



Caracterização de Áreas Queimadas Usando Sensoriamento Remoto no Refúgio Pedra da Andorinha, Sobral/CE

Mauricio Alejandro Perea-Ardila
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Ceará

Sebastian Isaías Muñoz
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Ceará

Carlos Henrique Sopchaki
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

Os Refúgios de Vida Silvestre, projetados para preservar a sobrevivência de diversas espécies de flora e fauna, enfrentam uma ameaça crescente devido aos incêndios florestais no Brasil. Essa intensificação coloca em risco a integridade dos ambientes que buscam proteger a biodiversidade. Com foco no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, em Sobral/CE, nosso objetivo foi usar dados derivados de sensoriamento remoto VIIRS (2012-2023), imagens Landsat 8 e Sentinel-2 (2015, 2016, 2020 e 2023) para identificar e delimitar áreas afetadas por incêndios passados. Índices como NBR e dNBR foram aplicados para avaliar a severidade da cobertura e do uso da terra com base nos dados do MapBiomas. Sessenta e oito focos de calor foram registrados, sendo outubro de 2020 o mês com maior incidência. A cicatriz de 2020, com 860,47 ha queimados, afetou o 89,63% da área total do refúgio, acumulado 1011,97 ha queimados, com pelo menos 290,25 ha afetados em três ocasiões em eventos diferentes. A formação savânica, que compreende 84,74% da paisagem, foi a cobertura natural mais afetada pelo fogo. Esses resultados destacam o envolvimento frequente do refúgio ao fogo, ressaltando a necessidade de estratégias eficazes de prevenção e gestão para garantir a conservação de longo prazo desses valiosos ambientes naturais.

Palavras-chave: Caatinga; Fogo; Unidades de conservação.



Characterization of Burnt Areas Using Remote Sensing in the Stone of Andorinha Refuge, Sobral/CE

ABSTRACT

Wildlife refuges, designed to preserve the survival of diverse species of flora and fauna, are facing an increasing threat of forest fires in Brazil. This intensification jeopardizes the integrity of environments intended to protect biodiversity. Focusing on the Stone of the Swallow Wildlife Refuge in Sobral/CE, our objective was to use data derived from VIIRS (2012-2023), Landsat 8 and Sentinel-2 (2015, 2016, 2020 and 2023) remote sensing sensors to identify and delimit areas affected by past fires. Indices such as NBR and dNBR were applied to assess land cover severity and land use from MapBiomas data. Sixty-eight active fires were recorded, with October 2020 being the month with the highest incidence. The 2020 scar, with 860.47 ha burned, affected 89.63% of the total area of the refuge, accumulating 1011.97 ha burned, with at least 290.25 ha affected on three occasions in different events. The savanna formation, comprising 84.74% of the landscape, was the natural cover most affected by fire. These results highlight the frequent affectation of the refuge by fire, emphasizing the need for effective prevention and management strategies to ensure the long-term conservation of these valuable natural environments.

Keywords: Caatinga; Fire; Conservation units.

Caracterización de Áreas Quemadas Usando Teledetección en el Refugio Piedra de la Golondrina, Sobral/CE

RESUMEN

Los Refugios de Vida Silvestre, concebidos para preservar la supervivencia de diversas especies de flora y fauna, se enfrentan a una creciente amenaza de incendios forestales en Brasil. Esta intensificación pone en peligro la integridad de los entornos que pretenden proteger la biodiversidad. Centrándonos en el Refugio de Vida Silvestre Piedra de la Golondrina, en Sobral/CE, nuestro objetivo fue utilizar datos derivados de sensores de teledetección VIIRS (2012-2023), Landsat 8 y Sentinel-2 (2015, 2016, 2020 y 2023) para identificar y delimitar las áreas afectadas por incendios pasados. Se aplicaron índices como NBR y dNBR para evaluar la severidad de la cubierta terrestre y el uso del suelo a partir de datos de MapBiomas. Se registraron 68 fuegos activos, siendo octubre de 2020 el mes con mayor incidencia. La cicatriz de 2020, con 860,47 ha quemadas, afectó al 89,63% de la superficie total del refugio, se acumuló 1011,97 ha quemadas, con al menos 290,25 ha afectadas en tres ocasiones en diferentes eventos. La formación de sabana, que comprende el 84,74% del paisaje, fue la cubierta natural más afectada por el fuego. Estos resultados ponen de manifiesto la frecuente afectación del refugio por el fuego, enfatizando la necesidad de estrategias eficaces de prevención y gestión para garantizar la conservación a largo plazo de estos valiosos entornos naturales.

Palabras clave: Caatinga; Fuego; Unidades de conservación



INTRODUÇÃO

O objetivo fundamental das "Unidades de Conservação de Proteção Integral" é salvaguardar o ambiente natural, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos naturais. Uma das categorias mais significativas dentro dessas unidades são os "Refúgios de Vida Silvestre" (artigo 13 da Lei 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza), cujo objetivo é proteger ambientes naturais que garantam as condições necessárias à existência e à reprodução de espécies e comunidades da flora e da fauna (Fonseca; Lamas; Kasecker, 2010). Um exemplo disso é o "Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha", que foi criado em 2010 (decreto nº1252 de 18 de agosto de 2010) com o objetivo de proteger os ecossistemas da Caatinga, garantindo condições ideais para a sobrevivência e a reprodução das espécies e comunidades da flora e da fauna locais, sejam elas residentes ou migratórias (Sousa et al., 2019).

No Brasil, há um grande número de unidades de conservação que, juntas, cobrem cerca de 1,5 milhão de km² (Bontempo et al., 2011). Apesar de sua importância, essas áreas são altamente suscetíveis a distúrbios (Morsello, 2001). As queimadas se destacam como um dos principais fatores de perturbação em unidades de conservação, pois podem causar danos e destruição, como perda de vidas humanas, alteração de recursos naturais, além de perdas econômicas (Morelli; Setzer; Cristina, 2009; Pereira; Fiedler; de Medeiros, 2004). De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o bioma Caatinga para o ano 2019 representou o 31% do total de focos de calor nos biomas brasileiros, causando danos à fauna e à flora e prejuízos econômicos e sociais (Alves et al., 2021).

