

## **SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETECÇÃO DE QUEIMADAS NO CERRADO MARANHENSE: UMA APLICAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DO MIRADOR**

### **REMOTE SENSING TO DETECT BURNS IN CERRADO MARANHENSE: AN APPLICATION IN THE MIRADOR STATE PARK**

### **SENSORAMIENTO REMOTO PARA DETECCIÓN DE QUEMADURAS EN EL CERRADO MARANHENSE: UNA APLICACIÓN EN EL PARQUE ESTADUAL DEL MIRADOR**

Fabício Sousa da Silva

Geógrafo, Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Professor da Faculdade Pitágoras Campus Turú I, Analista Ambiental da Sec. de Meio Ambiente do Estado do Maranhão. Rua dos Búzios, Quadra 35, Lote 18, Calhau, São Luís-MA. CEP: 65071-700.

fabiciosousasilv@gmail.com

Adauto Luis Moraes Pestana

Especialista em Geoprocessamento, Analista Ambiental/ Encarregado Laboratório de Geoprocessamento da Sec. de Meio Ambiente do Estado do Maranhão. Rua dos Búzios, Quadra 35, Lote 18, Calhau, São Luís-MA. CEP: 65071-700.

adauto.pestana@gmail.com

Luanna Santos Martins

Bolsista de Graduação (2017-2018) do curso de Engenharia Ambiental - Faculdade Pitágoras. Rua dos Búzios, Quadra 35, Lote 18, Calhau, São Luís-MA. CEP: 65071-700.

luanna.vinhal@gmail.com

#### **RESUMO**

Este trabalho objetivou o mapeamento de queimadas no Parque Estadual do Mirador. Foram adquiridas 38 cenas do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do Landsat-8 (compreendendo os meses de maio à setembro de 2018). Para a extração das manchas de queimadas utilizou-se a matemática de bandas com Índice de Queimada por Diferença Normalizada (NBR) seguido de uma limiarização (queimada/não-queimada), baseada em fotointerpretação da composição R6G5B4 e dados de campo. Realizou-se uma validação estatística com os totais mensais das cicatrizes com os totais de focos obtidos no Banco de Queimadas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Os procedimentos metodológicos utilizados foram semiautomatizados através da programação em python para um formato de ferramenta. Através de análise dos índices de coberturas vegetais pós-queima, optou-se pela escolha do limiar de separabilidade como sendo  $>-0.100$ . Os meses de maior e menor quantitativo de queima foram, respectivamente, setembro (com 656 polígonos e uma área de 14.952,83 ha) e junho (com 42 polígonos e uma área de 176.75 há). A área queimada abrangeu 26.687 ha e apresentou uma correlação de 0,76 entre focos e cicatrizes, demonstrando a razoabilidade do limiar proposto para utilização no monitoramento das cicatrizes de queimada semestralmente para o Parque.

**Palavras-Chave:** Sensoriamento remoto; Landsat OLI-8; NBR; área queimada.

## ABSTRACT

The present work aimed the mapping of burn scars in Mirador State Park, through the use of OLI-8 sensor, band math and semi-automation of procedures. For this work, 38 scenes from the Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) sensor (from May to September 2018) were acquired. For the extraction of burn scars, we used the mathematics of bands with Normalized Difference Burn Index (NBR) followed by a threshold (burned / unburned), based on photo-interpretation of composition R6G5B4 and field data. Statistical validation was also performed with the monthly total scars and total foci obtained from the INPE Burning Bank (National Institute for Space Research). In order to automate the flow of procedures, the procedures were implemented by programming in python to a tool format. Through analysis of the post-burn vegetation cover indices, the separability threshold was chosen as  $> -0.100$ . The months with the highest and lowest quantitative burning were, respectively, September (with 656 polygons and an area of 14,952.83 ha) and June (with 42 polygons and an area of 176.75 ha). The total mapping of the burned area accounted for 26,687 ha and showed a correlation of 0.76 between foci and scars, demonstrating the reasonableness of the proposed threshold for use in monitoring burn scars every six months for the Park.

**Keywords:** Remote sensing; Landsat OLI-8; NBR; burned area.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo el mapeo de las cicatrices de quemaduras en el Parque Estatal Mirador, mediante el uso del sensor OLI-8, matemática de banda y semiautomatización de procedimientos. Para este trabajo, se adquirieron 38 escenas del sensor Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) (de mayo a septiembre de 2018). Para la extracción de las cicatrices de quemado, utilizamos las matemáticas de bandas con Índice de quemado de diferencia normalizada (NBR) seguido de un umbral (quemado / no quemado), basado en la fotointerpretación de la composición R6G5B4 y los datos de campo. La validación estadística también se realizó con las cicatrices totales mensuales y los focos totales obtenidos del INPE Burning Bank (Instituto Nacional de Investigación Espacial). Para automatizar el flujo de procedimientos, los procedimientos se implementaron mediante programación en python a un formato de herramienta. A través del análisis de los índices de cobertura vegetal post-quemado, el umbral de separabilidad fue elegido como  $> -0.100$ . Los meses con la quema cuantitativa más alta y más baja fueron, respectivamente, septiembre (con 656 polígonos y un área de 14,952.83 ha) y junio (con 42 polígonos y un área de 176.75 ha). El mapeo total del área quemada representó 26,687 ha y mostró una correlación de 0,76 entre focos y cicatrices, lo que demuestra la razonabilidad del umbral propuesto para su uso en el monitoreo de las cicatrices de quemaduras cada seis meses para el Parque.

**Palabras clave:** Teledetección; Landsat OLI-8; NBR; quemadura de cicatriz.

## 1 INTRODUÇÃO

O advento da tecnologia permitiu o avanço em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, no que se refere ao monitoramento dos acontecimentos na superfície terrestre, auxiliando estudos ambientais em grandes e pequenas escalas. Florenzano (2002) destaca que as imagens orbitais geradas a partir de plataformas orbitais possibilitam uma visão abrangente e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre e a realização de variados estudos, bem como a realização de comparativos, tendo, portanto, aplicação em várias áreas das ciências da terra.

