'10,91"	7	1
Floresta - 31	8°40'59,00"	38°17'55,86"	9	1
Floresta - 32	8°40'59,00"	38°17'25,74"	6	1
Floresta - 33	8°41'14,06"	38°16'40,57"	6	1

A fim de se realizar um refinamento das áreas de queima, desenvolveu-se uma análise com as imagens do produto MCD64A1, o qual indica o dia ordinal do ano civil (1-366), ou seja, o dia Juliano em que ocorreu a queima. Com isso, sabendo que o dia do evento havia sido o 06 de novembro de 2019, o dia Juliano correspondente é o 310 para o ano não bissexto. Posteriormente foi realizada uma filtragem dos pixels afetados pelo dia Juliano, onde pôde-se observar em concordância com a Tabela 3 que apenas 7 áreas apresentavam a compatibilidade anterior.

Verifica-se ainda na Tabela 3 que, conforme as imagens do Mapbiomas, as áreas afetadas pela queima não sofreram alterações

significativas quanto ao uso e cobertura do solo em 1 ano após o evento. Apenas em Floresta – 10 houve uma mudança, sendo que em 2019 foi constatado que o uso e cobertura do solo na área seria de formação campestre e após a regeneração da vegetação passou a configurar uma formação savânica em 2020.

Ressalta-se que a posição das coordenadas geográficas dos pixels foi atualizada de acordo com as imagens MCD64A1, visto que a sua resolução espacial (500 m) é mais aproximada das imagens Landsat 8 (30 m) do que a do produto MOD14A1 (1000 m). Dessa forma, havendo menos distorções quanto a posição dos pixels causadas pela ampliação das cenas.

Tabela 3. Situação do uso e cobertura do solo no ano e após a queima.

Município – Pixel	Latitude (S)	Longitude (W)	Dia Juliano	Mapbiomas (2019)	Mapbiomas (2020)
Floresta - 10	8°39'28,66"	38°19'14,96"	310	Formação Campestre	Formação Savânica
Floresta - 11	8°39'28,66"	38°18'44,85"	310	Formação Savânica	Formação Savânica
Floresta - 15	8°39'58,77"	38°19'14,96"	310	Formação Savânica	Formação Savânica
Floresta - 16	8°39'58,77"	38°18'44,85"	310	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Mosaico de Agricultura e Pastagem
Floresta - 23	8°40'28,89"	38°18'14,73"	310	Formação Savânica	Formação Savânica
Floresta - 31	8°40'59,00"	38°17'44,62"	310	Formação Savânica	Formação Savânica
Floresta - 32	8°40'59,00"	38°17'14,50"	310	Formação Savânica	Formação Savânica

Posteriormente foram realizadas verificações da situação da cobertura vegetal e do episódio de queima por interpretação de imagens a partir das imagens Landsat-8/OLI em uma composição colorida cor verdadeira. Em um estudo com 13 cenas em datas distintas (24/05/2019, 25/06/2019, 13/09/2019, 29/09/2019, 15/10/2019, 31/10/2019, 16/11/2019, 02/12/2019, 08/04/2020, 27/06/2020, 14/08/2020, 15/09/2020 e 18/11/2020), sendo 6 antes, 1 no dia e mais 6 subsequentes ao acontecimento da queimada, pôde-se examinar um período de 6 meses antes e 1 ano após o evento. Dessa forma, encontrando condições que condizem com as situações demonstradas pelas imagens do Mapbiomas.

A Figura 2 exhibe o comportamento temporal da vegetação e a sua regeneração após o estresse sofrido. Ao acompanhar a evolução das imagens Landsat-8 percebe-se que a queimada foi antrópica e deliberada sem fins de aumento de área para uso agrícola ou residencial. Pôde-se inferir tal fato visto que antes e após o episódio a região apresentou a mesma cobertura do solo, Formação Savânica. Ou seja, mesmo após a queima a

vegetação se reestruturou sem uma mudança sobre o tipo de cobertura vegetal.

Levando em conta as imagens Landsat-8/OLI foram calculados os índices de vegetação para o reconhecimento das áreas afetadas quanto a sua degradação e capacidade de regeneração. Em um primeiro momento foram calculados o WDRVI e o IAF a fim de definir a densidade da cobertura vegetal, dado que o WDRVI representa um melhoramento no NDVI por permitir uma visualização mais robusta das condições fenológicas e fisiológicas das culturas quando a biomassa vegetal é de moderada a alta. Quando a cobertura vegetal é baixa, o NDVI se impõe como melhor parâmetro para o estudo das características das lavouras.