Os focos de calor podem ser detectados por dados de satélite, pois as áreas afetadas pelo fogo têm uma resposta espectral específica (infravermelho médio e térmico) que pode ser monitorada no tempo e no espaço usando dados de sensoriamento remoto (Teobaldo; Baptista, 2015). De acordo com Di Bella et al., (2008) Os focos de calor são frequentemente usados para descrever uma região com uma temperatura de superfície anormal (possibilidade de um fogo), aproveitando a capacidade de certos sensores remotos de coletar a energia emitida e detectar anomalias térmicas. Além disso, as áreas queimadas referem-se ao rastro visível em uma superfície afetada pelo fogo (após um incêndio florestal), o que facilita a medição da área afetada pela queimada e que podem ser identificados por meio da interpretação de sensores remotos. Também, os índices espectrais são usados para aprimorar as características de mudança de refletância de áreas queimadas e não queimadas e para determinar o nível de severidade de uma queima (Keeley, 2009). Por outro lado, anualmente, o projeto MapBiomas fornece dados sobre o uso e a cobertura da terra, que são úteis para orientar os processos de tomada de decisão no Brasil (Souza et al., 2020). Ele também facilita a identificação de sinais



de degradação do ecossistema causados por eventos relacionados com o fogo ao longo do tempo.

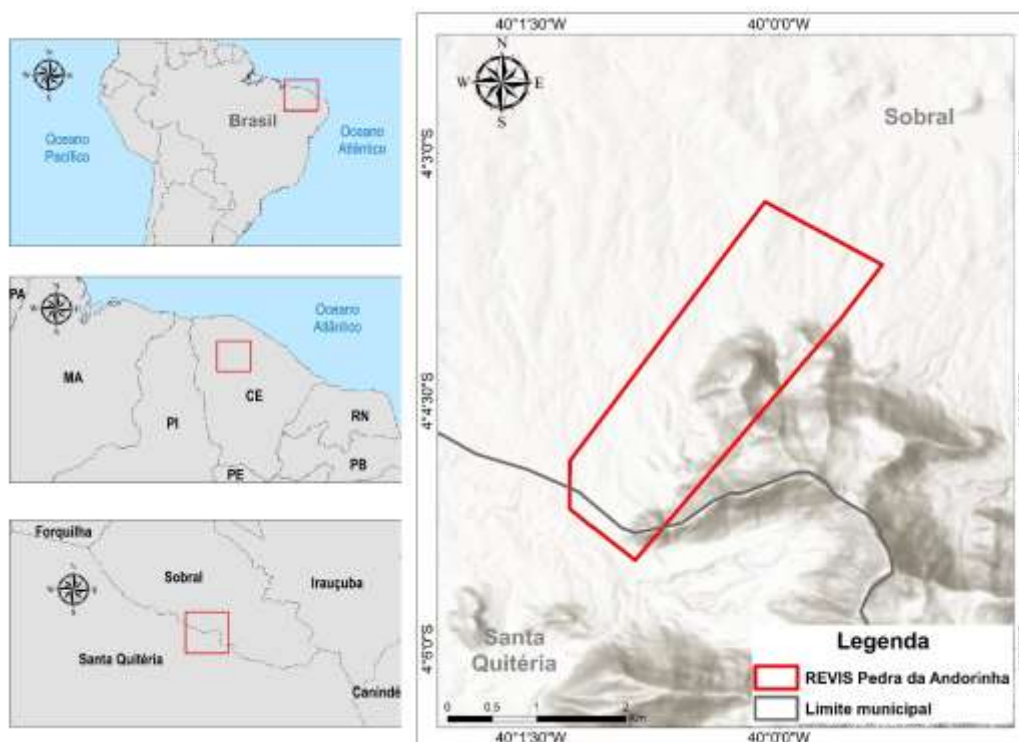
Por esse motivo, o presente estudo tem como objetivo caracterizar as áreas queimadas usando sensoriamento remoto da Refúgio de Vida Silvestre da Pedra da Andorinha. Os objetivos específicos incluem I) identificar a distribuição espacial de focos de calor de 2012 a 2023 usando dados do Conjunto de Radiômetros de Imagem no Infravermelho Visível (VIIRS), II) usar imagens Landsat 8 y Sentinel-2 pré e pós queimada para delimitar uma área em questão devido a incêndios ocorridos entre 2012 a 2023 e III) empregar o Índice de Queima Normalizado (NBR) para determinar a severidade do fogo das coberturas de terra fornecidas pelo MapBiomass. Os resultados dessa pesquisa poderão ministrar informações essenciais no contexto de incêndios florestais em áreas de importância ambiental no semiárido brasileiro e como pano de fundo para auxiliar na formulação do plano de manejo do Refúgio de Vida Silvestre da Pedra da Andorinha.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Unidade de Conservação Municipal de Proteção Integral Refúgio da Vida Silvestre Pedra da Andorinha (REVISPA), está localizada em Brasil, no distrito de Teperuaba, compartilhado com o município de Sobral e Santa Quitéria, no interior do estado do Ceará (Rodrigues; Maia; Gomes, 2019). Localiza-se nas coordenadas geográficas 4°3'18" e 4°5'28" de latitude sul e entre 40°1'16" e 39°59'22" de longitude oeste (Figura 1). Nessa região, a precipitação anual varia entre 500 e 800 mm, a temperatura média anual permanece em 28°C y durante cerca de 7 a 8 meses há um déficit hídrico perceptível, que é mais evidente sazonalmente na segunda metade do ano (Milen; Caracristi; Monteneles, 2016). Da REVISPA possui uma área de 596,96 ha, está localizada no semiárido Cearense e apresenta formações vegetais da Caatinga, espécies arbustivas com predomínio de espécies xerófilas adaptadas ao clima semiárido Nordestino (Araújo; Claudino-Sales, 2022; Milen; Caracristi; Monteneles, 2016).

Figura 1 – Localização do REVIS Pedra da Andorinha



Fonte: Elaboração pelos autores (2023)

Focos de calor

Foi feito o download do banco de dados de focos de calor detectados como possíveis focos com o sensor VIIRS disponível em <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> para o período de janeiro de 2012 (data próxima à criação do refúgio) a setembro de 2023. Foi identificado o número de focos de calor detectados por ano, a média e sua respectiva porcentagem, bem como o número de focos de calor por mês. Além disso, os focos de calor foram especializados por meio da densidade de Kernel para identificar as áreas afetadas em Km² e definindo um tamanho de pixel de 10 metros e identificando sua localização na área de estudo.