No Brasil, são observados esforços na detecção e quantificação de extensas áreas atingidas por eventos de queima através de sensores óticos. Prudente e Rosa (2010) estimaram a área queimada na chapada dos Veadeiros, a partir de Sensores Óticos e índices de vegetação; Rosa e Ribeiro (2013) também utilizaram sensores óticos para mapear cicatrizes de queimadas no Parque Estadual de Vila Velha; Correia e Alencar (2013) analisaram a distribuição espacial de focos de queimadas obtidas por sensores óticos em unidades de conservação no Brasil; Morelli et al (2009) avaliaram os focos de queimadas ocorridos em terras indígenas no pantanal e seus agentes potencializadores, RIVERA-LOMBARDI (2003) avaliou a reincidência de queimadas e a permanência de cicatrizes em localidades do cerrado a partir de imagens óticas do sensor OLI-8.

A principal técnica para detecção remota de áreas atingidas por queimada tem sido o uso de índices normalizados (KEY; BENSON, 1999; CHUVIECO; MARTÍN; PALÁCIOS, 2002; TRIGG; FLASSES, 2001; SMITH; DRAKE; WOOSTER; HUDAK; HOLDEN; GIBBONS, 2007; LIBONATI et al., 2011) pois estes permitem discriminar informações de interesse com outros alvos espectralmente próximos, além de normalizar e/ou minimizar efeitos ligados a coleta de dados espaciais, como é o caso de interferências atmosféricas. Um desses índices é Índice de Queimada por Razão Normalizada (NBR), desenvolvido por Key e Benson (2006), e que considera para fins de detecção a diferença normalizada da reflectância dos canais do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MIR), pois nestes a matéria orgânica queimada é passível de identificação.

Nesse sentido, este trabalho objetivou identificar e quantificar, através de cenas orbitais, localidades atingidas por queimadas durante os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro do ano 2018 bem como sua estatística de correlação com os dados obtidos no banco de queimada do INPE, dentro dos limites do Parque Estadual do Mirador.

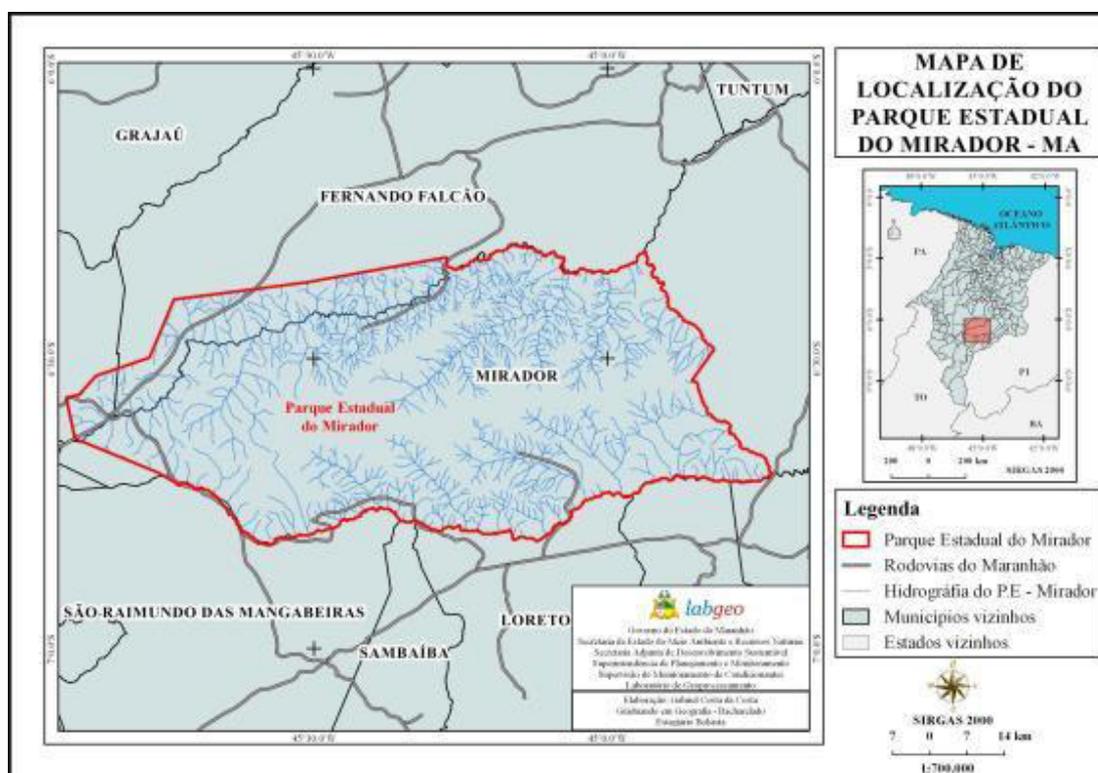
## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O Parque Estadual do Mirador é uma unidade de conservação estadual, instituída pelo Decreto 7641 de 04 de junho de 1980, localizada no sudeste do Maranhão e que atualmente possui 501204ha (disponível em <https://ucsdoma.sema.ma.gov.br/sample-apps/ucsdoma/>). Encravado no bioma cerrado, o parque localiza-se entre os municípios de Mirador, Fernando Falcão e São Raimundo das Mangabeiras, e o seu principal acesso se dá através da BR-230 (Figura 1).

Entre as principais características geoambientais destaca-se que os períodos de chuvas e estiagem são bem definidos, nos quais, segundo Barreto e Jesus (2018), entre maio e setembro, tem-se a estação seca onde a precipitação pluviométrica atinge até 60 mm, e este período é caracterizado como estiagem na região. Silva Júnior et al (2018) observou que no cerrado maranhense, entre os anos de 2000 e 2013, a maior ocorrência de queimadas se deu entre os meses de agosto e setembro, estes meses concentraram 77,23% das áreas atingidas pelo fenômeno.