Com base nisto, fica evidente que de fato o WDRVI somente será mais aplicável quando o IAF estiver entre 2 a 6. Em caso contrário, o índice de ampla faixa dinâmica irá apresentar valores negativos, caminhando para valores positivos à medida que o IAF se aproxima de números elevados.

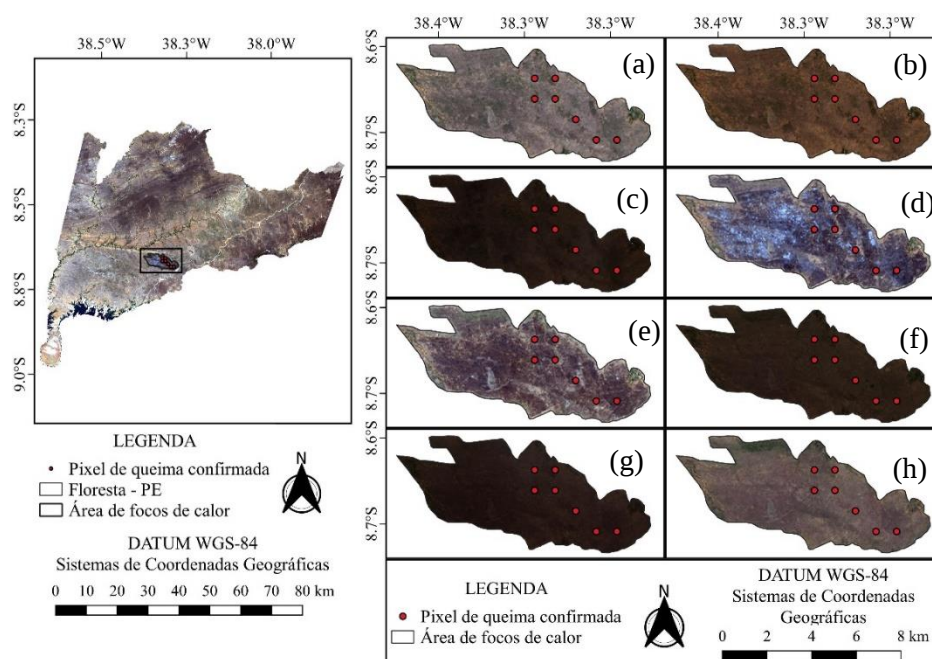


Figura 2. Comportamento temporal da vegetação no município de Floresta e a demarcação da área afetada pelos focos de calor no dia (a) 13/09/2019, (b) 15/10/2019, (c) 31/10/2019, (d) 16/11/2019, (e) 02/12/2019, (f) 27/06/2020, (g) 14/08/2020 e (h) 18/11/2020.

De acordo com a Figura 3a pode-se constatar que as sete áreas atingidas pela queima exibem condições de vegetação de baixa densidade durante grande parte do ano com picos negativos próximos ao dia da queima e picos positivos chegando a serem maiores que 0, segundo o WDRVI, manifestando a sua regeneração e

aumento da biomassa nessas circunstâncias. Da mesma maneira, o IAF (Figura 3b) apresentou valores iguais ou maiores a 1 apenas em três ocasiões e sendo ambas no dia 08 de abril de 2020: Floresta – 23 (1,026503); Floresta – 31 (1,253154); e Floresta – 32 (1,040715). Houve outros valores positivos, porém não acima de 1.

