

Área de concentração: 2- Conservação e recuperação de áreas

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM CAATINGA MANEJADA

Luana Pricilla Araújo Menezes¹, Alessandro de Paula², Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia³, Paulo Henrique Marques Monroe⁴, Joselane Priscila Gomes da Silva⁵

¹ Engenheira Florestal, MSc, Agente Local de Inovação Rural, SEBRAE-PB (luana.p.a.menezes@gmail.com);

² Engenheiro Florestal, Dr., Professor, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (apaula@uesb.edu.br); ³ Engenheira Florestal, Dra., Professora, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (patriciabarroto@uesb.edu.br); ⁴ Engenheiro Agrônomo, Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (paulomonroes@gmail.com); ⁵ Engenheira Florestal, Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (joselane.gomess@gmail.com)

APRESENTADO NO VII CBRA – CONGRESSO BRASILEIRO DE REFLORESTAMENTO AMBIENTAL –
02 A 04 DE AGOSTO DE 2023, VITÓRIA/ES

Resumo: Este estudo teve por objetivo avaliar a dependência espacial da regeneração natural de espécies arbóreas em áreas sob a influência de diferentes manejos. O estudo foi realizado na Floresta Nacional Contendas do Sincorá, BA, em áreas onde a vegetação foi submetida a diferentes tipos de manejos florestais: TE, Caatinga não manejada; CR, remoção de todas as árvores e arbustos; CD, corte seletivo por diâmetro mínimo; CS, corte seletivo de três espécies. Para analisar a dependência espacial, foram escolhidas da área TE, três espécies que apresentaram maior abundância no levantamento fitossociológica e coletadas amostras de solo para avaliar a relação dos atributos químicos do solo e a distribuição espacial das espécies. Análise da dependência espacial foi calculado pelo índice global de Moran (I). Para *Combretum monetaria*, dentre as variáveis que apresentaram autocorrelação positiva no TE estão o Al^{3+} ($I=0,138$) e H^+ ($I=0,218$). No CS, o K^+ ($I=0,210$). Para *Senegalia piauhiensis*, a interação com o Al^{3+} e H^+ , no TE com índices de 0,104 e 0,256, respectivamente. No CS, 0,310 para Al^{3+} e 0,154 para H^+ . Para *Croton conduplicatus*, o valor de $I=0,500$ para P no tratamento CS. Os atributos químicos do solo influenciaram no desenvolvimento e na manutenção das espécies de modo que nos tratamentos TE e CS para *Combretum monetaria* e *Senegalia piauhiensis* o Al^{3+} , H^+ e K^+ foram atores preponderantes da regeneração natural. Diferente para a espécie *Croton conduplicatus* que demonstrou o P, no tratamento CS, nutriente essencial no seu estágio inicial de crescimento.

Palavras-chave: correlação espacial, *Croton conduplicatus*, regeneração natural.

Introdução

Estudos relacionados a estrutura de populações de plantas são importantes para a compreensão dos padrões de distribuição e ocorrência das mesmas e para a elaboração de estratégias de manutenção, recuperação e conservação das espécies em áreas naturais (MATOS; FELFILI, 2010). Assim, uma melhor compreensão dos fenômenos que regem a distribuição espacial de populações que dividem o mesmo espaço é necessário.

A análise da autocorrelação espacial é uma das técnicas mais usadas para estudar fenômenos relacionados a eventos de área (CARVALHO, 1997). Essa técnica faz com que seja identificada a estrutura de correlação espacial que melhor exemplifica o padrão de distribuição dos dados. A ideia é estimar a dependência espacial entre as regiões, evidenciando como os valores estão se comportando no espaço. Esta análise permite estudar e avaliar características socioeconômicas e ambientais de um local que possuem similaridade com outros locais, ou seja, permite verificar a existência de homogeneidade espacial na ocorrência de um fenômeno estudado (CELEMÍN, 2009).

Para quantificar e estudar a correlação espacial se pode usar uma série de índices, entre eles o de Moran. Este índice fornece um valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados, sendo útil na caracterização da região de estudo (SALAME, 2008). Além disso, funciona como indicador global que quantifica a autocorrelação de um conjunto de dados em uma região a ser estudada.