Identificação de queimaduras

Uma vez identificados os eventos, procedeu-se a procurar de imagens antes e depois dos focos registrados do REVISPA (Tabela 1). Nesse contexto, foram utilizadas imagens de



satélite Landsat 8 e Sentinel 2 acessadas por meio do Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e do Copernicus Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). As imagens Landsat 8 corresponderam à coleção 2 nível-2 (L2SP) e as Sentinel 2 ao nível de processamento 2A, que inclui correções radiométricas (refletância da superfície) e geométricas.

Tabela 1 – Recursos de produtos de sensoriamento remoto pré e pós-incêndio

Produto	ID	Data	Nuvens (%)	Ângulo do sol	Path/Row
Pré incêndio	LC08_L2SP_218063_2				
	0150714_20200908_02	14/07/2015	3.24	46.45	218/63
	_T1				
	LC08_L2SP_218063_2				
	0160801_20200906_02	01/08/2016	0	51.5	218/63
	_T1				
Pré incêndio	S2A_MSIL2A_2020101				
	0T130251_N9999_R09	10/10/2020	0.68	21.5	T24
	5_T24MUA_20230312				MUA
	T212330				
S2A_MSIL2A_2023082					
Pré incêndio	6T130251_N0509_R09	26/08/2023	0.00	28.74	T24
	5_T24MUA_20230826				MUA
	T171853				
Pós incêndio	LC08_L2SP_218063_2				
	0151119_20200908_02	19/11/2015	1.31	62.28	218/63
	_T1				



LC08_L2SP_218063_2					
0161105_20200906_02	05/11/2016	0.1	64.31	218/63	
_T1					
S2B_MSIL2A_2020111					
4T130249_N0500_R09	14/11/2020	8.4	24.7	T24	
5_T24MUA_20230301				MUA	
T101849					
S2A_MSIL2A_2023092					
5T130251_N0509_R09	25/09/2023	0.16	22.61	T24	
5_T24MUA_20230925				MUA	
T172152					

Fonte: Elaboração pelos autores (2023)

Foi realizada a escala de refletância das imagens, para o Sentinel 2 foram utilizados os parâmetros indicados por Vuolo et al., (2016), para as imagens Landsat 8 foram utilizados os parâmetros multiplicativos do fator de escala descrito por Sayler (2023).

Além disso, a composição de bandas espectrais, cor verdadeira (Sentinel RGB 4-3-2, Landsat RGB 3-2-1), cor infravermelha (Sentinel RGB 8-4-3, Landsat RGB 5-4-3) e cor falsa (Sentinel RGB 12-8-2, Landsat RGB 7-5-2) foram utilizadas para a identificação visual e posterior delineamento das cicatrizes de as queimadas.

Índice de Queima Normalizado

Foram utilizados dois índices de área queimada (Tabela 2), o primeiro correspondeu ao Índice de Queima Normalizado (NBR), esse índice é caracterizado por utilizar a banda NIR que relaciona a área foliar e a produtividade da planta (clorofila) e a banda SWIR que responde positivamente à perda de umidade (secagem) e algumas características da superfície do solo e da vegetação que podem ocorrer após uma queimada (Key; Benson, 2006; Parks; Dillon; Miller, 2014).



Tabela 2 – Índices de área queimada

Índice espectral	Ecuación	Rango
Normalized Burn Ratio (NBR)	$\frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	-1 e +1
Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)	$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$	

Fonte: Elaboração baseada em (Key; Benson, 2006)

e dNBR, é o resultado da subtração da NBR antes e depois do incêndio, o que permitiu o aprimoramento das características da cicatriz. A dNBR é usada para determinar a severidade do fogo na vegetação (Roy; Boschetti; Trigg, 2006). Para determinar a severidade do fogo, foram utilizados os intervalos propostos por Key e Benson, (2006). Os valores positivos denotam uma severidade mais alta, os valores positivos estabelecem uma severidade mais alta (Tabela 3). Enquanto, que os valores negativos identificam possíveis vegetações que não foram afetadas pelo fogo.

Tabela 3 – Classificação de gravidade do incêndio

Severidade	Intervalos
Não queimado	-0.100 - +0.099
Baixa	+0.100 - +0.269
Moderado-baixa	+0.270 - +0.439
Moderada-alta	+0.440 - +0.659
Alta	+0.660 - +1.300

Fonte: Elaboração baseada em (Key; Benson, 2006)

Adicionalmente, foram utilizados dados de uso e cobertura da terra do sistema brasileiro MapBiomas (<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>) para os anos dos registros do fogo (2015, 2016, 2020). A cobertura da terra do ano de 2022 foi aproximada para 2023, não estava disponível o ano 2023 no momento do estudo, e neste ano específico (2022) não ocorreram registros de focos de calor. Foram utilizadas as coberturas descritas na Tabela 4.



Tabela 4 – Classificação de uso e cobertura da terra

Cobertura	Descrição
Formação Campestre	Tipo de vegetação com predominância de estrato herbáceo, incluindo manchas com um estrato arbustivo-herbáceo bem desenvolvido.
Formação Florestal	Tipos de vegetação com predominância de espécies de árvores com dossel contínuo de alta densidade, áreas que foram perturbadas por incêndios e/ou exploração madeireira e florestas resultantes de rebrota natural.
Formação Savânica	Tipos de vegetação com uma camada de árvores de densidade variável, distribuída sobre uma camada arbustiva-herbácea contínua.
Mosaico de Usos	Áreas de cultivo onde não era possível distinguir entre pastagem e agricultura.
Outras Áreas não Vegetadas	Áreas de superfície não vegetadas (infraestrutura, áreas urbanas ou mineração) não mapeadas em suas classes, e áreas de solo exposto (principalmente solo arenoso) não classificadas como formação de pastagem ou pasto.
Pastagem	Áreas de pastagem, naturais ou plantadas, relacionadas à atividade agrícola. Em particular, nos biomas Pampa e Pantanal, parte da área classificada como Formação de Pastagens também inclui áreas de pastagem.
Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Fonte: Elaboração baseada em (Souza et al., 2020)

Os dados de uso e cobertura da terra foram cruzadas com a severidade para identificar quais zonas foram mais afetadas, identificando sua área e localização. Da mesma forma, a estimativa das áreas de superfície foi realizada com o sistema de referência SIRGAS 2000 UTM zona 24 sul.