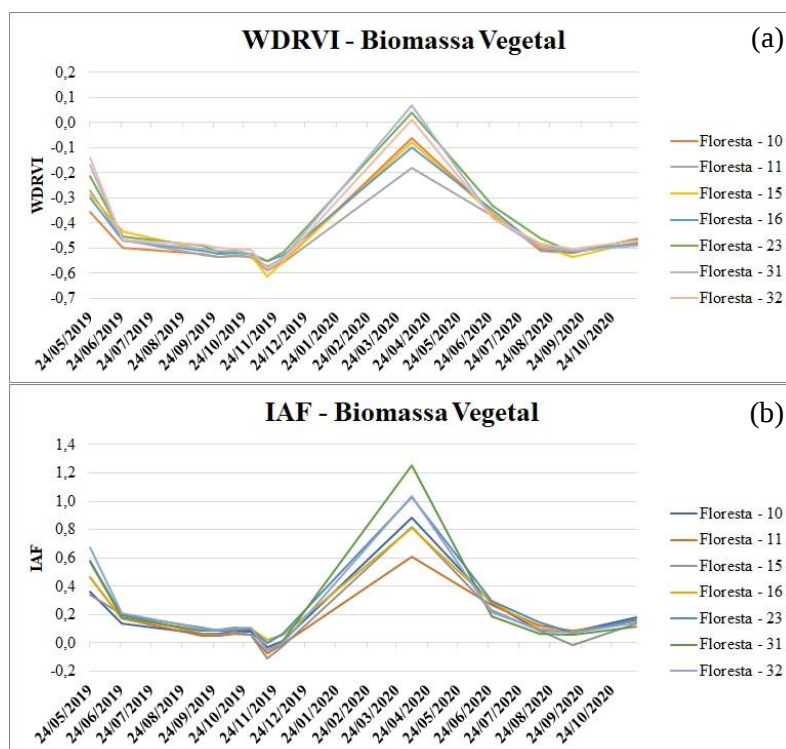


Figura 3. Índices para a definição da densidade da cobertura vegetal (a) WDRVI e (b) IAF.

No entanto, como a biomassa vegetal se manteve relativamente baixa, o NDVI se mantém como o melhor índice para a definição das condições das culturas. De modo a viabilizar a exploração da vegetação local quanto aos períodos de senescência, degradação ou pleno vigor vegetativo, foi calculado o NDVI.

Percebe-se na Figura 4 que a vegetação expressa um comportamento uniforme com picos de pleno vigor vegetativo ocorrendo entre os meses de abril (Floresta – 31: 0,703710) e maio (Floresta – 32: 0,581111). É possível observar também que o período de senescência acontece entre os meses

de junho a setembro, com desenvolvimento da lavoura a partir de outubro. O pico negativo demonstrado indica a ação da queima, onde o índice atinge valores próximos ao 0, como em Floresta – 15: 0,094067, dessa forma expressando a condição de solo exposto.

Esta análise possibilitou depreender com mais clareza que a perturbação ambiental sofrida não havia sido motivada pelo aumento de propriedades agrícolas ou pastagem. Em contrapartida, a vegetação local foi capaz de se regenerar completamente em um espaço considerável de tempo.

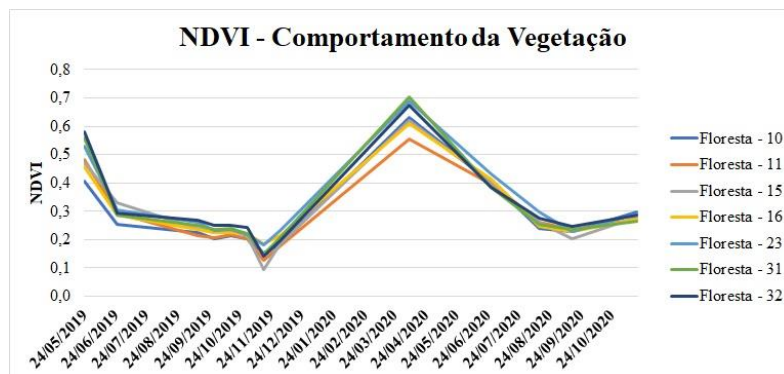


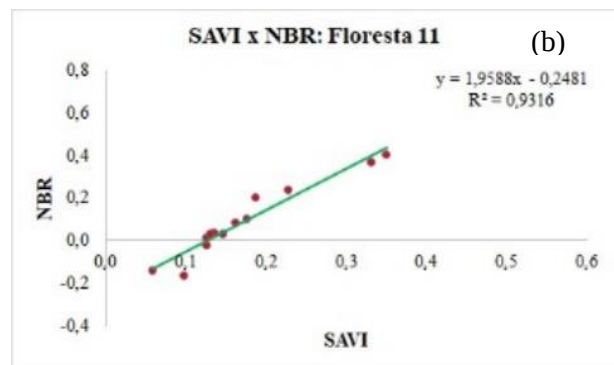
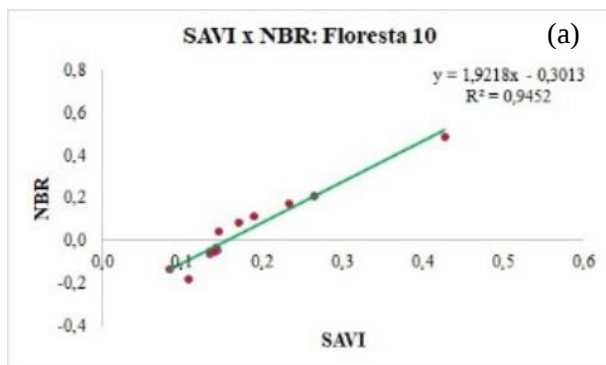
Figura 4. Análise do NDVI para as condições da vegetação local.