No estudo de um grande número de áreas, é provável que ocorram diferentes formas de associação espacial e que apareçam locais em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada. Desta maneira, o índice de Moran por ser uma medida geográfico-estatística referente a correlação espacial, indica o grau de correlação entre unidades territoriais (CEPAL, 2014).

Sendo assim, este estudo teve por objetivo avaliar a dependência espacial da regeneração natural de espécies arbóreas em áreas sob a influência de diferentes manejos.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na Floresta Nacional Contendas do Sincorá, situada no município de Contendas do Sincorá, Região Sudoeste do Estado da Bahia. A região apresenta clima predominante do tipo “BSh”, conforme a classificação de Köppen, isto é, clima semiárido quente e seco, com estação chuvosa registrada no período de novembro a janeiro, com precipitação que varia de 700 mm a 1.000 mm anuais, temperatura entre 21°C a 28°C, e altitude de, aproximadamente, 464 m (ALVARES et al., 2013). A vegetação predominante é classificada como Savana-Estéptica Florestada (IBGE, 2012).

Para coleta dos dados, foi realizado em 2021 o levantamento florístico dos indivíduos regenerantes das espécies arbustivo e arbóreas, em parcelas instaladas em 2015, para estudo e monitoramento do comportamento arbóreo adulto e regenerante da vegetação da Caatinga. Em 2015, foram delimitadas três unidades experimentais, as quais foram submetidas a quatro tratamentos de manejo. Todas as unidades experimentais foram compostas de 16 parcelas fixas de 20 m x 20 m, distribuídas em duas colunas, totalizando 48 parcelas (quatro parcelas por tratamento em três unidades amostrais) (BRITO, 2020).

Em cada unidade experimental, a vegetação foi submetida a diferentes tipos de manejos florestais, sendo considerados os seguintes tratamentos: testemunha (TE), que consiste na Caatinga não manejada; corte raso (CR), vegetação com remoção de todas as árvores e arbustos, independentemente do tamanho ou espécie; corte seletivo por diâmetro mínimo (CD), corte de todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm; e corte seletivo por espécie (CS), corte de três espécies (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillet, *Jatropha molissima* (Pohl) Baill. e *Pseudobombax simplicifolium* A. Robyns) selecionadas devido a sua densidade populacional. Todos os indivíduos retirados da área foram cortados a 10 cm do solo para monitorar o mecanismo de rebrota de cepas.

Os indivíduos regenerantes foram considerados quando possuíam fustes com diâmetro a altura do peito (DAP) menor que 6,0 cm e altura mínima de 0,5 m (COMITÊ TÉCNICO CIENTÍFICO DA REDE DE MANEJO FLORESTAL DA CAATINGA, 2005).

Para analisar a dependência espacial, foram escolhidas da área que foi considerada testemunha (TE), área de Caatinga não manejada, três espécies que apresentaram maior abundância no levantamento florístico e análise fitossociológica, sendo: *Combretum monetaria* Mart. (Combretaceae), *Senegalia piauhiensis* (Benth.) Seigler (Fabaceae) e *Croton conduplicatus* Kunth (Euphorbiaceae), e coletadas amostras de solo para avaliar a relação dos atributos químicos do solo e a distribuição espacial das espécies.

A coleta de solo foi realizada em cada parcela de 20 m x 20 m, as quais foram divididas em duas subparcelas de 10 m x 20 m. Em cada subparcela foram retiradas cinco amostras simples de solo na profundidade de 0 a 10 cm, desconsiderando a serrapilheira. Os solos foram analisados para determinação dos seguintes atributos: pH (em água); P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (trocaíveis, por KCl 1 mol L⁻¹) (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981), carbono orgânico (oxidação com Na₂Cr₂O₇ 4 N em meio ácido) (EMBRAPA, 1997).

