



MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DO INGRESSO DE ÁRVORES E FUSTES EM REMANESCENTE DE FLORESTA SECA EM ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA

Maria Beatriz Ferreira¹, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira¹, Jose Antônio Aleixo da Silva¹,
Robson Borges de Lima², Alex Nascimento de Souza¹, Doris Bianca Crispin-DelaCruz¹,
Marcos Vinícius da Silva¹, Ricardo Cordeiro de Lima¹

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: beatriz.177@outlook.com; rinaldo.ferreira@ufrpe.br; jaaleixo@uol.com.br; alexndsousa@gmail.com; doriscrispin@hotmail.com; marcolino_114@hotmail.com; lima_rc@outlook.com

2 Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP, Brasil. E-mail: robson.lima@ueap.edu.br
Autora correspondente: Maria Beatriz Ferreira. E-mail: beatriz.177@outlook.com.

RESUMO

O *El Niño* e a *La Niña* são eventos climáticos que acarretam impactos significativos nas condições de seca. Assim, objetivou-se caracterizar os padrões espaciais do ingresso de fustes e árvores para ano de *El Niño* (2016) e *La Niña* (2020) em remanescente de caatinga no estado de Pernambuco, Brasil, via modelagem geoestatística. O ingresso de fuste e árvores foram monitorados em 80 parcelas permanentes localizadas em um remanescente de floresta tropical sazonalmente seca. O modelo de semivariograma gaussiano melhor representou a variabilidade espacial do ingresso de fustes e árvores. Foi verificado um efeito das secas na redução das taxas de ingresso em 2016, no entanto em 2020 houve estabilização desses valores. Conclui-se que o método de interpolação espacial da krigagem forneceu uma espacialização consistente da variável ingresso. Os resultados desta pesquisa contribuíram significativamente nas decisões de manejo florestal sustentável de áreas secas, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas e naturais.

Palavras-chave: Distribuição espacial; eventos climáticos extremos; manejo florestal; semiárido

GEOSTATISTICAL MODELING OF TREE RECRUITMENT AND STEMS INTO DRY FOREST REMNANT FOR EL NIÑO AND LA NIÑA YEARS

ABSTRACT

El Niño and La Niña are climatic events that have significant impacts on drought conditions. Thus, the objective of this study was to characterize the spatial patterns of stem and tree recruitment during El Niño (2016) and La Niña (2020) years in a caatinga remnant in the state of Pernambuco, Brazil, using geostatistical modeling. Stem and tree recruitment were monitored in 80 permanent plots located in a seasonally dry tropical forest remnant. The Gaussian semivariogram model best represented the spatial variability of stem and tree recruitment. It was observed that droughts reduced the recruitment rates in 2016, but these values stabilized in 2020. It can be concluded that the spatial interpolation method of kriging provided a consistent spatialization of the recruitment variable. The results of this research significantly contributed to sustainable forest management decisions in dry areas, aiming to reduce the environmental impacts resulting from human and natural activities.

Key words: spatial distribution; extreme climatic events; forest management; semiarid

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

As florestas sazonais secas são ecossistemas com variações climáticas distintas entre um período seco e outro chuvoso. Sua vegetação adapta-se a essas condições, sendo predominantemente composta por espécies endêmicas e caducifólias, que perdem suas folhas durante o período de estiagem (Hasnat & Hossain, 2020). Dentre essas florestas secas, a Caatinga, localizada no Nordeste do Brasil, abriga espécies florestais de grande importância social, ambiental e econômica, que são responsáveis pela provisão de diversos serviços ecossistêmicos, atendendo a uma vasta população humana que ali vive, já que a Caatinga possui alta densidade populacional. Essa situação, infelizmente, tem contribuído para uma exploração indiscriminada dos recursos florestais dessa região, resultando em impactos na dinâmica florestal, afetando o ingresso, o crescimento e a mortalidade das plantas (Melo, 2017; Neves *et al.*, 2015).

O ingresso é um elemento dinâmico de extrema importância para o acompanhamento da vegetação, pois representa a regeneração e o estabelecimento de novas plantas, aquelas que ainda não atingiram o diâmetro mínimo estabelecido no planejamento florestal (Barreto *et al.*, 2020). O êxito no crescimento desses novos indivíduos é influenciado pelos fenômenos climáticos, especialmente na Caatinga, onde a intensidade do período seco e chuvoso é determinada pelo El Niño e La Niña. O primeiro define a duração da estação seca e o segundo da estação chuvosa, e ambos têm impacto nos processos dinâmicos de uma floresta (Jesus *et al.*, 2020).