**Figura 1** - Mapa de situação do Parque Estadual do Mirador.



Fonte: Costa, Gabriel da Costa (2019).

A cobertura vegetal local é do tipo savânica (Cerrado), conforme o sistema fisionômico-ecológico de classificação do IBGE (2012), sendo subdividida em arbóreas (Sa) e parque (Sp), além de pequenos trechos de gramíneo-lenhosa (Sg). A cobertura hídrica local é composta por dezenas de riachos, além das nascentes dos Rios Itapecuru e Alpercatas. Essa malha hídrica integra a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru, uma das mais importantes bacias hidrográficas do estado, que contribui no abastecimento da capital, São Luís, além de diversas cidades populosas situadas ao longo do curso do Rio Itapicuru, tais como Caxias, Codó, entre outras (Maranhão, 2013).

## 2.2 Materiais e métodos

Inicialmente, foram adquiridas 30 imagens do Sensor *Operational Land Imager* (OLI) do Landsat (nas bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio), referente às órbitas/ponto 220/64, 220/65, 221/64 e 221/65 para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro de 2018. Os dados foram adquiridos gratuitamente no portal do United States Geological Survey - USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Os valores do número digital do pixel (DN), presente nas faixas espectrais adquiridas, foram convertidos para valores físicos de reflectância da superfície, conforme Ponzoni e Santos (2008), visando obter as características espectrais dos alvos nas faixas escolhidas. Este processo foi realizado no módulo *TOA* (disponível no QGIS 2.18). Em seguida, procedeu-se com o cálculo do índice espectral NBR (Índice de Queimada Normalizada) para a detecção das cicatrizes de queimadas.

Desenvolvido por Key e Benson (2006), é um índice que considera duas faixas espectrais correspondentes ao infravermelho próximo (NIR) e ao infravermelho médio (MIR) (equação 1), pois nestas faixas, a banda do infravermelho médio apresenta baixa reflectância para matéria orgânica queimada (galhos e folhas) e alta reflectância para vegetação sadia, enquanto no infravermelho de ondas curtas, independentemente da situação da matéria orgânica presente na cobertura vegetal, ela apresenta altos valores de reflectância, o que permite normalizar estatisticamente o resultado e ressaltar localidades com matéria orgânica queimada.

$$NBR = \frac{P_{nir} - P_{mir}}{P_{nir} + P_{mir}} \text{ (Eq.1)}$$

Onde:

NBR = Índice de Queimada por Razão Normalizada variando de -1 a +1.

P<sub>nir</sub> = Faixa do infravermelho próximo.

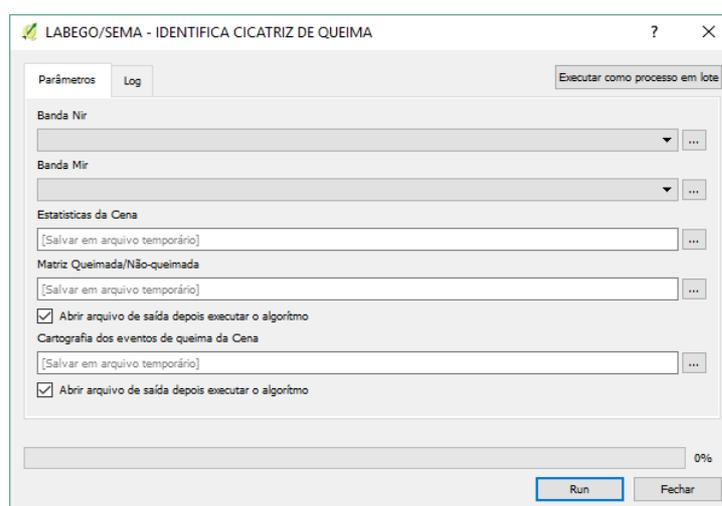
Pmir= Faixa do Infravermelho Médio ou Curto.

Em seguida, realizou-se uma limiarização com os valores NBR, visando identificar cicatrizes de forte intensidade associadas aos dias que antecederam a passagem do sensor para coleta da cena, conforme a proposição de Pessoa et al (2015). Esta limiarização foi realizada com base em dados de campo vistoriando cicatrizes apontadas por moradores locais, com acesso possível em diferentes coberturas vegetais. Esse procedimento foi realizado a partir do módulo *Saga raster* no QGis 2.18, considerando a seguinte expressão: “*if(NBR>X, Queima, Não-queima)*”.

Foi utilizada ainda, uma composição 6R5G4B visando identificar através de fotointerpretação, os fenômenos de queimada, de modo a verificar a extensão do evento bem como a intensidade e período dos eventos. Moreira (2012) enfatiza que esta combinação permite ressaltar bem elementos do uso e cobertura do solo.

As cicatrizes obtidas a partir da limiarização foram convertidas para um formato vetorial e logo após, contabilizadas as suas estatísticas. Todos os procedimentos realizados até esta etapa foram semiautomatizados, através da criação de uma ferramenta de análise, utilizando Python (figura 2). De acordo com Menezes (2015) python é uma linguagem de programação simples, mas poderosa para desenvolvimento de projetos. Atualmente, o QGis conta com um terminal dotado da capacidade de implementação nesta linguagem, e permite processamentos em massa. Conforme destaca QGIS (2019) este terminal possibilita a execução de complexas operações e modelos, através de operações adicionais característicos desta linguagem.

