

CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE QUEIMA NORMALIZADA - NBR E COBERTURA DE COPA NO PARQUE NACIONAL DE CHAPADA DOS GUIMARÃES – MT

Josamar Gomes da Silva Junior¹ - Antonio Carlos Batista²
Alexandre França Tetto³ - Marcos Giongo⁴

RESUMO: Existem várias ferramentas disponíveis para detectar e distinguir diferentes formas de uso do espaço, bem como mudanças ocorridas nele, fornecendo informações valiosas. O objetivo do presente trabalho foi verificar a correlação entre as Índice de Queimada Normalizada (NBR) e a Cobertura de Copa (CC). Desse modo, é possível entender se a CC pode ser considerada uma vulnerabilidade nos zoneamentos de riscos de incêndios florestais. A hipótese é que o NBR possa ser explicado pela CC. A área de estudo foi o Parque nacional de Chapada dos Guimarães (PNCG), localizado no estado do Mato Grosso, entre os municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães. O NBR e a CC foram obtidos da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), analisando-se um período de 20 anos, de 2000 a 2019 nos meses de julho a outubro. Foi aplicado o Mosaico Pixelar disponibilizado pela mesma plataforma. Esse processo caracteriza-se como um recurso da plataforma que faz uma varredura no conjunto de dados rasters para um período estabelecido. A extração dos pixels consistiu em obter os valores dos pixels das variáveis, usando-se uma rede de captura, denominada “fishnet” com 300 linhas e 300 colunas. Os dados faltantes foram preenchidos pela técnica de Imputação Múltipla. Os Outliers foram suavizados usando método BACON. O teste de normalidade usado foi de Kolmogorov-Smirnov e a correlação aplicada foi a de Spearman. A resposta espectral do índice pode ter sido influenciada pela senescência foliar ocorrida em espécies do bioma Cerrado nos períodos críticos de estiagem utilizados nesse estudo. Áreas de encosta, próxima a cursos d’água e de declivosas tiveram coberturas de copas com maior percentual. Foi obtida uma correlação positiva de $r = 0,77$ entre NBR e CC), podendo ser explicada pela presença de vegetação fotossinteticamente ativa principalmente em formações florestais de mata ripária. Essa relação leva em consideração fatores topográficos, proximidades de áreas úmidas e espécies vegetais Caducifólias do bioma cerrado onde o parque está inserido. Assim, a CC pode ser considerada uma variável de vulnerabilidade que pode ser usada no zoneamento de risco de incêndios florestais do PNCG.

Palavras-chave: google earth engine, incêndios florestais e mosaico pixelar

CORRELATION BETWEEN THE NORMALIZED BURNING INDEX - NBR AND CANOPY COVERAGE IN CHAPADA DOS GUIMARÃES NATIONAL PARK – MT

ABSTRACT: There are several tools available to detect and distinguish different ways of using space, as well as changes that have occurred in it, providing valuable information. The objective of the present work was to verify the correlation between the Normalized Burn Index (NBR) and the Canopy Coverage (CC). Thus, it is possible to understand if CC can be considered a vulnerability in forest fire risk zoning. The hypothesis is that NBR can be explained by CC. The study area was the Chapada dos Guimarães National Park (PNCG), located in the state of Mato Grosso, between the municipalities of Cuiabá and Chapada dos Guimarães. The NBR and CC were obtained from the Google Earth Engine (GEE) platform, analyzing a period of 20 years, from 2000 to 2019 in the months of July to October. The Pixelar Mosaic provided by the same platform was applied. This process is characterized as a platform feature that scans the raster data set for a set period. Pixel extraction consisted of obtaining the pixel values of the variables, using a capture net called “fishnet” with 300 lines and 300 columns. Missing data were filled in using the Multiple Imputation technique. Outliers were smoothed using the BACON method. The Kolmogorov-Smirnov test was used for normality and the Spearman correlation was applied. The spectral response of the index may have been influenced by leaf senescence that occurred in species from the Cerrado biome during the critical periods of drought used in this study. Slope areas, close to watercourses and slopes had a higher percentage of canopy cover. A positive correlation of $r = 0.77$ was obtained between NBR and CC), which can be explained by the presence of photosynthetically active vegetation, mainly in riparian forest formations. This relationship considers topographical factors, proximity to wetlands and deciduous plant species from the cerrado biome where the park is located. Thus, the CC can be considered a vulnerability variable that can be used in the wildfire risk zoning of the PNCG.

