



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil

<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Renata Simão Siqueira

Universidade Federal Rural da
Amazônia
renatasimaosiqueira@hotmail.com

Athina Tafnis Da Soledade Silva

Universidade Federal Rural da
Amazônia
athinasoledade@gmail.com

Victória Cavalcante da Cruz

Universidade Federal Rural da
Amazônia
victoriacavalcante140@gmail.com

Daiane de Cinque Mariano

Universidade Federal Rural da
Amazônia
daiane.cinque@ufra.edu.br

Ricardo Shigueru Okumura

Universidade Federal Rural da
Amazônia
ricardo.okumura@ufra.edu.br

Recebido em: 2023-01-20

Avaliado em: 2023-02-01

Aceito em: 2023-05-16

USO DA GEOESTATÍSTICA NO MAPEAMENTO DE HERBIVORIA EM ESPÉCIES NATIVAS EM ÁREA DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL URBANA NO SUDESTE PARAENSE

RESUMO: A ação de herbívoros pode afetar o sucesso no estabelecimento de mudas, e através da silvicultura de precisão, torna-se possível mapear e identificar as relações espaciais ocorrentes. O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição espacial dos ataques de herbívoros, capacidade de rebrota e mortalidade. A caracterização do padrão da variabilidade espacial das variáveis foi realizada por meio de análise geoestatística, e a dependência espacial obtida através de ajustes de semivariogramas. A subárea 5 apresentou maior ocorrência de herbivoria (55%), e o modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o exponencial, com dependência espacial forte (15,08%). Considerando as 5 subáreas, a espécie com maior incidência de herbivoria (79,49%) foi o ingá (*Inga edulis* Mart.), e a capacidade de rebrota das plantas foi de 1,44%. O ataque de herbívoros não afetou a taxa de sobrevivência das plantas, e a taxa de mortalidade por causas diversas foi de 5,76%.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição espacial, Semivariogramas, Reflorestamento.

THE USE OF GEOSTATISTICS TO MAP THE HERBIVORY OF NATIVE SPECIES IN AN AREA OF URBAN FOREST RECUPERATION IN THE SOUTHEAST OF PARÁ

ABSTRACT: The action of herbivores can affect the successful establishment of seedlings, and through precision forestry, it becomes possible to map and identify the spatial relationships that occur. The objective of the study was to evaluate the spatial distribution of herbivore attacks, regrowth capacity, and mortality. The characterization of the pattern of spatial variability of the variables was performed by geostatistical analysis, and the spatial dependence obtained through semivariogram fitting. Subarea 5 was the area with the highest occurrence of herbivory (55%), and the best fitting

semivariogram model was the exponential model, with strong spatial dependence (15.08%). Considering the 5 sub-areas, the species with the highest incidence of herbivory (79.49%) was inga (*Inga edulis* Mart.), and the regrowth capacity of the plants was 1.44%. Herbivore attack did not affect the survival rate of the plants, and the mortality rate from various causes was 5.76%.

KEYWORDS: Spatial distribution, Semivariograms, reforestation.

USO DE GEOESTADÍSTICA PARA MAPEAR LA HERBIVORÍA DE ESPECIES NATIVAS EN UN ÁREA DE RECUPERACIÓN DE BOSQUES URBANOS EN EL SURESTE DE PARÁ

RESUMEN: La acción de los herbívoros puede afectar el éxito en el establecimiento de plántulas, a través de la silvicultura de precisión, es posible mapear e identificar las relaciones espaciales que ocurren. El objetivo del estudio fue evaluar la distribución espacial de los ataques de herbívoros, la capacidad de rebrote y la mortalidad. La caracterización del patrón de variabilidad espacial de las variables se realizó mediante análisis geoestadístico y la dependencia espacial se obtuvo mediante ajustes de semivariograma. La subárea 5 fue el área con mayor ocurrencia de herbivoría (55%), y el modelo de semivariograma que mejor se ajustó fue el exponencial, con fuerte dependencia espacial (15,08%). Considerando las 5 subáreas, la especie con mayor incidencia de herbivoría (79,49%) fue el ingá (*Inga edulis* Mart.), y la capacidad de rebrote de las plantas fue de 1,44%. El ataque de los herbívoros no afectó la tasa de supervivencia de las plantas, y la tasa de mortalidad por diversas causas fue del 5,76%.