Tendo como objetivo verificar a estimativa dos parâmetros que afetam os processos dinâmicos, uma das ferramentas utilizadas é a espacialização pelos modelos de interpolação geoestatísticos, que são eficazes na caracterização da dinâmica espacial via mapas de krigagem (Silva *et al.*, 2021).

Pensando nisso, esse trabalho tem como objetivo caracterizar os padrões espaciais do ingresso de fustes e árvores para anos de El Niño (2016) e La Niña (2020) em remanescente de caatinga no estado de Pernambuco, Brasil, via modelagem geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Itapemirim de propriedade da Agrimex Agroindustrial Excelsior S.A., localizada no município de Floresta, PE, sob as coordenadas 8°30'49" Latitude Sul e 37°57'44" Longitude Oeste, Zona 24S - UTM (WGS84). A área total da Fazenda é de aproximadamente 6.000 ha. O estudo foi realizado em duas áreas amostrais com diferentes históricos de distúrbios, sendo: Área 2 - Sem registro de intervenções recentes; e Área 1 - Último corte raso realizado na área foi no ano de 1987. O clima da região é caracterizado pelo tipo BSh (Beck *et al.*, 2018).

Coleta de dados

Os dados são provenientes de 80 parcelas permanentes (40 em cada área), com dimensões de 20 m x 20 m. As parcelas foram instaladas em campo no ano de 2008, sendo monitoradas anualmente desde 2011. Para o presente estudo foram usados os dados de ingresso dos anos 2016 e 2020, que registraram eventos de de El niño e La niña, respectivamente (INPE, 2023). Foram considerados ingressos os fustes que atingiram os critérios de inclusão mínimos para serem considerados arbóreos, circunferência a 1,30 m do solo (C) \geq 6 cm. Ressalta-se que os indivíduos do fragmento florestal avaliado apresentaram múltiplos fustes, ao qual, foi registrado o ingresso de fustes.

Modelagem geoestatística e mapas de krigagem

Para as análises geoestatísticas foram utilizados os dados de ingresso de árvores e fustes obtidos nas 80 parcelas permanentes instaladas nas áreas de estudo, nos anos de 2016 e 2020. Os dados foram submetidos à análise de geoestatística realizada com base no cálculo das semivariâncias clássicas. Os dados foram ajustados aos modelos esférico, exponencial e gaussiano. A dependência espacial entre as parcelas foi analisada por meio do ajuste com base na estimativa da semivariância utilizando o programa GS+ versão 7.0.

Os melhores modelos dos semivariogramas ajustados foram validados pela validação cruzada do teste de Jack-Knifing, o programa utilizado para essa análise foi o GEO-EAS[®]. O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado de acordo com Cambardella *et al.* (1994). Para a confecção dos mapas de krigagem foi utilizado o programa Quantum Gis (QGis) versão 3.12.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de semivariogramas geoestatísticos experimentais foram ajustados com base na estimativa da semivariância conforme é observado na Tabela 1. Todos os modelos (para árvores e fustes) foram ajustados conforme o modelo Gaussiano. O que vai de acordo com Pelissari *et al.* (2017), onde encontraram melhores ajustes para o modelo Gaussiano na dinâmica da área basal de grupos sucessionais na Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil.

Tabela 1. Modelo de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE) dos padrões de ingresso de árvores e fustes em remanescente de floresta seca, Floresta, Pernambuco, Brasil

Ano	Ingresso	Modelo	¹ C0	² C0+C	^{3a}	⁴ R ²	⁵ GDE	Jack-Knifing	
								Média	⁶ DP
2016	Árvore	Gaussiano	0,05	0,206	211,42	0,814	24,6	-0,012	1,293
2020	Árvore	Gaussiano	0,01	1,738	203	0,888	0,6	-0,024	1,302
2016	Fuste	Gaussiano	0,01	1,738	203	0,888	0,6	-0,024	1,302
2020	Fuste	Gaussiano	0,052	0,294	151	0,897	17,5	0,038	0,823

¹C0: Efeito Pepita; ²C0+C: Patamar; ^{3a}: Alcance; ⁴R²: Ajuste do semivariograma; ⁵GDE: Grau de Dependência Espacial (%); ⁶DP: Desvio padrão.