Nem toda a diminuição no NDVI representa a queima. Diante disso, foi realizada a correlação entre um índice de vegetação e os índices de queimada NBR e NBR2 para a definição do grau da interferência de um parâmetro sobre o outro.

Neste sentido, o SAVI foi utilizado por exibir a densidade da cobertura vegetal, assim como o NDVI, porém, sendo mais preciso do que o seu antecedente por provocar uma atenuação aos impactos provenientes do tipo de solo através de um fator de correção. O NBR distingue uma área saudável de uma afetada pela queima através do aumento da absorção na banda do infravermelho próximo e uma diminuição na banda do

infravermelho de ondas curtas entre 2,11 μm e 2,29 μm , o que resulta da perda de água nas culturas e solo. Ainda nesse seguimento, o NBR2 por utilizar somente o infravermelho de ondas curtas em duas regiões distintas expõe elevada capacidade de separabilidade, ou seja, uma proeminente habilidade de discriminar queimadas de outros objetos.

A Figura 5 demonstra a correlação entre o SAVI e o NBR no município de Floresta, nas sete áreas que apresentaram focos de calor confirmados como de queima. Ambos os índices foram calculados a partir da utilização das 13 imagens Landsat-8/OLI com o intuito de abranger o período de 6 meses antes, no dia e 1 ano após o episódio.