PALABRAS CLAVES: Distribución espacial, Semivariogramas, Repoblación forestal.

O sucesso para restaurar a vegetação de uma área implica na escolha de espécies adaptadas às condições edafoclimáticas da região, pois o uso delas reduz o risco de extinção das espécies nativas, além de ajudar a preservar as características originais do ambiente (TAVARES, 2018; VIEIRA et al., 2018).

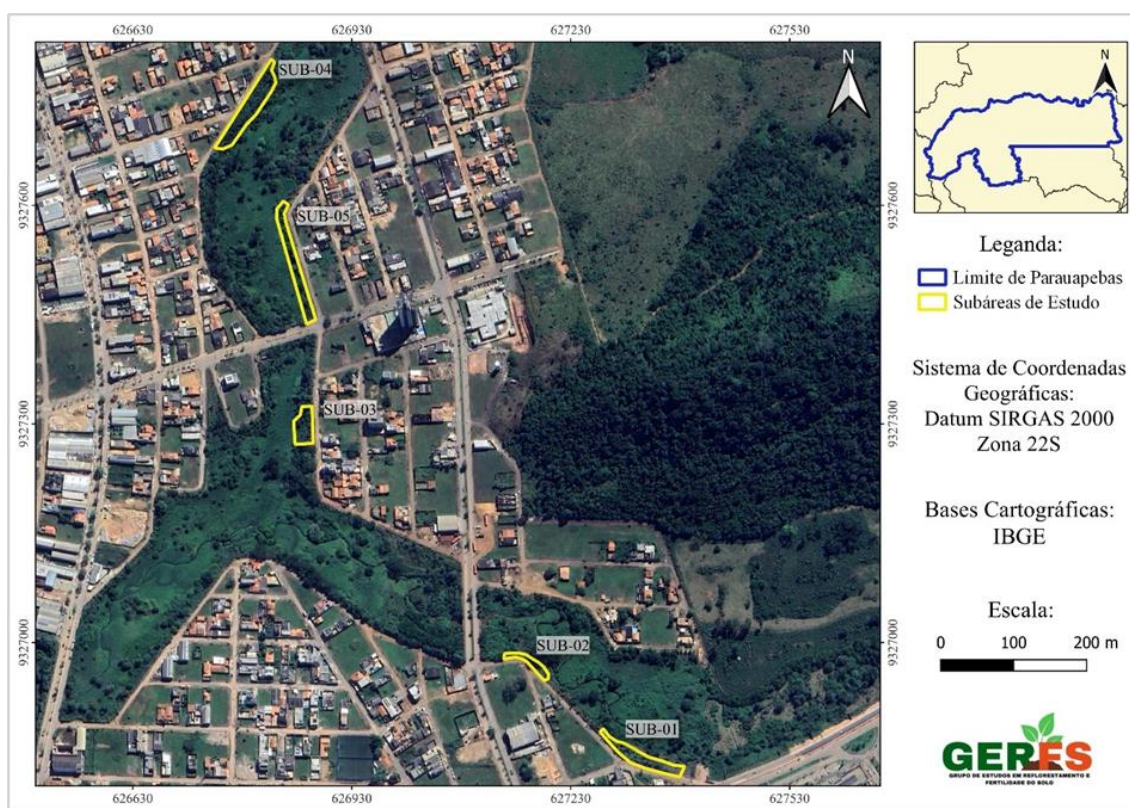
Alguns fatores podem afetar o estabelecimento das mudas, dentre eles se destaca a herbivoria (GUREVITCH et al., 2009). Algumas plantas podem responder à herbivoria e a outras perturbações de formas diferentes, através de mecanismos de defesa, e um deles se relaciona à capacidade de rebrota que as espécies têm de se reestabelecerem, permanecendo no ambiente após distúrbios (BARBOSA et al., 2014).

A ação de herbívoros pode acontecer de forma heterogênea na área, e através da silvicultura de precisão, torna-se possível mapear e identificar as relações espaciais

ocorrentes (SOARES, 2006; YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Desta forma, objetivou-se avaliar a distribuição espacial por meio de mapas de superfície baseados no ataque de herbívoros, na capacidade de rebrota e na mortalidade de mudas de espécies nativas implantadas em área de recuperação florestal urbana.