Keywords: google earth engine, wildfires and pixel mosaic

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, e-mail: josamargomes@yahoo.com.br. Correspondente: Av. Prefeito Lothário Meissner, 632, Laboratório de Incêndios Florestais, Jardim Botânico, Curitiba - PR, 80210-170.

² Professor Doutor, Titular (DE), da Universidade Federal do Paraná - programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Campus Curitiba- PR, (UFPR/DECIF) –e-mail: batistaufpr@gmail.com

³ Professor Doutor, Associado (DE), da Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Campus Curitiba- PR, (UFPR/DECIF), e-mail: tetto@ufpr.br

⁴ Professor Doutor, Associado (DE), da Universidade Federal do Tocantins, decurso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Campus Palmas - TO, (UFT/CEMAF), e-mail: mgiongo@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais surgem de eventos naturais ou da ação humana. Geralmente, eles são iniciados por raios, queima de resíduos, gases liberados por escapamentos de máquinas e equipamentos, queimadas em áreas agrícolas, cigarros descartados de forma negligente e incêndios criminosos. Portanto, essa questão envolve diversos aspectos interligados em suas consequências e desdobramentos (SOUSA et al., 2021).

Existem várias ferramentas disponíveis para detectar e distinguir diferentes formas de uso do espaço, bem como mudanças ocorridas nele, fornecendo informações valiosas. Atualmente, o geoprocessamento permite a análise do território observado, utilizando imagens de satélite para obter uma visão geral em várias épocas de grandes áreas da superfície terrestre (TORRES et al., 2017).

O Índice de Queimada Normalizada (NBR) é um indicador espectral desenvolvido para detectar áreas queimadas e avaliar a severidade dos incêndios, sendo o primeiro índice a utilizar a faixa do infravermelho médio (KEY e BENSON, 1999). É importante destacar que essa região do espectro é altamente absorvida pela água presente no solo ou na vegetação, portanto, quando ocorre um incêndio e há redução da umidade, a reflectância aumenta, resultando em valores mais baixos de NBR (CHUVIECO, 1999).

O objetivo do presente trabalho é verificar se existe correlação entre as Índice de Queimada Normalizada (NBR) e a Cobertura de Copa (CC). Assim será possível entender se a CC pode ser considerada uma vulnerabilidade nos zoneamentos de riscos de incêndios florestais.

A hipótese é que o Índice de Queimada Normalizada (NBR) possa ser explicado pela Cobertura de Copa (CC) no Parque nacional de Chapada dos Guimarães (PNCG).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo foi o Parque Nacional de Chapada dos Guimarães (PNCG), localizado no estado do Mato Grosso, entre os municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, Figura 1 (BRASIL, 1982).