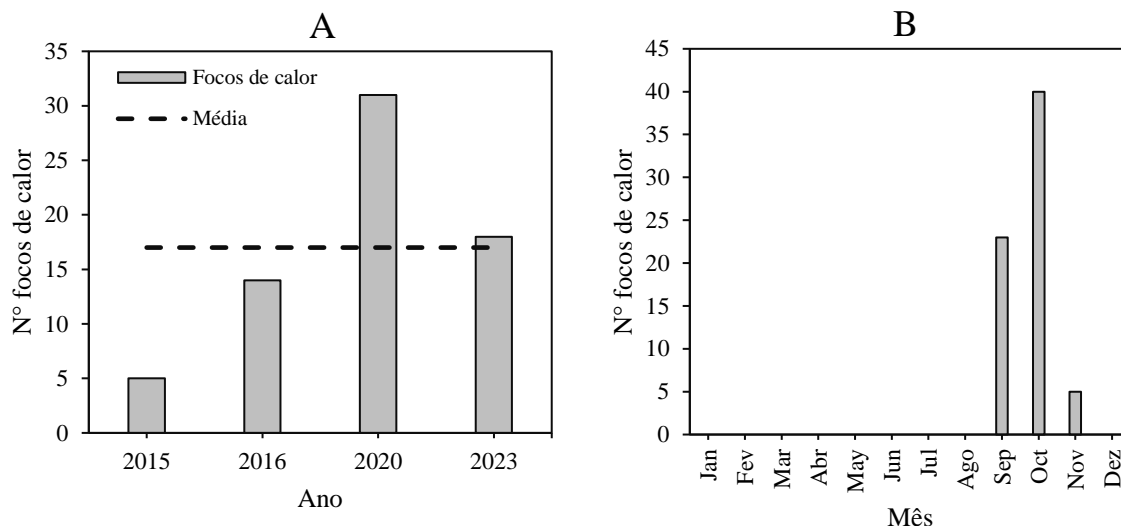
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Focos de calor

Foi apresentado 68 focos de calor e uma média de 17 focos durante período do estudo (Figura 2A). O ano de 2020 apresentou o maior número de focos, com 45,59% do número total de eventos registrados, e o ano com o menor número de eventos foi 2015, com 7,35%.

Da mesma forma, os focos de calor ocorreram de setembro a novembro (Figura 2B), com o maior número de focos de calor registrado em outubro (N=40).

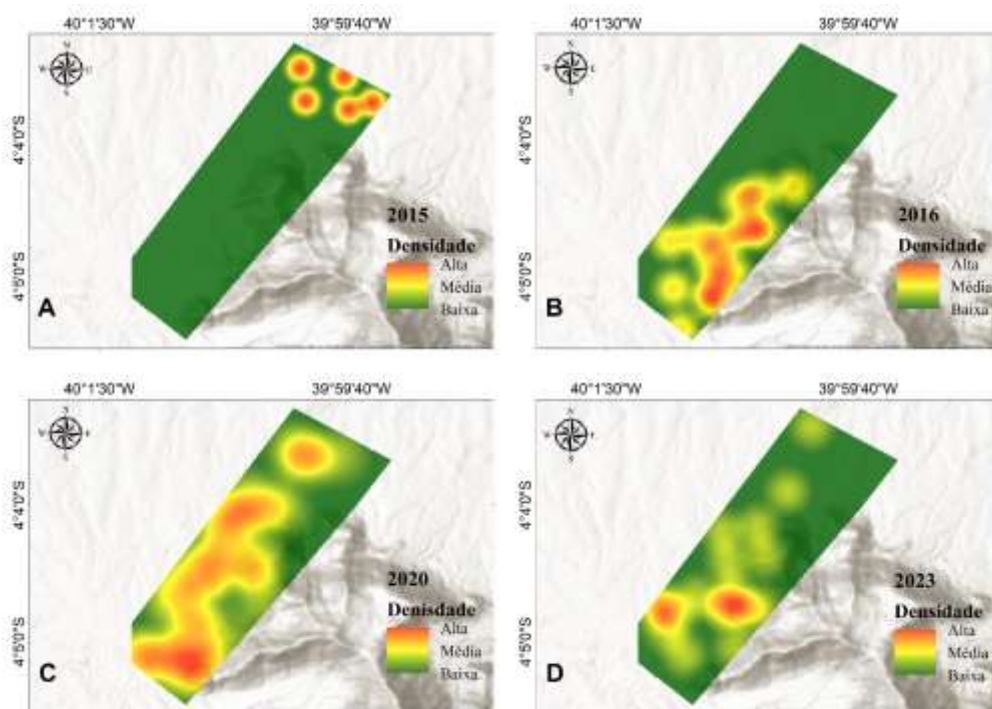
Figura 2 – Ocorrência anual de focos de calor (A) e ocorrência mensal de focos de calor (B)



Fonte: Elaboração pelos autores (2023).

Em 2015, a densidade de focos de calor estava localizada no nordeste da REVISPA (Figura 3A). Em 2016, a densidade de focos de calor aumentou e foi localizada na área sudoeste (Figura 3B). Da mesma forma, em 2020, os focos ocorreram na maior parte da REVISPA, com a maior densidade na zona Sul (Figura 3C) e, finalmente, em 2023, a maior densidade de focos foi localizada em dois pontos específicos na zona Sul (Figura 3D). Vale ressaltar que o bioma Caatinga, durante as estações secas (correspondentes a julho a dezembro), historicamente abrange a maior concentração de focos de calor (Alves et al., 2021).

Figura 3 – Distribuição espacial de focos de calor da REVISPA



Fonte: Elaboração pelos autores (2023).

Identificação de queimaduras

A cicatriz total de a queimada do ano de 2015 apresentou uma área de 164,62 ha, sendo que apenas cerca de 25,02% da área da REVISPA na zona Nordeste foi afetada (Figura 4). Esse resultado variou de acordo com o relatado por Araújo e Claudino-Sales, (2022) que relatam 40% da área total do REVISPA sendo afetada, obtendo uma diferença de 14,98% no incêndio do mesmo ano. Da mesma forma, a cicatriz total de a queimada do ano 2016 apresentou uma área de 575,42 ha, sendo afetada 30,30% da reserva, esse incêndio ocorreu na área central e sudeste. Embora, Araújo e Claudino-Sales, (2022) tenham relatado os efeitos do fogo da REVISPA, não informaram a o tamanho da área afetada, o que torna o trabalho incompleto limitando nesse momento análises mais aprofundadas.

