

EFEITOS DA ARIDEZ EM UMA FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA BRASILEIRA: ENSAIO SOBRE A DIMINUIÇÃO DA RIQUEZA DE BRIÓFITAS

Jhonyd Jhonata de Oliveira Marmo<sup>1\*</sup>; Mércia Patrícia Pereira Silva<sup>1</sup>;  
<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco; \*E-mail para contato: jhonyd.marmo@ufpe.br

INTRODUÇÃO

A Caatinga, um domínio fitogeográfico representante das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) no Brasil, enfrenta condições adversas de aridez, escassez de água e altas temperaturas (TABARELLI *et al.*, 2017). Ainda assim, mesmo com tais fatores ambientais limitantes, apresenta uma importante biodiversidade que desempenha papéis cruciais na mitigação das mudanças climáticas e na prestação de serviços ecossistêmicos (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020; SIYUM, 2020). Sua vegetação é principalmente composta por fitofisionomias adaptadas às condições de estresse hídrico constante, o que confere ao domínio uma característica fitogeográfica heterogênea (TABARELLI *et al.*, 2018; MARQUES *et al.*, 2020). Porém, também é possível encontrar grupos de plantas que normalmente ocorrem em ambientes úmidos, como as briófitas, que devido à capacidade de absorverem e perderem água rapidamente para o ambiente (poiquiloidria) sobrevivem às variações sazonais (PERERA-CASTRO; FLEXAS, 2022). Tal adaptação torna as briófitas importantes bioindicadoras das condições ambientais, pois respondem rapidamente às variações microambientais (e.g. temperatura, umidade, luminosidade) (OLIVER; VELTEN; MISHLER, 2005). Devido às alterações dos fatores ambientais causadas pelas mudanças climáticas, observa-se um impacto significativo sobre as populações, especialmente sobre organismos sésseis, como as plantas (LEIMU *et al.*, 2010). Os impactos sobre as comunidades vegetais da Caatinga são comumente documentados para a flora vascular, mas apesar dessas evidências não incluírem as plantas avasculares sabe-se que para outros ecossistemas às alterações climáticas afetam diretamente na estrutura taxonômica e funcional dessas plantas (TURETSKY *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Os estudos sobre a brioflora da Caatinga têm-se concentrado em levantamentos florísticos, enquanto poucos reportam sobre os processos que determinam a distribuição das espécies e seu papel funcional no ambiente (SILVA; SANTOS; PÔRTO, 2014; SANTOS; OLIVEIRA; ALVES, 2021). Ainda, os estudos já documentados apresentam controvérsias quanto aos processos ecológicos determinantes para montagem destas assembleias em ambientes xéricos. Assim, as briófitas oferecem um contexto biogeográfico e ecológico excepcionalmente interessante para investigação. Com base nisso, o objetivo deste estudo foi avaliar se os fatores ambientais (temperatura e índice de aridez) influenciam a riqueza de briófitas na Caatinga em escala regional.

METODOLOGIA

Foi realizada uma compilação da distribuição de briófitas em 10 localidades em escala regional na Caatinga (excluindo brejos de altitude) com estudos florísticos sistemáticos publicados em literatura (Tabela 1). Para cada localidade foram extraídas a temperatura média anual (WorldClim 2; FICK; HIJIMANS, 2017) e o Índice de Aridez (Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database; ZOMER; XU; TRABUCCO, 2022). Cabe ressaltar que quanto mais próximo de zero estiver o índice de aridez, maior será a aridez da localidade em questão. A normalidade da distribuição dos dados foi avaliada com o teste de Shapiro-Wilk e a autocolinearidade das variáveis analisada com teste da correlação de Pearson. Foi utilizado um Modelo Linear Generalizado (GLM), por meio da função 'glm' do pacote vegan, para testar a relação entre as variáveis ambientais e a riqueza de espécies. A distribuição de Poisson foi adotada, uma vez que a riqueza de espécies é um dado discreto (CRAWLEY, 2012; BATES, 2015). As análises estatísticas foram realizadas no R versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2023).