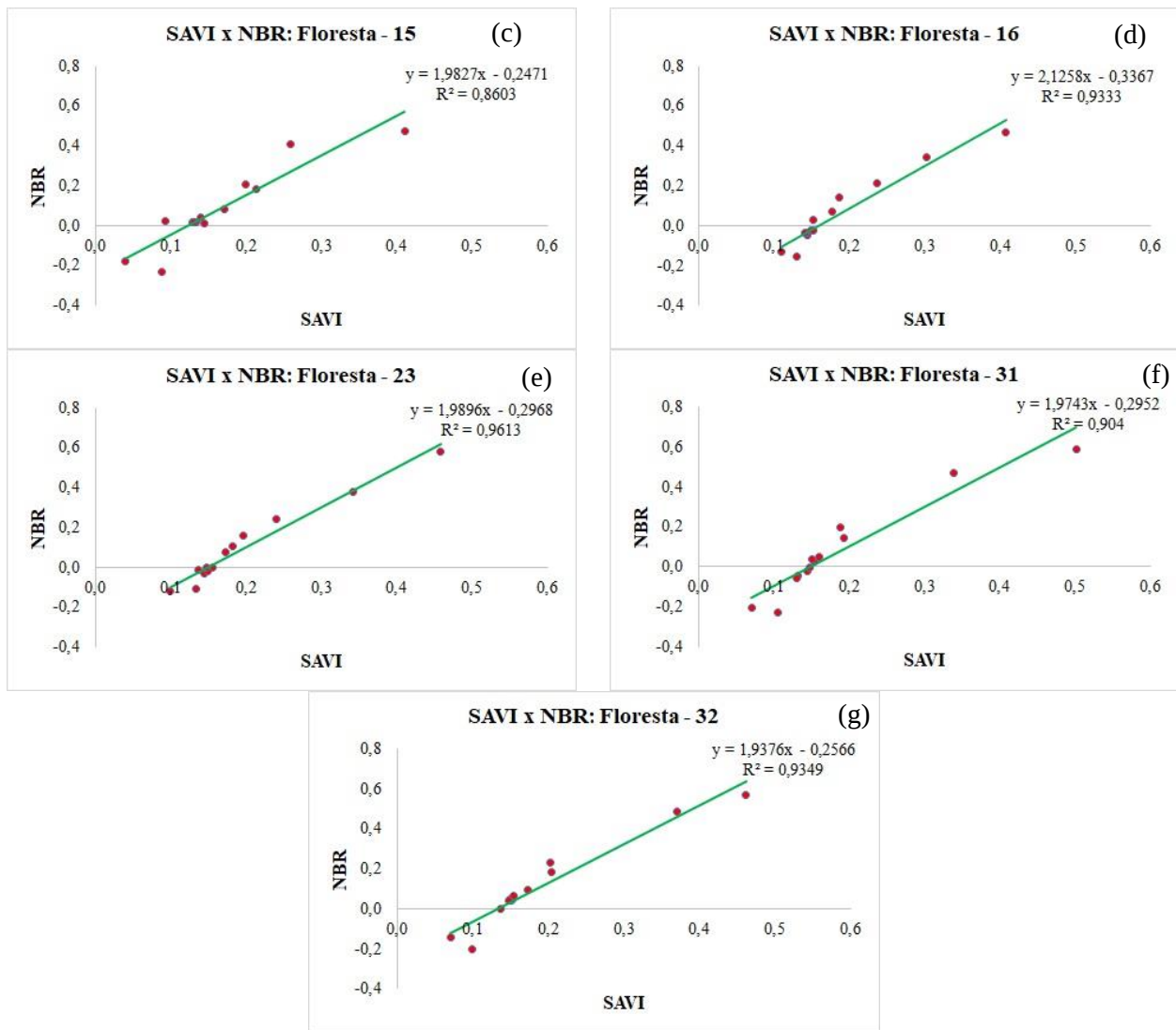


Figura 5. Correlação entre os parâmetros SAVI e NBR nos pontos (a) Floresta – 10, (b) Floresta – 11, (c) Floresta – 15, (d) Floresta – 16, (e) Floresta – 23, (f) Floresta – 31 e (g) Floresta – 32.

Percebe-se inicialmente que a correlação entre tais variáveis é positiva, o que indica que à medida que uma variável cresce, a outra também cresce. Ou seja, quando o NBR é alto, o SAVI assim o é. E isto faz sentido amplamente, visto que os valores negativos (menores que 0) do NBR significam o espaço da queimada, enquanto os mesmos valores para o SAVI indicam a ausência de vegetação. Sendo assim, é coerente que a correlação entre ambos seja positiva.

Como exemplo disso, constata-se que em Floresta – 23, para o NBR -0,109194, o SAVI corresponde a 0,133572. Em contrapartida, no mesmo ponto, no caso de o NBR ser igual a 0,579502, o SAVI é 0,458170.

Verifica-se também que os coeficientes de determinação (R^2) se mantiveram superiores a

0,85, sendo o menor em Floresta – 15 (0,8603) e o maior em Floresta – 23 (0,9613), o que implica em uma ótima proporcionalidade quanto a variabilidade de um parâmetro descrito pelo outro.

Os coeficientes de correlação (r) foram positivos, como esperado, com significância de correlação muito forte. Os coeficientes consistiram, respectivamente em: 0,9722; 0,9652; 0,9275; 0,9661; 0,9805; 0,9508; e 0,9669.

A correlação entre o SAVI e o NBR2 para as sete áreas afetadas no município de Floresta é exibida na Figura 6. As variáveis foram calculadas da mesma maneira que para a análise anterior e permanecendo com o mesmo objetivo de apreciação temporal.