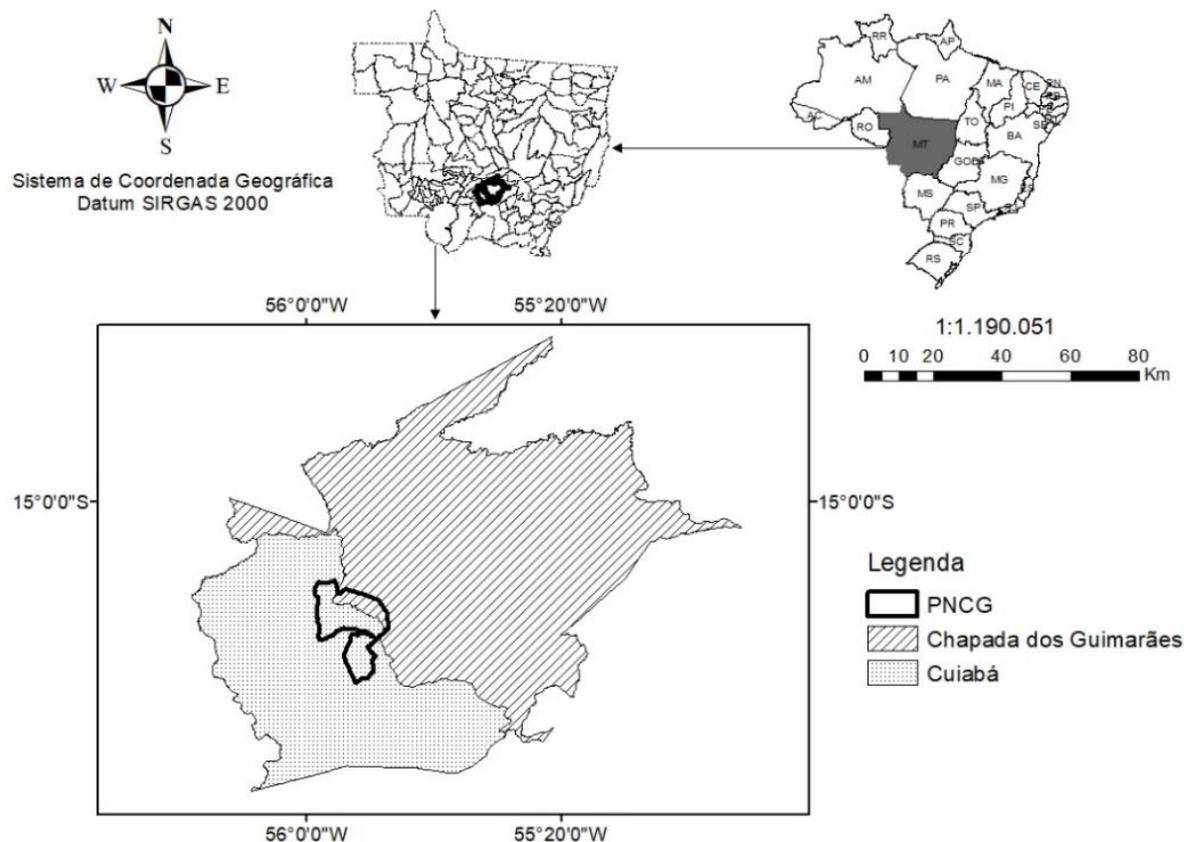


FIGURA 1. Localização do PNCG. Fonte: autor (2023).

A área do parque está inserida 61,2% no município de Cuiabá e 38,8% no município de Chapada dos Guimarães. O PNCG foi criado a partir do decreto nº 97656 de 12 de abril de 1989 e possui uma área de 32630-ha ou 326,30 km² IBAMA (2002).

O clima do local é de transição devido as diferenças de altitude nas regiões da depressão Cuiabana e do Planalto (IBAMA, 1995). Pela classificação de Köppen o clima está inserido no tipo Aw para o município de Cuiabá e Cw, para o município de Chapada dos Guimarães.

Obtenção dos dados e período estudado

O NBR e a CC foram obtidos da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) através das coleções relacionadas na Tabela 1, onde considerou-se a área de influência os vértices presentes no plano de manejo do parque (ICMBIO, 2009) avaliando-se 20 anos de dados entre os anos 2000 e 2019. Os meses de obtenção dos dados foram de julho a outubro, a partir das informações de Soares et al. (2017) e Machado Neto (2016), que observaram que a maioria das ocorrências dos incêndios florestais ocorreram entre os meses de julho e outubro.

Tabela 1. Caracterização dos Dados

Variáveis	Tipo	Coleções GEE/INPE	Descrição	Limites	Unidades	Resolução Espacial (m)
NBR	Raster	<i>USGS Landsat 7 Collection 1 Tier 1 and Real-Time data TOA Reflectance</i> ²	Índice de Queima Normalizada	-1 a 1	µm	30
CC	Raster	<i>Hansen Global Forest Change v1.7 (2000-2019)</i>	Fechamento do dossel para toda a vegetação com mais de 5 m de altura.	0 a 100	%	30,92

Na obtenção dos dados foram aplicados os filtros dos meses de maiores ocorrência de incêndios florestais pelo GEE e foi aplicado o Mosaico Pixelar disponibilizado pela mesma plataforma. Esse processo caracteriza-se como um recurso da plataforma que faz uma varredura no conjunto de dados rasters para um período estabelecido.