Tabela 1. Dados das localidades utilizadas. Long: longitude; Lat: latitude; R: riqueza; IA: índice de aridez; T: temperatura média anual (°C).

Localidade	Long	Lat	R	IA	T	Referência
Afloramento Rochoso 1 (AR1)	-35.880297	-7.01664	14	0.58	21.7	Silva, Santos e Pôrto (2014)
Afloramento Rochoso 2 (AR2)	-35.903125	-7.352872	8	0.40	22.7	Silva, Santos e Pôrto (2014)
Afloramento Rochoso 3 (AR3)	-36.741636	-7.497622	9	0.34	22.5	Silva, Santos e Pôrto (2014)
Afloramento Rochoso 4 (AR4)	-36.372939	-8.142544	16	0.45	21.7	Silva, Santos e Pôrto (2014)
Afloramento Rochoso 5 (AR5)	-36.705906	-8.327850	5	0.53	19.7	Silva, Santos e Pôrto (2014)
Bosque Sagrado da Guarita (BSG)	-41.606667	-32.07500	12	0.60	26.9	Santos, Oliveira e Alves (2021)
Cachoeira do Bota Fora (CBF)	-41.667139	-42.14194	39	0.73	26.3	Sousa e Oliveira (2019)
Empresa Pernambucana de Pesquisas Agropecuárias (IPA)	-36.033333	-8.133333	16	0.33	22.6	Pôrto, Silveira e Sá (1994)
Fragmento de Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FFS)	-35.867222	-7.158056	35	0.58	21.5	Souza (2019)
Parque Estadual Cânion do Rio Poti (PRP)	-41.326972	-49.59436	13	0.46	26.2	Moraes, Araújo e Conceição (2021)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O banco de dados resultou em 104 espécies, 38 hepáticas e 66 musgos. A riqueza por localidade variou entre cinco e 39 spp. As famílias mais representativas foram Lejeuneaceae Cavers (21) e Fissidentaceae Schimp. (16). As espécies mais