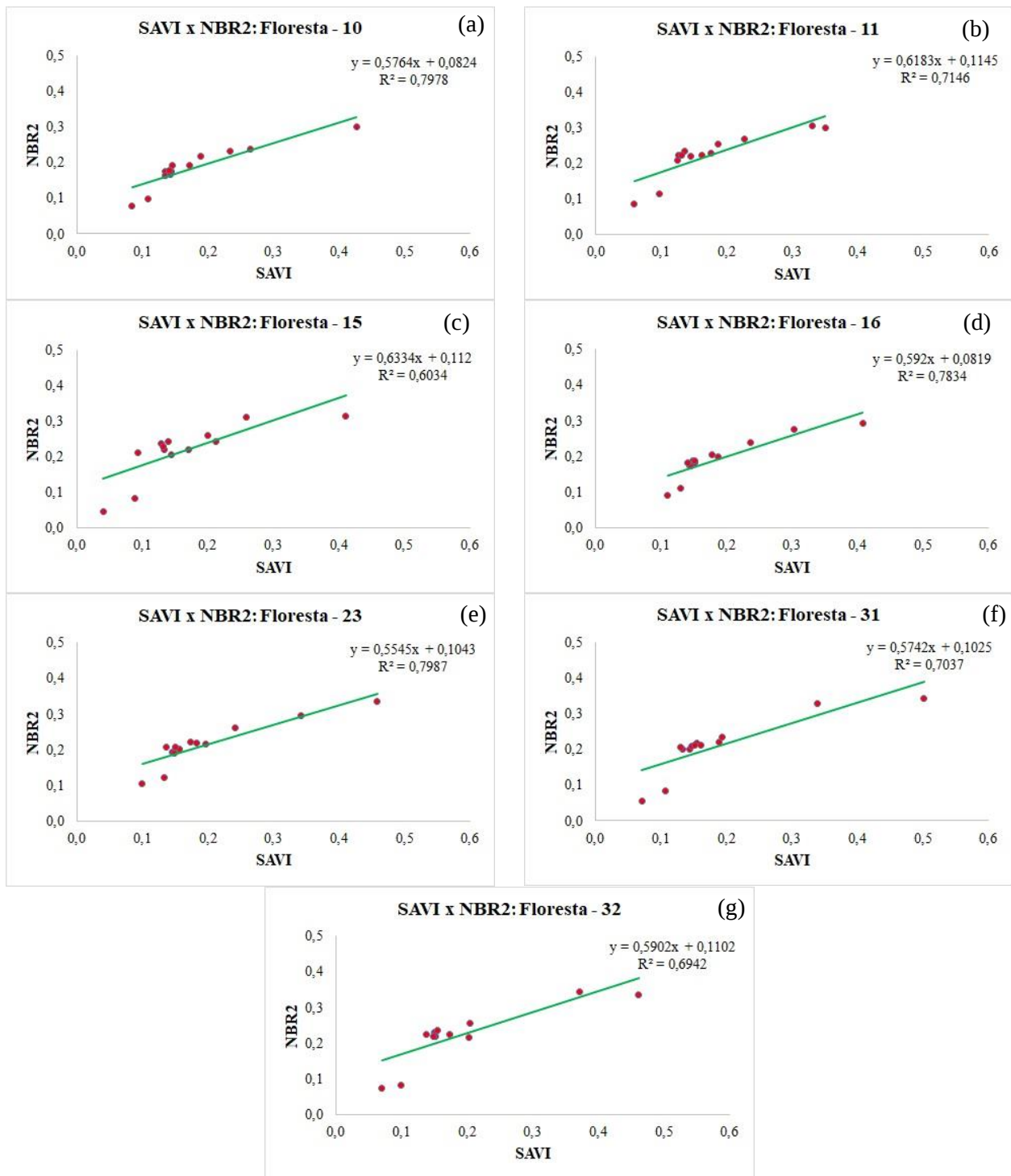


Figura 6. Correlação entre os parâmetros SAVI e NBR2 nos pontos (a) Floresta – 10, (b) Floresta – 11, (c) Floresta – 15, (d) Floresta – 16, (e) Floresta – 23, (f) Floresta – 31 e (g) Floresta – 32.

É perceptível que a dinâmica positiva ocorrida nesta correlação é semelhante a anterior, na qual um parâmetro aumenta à medida que o outro também aumenta. No entanto, os coeficientes de determinação são bem diferentes, nesta análise não chegando a atingir 0,80, com o menor valor ainda em Floresta – 15 (0,6034) e o maior continuando em Floresta – 23 (0,7987). Mesmo nessas condições, há uma boa explicação de uma variável pela outra.

No que diz respeito ao coeficiente de correlação, os valores foram, respectivamente: 0,8932; 0,8454; 0,7768; 0,8851; 0,8937; 0,8389; e 0,8332. Com isto, expondo uma correlação forte entre as variáveis SAVI e NBR2.

A diminuição do coeficiente de correlação pode ser explicada pelo fato de que o NBR2 avalia sensibilidade da água na vegetação em relação aos eventos de queimadas. Dessa forma, é um índice

mais preciso por conseguir distinguir a queima de outros alvos.

Vale ressaltar que os pontos exibidos nas correlações e que permaneceram distantes da linha de tendência e assim influenciaram para a redução do coeficiente de correlação expressam as coletas das áreas afetadas pela queima e que assim destoam da naturalidade ambiental. Destaca-se também que após a perturbação a vegetação apresentou a plena capacidade de regeneração, o que permitiu a baixa disparidade entre os pontos em relação a linha de tendência.

Conclusões

A aplicação de análises por interpretação de imagens e pelos cálculos dos índices de vegetação IAF, WDRVI e NDVI a partir das imagens Landsat-8/OLI possibilitaram a verificação temporal das condições da vegetação quanto a sua densidade de cobertura, fenologia e fisiologia. Além disso, pôde-se inferir que pelas circunstâncias o evento foi causado por meios deliberadamente antrópicos e não para o aumento de terras para pastagem, cultivo agrícola ou moradia, visto que o uso e cobertura do solo permaneceu inalterado após a regeneração e/ou recuperação vegetal.

A correlação entre o índice de vegetação SAVI e os índices de queimadas NBR e NBR2 viabilizaram a indicação da dinâmica comportamental e a forte ou muito forte proporcionalidade e dependência entre esses parâmetros.