Para análise da dependência espacial foi calculado o índice global de Moran (I). Este, estatisticamente, varia entre -1 e 1, fornecendo então uma medida global de associação linear (espacial) entre os valores z_t no tempo t e a média ponderada dos valores da vizinhança. Valores perto de zero indicam que não existe autocorrelação espacial significativa, e valores próximos de um, indicam que existe dependência espacial entre a variável nas áreas vizinhas (ANSELIN, 1995). Valores positivos do índice de Moran indicam autocorrelação positiva, isto é, dados espacialmente mais próximos são mais similares; valores negativos indicam autocorrelação negativa, ou seja, dados espacialmente mais próximos são mais dissimilares do que seria esperado ao acaso (ROSSI; QUENÉHERVÉ, 1998; DINIZ-FILHO et al., 2003).

Este índice é uma das maneiras para medir a similaridade entre as regiões e pode ser descrita conforme

Equação 1:

$$I_t = \left(\frac{N}{S_0} \right) \left(\frac{z_t^T w z_t}{z_t^T z_t} \right)$$

Onde:

- $t = \{1, 2, \dots, n\}$;
- z_t = Vetor de n observações para o ano t na forma de desvio em relação à média;
- w = Matriz de peso espacial onde os elementos w_{ii} são os elementos que na diagonal principal são iguais a zero, enquanto os elementos w_{ij} indicam a forma como a região i está especialmente conectada com a região j ;
- s_0 = É um escalar igual à soma de todos os elementos de w .

Sendo o valor esperado, conforme a Equação 2: $E(I) = -\frac{1}{n-1}$

Após calcular a autocorrelação espacial das variáveis observadas será necessário verificar a significância do resultado. Para verificar a significância da correlação obtida foi usado o teste de distribuição aproximada, que utiliza um número suficiente de sub-regiões, e pressupõe que as variáveis aleatórias associadas a cada local do atributo foram independentes e normalmente distribuídas, então, assume-se que o índice I possui distribuição aproximadamente normal (KREMPI, 2004).

Resultados e Discussão

Dentre as variáveis que apresentaram autocorrelação positiva no tratamento TE estão o Al^{3+} ($I=0,138$) e H^+ ($I=0,218$). No CS, o K^+ atingiu o valor de 0,210 para o índice de Moran. Nota-se que a mínima intervenção dos manejos nos tratamentos citados influencia no comportamento desta espécie *Combretum monetaria* em função dos atributos do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Índice de Moran para *Combretum monetaria* em função do número de indivíduos e a análise de solo.

Tratamentos	<i>Combretum monetaria</i>												
	pH	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H^+	Na^+	S.B.	t	T	V	m
TE	-0,271	-0,096	0,126	-0,245	-0,057	0,138	0,218	0	-0,275	-0,28	-0,247	-0,248	0,117
CD	-0,025	-0,102	0,019	0,073	-0,089	0,054	0,024	0	0,032	0,037	0,061	-0,010	0,059
CS	-0,044	0,055	0,210	-0,061	-0,033	0,113	-0,032	0	-0,071	-0,068	-0,105	-0,038	0,119
CR	0,138	-0,109	-0,073	0,100	0,069	-0,141	-0,046	0	0,129	0,126	0,140	0,115	-0,138

Em que: pH – potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K^+ – potássio, Ca^{2+} – Cálcio, Mg^{2+} – magnésio, Al^{3+} – alumínio, H^+ – hidrogênio extraível, Na^+ – sódio, S.B. – soma de bases trocáveis, t – capacidade de troca catiônica efetiva, T – capacidade de troca catiônica a pH 7, V – saturação por bases, m – saturação por alumínio, TE – testemunha, CD – corte seletivo por DAP, CS – corte seletivo por espécie, CR – corte raso.

A interação com K^+ favorece a regeneração natural da espécie tendo em vista que este macronutriente participa da fase de crescimento vegetativo. Em quantidades adequadas, o potássio desempenha várias funções na planta, tais como: controle da turgidez celular, ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, regulação dos processos de abertura e fechamento de estômatos, transporte de carboidratos, transpiração, resistência à geada, seca, salinidade e às doenças; e aumenta a resistência ao acamamento (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; DAVIS et al., 1997).