Esse conjunto de dados passa por uma verificação de pixels “defeituosos” por problemas atmosféricos, erros no sensor do satélite etc. Por fim os pixels problemáticos são substituídos por outros com características próximas, porém normais. Desse modo, o estudo utilizou a média da composição dos rasters no período estudado, utilizando o Mosaico Pixelar (OLIVEIRA, 2016).

Índice de Queima Normalizada – NBR

A área queimada apresenta um comportamento espectral da vegetação alterado devido à perda de biomassa, ao aumento da temperatura, às mudanças na transpiração e à presença de resíduos queimados. Essas modificações podem ser analisadas nas faixas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Utilizando essas faixas espectrais, o cálculo do índice NBR é realizado para quantificar a severidade do fogo antes e depois do incêndio, conforme a equação proposta por Key e Benson (1999):

$$NBR = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$$

Sendo:

NIR: Infravermelho Próximo banda 4 *Landsat 7*, obtido e processado no GEE;

SWIR1: Infravermelho de Ondas Curtas banda 7 *Landsat 7*, obtido e processado no GEE.

Extração dos Pixels

A extração dos pixels consistiu em obter os valores dos pixels das variáveis. Usou-se o software *ArcGIS* (ESRI, 2019) cortando primeiro as variáveis, ou rasters, com o vetor da área de influência do PNCG. Em seguida criou-se uma rede de captura, denominada “*fishnet*” no software, que são camadas retangulares com pontos no centro que serviram como referência na extração, usando-se para essa função 300 linhas e 300 colunas. Com a rede de captura criada, usou-se a ferramenta “*Extract Multi Values to Points*” para extrair os valores dos pixels das

variáveis. Desse modo, com os valores extraídos transformou-se os dados em planilha no formato “.xls” que foram usados para as análises estatísticas.

Dados faltantes

Os dados faltantes foram preenchidos pela técnica de Imputação Múltipla – IM (RUBIN, 1987). As imputações foram realizadas usando-se o *Predictive Mean Matching* – PMM, onde os parâmetros são inferidos a partir de uma distribuição a posteriori própria. A análise computacional dos dados faltantes foi realizada com o software *R Cran* com os pacotes *Mice*, *Skimr* e *Visdat*. Assim foi possível gerar tabela, gráficos e substituir os dados faltantes da pesquisa (R CORE TEAM, 2022).

Outliers

Os Outliers foram suavizados usando método desenvolvido por Billor et al., (2000) que é um algoritmo de busca para frente chamado BACON - *Blocked Adaptive Computationally-Efficient Outlier Nominators*, que é usado para detectar outliers multivariados

A análise de correção dos outliers foi realizada com o software *R Cran* (R CORE TEAM, 2022) usando o pacote *robustX*. Com esse pacote foi possível calcular as distâncias de *Mahalanobis* e, desse modo minimizar os outliers dos dados de pixels da pesquisa.

Teste de Normalidade e Matriz de Correlação

O teste de normalidade usado foi de Kolmogorov-Smirnov e a correlação aplicada foi a de Spearman, conforme metodologia utilizada por Ferreira (2021), cujo fluxograma está apresentado na Figura 2.

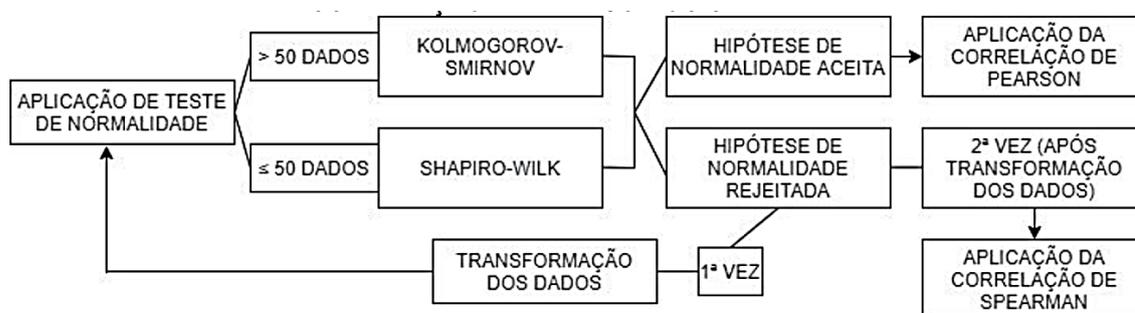


FIGURA 2. Fluxograma de Procedimentos do Teste de Normalidade e Escolha da Análise de Correlação. Fonte: Ferreira, 2021.