**Figura 2** - Janela da ferramenta de análise desenvolvida para a pesquisa.



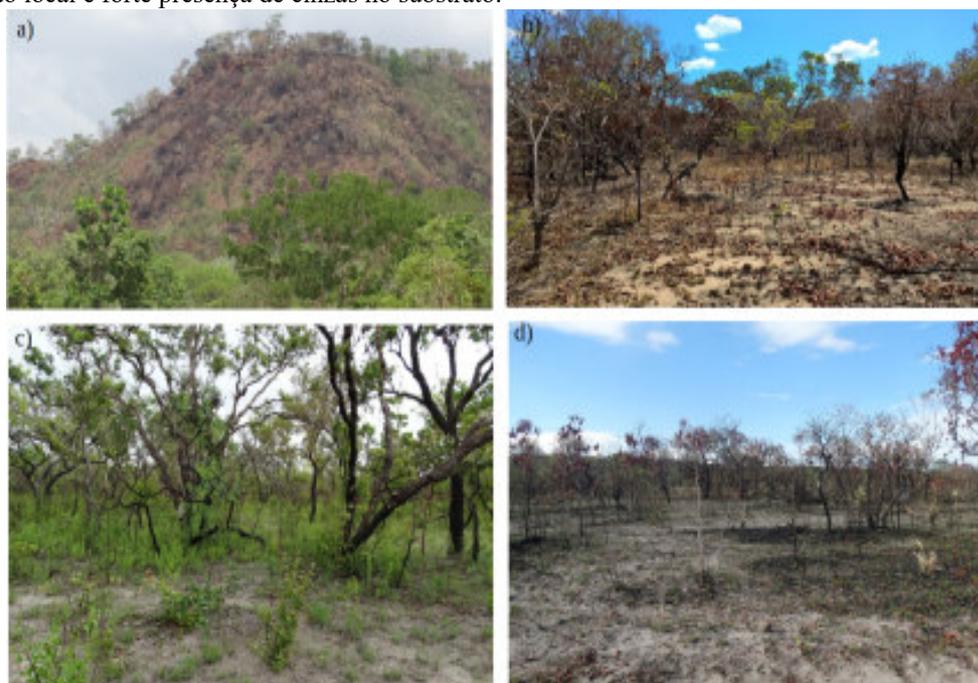
Foram adquiridos, através do Portal do Banco de Queimadas do INPE, focos de calor para a área de interesse, e para o intervalo de data supracitado, que foram sobrepostos ao

resultado do NBR. Com base nestes dois dados, realizou-se um comparativo estatístico entre as áreas atingidas por eventos de queima (cicatrices) e a quantidade de focos detectados no banco de queimadas do INPE.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um evento de queimada dentro do ambiente do cerrado sempre deixa vestígios de sua passagem. Henriques (2005) destaca que após o evento de queimada, ocorre no local um processo de regressão o qual conduz a localidade para o surgimento de uma formação mais aberta e cujo estrato dessa nova formação é marcado pela presença de gramíneas e diminuição da densidade arbustiva que antes existia. A incursão realizada nas dependências do Parque Estadual do Mirador, na primeira quinzena de novembro de 2018, com vistas a verificar o estado das cicatrizes de queimadas para os meses analisados possibilitou identificar um total de 53 localidades com diferentes estágios de queimada e em diferentes coberturas savânicas locais (Figura 3). Além da identificação das cicatrizes de queimada, foram observadas evidências do evento deixadas na forma de resíduos sólidos tais como é o caso do carvão, matéria orgânica queimada e na estrutura da vegetação alterada, vestígios já apontados por Pereira (2017).

**Figura 3** - Diferentes sinais resultantes de eventos de queima na área de estudo. (a) Registro em vertente na Serra do Itapicuru, ocorrido em cobertura caracteristicamente de savana arbórea; (b) Registro de queima em vegetação de savana arbórea em planície do Vale do Itapicuru; (c) Registro de área em recuperação em trecho de savana arbórea queimada em ano anterior; (d) Registro em trecho de savana parque, com destaque para o consumo dos indivíduos arbustivos do local e forte presença de cinzas no substrato.

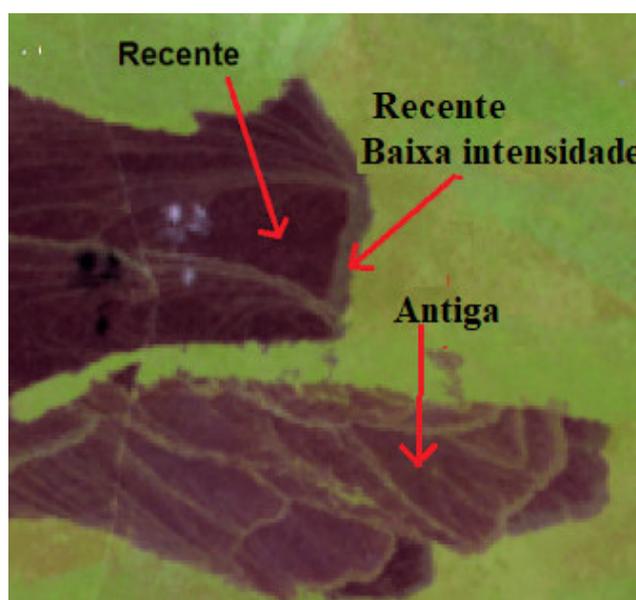


Fonte: Os autores

Frost e Robertson (1987) já destacaram que a intensidade do fogo também interfere nos sinais das queimadas nas imagens orbitais, de modo que quanto maior a intensidade, estes sinais tornam-se muito mais evidentes e duradouros. O autor destaca ainda que a dimensão da queima e de sua permanência, observável em imagens orbitais, é resultado direto do tipo de material combustível, quantidade desse material e condições climáticas na hora da ocorrência e pós-evento.

Na fotointerpretação das cenas compostas em R6G5B4, fora verificado que localidades queimadas, foram repetidamente detectadas nas cenas posteriores, porém em menor quantidade e/ou intensidade. Atribui-se este fator a forte presença de matéria orgânica incinerada durante os eventos de queima em localidades de vegetação com porte arbóreo composto por galhos e folhas, além do substrato vegetal, como é o caso de áreas de savanas arbórea, no topo da chapada central da Unidade. No que se refere ao comportamento histórico de chuvas entre os meses compreendidos na pesquisa, a permanência desse material incinerado no substrato vegetal tem o seu processo de degradação lento, tornando esta localidade com intensa reflectância por um período maior (figura 4). Outro destaque importante é que tal comportamento do fenômeno, na fotointerpretação, gera uma confusão entre queimada antiga e queimada atual de baixa intensidade.