Para *Senegalia piauhiensis* observou-se a interação com o Al^{3+} e H^+ , conforme Tabela 22, nos mesmos tratamentos que *Combretum monetaria*. Em TE com índices de 0,104 e 0,256, respectivamente. No CS, 0,310 para Al^{3+} e 0,154 para H^+ , ainda com m a 0,318, exercendo autocorrelação positiva.

Tabela 2 - Índice de Moran para *Senegalia piauhiensis* em função o número de indivíduos e a análise de solo.

Tratamentos	<i>Senegalia piauhiensis</i>												
	pH	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H^+	Na^+	S.B.	t	T	V	m
TE	-0,208	-0,073	-0,039	-0,177	-0,032	0,104	0,256	0	-0,196	-0,199	-0,121	-0,226	0,109
CD	-0,099	-0,073	0,039	-0,161	0,036	0,117	0,082	0	-0,147	-0,147	-0,147	-0,134	0,122
CS	-0,267	-0,075	0,014	-0,279	-0,065	0,310	0,154	0	-0,315	-0,312	-0,323	-0,283	0,318
CR	-0,04	-0,084	-0,051	0,047	0,001	-0,08	0,140	0	0,049	0,046	0,136	-0,018	-0,084

Em que: pH – potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K^+ – potássio, Ca^{2+} – Cálcio, Mg^{2+} – magnésio, Al^{3+} – alumínio, H^+ – hidrogênio extraível, Na^+ – sódio, S.B. – soma de bases trocáveis, t – capacidade de troca catiônica efetiva, T – capacidade de troca catiônica a pH 7, V – saturação por bases, m – saturação por alumínio, TE – testemunha, CD – corte seletivo por DAP, CS – corte seletivo por espécie, CR – corte raso.

O processo de acidez do solo pode ocorrer naturalmente, pois há variados fenômenos que induzem a formação de reações ácidas no solo, a ação da água da chuva é um exemplo, ao reagir com CO_2 na atmosfera, libera hidrogênio, o que possibilita o processo de acidificação (TEIXEIRA et al., 2017). O Al^{3+} contribui para a acidez trocável, pois a quantidade de H^+ trocável em solos parece ser relativamente menor, quando em pH abaixo de 5,5. Acima de pH 5,5 não existe mais Al^{3+} trocável. A acidez trocável está relacionada aos íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides do solo influenciados por forças eletrostáticas.

Embora o alumínio seja fator limitante para o crescimento de algumas espécies e na absorção de nutrientes em plantas em solos ácidos de regiões tropicais, principalmente por inibir o crescimento das raízes (STEINER et al., 2012), não indicou nocividade as espécies em análise.

Em estudo realizado por Silva (2021) no Parque Nacional do Catimbau/PE acerca dos efeitos da agricultura de corte e queima sobre a regeneração da Caatinga, observou que nas áreas de roça e regeneração natural uma das espécies mais abundantes foi a *Senegalia piauhiensis*, ocorrendo em semente ou rebrota. Este autor ainda afirmou que a rebrota e propagação vegetativa são mecanismos que persistem em todos os estágios sucessionais, sendo selecionados pelo ambiente e pelos próprios agricultores da região. Os indivíduos remanescentes que possuem essa capacidade parecem contribuir para a composição florística das áreas mais tardias e auxiliar na recuperação da floresta.

Quanto a *Croton conduplicatus*, pode-se observar com relevância apenas o valor de $I=0,500$ para P no tratamento CS (Tabela).

Tabela 3 - Índice de Moran para *Croton conduplicatus* em função o número de indivíduos e a análise de solo.