O experimento foi realizado em uma área em processo de recuperação florestal, localizada no centro urbano do município de Parauapebas, sudeste do Pará, coordenadas geográficas $6^{\circ}05'05.53''S$ e $49^{\circ}51'06.51''O$ (Figura 1). Segundo a classificação climática de Köppen, a área de estudo está incluída na subclassificação Am - tropical chuvoso com breve estação seca, com temperatura média de $26.1^{\circ}C$ e pluviosidade média anual de 1564 mm (CLIMATE, 2021).

Figura 1. Mapa de localização da área experimental. Parauapebas, Pará.



Fonte: Autores (2022).

A área foi dividida em 5 subáreas e foram inseridas 556 mudas de espécies nativas. O espaçamento adotado entre plantas e entre linhas foi de 3x2 m. A avaliação

foi realizada aos 29 meses após o plantio. Foram avaliados os seguintes parâmetros: sobrevivência, ataque de herbívoros, mortalidade por causas diversas, mortalidade por herbivoria e rebrota. Desta forma, os indivíduos do povoamento foram identificados e receberam um código, de acordo com a característica apresentada em campo, conforme exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis avaliadas no povoamento de espécies nativas em área de restauração florestal.

Código	Parâmetros avaliados no povoamento	
	Cor representativa	Descrição
1	Vermelho	A muda apresentou-se viva, sem herbivoria;
2	Roxo	A muda morreu por causas diversas;
3	Amarelo	A muda morreu em decorrência de herbivoria;
4	Laranja	A muda apresentou herbivoria e permaneceu viva;
5	Azul	A muda rebrotou.

Fonte: Autores (2021).

A caracterização do padrão da variabilidade espacial das variáveis foi realizada por meio de análise geoestatística, e a dependência espacial obtida através de ajustes de semivariogramas, conforme descrito por Vieira (2000) e exposto na Equação 1:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que:

$y(h)$ = É o valor da semivariância para uma distância h ;

$N(h)$ = O número de pares experimentais de observações;

$Z(x_i)$ = Valor do atributo Z em uma posição;

$Z(x_i + h)$ = Valor do atributo Z em uma posição, separado por uma distância h .

A seleção do modelo teórico foi realizada ao observar a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), o maior coeficiente de determinação (R^2) e o maior

grau de dependência espacial (GDE). Os semivariogramas e os mapas de krigagem foram determinados por meio do programa GS+ versão 7 (ROBERTSON, 2008).

O grau de dependência espacial (GDE) das variáveis em estudo foi definido pela relação (C/C_0+C) , e avaliado conforme a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são caracterizados como dependência espacial forte $GDE < 25\%$, moderada GDE entre 25 e 75%, e fraca $GDE > 75\%$. Os dados foram submetidos ao método de interpolação por krigagem e expressos na forma de mapas de superfície por meio software Surfer versão 11 (GOLDEN SOFTWARE, 2011).

Os semivariogramas apresentaram grau de dependência espacial forte nas subáreas 1, 2, 3 e 5, e moderada na subárea 4 (Tabela 2), conforme a classificação de Cambardella et al. (1994).

Tabela 2. Parâmetros do modelo teórico ajustado para a variável mapeada.

Subáreas	Modelo	C_0	C_0+C	GDE (%)	R^2
1	Exponencial	0,26	2,05	12,65%	0,449
2	Esférico	0,40	2,24	17,67%	0,794
3	Gaussiano	0,002	0,03	5,79%	0,204
4	Exponencial	1,03	2,06	49,98%	0,866
5	Exponencial	0,35	2,31	15,08%	0,332