frequentes foram *Octoblepharum albidum* Hedw. e *Fissidens submarginatus* Bruch (seis localidades), enquanto 67 spp. foram encontradas apenas em uma localidade. A alta frequência destas espécies é justificada pelas suas importantes adaptações para aquisição e armazenamento hídrico, que permitem sua permanência e manutenção em áreas secas. Por exemplo, *O. albidum* possui filídios multiestratificados, côncavos e com células hialinas, enquanto *F. submarginatus* possui costa, limbídio e células papilosas (PROCTOR, 1979; FRAHM, 1985; GLIME, 2022). As variáveis ambientais avaliadas neste estudo apresentaram distribuição dos dados normal (índice de aridez:  $W = 0.958$ ,  $p = 0.774$ ; temperatura:  $W = 0.872$ ,  $p = 0.105$ ) e não foram correlacionadas ( $t = 1.041$ ,  $p = 0.328$ ). Quanto ao índice de aridez, cinco localidades foram caracterizadas como semiárido (0.2-0.5), quatro subúmido seco (0.5-0.65) e uma úmida ( $>0.65$ ) (ZOMER; XU; TRABUCCO, 2022). A localidade com maior índice de aridez, e consequentemente maior umidade, apresentou maior riqueza, provavelmente favorecida pelas condições ambientais. De fato, o índice de aridez foi a variável mais explicativa para a riqueza de briófitas na Caatinga em escala regional ( $\beta = 3.135e-04$ ;  $EP = 7.101e-05$ ;  $p = 1.01e-05$ ), enquanto a temperatura não foi significativa ( $\beta = 3.758e-03$ ;  $EP = 3.458e-02$ ;  $p = 0.913$ ). A temperatura na Caatinga parece exercer apenas influência indireta sobre a riqueza das plantas em geral (GARREAUD *et al.* 2009; SILVA; SOUZA, 2018), potencializada quando atua em conjunto com a variação pluviométrica anual. A aridez é caracterizada pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evapotranspiração impulsionada pela temperatura, sendo uma variável ambiental extremamente significativa nas FTSS (SILVA; SOUZA, 2018). Na Caatinga, em particular, vários estudos demonstraram que a aridez afeta a distribuição e diversidade das espécies da flora vascular, bem como aspectos funcionais ecológicos e reprodutivos (SILVA; SOUZA, 2018; OLIVEIRA, 2022). Devido à poiquiloidria, as briófitas conseguem garantir sua permanência em ambientes secos (OLIVER; VELTEN; MISHLER, 2005). No entanto, o tempo necessário para sua recuperação da dessecação aumenta proporcionalmente à duração da exposição à mesma e o seu grau de recuperação diminui à medida que a dessecação se prolonga. Tais fatores são influenciados pela intensidade da dessecação e quando relacionados às estimativas climáticas futuras para as FTSS, onde é previsto uma diminuição do período chuvoso e um aumento dos períodos de estiagem (PROCTOR *et al.*, 2007). Essas mudanças podem afetar a diversidade de briófitas e consequentemente os processos ecológicos nessas regiões, pois elas formam um dos componentes que desempenham papéis fundamentais na disponibilidade de água superficial e no controle da erosão em paisagens modificadas pelo homem, as crostas biológicas terrestres (SZYJA *et al.* 2023). Por outro lado, apesar de as briófitas responderem eficientemente a filtros ambientais, o que foi corroborado neste estudo, ainda existem lacunas e controvérsias quanto à influência dos fatores ambientais sobre a composição e riqueza de briófitas em escala regional na Caatinga. Por exemplo, o estudo realizado por Silva *et al.* (2018) indica que não há influência significativa dos fatores ambientais na montagem da comunidade de musgos em afloramentos rochosos. Assim, a continuidade de estudos nesse tema é fundamental para entendimento dos padrões e processos envolvidos na ecologia das comunidades de briófitas da Caatinga.

## CONCLUSÕES

Este ensaio estabelece uma relação negativa direta entre a aridez e a riqueza de briófitas da Caatinga, o que denota a importância dessas plantas em estudos sobre as mudanças climáticas em florestas secas. No entanto, para compreender mais profundamente os padrões de diversificação das briófitas na Caatinga são necessários mais investimentos para conhecer a flora de briófitas e avaliar os processos responsáveis pela distribuição e riqueza do grupo em escala regional.

## Fomento

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

**Palavras-chave:** Brioflora. Caatinga. Fatores abióticos.

## Referências

- BATES, Douglas *et al.* Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1-48, 2015.
- CRAWLEY, M. J. **The R Book**. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, p. 1-8, 1 mar. 2020.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.
- FRAHM, J. P. The ecological significance of the costal anatomy in the genus *Campylopus*. **Abstracta Botanica**, vol. 9, p. 159-169, 1985.
- GARREAUD, R. D. *et al.* Present-day South American climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3-4, p. 180-195, out. 2009.
- GLIME, J. M. Water Relations: Leaf Strategies - Structural. *In*: GLIME, J. M. (ed.). **Bryophyte Ecology**. Houghton: Michigan Technological University, 2022. p. 1-46.
- LEIMU, R. *et al.* Habitat fragmentation, climate change, and inbreeding in plants. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1195, n. 1, p. 84-98, maio 2010.
- MARQUES, T. V. *et al.* Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semi-arid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, p. 1-15, 2020.
- MORAES, L. A.; CONCEIÇÃO, G. M.; ARAÚJO, M. F. V. Brioflora (bryophyta) musgos e marchantiophyta hepáticas do Parque Estadual Cânion do rio Poti, Buriti dos Montes – PI. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 25, p. e28, 15 out. 2021.