Na transformação dos dados utilizou-se a fórmula:

$$Dt = \frac{\bar{x}}{\sigma}$$

Dt: Dados transformados;

\bar{x} : Média aritmética;

σ : Desvio padrão.

O teste de normalidade e a correlação foram realizados no *software R Cran* (R CORE TEAM, 2022). Usando o pacote *Performance Analytics* foi possível gerar o gráfico de correlação das variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Índice de Queima Normalizada variou de -0,13 a 0,77 Figura 3. A resposta espectral do índice pode ter sido influenciada pela senescência foliar ocorrida em espécies do bioma Cerrado nos períodos de estiagem críticos utilizados nesse estudo. Souza e Vale (2019), relacionaram as limitações hídricas à perda foliar mais acentuada, tornando o ambiente mais suscetível a incêndios florestais. Essa relação pode estar relacionada a senescência foliar das espécies florestais do cerrado que perdem as folhas para não perder mais água para o ambiente seco.

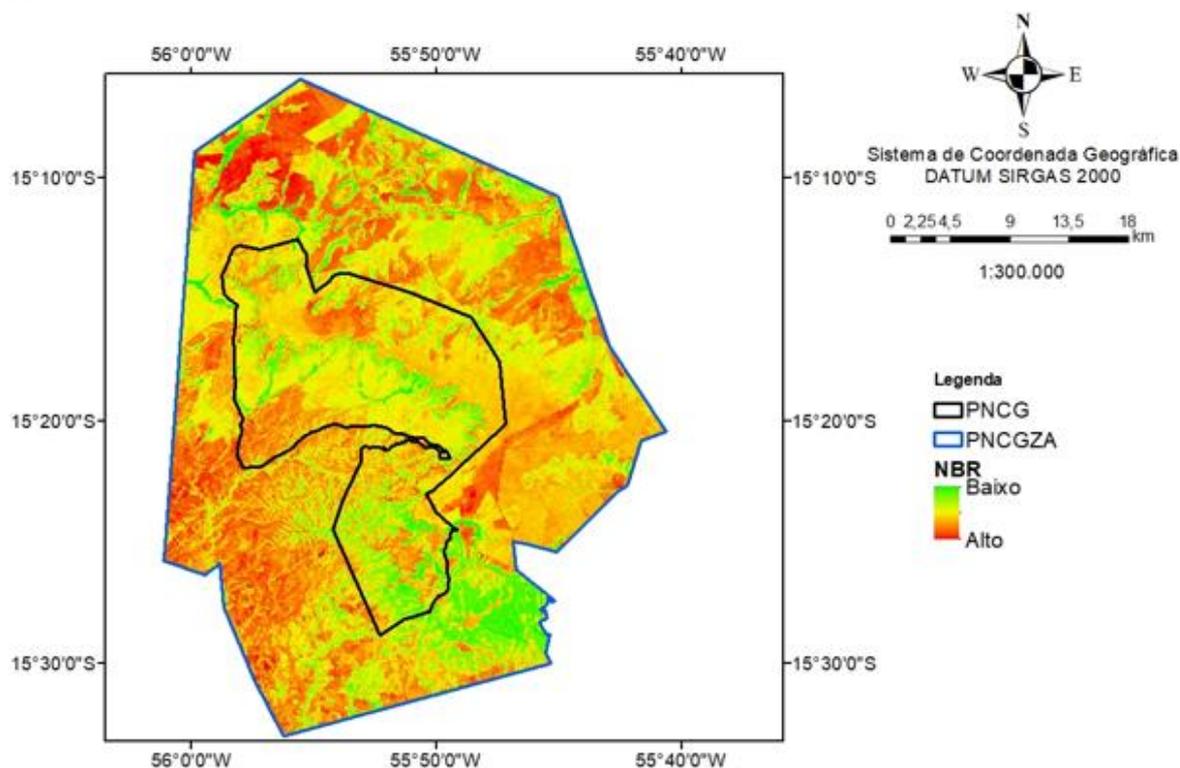


FIGURA 3. Índice de Queima Normalizada Obtido pelo GEE para O PNCG no Período de 2000 a 2019.
Fonte: Autor (2023)

Os valores dos indicadores estatísticos, incluindo desvio padrão (*sd*) e quartis (*q*) estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Indicadores Estatísticos Índice de Queima Normalizada Obtido Pelo GEE Para o PNCG no Período de 2000 a 2019.