Quanto ao coeficiente de correlação (R²), todos os modelos apresentaram valores maiores que 0.60, o que caracteriza ajustes satisfatórios. Conforme Cambardella *et al.* (1994) a dependência espacial para os modelos foi forte (< 25%), indicando que a caracterização da variabilidade do ingresso de fustes e árvores de um ponto vizinho ao outro foi de dependência forte, sendo aqueles

valores representativos entre as vizinhanças. Ao observar também os valores da média e do desvio padrão, onde o primeiro está próximo do valor zero e o segundo do valor um, pode-se afirmar que os modelos são validados pelo método de Jack-Kniging e podem ser aplicados em outras florestas secas do mundo.

Com base nos modelos de semivariograma estabelecidos e validados, foram elaborados mapas de krigagem para a distribuição espaço-temporal do ingresso de fustes e árvores (Figura 1). Os mapas permitem observar a variação espacial do ingresso de $0 > 10$ árvores e $0 > 16$ fustes em pontos de 400 m^2 .

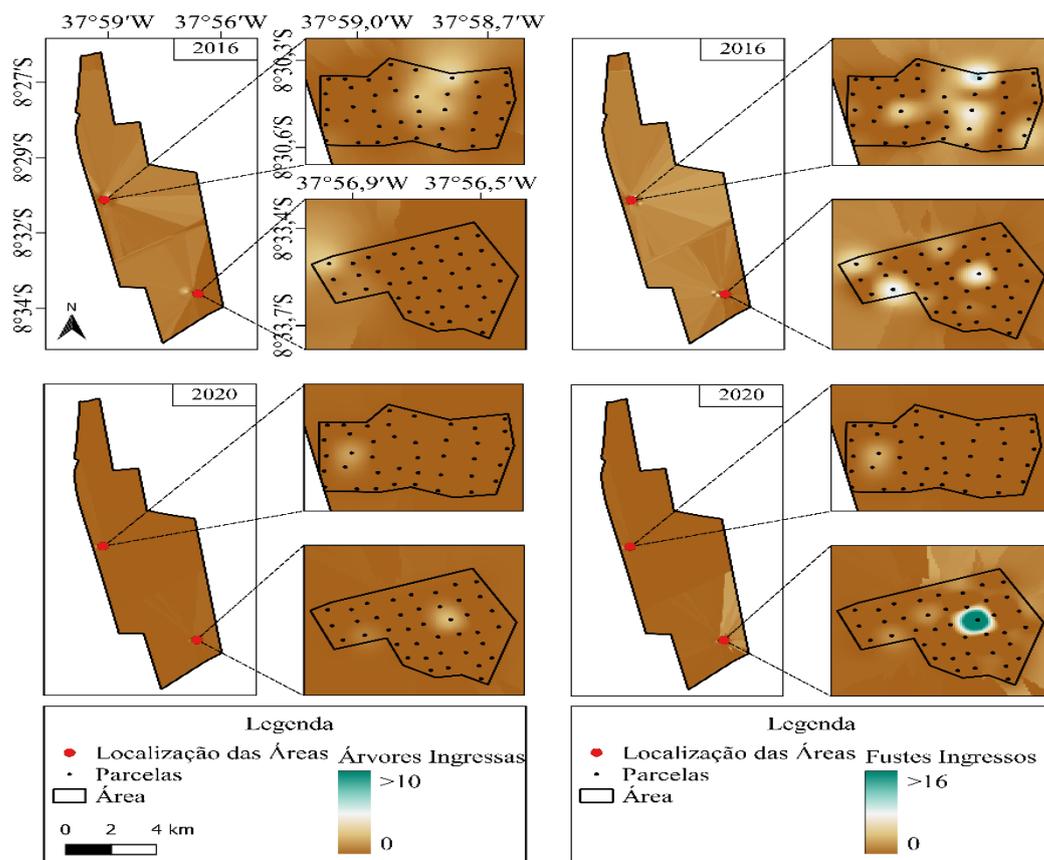


Figura 1. Mapas de krigagem de ingresso de árvores e fustes nos anos de 2016 e 2020 em remanescente de floresta seca, Floresta, Pernambuco, Brasil.