**Figura 4** - Trecho de evento de queima no topo da serra do Itapicuru onde se verificam eventos de datas distintas com diferentes intensidades de reflectância de material queimado.



Fonte: Os autores.

Ao se verificar os valores médios do NBR para as localidades queimadas em diferentes coberturas vegetais, observou-se que pontos apresentaram valor total médio de -0.095 (Tabela 1).

**Tabela 1** - Distribuição dos valores de NBR para diferentes coberturas vegetais no local de estudo.

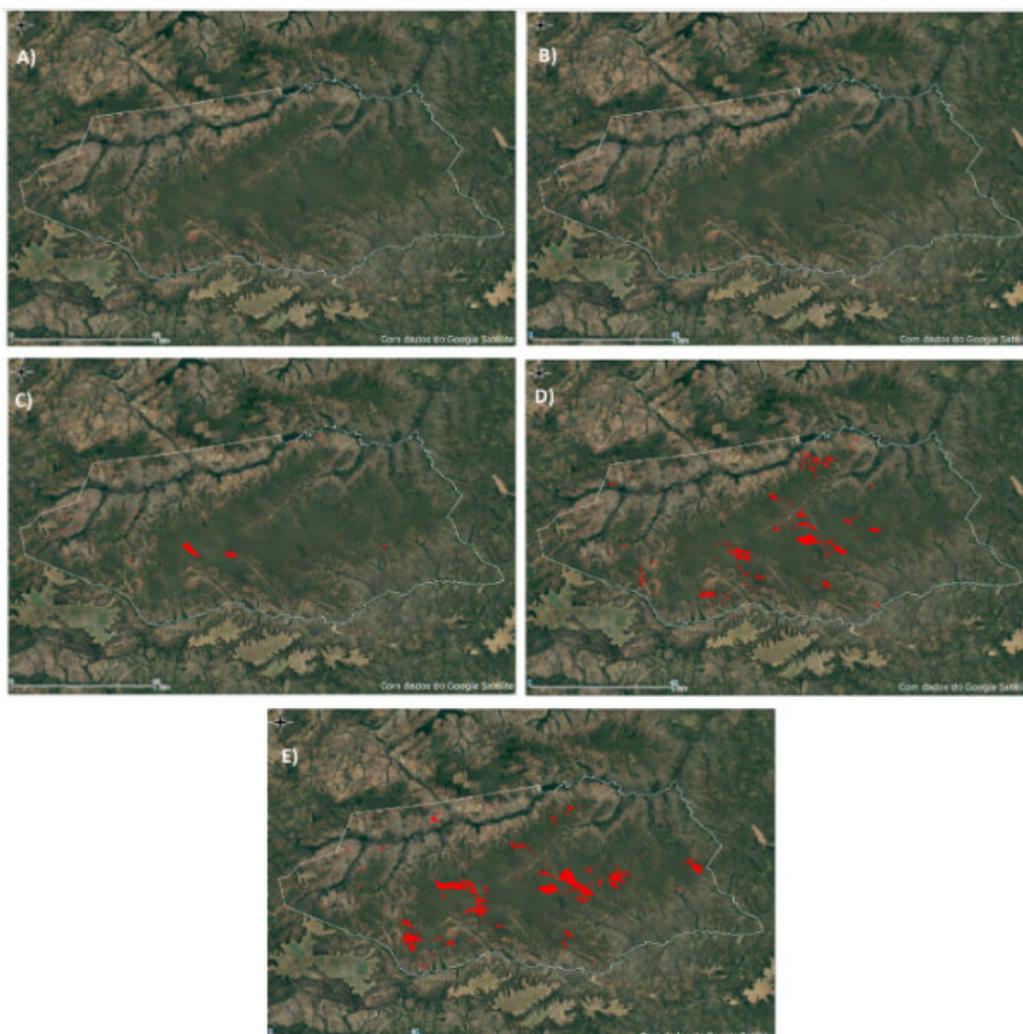
Tipo do evento	NBR Pós-fogo (Média)
Sa - Queima	-0.160
Sp - Queima	-0.063
Sg - Queima	-0.063

Fonte: Os autores.

Barros et al (2017), estudos no cerrado baiano, encontraram valores de alteração da cobertura vegetal associados à queima e desmatamento, com índices entre -0.116 e -0.255, um pouco da acima da média encontrada para todas as coberturas vegetais avaliadas neste trabalho. Diante de tais e, objetivando-se manter uma razoabilidade entre as características do evento de queima local, e dos apontados na literatura, escolheu-se o valor de  $> -0.100$  como sendo o limiar para separabilidade entre queimada e não queimada. Dadas às características de permanência da dos eventos de queima em cenas subsequentes, fora necessário realizar uma diferença, de modo a eliminar a duplicidade da cartografia.

Em termos quantitativos, o número de polígonos de cicatrizes dentro dos limites do Parque Estadual do Mirador apresentou o ápice no mês de agosto, no mês de setembro já se verifica um decréscimo no evento. Destaca-se que cartograficamente, as extensões de localidades atingidas também foram maiores, demonstrando que neste período da estiagem o evento amplia-se em frequência e intensidade (Figura 5).