OLIVEIRA, A. C. P. *et al.* The response of plant functional traits to aridity in a tropical dry forest. **Science of The Total Environment**, v. 747, p. 141177, dez. 2020.

OLIVEIRA, W. *et al.* Chronic anthropogenic disturbances and aridity negatively affect specialized reproductive traits and strategies of edible fruit plant assemblages in a Caatinga dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 514, p. 120214, 15 jun. 2022.

OLIVER, M. J.; VELTEN, J.; MISHLER, B. D. Desiccation Tolerance in Bryophytes: A Reflection of the Primitive Strategy for Plant Survival in Dehydrating Habitats?. **Integrative and Comparative Biology**, v. 45, n. 5, p. 788-799, 1 nov. 2005.

PERERA-CASTRO, A. V.; FLEXAS, J. Desiccation tolerance in bryophytes relates to elasticity but is independent of cell wall thickness and photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, v. 174, n. 2, mar. 2022.

PÔRTO, K. C.; SILVEIRA, M. F. G.; SA, P. S. A. Briófitas da caatinga 1: Estação Experimental do IPA, Caruaru - PE. **Acta Botanica Brasilica**, v. 8, n. 1, p. 77-85, jul. 1994.

PROCTOR, M. C. F. Structure and eco-physiological adaptations in bryophytes. *In*: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. (eds.). **Bryophyte Systematics, Systematic Association special volume 14**. Londres: Academic Press, 1979. p. 479-509.

PROCTOR, M. C. F. *et al.* Desiccation-tolerance in bryophytes: a review. **The Bryologist**, v. 110, n. 4, p. 595-621, dez. 2007.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2023. **The R Project for Statistical Computing**. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acessado em: 16 jun. 2023.

SANTOS, J. C. V.; OLIVEIRA, H. C.; ALVES, M. H. Study of bryophytes of the Bosque Sagrado da Guarita, Bom Princípio of Piauí, Piauí, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e32710513433, 2021.

SILVA, A. C.; SOUZA, A. F. Aridity drives plant biogeographical sub regions in the Caatinga, the largest tropical dry forest and woodland block in South America. **PLOS ONE**, vol. 13, no. 4, p. e0196130, 27 abr. 2018.

SILVA, J. B. *et al.* Different trait arrangements can blur the significance of ecological drivers of community assembly of mosses from rocky outcrops. **Flora**, v. 238, p. 43-50, jan. 2018.

SILVA, J. B.; SANTOS, N. D.; PÔRTO, K. C. Beta-diversity: Effect of Geographical Distance and Environmental Gradients on the Rocky Outcrop Bryophytes. **Cryptogamie, Bryologie**, v. 35, n. 2, p. 133-163, abr. 2014.

SIYUM, Z. G. Tropical dry forest dynamics in the context of climate change: syntheses of drivers, gaps, and management perspectives. **Ecological Processes**, v. 9, n. 1, p. 1-16, 30 maio 2020.

SOUSA, M. E; OLIVEIRA, H. C. Briófitas de uma área ecotonal de Caatinga/Cerrado no estado do Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 1796-1808, 30 jun. 2019.

SOUZA, E. R. F. **Briófitas em um fragmento de floresta seca no nordeste do Brasil: Florística, distribuição e filtragem ambiental**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2019.

SZYJA, M. *et al.* Biological soil crusts decrease infiltration but increase erosion resistance in a human-disturbed tropical dry forest. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1-13, 20 abr. 2023.

TABARELLI, M. *et al.* Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 25-29, out. 2018.

TABARELLI, M. *et al.* The future of the Caatinga. *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. 461-474.

TURETSKY, M. R. *et al.* The resilience and functional role of moss in boreal and arctic ecosystems. **New Phytologist**, v. 196, n. 1, p. 49-67, 24 ago. 2012.

ZOMER, R. J.; XU, J.; TRABUCCO, A. Version 3 of the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database. **Scientific Data**, v. 9, n. 1, 15 jul. 2022.