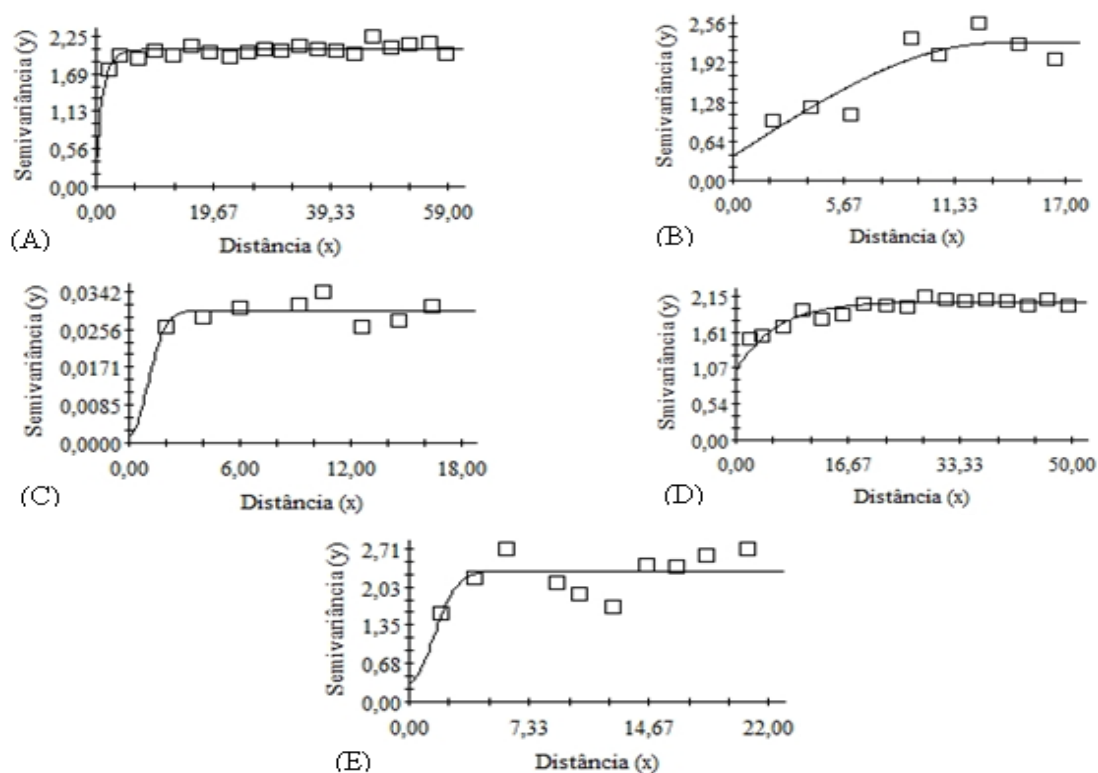
Fonte: Autores (2021).

Os modelos de semivariogramas que melhor se ajustaram foi o exponencial, esférico e gaussiano, apresentando alcance de 59, 17, 18, 50 e 22 metros (Figura 2), demonstrando que até essa distância os valores apresentam dependência entre si (CIGAGNA et al., 2015).

A subárea 5 apresentou maior ocorrência de herbivoria (55%), seguida da subárea 4 (34,12%), subárea 1 (33,92%), subárea 2 (32,50%) e subárea 3 (2%). Todas as plantas com herbivoria permaneceram vivas, e a taxa de mortalidade por causas diversas foi de 5,76%, considerando todas as subáreas. De acordo com Salomão et al.

(2014), a taxa de mortalidade esperada para áreas de reflorestamento é de até 20%, sendo assim, o valor apresentado neste estudo (5,76%) está dentro do esperado.

Figura 2. Semivariogramas: (A) subárea 1 - modelo exponencial; (B) subárea 2 - modelo esférico; (C) subárea 3 - modelo gaussiano; (D) subárea 4 - modelo exponencial; (E) subárea 5 - modelo exponencial.