Agradecimentos

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

Referências

- Allen R., Tasumi M., Trezza R., 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). Advanced Training and Users Manual. Idaho Implementation 1.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2022. Serviços: Meteorologia – Monitoramento Pluviométrico. Disponível: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>. Acesso: 22 jan. 2022.
- Bezerra, A.C., Silva, J.L.B., Silva, D.A.O., Batista, P.H.D., Pinheiro, L.C., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., 2020. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. *Revista*

Brasileira de Geografia Física [online] 13. Disponível:

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p286-301>.

Acesso: 28 jan. 2022.

- Cao, Y., Li, G.L., Luo, Y.K., Pan, Q., Zhang, S.Y., 2020. Monitoring of sugar beet growth indicators using wide-dynamic-range vegetation index (WDRVI) derived from UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture* [online] 171. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105331>. Acesso: 28 jan. 2022.

- Costa Júnior, D.S., 2021. Padrões de Crescimento em Floresta Tropical Sazonalmente Seca em Relação à Variabilidade Ambiental no Semiárido Pernambucano. Tese (Doutorado). Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

- Costa, A.S., Lameira, O.A., 2022. The use of NDVI derived from Pléiade images in the analysis of the vegetation structure in two forest fragments. *Research, Society and Development* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24170>. Acesso: 28 jan. 2022.

- Dutra, D.J., Elmiro, M.A.T., Coelho, C.W.G.A., Nero, M.A., Temba, P.C., 2021. Temporal analysis of drought coverage in a watershed area using remote sensing spectral indexes. *Sociedade & Natureza* [online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-59505>. Acesso: 22 jan. 2022.

- Farias, J., Omena, M.T.R.N., Figueiredo, A.L.C.B., Liesenberg, V., Schimalski, M.B., 2022. Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais em Áreas Naturais Protegidas: o Parque Nacional de São Joaquim/SC, Brasil. *Biodiversidade Brasileira* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i1.1662>. Acesso: 30 jan. 2022.

- Fialho, E.S., Santos, L.G.F., 2021. A Climatologia Urbana e o Uso do Sensoriamento Remoto: Um Estudo de Caso em uma Cidade de Pequeno Porte em Clima Tropical de Altitude. *Geografia* [online] 46. Disponível: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/16047/12167>. Acesso: 22 jan. 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: 30 jan. 2022.
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A.A., Humber, M., Hall, J.V. NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2020. Collection 6 MODIS Burned Area Product User's Guide Version 1.3. Disponível: https://lpdaac.usgs.gov/documents/875/MCD64_User_Guide_V6.pdf. Acesso: 22 jan. 2022.
- Gitelson, A.A., 2004. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. *Journal of Plant Physiology* [online] 161. Disponível: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01176>. Acesso: 28 jan. 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: 30 jan. 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: 30 jun. 2022.
- Huete, A.R., 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295-309.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Cidades e Estados: História & Fotos. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/floresta/historico>. Acesso: 22 jan. 2022.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022. Programa Queimadas: Sistemas de Monitoramento. Disponível: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso: 22 jan. 2022.
- Key, C.H., Benson, N.C., 1999. The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity. U.S. Department of the Interior, Northern Rocky Mountain Science Centre.
- Lan, S., Dong, Z., 2022. Incorporating Vegetation Type Transformation with NDVI Time-Series to Study the Vegetation Dynamics in Xinjiang. *Sustainability* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su14010582>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Lima, M., Santana, D.C., Maciel Junior, I.C., Costa, P.M.C., Oliveira, P.P.G., Azevedo, R.P., Silva, R.S., Marinho, U.F., Silva, V., Souza, J.A.A., Rossi, F.S., Delgado, R.C., Teodoro, L.P.R., Teodoro, P.E., Silva Junior, C.A., 2022. The “New Transamazonian Highway”: BR-319 and Its Current Environmental Degradation. *Sustainability* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su14020823>. Acesso: 22 jan. 2022.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 6 (1985-2020) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2021a. Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 6 do MapBiomias. Disponível: <https://mapbiomas-brasil-site-stg.herokuapp.com/codigos-de-legenda>. Acesso: 22 jan. 2022.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 6 (1985-2020) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2021b. Produtos. Disponível: <https://mapbiomas.org/produtos>. Acesso: 22 jan. 2022.
- Marion, F.A., Andres, J., Hendges, E.R., 2021. Evolução dos Índices de Vegetação e sua Relação com o Estresse Hídrico: Uma Revisão. *Geofronter* [online] 7. Disponível: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/6758>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Morresi, D., Marzano, R., Lingua, E., Motta, R., Garbarino, M., 2022. Mapping burn severity in the western Italian Alps through phenologically coherent reflectance composites derived from Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing of Environment* [online] 269. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112800>. Acesso: 28 jan. 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: 20 nov. 2021.
- Oliveira, B.G., Anunciação, V.S., 2022. Focos de calor, queimadas e problemas respiratórios em Campo Grande (MS) no período de 2014-2020. *Estrabão* [online] 3. Disponível: <https://doi.org/10.53455/re.v3i.26>. Acesso: 30 jan. 2022.
- Oliveira, J.D.A., Moura, G.B.A., Nascimento, C.R., Lopes, P.M.O., Nóbrega, R.S., 2020. Avaliação de Degradação e Mudanças

- Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema. Revista Brasileira de Meteorologia [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-7786354062>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Pereira, A.A., Teixeira, F.R., Libonati, R., Melchiori, E.A., Carvalho, L.M.T., 2016. Avaliação de Índices Espectrais para Identificação de Áreas Queimadas no Cerrado Utilizando Dados Landsat TM. Revista Brasileira de Cartografia [online] 68. Disponível: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44386>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Ponte, L.H., Nogaroto, L.S., Pardo Filho, M., 2021. As Queimadas dos Biomas Brasileiros Frente as Divergências Políticas e Agropecuárias. Revista Juris UniToledo [online] 6. Disponível: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/direito/article/view/3729>. Acesso: 30 jan. 2022.
- 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/rbgf.v14.3.p1220-1235>. Acesso: 30 jan. 2022.
- Rodrigues, H.C.T., Silva, R.S., Carneiro, F.S., Souza, C.B.G., Oliveira, T.B., Amaral, A.P.M., Santos, A.M.A., Pinheiro, K.A.O., Maestri, M.P., 2022. NDVI and SAVI as tools for monitoring changes in land use and occupation in southwestern Pará. Research, Society and Development [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.22583>. Acesso: 22 jan. 2022.
- Rouse Jr, 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.
- Santos Neto, A.B.P., 2021. Variação espacial e sazonal de cobertos de Castanheiro (*Castanea sativa* Mill.) na região de Trás-os-Montes: avaliações com recurso ao índice NDVI. Dissertação (Mestrado). Bragança, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Santos, J.M., 2019. Análise da Distribuição Espacial do Índice de Umidade do Solo em Regiões Semiáridas a partir de Dados de Sensoriamento Remoto. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Santos, N.A.T., 2021. Dinâmica da Floresta Seca sob Diferentes Históricos de Uso: Distribuição Diamétrica de Indivíduos e Fustes. Dissertação (Mestrado). Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Shiraishi, T., Hirata, R., 2021. Estimation of carbon dioxide emissions from the megafires of Australia in 2019–2020. Scientific Reports [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87721-x>. Acesso: 22 jan. 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: 22 jan. 2022.
- Silva Junior, J.A., Pacheco, A.P., 2021. Avaliação de incêndio em ambiente de Caatinga a partir de imagens Landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. Ciência Florestal [online] 31. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509843818>. Acesso: 02 mar. 2022.
- Silva, L.C., Silva, J.L.B., Moura, G.B.A., Silva, D.A.O., Lopes, P.M.O., Nascimento, C.R., Silva, M.V., Batista, P.H.D., 2021. Índices biofísicos e o saldo de radiação à superfície via sensoriamento remoto no Semiárido Pernambucano. Journal of Environmental Analysis and Progress [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.24221/jeap.6.1.2021.2876.012-023>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Singh, S., Singh, H., Sharma, V., Shrivastava, V., Kumar, P., Kanga, S., Sahu, N., Meraj, G., Farooq, M., Singh, S.K., 2022. Impact of Forest Fires on Air Quality in Wolgan Valley, New South Wales, Australia—A Mapping and Monitoring Study Using Google Earth Engine. Forests [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/f13010004>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Sirin, A., Medvedeva, M., 2022. Remote Sensing Mapping of Peat-Fire-Burnt Areas: Identification among Other Wildfires. Remote Sensing [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs14010194>. Acesso: 28 jan. 2022.
- Souza, H.J.R., Andrade, M.M.N., 2022. Assessment of Social Vulnerability to the threat of fire in the Tomé-Açu Microregion. Research, Society and Development [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25732>. Acesso: 30 jan. 2022.
- 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: 28 jan. 2022.
- USGS. United States Geological Survey, 2020. USGS EROS Archive - Landsat Archives - Landsat 8-9 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor Collection 2 Level-1 Data. Disponível: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-operational-land-imager-and>. Acesso: 22 jan. 2022.
- USGS. United States Geological Survey, 2022. Landsat Missions: Using the USGS Landsat Level-1 Data Product. Disponível: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>. Acesso: 22 jan. 2022.