Variável	Mediana	Média	sd	Mín.	Máx.	q.25	q.50	q.75
NBR	19	0,29	0,16	-0,13	0,77	0,17	0,27	0,38

FONTE: O autor (2023).

A Cobertura de Copa teve uma variação de 0 a 100% (Figura 4). Áreas de encosta, próxima a cursos d'água e de relevo acentuado tiveram coberturas de copas com maior percentual. Isso pode ser explicado pelo trabalho de Braun (1962), que concluiu que além da

vegetação, os valores de taxas hídricas encontradas nesses tipos de formações geológicas favorecem o acúmulo de água por gravidade que resulta em microclima favorável. Esse microclima favorável resulta em um índice de risco de incêndio florestal menor que em outras formações geológicas e de vegetação.

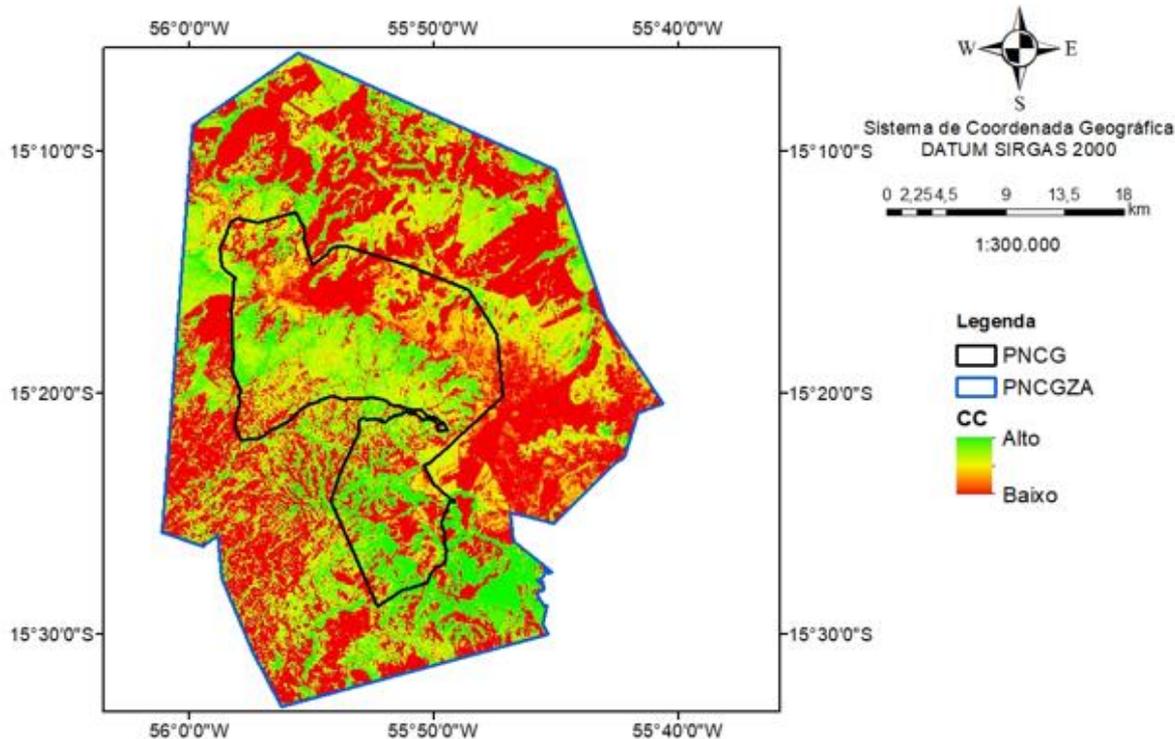


FIGURA 4. Cobertura de Copa obtida pelo GEE para o PNCG no período de 2000 a 2019. Fonte: Autor (2023)

Os valores dos indicadores estatísticos incluindo desvio padrão (*sd*) e quartis (*q*) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Indicadores Estatísticos da Cobertura de Copa Obtida Pelo GEE para o PNCG no Período de 2000 a 2019.