O número maior de fustes ingressos do que árvores, observado neste trabalho, é marcado por uma característica peculiar das espécies de florestas secas, onde elas possuem múltiplos fustes como uma estratégia importante de regeneração (rebrotar), característico de quando sofrem uma severa perturbação (Ferraz *et al.*, 2014).

Essa perturbação está diretamente relacionada aos fenômenos climáticos, como o El Niño e o La Niña. Em 2016, ano em que houve El Niño, houve um menor ingresso de árvores e fustes. O El Niño é um fenômeno responsável pela desregulação das chuvas no Nordeste do Brasil, ocasionando em um maior período de seca na região, provocando a desaceleração nos processos dinâmicos da vegetação. O contrário se observa com o La Niña (que ocorreu no ano de 2020),

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

esse fenômeno ocasiona período com maior precipitação, resultando em alterações positivas na dinâmica da vegetação, o que é marcado por maior ingresso e crescimento das plantas (Jesus *et al.*, 2020).

CONCLUSÃO

Os modelos geostatísticos de espacialização são eficazes na estimativa do número de indivíduos ingressos no remanescente florestal estudado. Com a aplicação desses modelos, é possível verificar que os ingressos de fustes e árvores diminuem no ano de 2016, o que está relacionado à ocorrência do fenômeno El Niño (maior período de estiagem), e o contrário ocorre no ano de 2020, onde há uma maior quantidade de ingressos, o que está associado ao fenômeno La Niña (maior período de chuvas).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreto, T. N. A.; Ferreira, R. L. C.; Silva, J. A. A.; Almeida, C. C. S.; Pinto, A. V. F. dynamics of woody species in dry tropical forest (Caatinga), Brazil. **Floresta**, v. 51, n. 1, p.154-163, 2020. <https://doi.org/10.5380/rf.v51i1.67604>.
- Beck, H. E.; Zimmermann, N. E.; McVicar, T. R.; Vergopolan, N., Berg, A.; Wood, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, e180214, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.
- Ferraz, J. S. F.; Ferreira, R. L. C.; Silva, J. A. A.; Meunier, I. M. J.; Santos, M. V. F. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p.1055-1064, 2014. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622014000600010>.
- Hasnat, G. N. T.; Hossain, M. K. Global overview of Tropical Dry Forests. In: Bhadouria, R.; Tripathi, S.; Srivastava, P.; Singh, P. (Eds.). **Handbook of research on the conservation and restoration of Tropical Dry Forests**. Hershey: IGI Global, 2020. p. 1-23. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0014-9.ch001>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Condições atuais do ENOS**: enfraquecimento do la niña e início de condições de neutralidade. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br>. Acesso em: 28 Mar. 2023.
- Jesus, J. B.; Kuplich, T. M.; Barreto, Í. D. C.; Rosa, C. N.; Hillebrand, F. L. Temporal and phenological profiles of open and dense Caatinga using remote sensing: response to precipitation and its irregularities. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 3, p. 1067-1076, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01145-3>.
- Melo, F. P. L. The socio-ecology of the Caatinga: understanding how natural resource use shapes an ecosystem. In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R.; Tabarelli, M. (Eds.). **Caatinga: the largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cham: Springer, 2017. p.369-382. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_14.
- Neves, D. M.; Dexter, K. G.; Pennington, R. T.; Bueno, M. L.; Oliveira Filho, A. T. Environmental and historical controls of floristic composition across the South American Dry Diagonal. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 8, p. 1566-1576, 2015. <https://doi.org/10.1111/jbi.12529>.
- Pelissari, A. L.; Figueiredo Filho, A.; Netto, S. P.; Ebling, A. A.; Roveda, M.; Sanquetta, C. R. Geostatistical modeling applied to spatiotemporal dynamics of successional tree species groups in a natural Mixed Tropical Forest. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.044>.
- Silva, M. V.; Pandorfi, H.; Jardim, A. M. R. F.; Oliveira-Júnior, J. F.; Divinula, J. S.; Giongo, P. R.; Silva, T. G. F.; Almeida, G. L. P.; Moura, G. B. A.; Lopes, P. M. O. Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast of northeastern Brazil. **Urban Climate**, v. 38, e100911, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100911>.