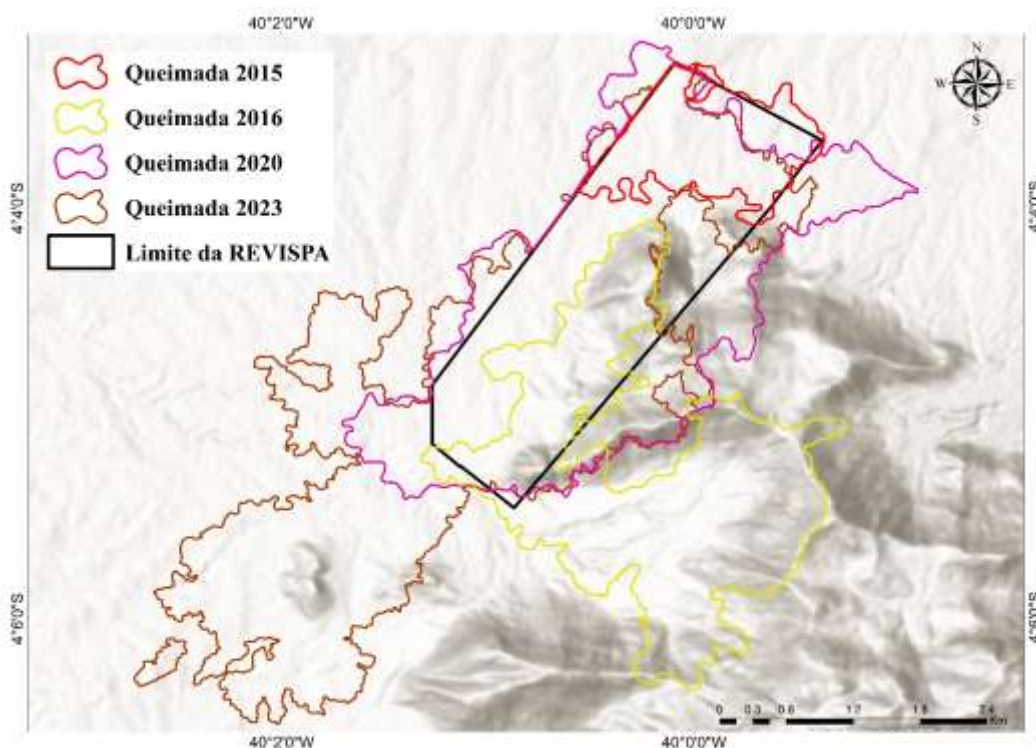
A cicatriz total do evento de 2020, com uma área de 860,47 ha, afetou 89,63% da reserva, tornando-se a maior cicatriz registrada dentro da reserva; esse evento se espalhou pela



zona oeste, sendo que é algumas áreas no Nordeste e no Sul não foram afetadas. Por fim, a cicatriz total do ano 2023 cobriu uma área de 1134,28 ha, afetando 79,89% da reserva; esse evento se espalhou pela zona sudoeste e algumas áreas no centro e noroeste não foram afetadas.

Por outro lado, houve uma área total acumulada de cicatrizes da REVISPA de 1011,97 ha nos quatro períodos de tempo analisados. Esses novos dados para 2020 e 2023 complementam os relatórios de área queimada de Araújo e Claudino-Sales, (2022).

Figura 4 – Localização das áreas queimadas no contexto do REVISPA

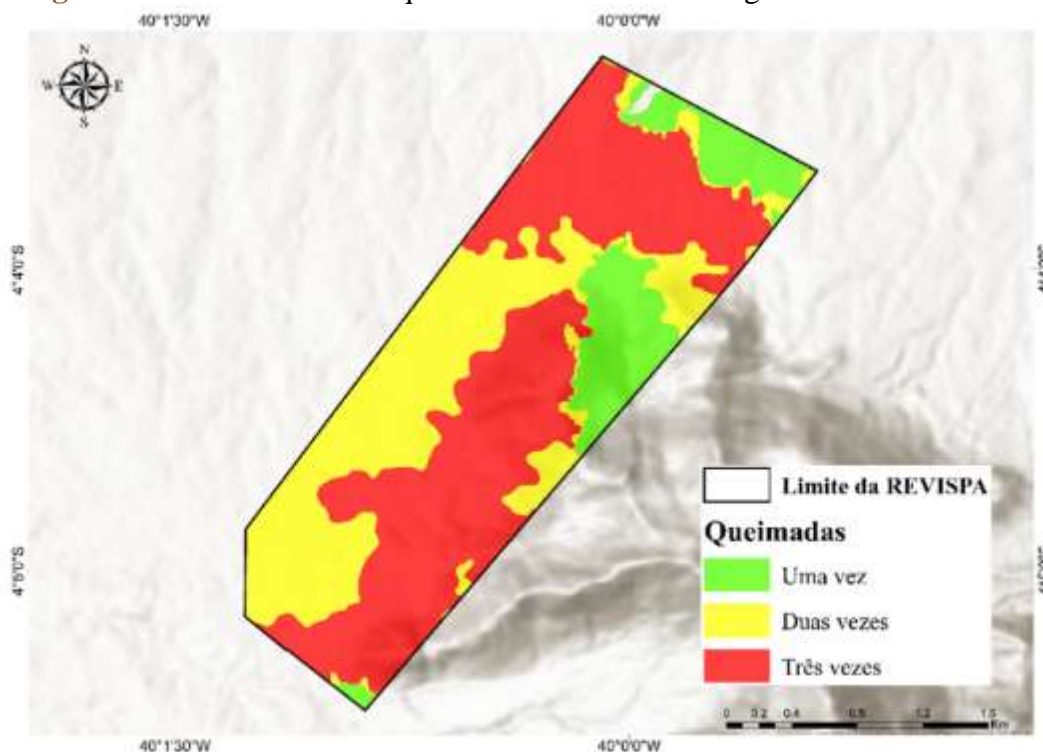


Fonte: Elaboração pelos autores (2023)

Foi determinado que 78,67 ha foram queimados pelo menos uma vez em áreas localizadas no Norte e no centro-leste (Figura 5). Além disso, constatou-se que 196,39 ha queimaram pelo menos duas vezes em áreas localizadas no centro e no Sudoeste. Por fim, pelo

menos 290,25 ha queimaram três vezes em áreas localizadas no Norte e no Sul nos quatro períodos analisados.