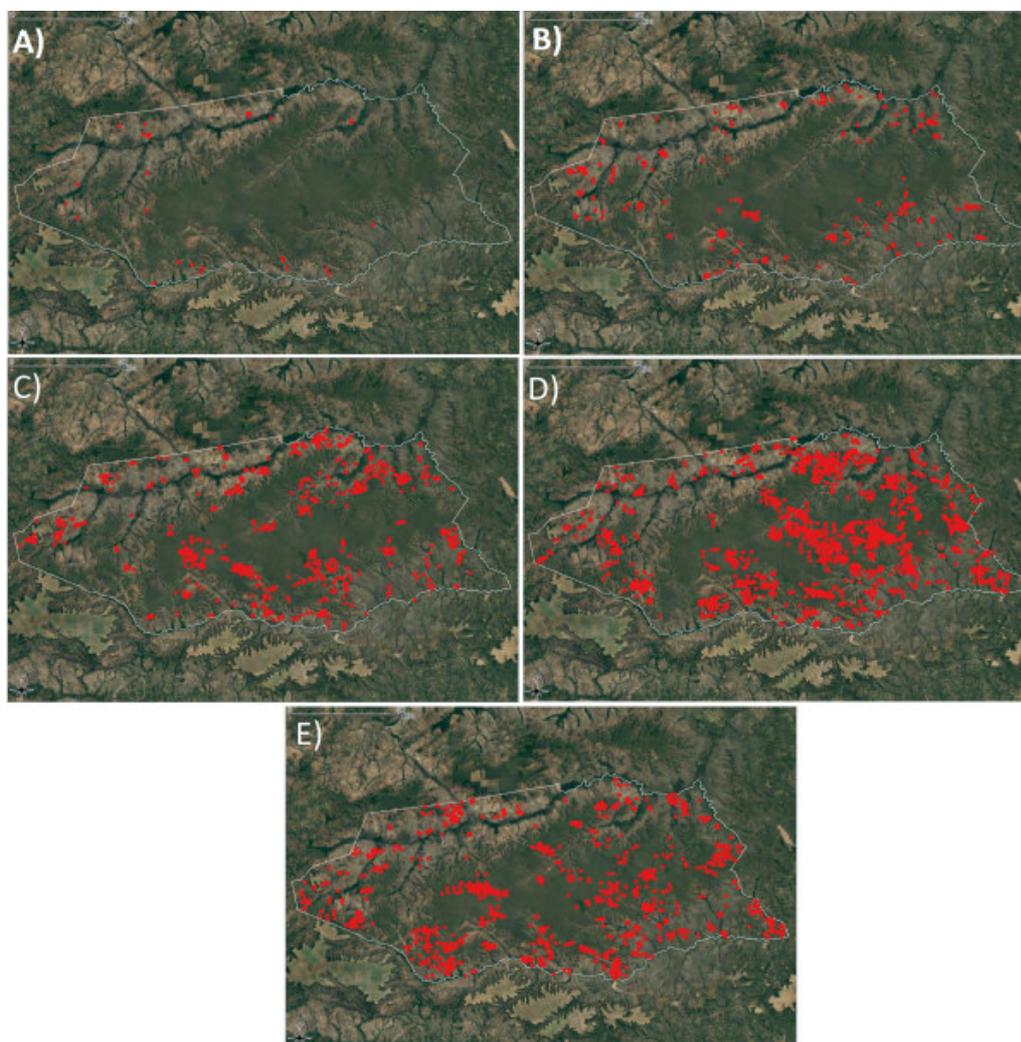
**Figura 5** - Distribuição das cicatrizes de queimadas. A – Maio com 42 polígonos (205,70 ha); B - Junho com 69 polígonos (176,75 ha); C - Julho com 132 polígonos (1.683,74ha); D - Agosto com 680 polígonos (9.876,28 ha) e; E -Setembro com 656 polígonos (14.952,83 ha).



Fonte: Imagens Google Satélite e cicatrizes de queimada, elaboração: os autores.

Do mesmo modo que as cicatrizes de queimadas obtidas a partir do  $NBR > -0.100$ , a quantidade de focos detectados pelo sistema de monitoramento de queimadas do INPE registrou a maior incidência dos eventos durante os meses de agosto e setembro (Figura 6).

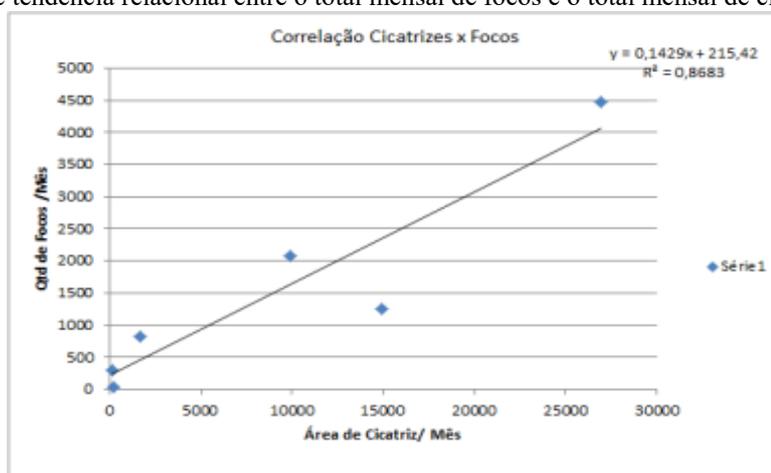
**Figura 6** - Distribuição do avanço de focos de queimadas INPE. A – Maio (31 Pontos); B- Junho (300 Pontos); C- Julho (827 Pontos); D-Agosto (2082 Pontos) e; E- Setembro (1264).



Fonte: Imagens Google Satélite e cicatrizes de queimada, elaboração: os autores.

Ao se analisar a quantidade de localidades detectadas pelo Programa de Monitoramento do INPE, percebe-se uma relação entre os meses de mínima e máxima ocorrência. O resultado da sobreposição de dados totais mensais, considerando focos pontuais de queimadas (fornecidos pelo INPE) e áreas com cicatrizes de queimadas (obtidas por análise NBR com o limiar aqui proposto) resultou em uma correlação 0,86, demonstrando uma relação positiva e concordância entre tais (Figura 7).

**Figura 7** - Gráfico de tendência relacional entre o total mensal de focos e o total mensal de cicatrizes.



Fonte: Os autores.