Variável	Mediana	Média	sd	Mín.	Máx.	q.25	q.50	q.75
NDDI	19	30,13	32,94	0	100	0	19	53

Fonte: O autor (2023).

O histograma com densidade dos dados de índice de Queima Normalizada (NBR) está presente na Figura 5A. A correlação entre o NBR e a Cobertura de Copa (CC) foi de 0,77 com *p*-valor abaixo de 0,001 (Figura 5B). O estudo obteve 57795 observações para cada variável (NBR e CC) no período estudado de 20 anos e a correlação dos dados possui uma tendência linear (Figura 5C). O histograma com densidade dos dados de CC está apresentado na Figura 5D.

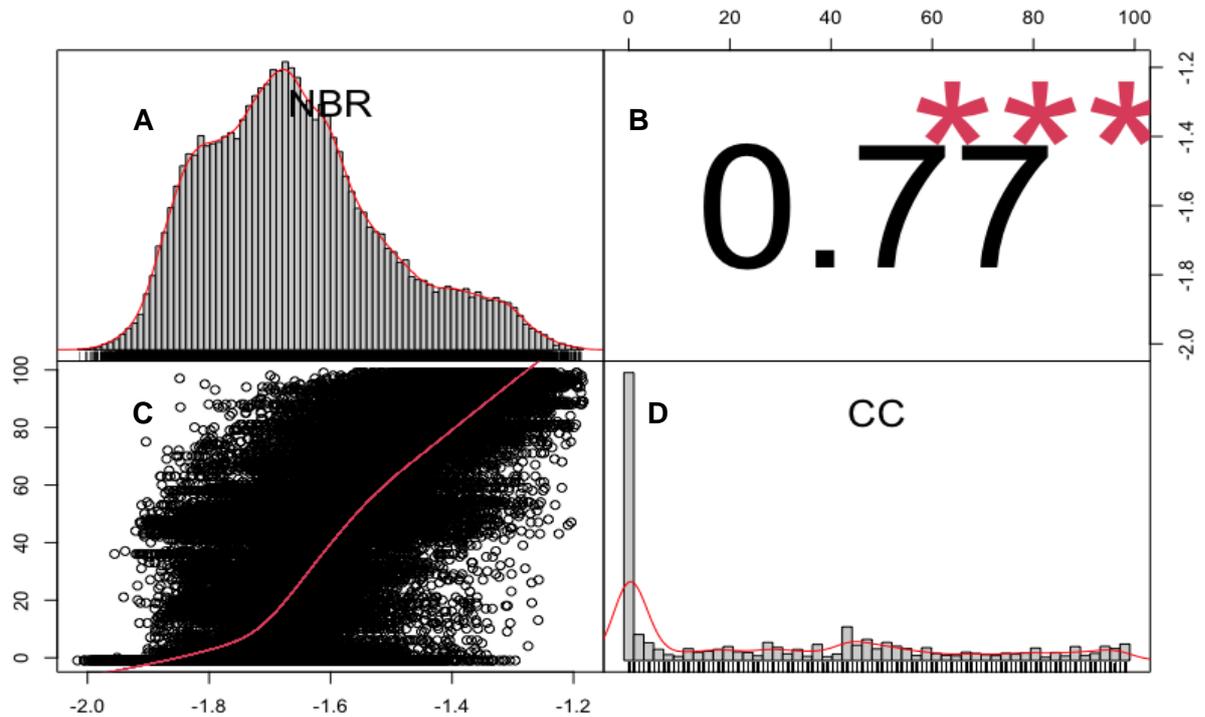


Figura 5. Gráficos e dados Estatísticos da correlação estatística do índice de Queima Normalizada e Cobertura de Copa Obtida Pelo GEE para o PNCG no Período de 2000 a 2019. Fonte: Autor (2023). A - Histograma do Índice de Queima Normalizada, B - Coeficiente de correlação com ρ -valor abaixo de 0,001, C - Gráfico de dispersão da correlação entre Índice de Queima Normalizada e Cobertura de Copa, D - Histograma da Cobertura de Copa.