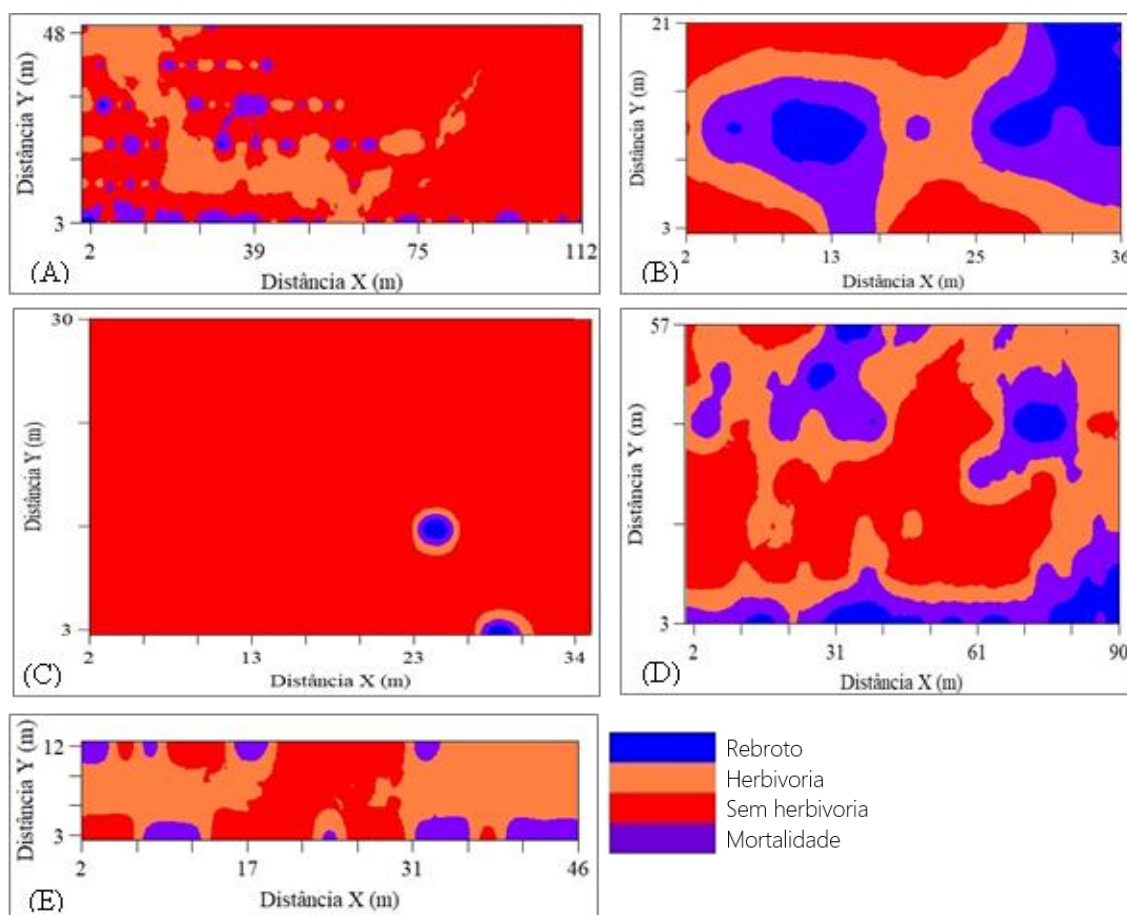
Fonte: Autores (2021).

A capacidade de rebrota das plantas foi observada em pequena quantidade, com percentual de 1,44% do total das plantas, justificada pelo bom desenvolvimento que as plantas apresentaram, mesmo as que foram atacadas por herbivoria, se mantiveram resistentes. As plantas que rebrotaram, foi em razão de outras perturbações, como corte ou queimadas (MAURICIO, 2000; SILVA, 2022).

O mapa de krigagem da subárea 1 (Figura 3-A) demonstrou que a herbivoria esteve presente com maior intensidade na parte inicial das linhas, possivelmente devido ao efeito de borda (ALENCAR et al., 2018). Na subárea 2, a herbivoria ocorreu de forma mais centralizada (Figura 3-B), e o ataque se concentrou nas plantas de

cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). Na subárea 4, a herbivoria foi observada de forma distribuída por toda a área (Figura 3-D). Esta subárea possui maior quantidade de mudas plantadas, dentre elas, o ipê amarelo (*Handroanthus albus* (Cham.) Mattos), que apresentaram ataque de Coleoptera da família Chrysomelidae, que é o principal herbívoro dessa espécie (RIBEIRO et al., 2006).

Figura 3. Mapas de krigagem para o ataque de herbívoros, mortalidade e rebrota. (A) subárea 1; (B) subárea 2; (C) subárea 3; (D) subárea 4; (E) subárea 5.



Fonte: Autores (2021).

Dentre as subáreas estudadas, a subárea 3 (Figura 3-C) foi a que apresentou menor ocorrência de herbivoria (2%), justificado pela maior quantidade paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby) presentes na área, pois considerando as espécies estudadas, foi a que apresentou menor percentual de ataque de herbívoros (16,90%).

Na subárea 5, a herbivoria ocorreu na região de início e final das linhas (Figura 3-E), sendo composta em maior parte por aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi), observando que o ataque ficou concentrado nesta espécie. Entre as diferentes pragas que podem atacar a aroeira, a formiga cortadeira é vista como a principal, tendo em vista o odor frutífero que a espécie exala (GOMES et al., 2013).