Figura 5 – Número de áreas queimadas em incêndios registrados da REVISPA



Fonte: Elaboração pelos autores (2023)

Dentro dos usos da terra relatados pelo MapBiomas, foi possível observar um aumento de 0,57% na formação campestre para o ano de 2020 (Tabela 5). Para o mesmo ano, o mosaico de usos da terra aumentou em 5,70%. Particularmente, a pastagem aumentou até o ano de 2022, com 6,61%, sendo o uso da terra mais representativo. A existência de outro tipo de vegetação da REVISPA se justifica porque, antes de se tornar uma reserva de proteção integral, ela pertencia a um particular que realizava atividades agrícolas na área (Milen; Caracristi; Monteneles, 2016).

A formação savânica é a cobertura natural que apresentou a maior área, com 84,74% para o ano de 2022. Predominam espécies xerófilas, distinguidas por características como a perda de folhas durante a estação seca, a extensão dessa vegetação varia, com espécies herbáceas em áreas deprimidas e arbustos e árvores próximas aos inselbergs, sendo os arbustos os mais predominantes (Milen; Caracristi; Monteneles, 2016). Da REVISPA possui 267



espécies de plantas vasculares distribuídas em 66 famílias e 176 gêneros (DIAS et al., 2021).

Tabela 5 – Áreas de cobertura e uso da terra da REVISPA

Cobertura	2015	%	2016	%	2020	%	2022	%
Formação Campestre	0	0	1.86	1.03	3.06	0.57	2.81	0.59
Formação Florestal	0	0	0	0.00	0.79	0.15	0	0
Formação Savânica	142.63	95.50	166.05	91.80	448.73	83.87	404.14	84.74
Mosaico de Usos	4.46	2.99	0.19	0.11	30.49	5.70	15.93	3.34
Outras Áreas não vegetadas	0.81	0.54	12.03	6.65	27.18	5.08	22.41	4.70
Pastagem	1.45	0.97	0.05	0.03	23.83	4.45	31.53	6.61
Rio, Lago e Oceano	0	0	0.71	0.39	0.95	0.18	0.11	0.02
Total	149.35	100	180.89	100	535.03	100	476.9	100

Fonte: Elaboração pelos autores (2023)

Índice de Queima Normalizado

Em 2015, a formação Savânica apresentou 12,93 ha de severidade baixa (Tabela 6). Para 2016, a mesma cobertura apresentou 0,27 ha de severidade moderada-baixa. As informações de severidade para esses anos relatadas por Araújo e Claudino-Sales, (2022) coincidem com a severidade moderada-baixa para 2015 e 2016. Porém, o autor encontrou outra classe relacionada a moderada-alta que difere dos resultados deste estudo.

Particularmente no ano de 2020, a formação campestre, savânica e mosaico de usos apresentou 2,46 ha de severidade moderada-alta, sendo o ano de maior afetação. Por outro lado, para o ano de 2022/23, a formação savânica apresentou 97,55 ha de severidade moderada-baixa, sendo essa cobertura a mais frequentemente afetada em eventos de fogo da REVISPA.

Tabela 5 – Severidade das queimadas para diferentes usos e coberturas da terra da REVISPA

Ano	Cobertura	Não queimado	Baixa	Moderado-baixa	Moderada-alta	Alta
2015	Formação Campestre	-	-	-	-	-
	Formação Florestal	-	-	-	-	-
	Formação Savânica	127.89	12.93	-	-	-



	Mosaico de Usos	4	0.2	-	-	-
	Outras Áreas não vegetadas	0.78	-	-	-	-
	Pastagem	1.18	0.04	-	-	-
	Rio, Lago e Oceano	-	-	-	-	-
	Total	133.85	13.17	-	-	-
Ano	Classes	Não queimado	Baixa	Moderado-baixa	Moderada-alta	Alta
2016	Formação Campestre	1.19	0.68	-	-	-
	Formação Florestal	-	-	-	-	-
	Formação Savânica	123.53	39.19	0.27	-	-
	Mosaico de Usos	0.11	-	-	-	-
	Outras Áreas não vegetadas	11.23	0.73	0	-	-
	Pastagem	0.04	-	-	-	-
	Rio, Lago e Oceano	0.7	-	-	-	-
	Total	136.8	40.6	0.27	-	-
Ano	Classes	Não queimado	Baixa	Moderado-baixa	Moderada-alta	Alta
2020	Formação Campestre	1.95	0.95	0.15	0.01	-
	Formação Florestal	-	0.79	-	-	-
	Formação Savânica	94.56	298.42	52.92	2.03	-
	Mosaico de Usos	4.86	23.08	1.97	0.42	0.01
	Outras Áreas não vegetadas	19.55	7.34	0.26	-	-
	Pastagem	7.21	14.05	2.33	-	-
	Rio, Lago e Oceano	0.87	0.08	-	-	-
	Total	129	344.71	57.63	2.46	0.01