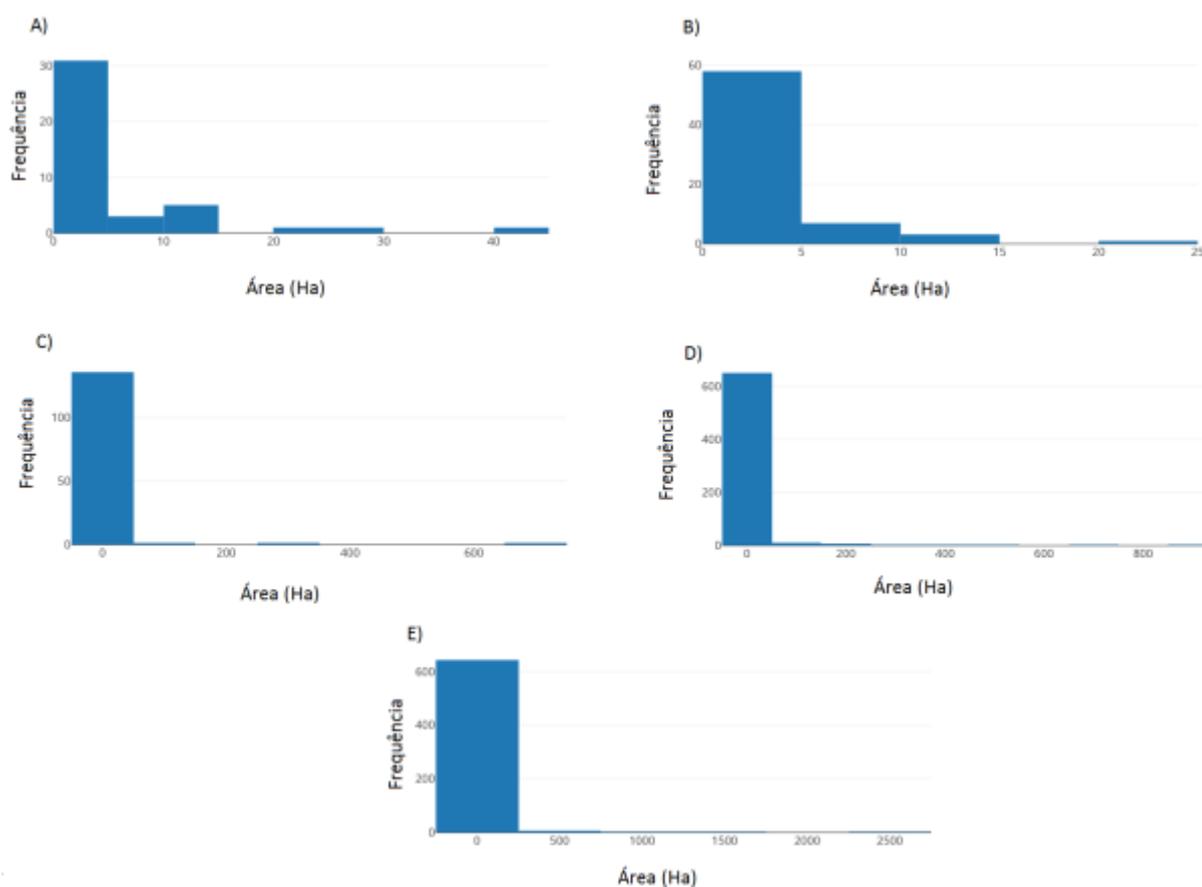
O valor de 0.86 decorre da estatística do mês de junho em que se observa o crescimento da quantidade de focos de queimada, mas uma leve diminuição na área da cicatriz do mês. Diante disso, entende-se que o evento relacionado ao mês de junho, embora tenha ocorrido em extensão menor que maio, tenha sido mais duradouro, o que por sua vez permitiu a identificação por meio dos focos de modo repetido, totalizando desta forma 300 eventos. Também é possível inferir que ocorreram eventos extensos, em termos de área, mas de rápida duração, como nos meses de agosto e setembro.

Para estes dados, duas considerações são importantes: a) os focos detectados pelo INPE são pontuais, não considerando para tanto a área/extensão do evento, além de considerarem também a reincidência do evento, uma que diferentes sensores podem detectar o mesmo evento, principalmente se estes se estendem em tempo; e b) a atual metodologia utilizada no programa, considera apenas áreas detectáveis aquelas a partir de 1 km, ao contrário dos 30 m do sensor OLI-8. É importante destacar ainda que, em estudos comparativos entre focos e cicatrizes de queimadas, Tomzhinski et al (2011) e Gontijo et al (2011) encontraram, respectivamente pouco mais de 77% e 84% de relação entre tais de modo que Gontijo Et Al (2011), destaca que queimadas superiores a 100 ha tiveram dificuldade em serem identificadas por este sistema composto por diferentes sensores. Embora existam estas limitações, é importante observar que este monitoramento se dá em escala temporal horária, ao contrário das cenas OLI-8.

No local estudado, fora observado que as cicatrizes dos eventos mostram que, inicialmente durante a estiagem, a frequência dos eventos e a dimensão destes apresentam-se em quantidade reduzida, fato que só pode ser observado a partir da obtenção das cicatrizes, uma vez que os focos identificam a ocorrência aproximada de um evento de modo pontual. A quantidade

de focos em uma determinada área pode sinalizar uma dimensão diferenciada do fenômeno no tempo observado. Também se verifica que, durante o avanço da estação seca, a frequência dos eventos e suas dimensões tornam-se assustadoramente maiores mantendo-se em valores próximos dos 100 ha (Figura 8).

**Figura 8** - Distribuição de frequência x tamanho da cicatriz de: A- Maio; B - Junho; C - Julho; D - Agosto, e; E - Setembro.



Fonte: Os autores.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do uso do índice de Queimada Por Diferença normalizada (NBR) demonstrou seu potencial na identificação de eventos de queimada e possibilitou, além da detecção, a sua quantificação e comportamento ao longo dos meses estudados.

Os resultados alcançados estão de acordo com o comportamento das queimadas observado por Silva Júnior et al (2018) para o cerrado maranhense, de modo que o maior quantitativo de focos e dimensões de áreas queimadas também estão entre os meses de agosto e

setembro.