O ingá (*Inga edulis* Mart.) foi a espécie mapeada com maior incidência de herbivoria, que possivelmente foi atacado por formigas cortadeiras, elas se proliferam em áreas degradadas, e principalmente, áreas em estágios iniciais de recuperação, onde é mais comum a existência de espécies pioneiras, devido ao seu crescimento rápido (CARVALHO et al., 2012), como o Ingá, pertencente ao grupo ecológico das pioneiras (SILVA et al., 2003). As espécies pioneiras possuem folhas maiores e mais vigorosas que atraem esse tipo de herbívoro, ao contrário das espécies secundárias tardias (COLEY, 1983).

A área mapeada com maior frequência de ataques de herbivoria foi a subárea 5 (55%), e a espécie com maior incidência de herbivoria foi o ingá (*Inga edulis* Mart.) (79,49%). A menor incidência de herbivoria foi observada no paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby) (16,90%). A taxa de mortalidade ficou em 5,76% e a capacidade de rebrota das plantas em 1,44%.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), ao Grupo de Estudo em Reflorestamento e Fertilidade do Solo (GERFS) e à Prefeitura de Parauapebas.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, H. N.; SANTOS, J. S.; SANTOS, B. A. Herbivoria e sua relação com as condições microclimáticas e de uso do solo em uma floresta tropical úmida. **Revista Gaia Scientia**, v. 12, n. 1, p. 42-55, 2018. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n1.29208>
- BARBOSA, C. B.; CAPPI, S. V.; RIBEIRO, P. V.; FERNANDES, W. G. Avaliação da capacidade de rebrotamento pós distúrbio das plantas lenhosas típicas dos campos

rupestres. **Ecologia Austral**, v. 24, n. 3, p. 350-355, 2014. <https://doi.org/10.25260/EA.14.24.3.0.13>

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; 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>

CARVALHO, K.; BALCH, J; MOUTINHO, P. Influências de *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae) na recuperação da vegetação pós-fogo em floresta de transição amazônica. **Acta Amazonica**, v. 42 n. 1 p. 81-88, 2012.

CIGAGNA, C.; BONOTTO, D. M.; STURARO, J. R.; CAMARGO, A. F. M. Geostatistical techniques applied to mapping limnological variables and quantify the uncertainty associated with estimates. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 4, p. 421-430, 2015. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3315>

CLIMATE DATA. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/para/parauapebas-764140/>. Acessado em: 26 de jan. de 2021.

COLEY, P. D. Herbivory and defensive characteristics of tree species in a lowland Tropical Forest. **Ecological Monographs**, v. 53 n. 2 p. 209-234, 1983.

GOMES, L. J.; SILVA-MANN, R.; MATTOS, P. P.; RABANNI, A. R. C. **Pensando a biodiversidade: aroeira** (*Schinus terebinthifolius* Raddi.). 1ª edição. São Cristóvão: Editora UFS, 2013. 372p. <https://doi.org/10.3390/ijms140510242>

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia vegetal**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2009. 266p.

MAURICIO, R. Natural selection and the joint evolution of tolerance and resistance as plant defenses. **Evolutionary Ecology**, v. 14, s/n, p. 491-507, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1010909829269>

RIBEIRO, S. P; BROWN, V. K. Prevalence of monodominant vigorous tree populations in the tropics: herbivory pressure on *Tabebuia* species in very different habitats. **Journal of Ecology**, v.94, n.1 p. 932-941, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01133.x>

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 152 p.

SALOMÃO, R. P.; BRIENZA JUNIOR, S.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 1-24, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000100001>

SILVA, F.V.; MELO JUNIOR, J. C. F.; MATILDE-SILVA, M. Padrões de herbivoria e estratégias de defesa de comunidades de restinga em gradiente edáfico. **Revista Hoehnea**, v. 49, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-21/2021>

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. 3. ed. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006. 214 p.

TAVARES, V. C. A percepção ambiental dos agricultores rurais do município de Queimadas/PB sobre a degradação do bioma caatinga. **ACTA Geográfica**, v. 12, n. 28, p. 74-89, 2018. <https://doi.org/10.5654/acta.v12i28.4576>

VIEIRA, S. B.; CARVALHO, J. O. P.; GOMES, J. M.; SILVA, J. C. F.; RUSCHEL, A. R. *Cedrela odorata* L. tem potencial para ser utilizada na silvicultura pós-colheita na Amazônia brasileira? **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1230-1238, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509833361>

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.