A correlação positiva entre NBR e CC ($r = 0,77$) pode ser explicada pela presença da vegetação fotossinteticamente ativa, principalmente em formações florestais de mata ripária. Esse mesmo resultado foi encontrado por Lotufo *et al.* (2020). Vale lembrar que valores de NBR menores que -1 indicam respostas de queima ou incêndios. Nesse sentido quanto maior a CC maior também será o NBR indicando menores respostas espectrais referente a áreas queimadas. Assim áreas com baixas coberturas de copas resultam em risco de incêndios florestais maiores.

Segundo Freire (2005), Matas Ripárias e de Galeria tem características lineares acompanhando os rios e córregos, onde as copas abertas são atribuídas às Matas Ripárias e às copas fechadas das Matas de Galerias. O estudo realizado pelo mesmo autor também foi no PNCG e trouxe descrição da vegetação presente nos vales não apresentando senescência foliar do tipo caducifólia durante o período seco do ano. A estrutura arbórea sendo de 20 a 30 metros e cobertura de copa (CC) de 80 a 100%.

CONCLUSÃO

A Cobertura de Copa pode explicar o Índice de Queima Normalizada. Essa relação leva em consideração fatores topográficos, proximidades de áreas úmidas e espécies vegetais Caducifólias do bioma cerrado onde o parque está inserido. Assim a Cobertura de Copa pode ser considerada uma vulnerabilidade e ser usada no zoneamento de risco de incêndios florestais do PNCG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BILLOR, N.; HADI, A. S.; VELLEMAN, P. F. BACON: blocked adaptive computationally efficient outlier nominators. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 34, n. 3, p. 279–298, 2000.

BRASIL. **Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. BRASIL: Projeto RADAMBRASIL, 1982.

BRAUN, E. H. G. Os Solos de Brasília e suas Possibilidades de Aproveitamento Agrícola. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 43–78, 1962.

CHUVIECO, E. **Remote Sensing of Large Wildfires**. 1º ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *ArcGIS* Professional Gis for the desktop. 2019. USA: 10.8.

FERREIRA, H. R. **Análise das Ocorrências de Incêndios em Vegetação na Região Metropolitana de Curitiba - PR**, 2021. Dissertação Mestrado em Engenharia Florestal, Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

FREIRE, P. F. **Uso do Sistema de Informações Geográficas para o Mapeamento de Focos de Calor por Incêndios Florestais: um estudo de caso na área do parque nacional da Chapada dos Guimarães**, 2005. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de manejo do Parque Nacional de Chapada dos Guimarães, 2009.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 1995. **Plano de Ação Emergencial do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães**. Disponível na sede administrativa do PNCG.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório de Ocorrência de Incêndios Florestais**. Brasília: PREVFOGO, 2002. Documento Técnico.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. **The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity**. 1999.

LOTUFO, J. B. DA S.; MACHADO, N. G.; TAQUES, L. D. M.; *et al.* Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 648, 2020.

MACHADO NETO, A. P. **Diagnóstico dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães no Período de 2005 a 2014**, 2016. Tese Doutorado em Engenharia Florestal, Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, L. P. **Uso e cobertura das terras no entorno da baía de todos os santos, Bahia, Brasil: mudanças dos padrões espaciais em séries temporais**, 2016. Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. 2022. Austria: 4.1.3.

RUBIN, D. B. **Multiple imputation for nonresponse in surveys**. Hoboken: John Wiley & Sons, 1987.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Incêndios florestais: Controle, efeitos e uso do fogo**. 2º ed. Curitiba: Editores independentes, 2017.

SOUSA, K. H. S.; BARBOSA, S. C. C.; PEREIRA, M. A. Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça–MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39536–39554, 2021.

SOUZA, M. A.; VALE, A. T. Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 181–192, 2019.

TORRES, F. T. P.; ROQUE, M. P. B.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; FARIA, A. L. L. DE. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, 2017.