Tratamentos	<i>Croton conduplicatus</i>												
	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	S.B.	t	T	V	m
TE	-0,077	-0,074	-0,060	-0,023	0,069	-0,052	0,082	0	0,008	0,006	0,051	-0,020	-0,049
CD	-0,032	-0,036	-0,020	0,057	-0,115	0,057	0,083	0	0,010	0,014	0,062	-0,049	0,063
CS	-0,002	0,500	-0,077	0,050	-0,035	0,124	-0,112	0	0,037	0,046	0,000	0,033	0,131
CR	0,027	-0,104	0,033	0,165	-0,261	-0,107	0,119	0	0,055	0,051	0,131	-0,004	-0,117

Em que: pH – potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K⁺ – potássio, Ca²⁺ – Cálcio, Mg²⁺ – magnésio, Al³⁺ – alumínio, H⁺ – hidrogênio extraível, Na⁺ – sódio, S.B. – soma de bases trocáveis, t – capacidade de troca catiônica efetiva, T – capacidade de troca catiônica a pH 7, V – saturação por bases, m – saturação por alumínio, TE – testemunha, CD – corte seletivo por DAP, CS – corte seletivo por espécie, CR – corte raso.

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. A existência de limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo pode resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é, pois, essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (ZUCARELI et al., 2006).

Conclusão

Os atributos químicos do solo influenciaram no desenvolvimento e na manutenção das espécies de modo que nos tratamentos TE e CS para *Combretum monetaria* e *Senegalia piauhiensis* o Al³⁺, H⁺ e K⁺ foram atores preponderantes da regeneração natural. Diferente para a espécie *Croton conduplicatus* que demonstrou o P, no tratamento CS, nutriente essencial no seu estágio inicial de crescimento.

Referências Bibliográficas

- ALVARES, C. A. STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22 (6), p. 711-728, 2013.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, 27, n. 2, 93/115, 1995.
- BRITO, A. C. **Dinâmica em caatinga arbórea submetida a manejo florestal, Brasil**. 2020. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.
- CARVALHO, M. S. **Aplicação de métodos de análise espacial na caracterização de áreas de risco a saúde**. 149f. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Biomédica. 1997.
- CELEMÍN, J. P. Auto correlación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. **Revista Universitaria de Geografía**, v. 18, n. 1, p. 11-31, 2009.
- CEPAL. Comisión Económica para América y el Caribe, Organización de Naciones Unidas. **Guía para estimar pobreza infantil, información para avanzar en el ejercicio de los derechos de los niños, niñas y adolescentes**. 2014. Disponível em: <<http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guiacontenido%20-442.php>>.
- COMITÊ TÉCNICO CIENTÍFICO DA REDE DE MANEJO FLORESTAL DA CAATINGA. **Rede de manejo florestal da Caatinga: protocolo de medições de parcelas permanentes**, Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2005, 21 p.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa, UFV, 1981.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: CDDI/IBGE, Série Manuais Técnicos em Geociências, (1), 2012. 271p.
- DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M.; HAWKINS, B. A. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. **Global Ecology and Biogeography**, v.12, n.1, p.53-64, 2003.
- DAVIS RM; SUBBARAO KV; RAID RN; KURTZ E. A. 1997. Compendium of lettuce diseases. California: **Academic Press**. 79p

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. v. 2ª ed. 1997

MALAVOLTA E. 1980. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 251p.

MARSCHNER H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London: **Academic Press**. 889p.

MATOS, M. Q. FELFILI, J. M. Florística, fitossociologia e diversidade da vegetação arbórea nas matas de galeria do Parque Nacional de Sete Cidades. **Acta Botânica Brasílica**, v. 24, n. 2, p. 483-496, 2010.

ROSSI, J.-P.; QUÉNÉHERVÉ, P. Relating species density to environmental variables in presence of spatial autocorrelation: a study case on soil nematodes distribution. **Ecography**, v.21, n.2, p.117-123, 1998.

SALAME, C. W. **Análise espaço-temporal da ocorrência de queimadas e desmatamento no estado do Pará no período de 1996 a 2004**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Universidade Federal do Pará, Pará.

SILVA, A. B. **Efeitos da agricultura de corte-e-queima sobre a regeneração da Caatinga**. 2021. 68f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

STEINER, F.; ZOZ, T.; PINTO-JÚNIOR, A. S.; CASTAGNARA, D. D.; DRANSKI, J. A. L. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 5, p. 1779-1788, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. Ed. Brasília: Embrapa, 2017.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 09-15, 2006.