Fora verificado que há uma correlação forte positiva entre a quantidade de focos detectados e as dimensões dos eventos de queima, de modo que o fator primordial para essa relação se refere a definição de um limiar satisfatório,  $> -0.100$ . O valor limiar por sua vez decorre da obtenção média do comportamento de queima nas diferentes coberturas vegetais, além de se manter uma razoabilidade com valores já descritos na literatura para o mesmo bioma.

Sem dúvidas, fatores como a biomassa e densidade da vegetação influenciam e devem ser considerados para essa limiarização, uma vez que a matéria orgânica queimada pode permanecer por dias sobre o solo, como no caso estudado, nos quais os valores apresentam-se suavemente próximos aos descritos por Barros et al (2017) no cerrado goiano.

É importante destacar que, por conta das especificidades do bioma cerrado no Maranhão, análises posteriores para identificar limiares de corte e graus de degradação vegetal, tornam-se necessários. A constante visita aos locais auxilia na manutenção de limiares próximos à realidade do evento, respeitando as peculiaridades locais da cobertura vegetal.

Embora se trate de procedimentos simples, estes procedimentos ao serem automatizados, possibilitam a geração de dados prévios, por diferentes usuários, para tomada de decisão parcial até a disponibilização de dados consolidados das plataformas oficiais do país como Deter-B. Destaca-se ainda que, o levantamento das cicatrizes de queimadas possibilita a manutenção de um banco de informações auxiliando não apenas a gestão da Unidade de conservação como também o comparativo com eventos futuros associados.

## **5 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão (SEMA), pelo apoio logístico durante a execução do trabalho, bem como à Superintendência de Biodiversidade e Áreas Protegidas da SEMA pelo apoio dentro da Unidade de Conservação.

## REFERÊNCIAS

BARRETO, H. N; JESUS, V. C. **Atlas Geográfico do Parque Estadual do Mirador**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão. São Luís. 2018.52 p.:il.

CORRÊA, C. R.; ALENCAR, R.C.C. Focos de Queimadas em Unidades de Conservação. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002, 100 p.

FROST, P. G. H.; ROBERTSON, F. The ecological effects of fire in savannas. Pp. 93-140. **In**: B.H. Walker (ed.). *Determinants of Tropical Savannas*. Oxford, IRL Press, 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, RJ. 2012, 271 p.

KEY, C.H.; BENSON, N.C.; (2006) Landscape Assessment (LA). **In** 'FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System'. (Eds DC Lutes, RE Keane, JF Carati, CH Key, NC Benson, LJ Gangi) USDA Forest Service, Rocky Mountains Research Station General Technical Report RMRS-GTR-164-CD. p. LA-1-55. (Fort Collins, CO)

**MANUAL DO USUÁRIO QGIS 2.18 Las Palmas – QGIS**. disponível em: [https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user\\_manual/plugins/python\\_console.html](https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user_manual/plugins/python_console.html). Acesso em : 20 de Maio de 2019.

MARANHÃO, Relatório Final do Macrozoneamento ecológico-econômico do estado do/ Mateus Batistella, Edson Luis Bolfe, Luiz Eduardo Vicente, Daniel Castro Victoria, Luciana Spinelli (org). - Campinas, SP. Embrapa Monitoramento por Satélite; São Luís; Embrapa Cocais, 2013. 325p.

MARANHÃO. **Decreto-Lei nº 7641 de 4 de Junho de 1980**. Diário oficial do estado do Maranhão, Poder Executivo, São Luís, MA.

MARANHÃO. **Decreto-Lei nº 78595 de 9 de Maio de 2008**. Diário oficial do estado do Maranhão, Poder Executivo, São Luís, MA.

MENEZES, N.N.C. **Introdução à programação com Python**. Santos, SP: Novatec, 1ª reimpressão, 2015, 327.

MORELLI, F.; SETZER, A.; JESUS, S.C. Focos de Queimadas nas Unidades de Conservação e Terras Indígenas do Pantanal, 2000-2008. **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.505-515, 2009.

PESSOA, O. A A.; BAPTISTA, G. M. M.; ALMEIDA,T.; MENESES, P. R.. Monitoramento da reflectância espectral após extinção do fogo e uma proposta para a detecção de áreas queimadas em vegetação campestre de Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.6, 67. p 1131-1143,

2015.

PONZONNI, F. J.; SANTOS, S. B.. Conversão de números digitais de imagens orbitais em valores de FRB de superfície. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.14, n.4, p.541-556, 2018

PRUDENTE, T. D.,; ROSA, R.; Detecção de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno. **Caminhos da Geografia**, v.11, n.35. p. 209-222, 2010

RIVERA-LOMBARDI, R. J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat**. 2003. 159 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

ROSA, W. S. S. da.; RIBEIRO, S. R. A. “Detecção e estimativa de área queimada entre o limite do Parque Estadual de Vila Velha – PR e sua zona de amortecimento mediante sensoriamento remoto”. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 1, p. 102 - 118, 2013.

SILVA JÚNIOR, C. H L.; ANDERSON, L.O; ARAGÃO, L. E, O.; RODRIGUES, B. D.; Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil-doi: 10.11606/rdg. V35i0. 142407. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. 35, n. 1, p. 1-14, 2018.

CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; PALACIOS, A. Assessment of different spectral indices in the red–near-infrared spectral domain for burned land discrimination. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p 5103–5110, 2002.

KEY, C. H.; BENSON, N.C. **The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity**. U.S. Department of the Interior, Northern Rocky Mountain Science Centre, 1999.

TRIGG, S.; FLASSE, S. An Evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, n. 13, p. 3161–3168. 2001.

SMITH, A. M. S.; DRAKE, N.A.; WOOSTER, M.J.; HUDAK A. T.; HOLDEN, Z. A.; GIBBONS, C.J. Production of Landsat ETM+ Reference Imagery of Burned Areas within Southern African Savannahs: Comparison of Methods and Application to MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 12. p. 2753-2775. 2007