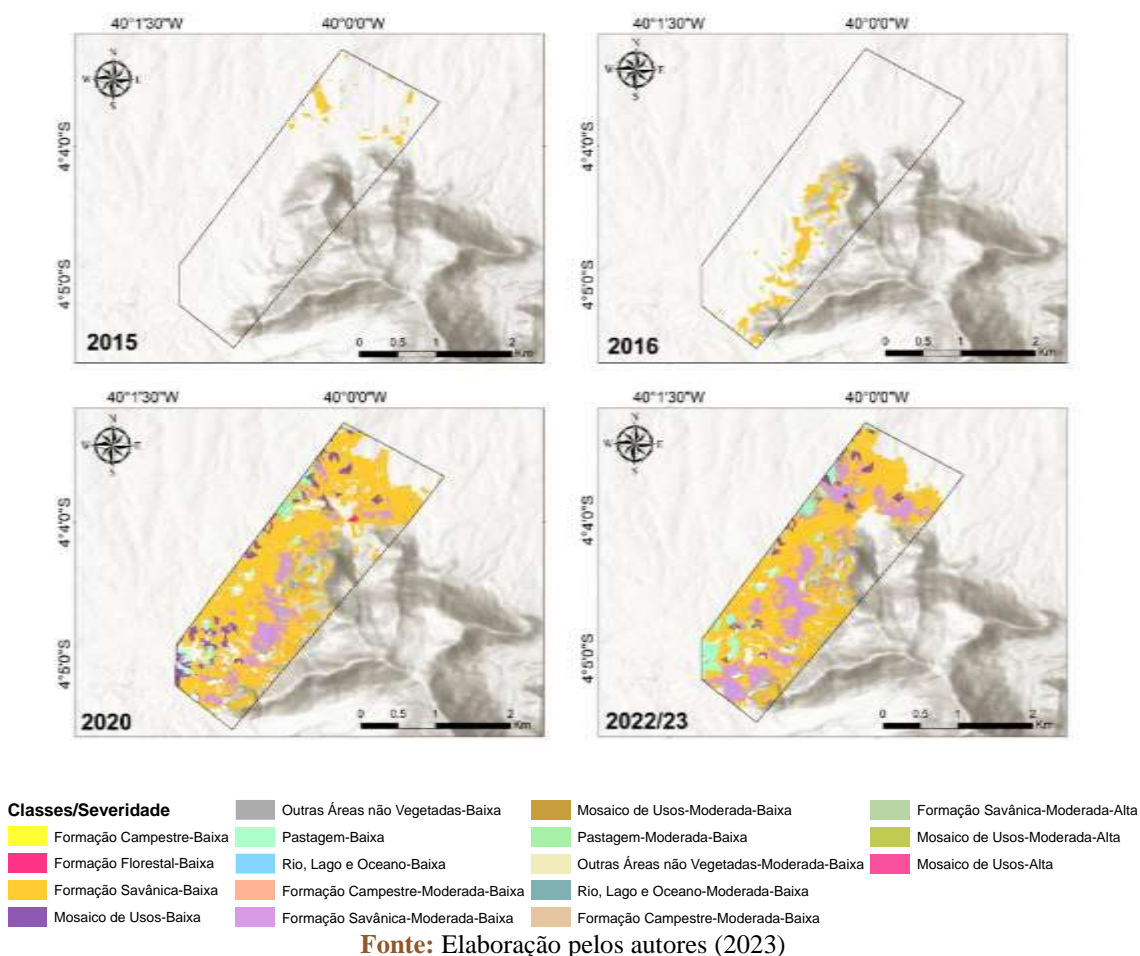
Ano	Classes	Não queimado	Baixa	Moderado-baixa	Moderada-alta	Alta
2022 /23	Formação Campestre	2.34	0.46	0.01	-	-
	Formação Florestal	-	-	-	-	-
	Formação Savânica	36.99	268.14	97.55	0.45	-
	Mosaico de Usos	1.31	11.23	3.27	0.03	-
	Outras Áreas não vegetadas	15.21	6.61	0.51	-	-
	Pastagem	3.62	24.5	3.18	-	-
	Rio, Lago e Oceano	0.08	-	-	-	-
	Total		59.55	310.94	104.52	0.48

Fonte: Elaboração pelos autores (2023)

A Figura 6, mostra a localização das coberturas da terra e a severidade das queimadas. Em 2015, a cobertura de formação savânica apresentou baixa severidade e estava localizada em pequenas manchas na área Nordeste da REVISPA. Da mesma forma, em 2016 a cobertura de formação savânica apresentou baixa severidade distribuída em fragmentos localizados na zona centro-sul da REVISPA.

Para o ano de 2010, a formação savânica apresentou severidade baixa e moderada-baixa, sendo a mais extensa do REVISPA, além disso, alguns usos de pastagens e mosaicos apresentaram severidade baixa localizados em manchas localizadas de forma heterogênea na área de estudo.

Figura 6 – Uso e cobertura da terra da REVISPA e severidade de queimadas



É relevante observar que o bioma Caatinga, especialmente durante as estações secas (segundo período do ano), tem apresentado historicamente uma maior concentração de focos de calor, de acordo com pesquisas anteriores (Alves et al., 2021). Esse padrão temporal e espacial na distribuição dos focos de calor destaca a necessidade de entender e abordar especificamente a dinâmica do fogo na região (Bello; Vasques Freitas; Maria Vieira, 2023).

Por outro lado, esta pesquisa evidenciou cicatrizes de incêndios para o período de estudo, porém, embora o estudo de Araújo; Claudino-Sales, (2022) tenha relatado os efeitos do fogo da REVISPA, não forneceu informações sobre o tamanho da área afetada, de modo que os resultados deste estudo ampliam a possibilidade de análises mais detalhadas.



A REVISPA, declarada em 2010, carece de um plano de manejo, colocando em risco seu valor natural pela ação do fogo, a falta de conscientização estruturada, juntamente com a escassez de pesquisas, evidencia a falta de atenção nessa área (Barros; Lima, 2019). Isso está representado no acúmulo de áreas afetadas pelo fogo que acumularam 1011,97 ha e na identificação de 290,25 ha de áreas que queimaram pelo menos 3 vezes, sendo as áreas localizadas no Norte e Sudeste as mais afetadas.

Este estudo determinou que a formação savânica é a cobertura mais afetada por incêndios com algum tipo de severidade, afirmação que coincide com a mencionada por Alves et al., 2021; Bello; Vasques Freitas; Maria Vieira, 2023) que afirmaram que a formação savânica domina a Caatinga, constituindo a cobertura natural mais propensa ao fogo que cobriram 79% das ocorrências de incêndios entre 1985 e 2022.

Os resultados desse estudo destacaram a concentração acentuada de focos de calor e áreas queimadas da REVISPA durante as estações secas, ressaltando a necessidade de abordar a dinâmica dos fogos na região. Além disso, destaca-se a importância deste trabalho para fornecer detalhes sobre o tamanho das áreas afetadas por fogos da REVISPA, complementando as informações limitadas de estudos anteriores.

CONCLUSÃO

A missão vital dos refúgios de proteger ambientes essenciais para a conservação dos recursos naturais está ameaçada pelo crescente número de incêndios florestais no Brasil. A intensificação dos eventos de fogo da REVISPA ressalta a urgência de abordar a questão.

A formação savânica constituiu a maior parte da paisagem da REVISPA e representou a cobertura natural mais vulnerável ao impacto do fogo. Essas descobertas enfatizam a necessidade iminente de implementar estratégias preventivas e de gestão eficazes para garantir a preservação de longo prazo desses valiosos ambientes naturais, cruciais não apenas para a biodiversidade local, mas também para a saúde do ecossistema como um todo.

Este estudo fornece resultados que podem ser fundamentais em relação a os fogos em áreas ambientalmente relevantes na região semiárida do Brasil. Além disso, essas descobertas podem servir como base valiosa para contribuir com a formulação do plano de manejo da REVISPA.



AGRADECIMENTOS

A autor principal agradece à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela bolsa concedida no âmbito do doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará e da chamada para a Primeira Edição do Programa de Mobilidade Internacional GCUB 001/2022.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. B.; Da SILVA, E. M.; De ARAÚJO, F. C.; SILVA, L. Um estudo de focos de calor no bioma Caatinga e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 513–527, 2021.

ARAÚJO, M.; De CLAUDINO-SALES, V. Análise temporal de dados de cobertura vegetal e ocorrência de incêndios na unidade de conservação refúgio da vida silvestre Pedra da Andorinha, Sobral-CE. **Revista Territorium Terram**, v. 5, n. 7, p. 133–151, 2022.

BARROS, Cristiane Saboia; LIMA, Ernane Cortez. Perspectivas de conservação pública: área de conservação ambiental municipal Pedra da Andorinha Taperuaba/Sobral – CE. **Revista Agraria Academica**, v. 2, n. 3, p. 33–46, 2019.

BELLO, Júlia Pereira; VASQUES FREITAS, Ana Carolina; MARIA VIEIRA, Eliane. Análise do risco de fogo para o bioma Caatinga. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 734–759, 2023.

BONTEMPO, G. C.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G.; DOULA, S. M.; SILVA, E.; JACOVINE, L. A. Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 247–263, 2011.

DI BELLA, C. M.; POSSE, G.; BEGET, M. E.; FISCHER, M. A.; MARI, N.; VERON, S. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. **Ecosistemas**, v. 17, n. 3, p. 39–52, 2008.

DIAS, M.; BEZERRA, E.; RIBEIRO, S.; CORTEZ, E.; FERNANDES, F. Uma proposta de classificação para a vegetação na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, Brasil. **International Journal of Geobotanical Research**, v. 10, n. 1, p. 127–152, 2021.

FONSECA, P. O. R. M.; LAMAS, I; KASECKER, T. O Papel das Unidades de Conservação. **Scientific American**, v. 39, p. 18–23, 2010.



KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, v. 18, n. 1, p. 116–126, 2009.

KEY, Carl H.; BENSON, Nathan C. Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods USDA Forest Service - General Technical Report. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/24066>. Acesso: 10 de outubro de 2019.

MILEN, A. F.; CARACRISTI, I.; MONTENELES, W. Caracterização geoambiental da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 1191–1200, 2016.

MORELLI, F.; SETZER, A.; CRISTINA, S. Focos de queimadas nas unidades de conservação e terras indígenas do pantanal, 2000-2008. **Geografia**, v. 34, p. 681–695, 2009.

MORSELLO, C. **Áreas protegidas públicas e privadas – seleção e manejo**. 2. Ed. São Paulo: Annablume, 2001.

PARKS, S. A.; DILLON, G. K.; MILLER, C. A new metric for quantifying burn severity: The Relativized Burn Ratio. **Remote Sensing**, v. 6, n. 3, p. 1827–1844, 2014.

PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; DE MEDEIROS, M. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do Cerrado. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 95–100, 2004.

RODRIGUES, W. F.; MAIA, R. P.; GOMES, D. D. Condicionamento morfoestrutural do Inselberg pedra da Andorinha, sertão norte do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 4, p. 862–876, 2019.

ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; TRIGG, S. N. Assessing the performance of the Normalized Burn Ratio. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, p. 112–116, 2006.

SAYLER, Kristi. Landsat 8-9 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide U.S. Geological Survey. Disponível em: https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1619_Landsat8-9-Collection2-Level2-Science-Product-Guide-v5.pdf. Acesso: 19 de outubro de 2023.

SOUSA, M. A.; MENDES, D. C.; NASCIMENTO, A. N.; LIMA, E. C. Caracterização geomorfológica da unidade de conservação refúgio de vida silvestre Pedra das Andorinhas, Taperauba Sobral – CE. **Revista Homem, Espaço e Tempo**, v. 13, n. 1, p. 35–45, 2019.



SOUZA, C. M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 1–27, 2020.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. Quantificação da severidade das queimadas e da perda de sequestro florestal de carbono em unidades de conservação do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 9, n. 1, p. 250–264, 2015.

VUOLO, F; ZÓLTAK, M.; PIPITONE, C.; ZAPPA, L.; WENNG, H.; IMMITZER, M.; WEISS, M.; BARET, F. Clement. Data service platform for Sentinel-2 surface reflectance and value-added products: System use and examples. **Remote Sensing**, v. 8, n. 11, p. 1–16, 2016.

HISTÓRICO

Submetido: 18 de dezembro de 2023.

Aprovado: 09 de maio de 2024.

Publicado: 15 de junho de 2024.

DADOS DOS AUTORES

Mauricio Alejandro Perea-Ardila

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Bolsista FUNCAP. Membro do Grupo de pesquisa em Geomática, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá D.C, Colômbia. Endereço para correspondência: Av. Humberto Monte, Campus PICI, Bloco 911, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP: 60440-554.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4561-0251>.

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8117892224218287>.

E-mail: mauricio.perea@alu.ufc.br.

Sebastian Isaías Muñoz

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Bolsista CAPES. Membro do Laboratório de Geomorfologia do Pós-Graduação em Geografia da UFC, Fortaleza, Ceará, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Humberto Monte, Campus PICI, Bloco 911, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP: 60440-554.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4348-5795>.

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2515002960063980>.

E-mail: geo.smunozv@gmail.com.

Carlos Henrique Sopchaki

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná UFPR. Professor permanente do Curso de Graduação em Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará UFC, Fortaleza, Ceará, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Humberto Monte, Campus PICI, Bloco 911, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP: 60440-554.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8127-4529>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6525495846940492>.

E-mail: carlos.geografia@ufc.br.

COMO CITAR O ARTIGO - ABNT

PEREA-ARDILA, Mauricio Alejandro; MUÑOZ, Sebastian Isaías; SOPCHAKI, Carlos Henrique. Caracterização de Áreas Queimadas Usando Sensoriamento Remoto no Refúgio Pedra da Andorinha, Sobral/CE. **Revista GeoUECE**, Fortaleza (CE), v.13, n.24, e202407, 2024.