

Artigos

Heterogeneidade ambiental e sua influência na riqueza e diversidade taxonômica em Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil

Environmental heterogeneity and its influence on the taxonomic richness and diversity of the Tropical Dry Forest in Pernambuco, Brazil

Anália Carmem Silva de Almeida¹ 
Geraldo Majella Bezerra Lopes¹ 
Sônia Formiga de Albuquerque¹ 

¹Instituto Agronômico de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

RESUMO

O objetivo com o presente estudo foi pesquisar a riqueza de espécies e as diversidades alfa e beta de comunidades arbóreas em seis áreas da Floresta Tropical Seca (FTS), localizada no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. As hipóteses testadas foram: (i) variações de altitude, temperatura, pluviosidade e luminosidade não influenciam a riqueza de espécies e a diversidade alfa, mas afetam a diversidade beta, e (ii) a substituição das espécies (*turnover*) é o fator determinante da estrutura das comunidades nas áreas de FTS estudadas, significando que essas comunidades estão sob a pressão da filtragem ambiental. A primeira hipótese foi apenas parcialmente verificada pelos resultados, uma vez que um dos gradientes ambientais, mais especificamente a pluviosidade, exerceu um efeito significativo sobre a riqueza de espécies e a diversidade alfa. No entanto, todos os gradientes ambientais afetaram a estrutura das comunidades e a diversidade beta. O processo de *turnover* foi identificado como fator determinante para a estrutura das comunidades arbóreas da FTS, validando a pressão causada pelos filtros abióticos e verificando a segunda hipótese. A estrutura da comunidade e a diversidade beta foram influenciadas principalmente pela pressão da altitude sobre o *turnover* e, em menor grau, da temperatura e da precipitação sobre o aninhamento.

Palavras-chave: Filtros abióticos; Aninhamento; Substituição

ABSTRACT

The present study aimed to investigate species richness and alpha and beta diversities of tree communities in six areas of Tropical Dry Forest (TDF) located in the State of Pernambuco, Northeastern Brazil. The hypotheses tested were: (i) variations in altitude, temperature, rainfall and luminosity do not affect species richness and alpha diversity but do influence beta diversity; and (ii) turnover is the main factor in determining community structure in the studied TDF areas, implying that these communities are under the pressure of environmental filtration. The first hypothesis was only partially verified by our results since one of the environmental gradients, namely rainfall, was found to exert a significant effect on species richness and alpha diversity. However, all environment gradients influenced community structure and beta diversity. The turnover process was identified as the determining factor in structuring the TDF tree communities, thereby validating the pressure caused by abiotic filters and verifying the second hypothesis. Community structure and beta diversity were influenced mainly by the pressure of altitude on turnover and, to a lesser extent, of temperature and rainfall on nestedness.

Keywords: Abiotic filters; Nesting; Turnover

1 INTRODUÇÃO

As propriedades dos ecossistemas, de maneira geral, são controladas por fatores bióticos e abióticos que influenciam na estruturação das comunidades (Souza *et al.*, 2017; Münkemüller *et al.*, 2020). Estudos têm mostrado que a riqueza e a diversidade taxonômica de espécies vegetais podem aumentar ou diminuir de acordo com diversos fatores em função da heterogeneidade ambiental e de seus filtros abióticos e bióticos (Xu *et al.*, 2017).

A estruturação de comunidades, isto é, do conjunto de populações de diferentes espécies que coexistem num mesmo espaço e tempo, analisada com base na heterogeneidade ambiental pode esclarecer como processos estocásticos (aleatórios) e determinísticos (filtragens abiótica e biótica) interagem fazendo emergir diferentes padrões (Braga *et al.*, 2017). Nesse sentido, estudos da distribuição e abundância de organismos em gradientes ambientais são oportunos para analisar como o ambiente influencia na formação de comunidades locais (Magnago *et al.*, 2013), dando-lhes configuração específica de composição, diversidade e abundância relativa de espécies (Valladares *et al.*, 2015).

A heterogeneidade ambiental pode ser definida como a variação das propriedades de um sistema no espaço ao longo do tempo (Bilia *et al.*, 2015), podendo ser caracterizada de muitas formas como, por exemplo, gradientes de altitude, declividade, pluviosidade, umidade do ar, propriedades químicas e físicas do solo, luminosidade, altura da lâmina de água no lençol freático, conforme a topografia, dentre outras (Vianna *et al.*, 2015). Vale ainda ressaltar que o gradiente ambiental consiste em qualquer variação de fatores abióticos num determinado local (Favero *et al.*, 2022). Portanto, o estudo de comunidades com enfoque em gradiente ambiental busca entender a estrutura e a variação da vegetação de uma paisagem utilizando a heterogeneidade de habitat para explicar a distribuição espacial das espécies, das populações e características, tais como cobertura, produtividade, riqueza e diversidade de espécies das comunidades (Siqueira; Rocha, 2013; Magurran, 2013; Terra *et al.*, 2015).

Outro ponto a destacar é que vários estudos têm mostrado que na 'Floresta Tropical Seca', em geral, não se encontra correlação significativa entre riqueza (diversidade alfa) e fatores abióticos (ambientais), mas sim entre diversidade beta e fatores abióticos (Silva-Aparicio *et al.*, 2018), sugerindo, portanto, que a filtragem ambiental atua mais fortemente na diversidade beta (Silva-Aparicio *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019; Münkemüller *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022), que mostra a mudança na composição de espécies ao longo de um gradiente ambiental (Magurran, 2013), permitindo inclusive que sejam conhecidos quais processos estão estruturando a comunidade e se está ocorrendo perda de diversidade de espécies.

Ainda no contexto dos gradientes ambientais, estudos também têm mostrado que o processo de *turnover* (substituição de espécies) aparece como principal fator estruturador das comunidades, pois enquanto no processo de *nestedness* (aninhamento ou agrupamento) ocorre a perda de espécies associada à existência de diferenças nas características das comunidades (isolamento, área, qualidade e agrupamento de habitats) ou nos atributos das espécies (requerimento de área, abundância e tolerância

a fatores abióticos), no processo de *turnover* ocorre a substituição de espécies ao longo de gradientes ambientais que funcionam como filtros abióticos selecionando as espécies que conseguem sobreviver em determinados ambientes (Cubino *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022).

Desse modo, o objetivo com este trabalho, tomando por base as informações descritas acima, foi pesquisar a riqueza e as diversidades alfa e beta, taxonômica de comunidades arbóreas em áreas de Floresta Tropical Seca, em Pernambuco, e para isso foram testadas duas hipóteses: (i) as variações da altitude, temperatura, pluviosidade e luminosidade não interferem nos padrões da diversidade alfa, mas sim na diversidade beta e (ii) que o *turnover* é o principal fator na determinação da estrutura das comunidades nas áreas TDF estudadas, o que implica que estas comunidades estão sob a pressão da filtragem ambiental (filtros abióticos).

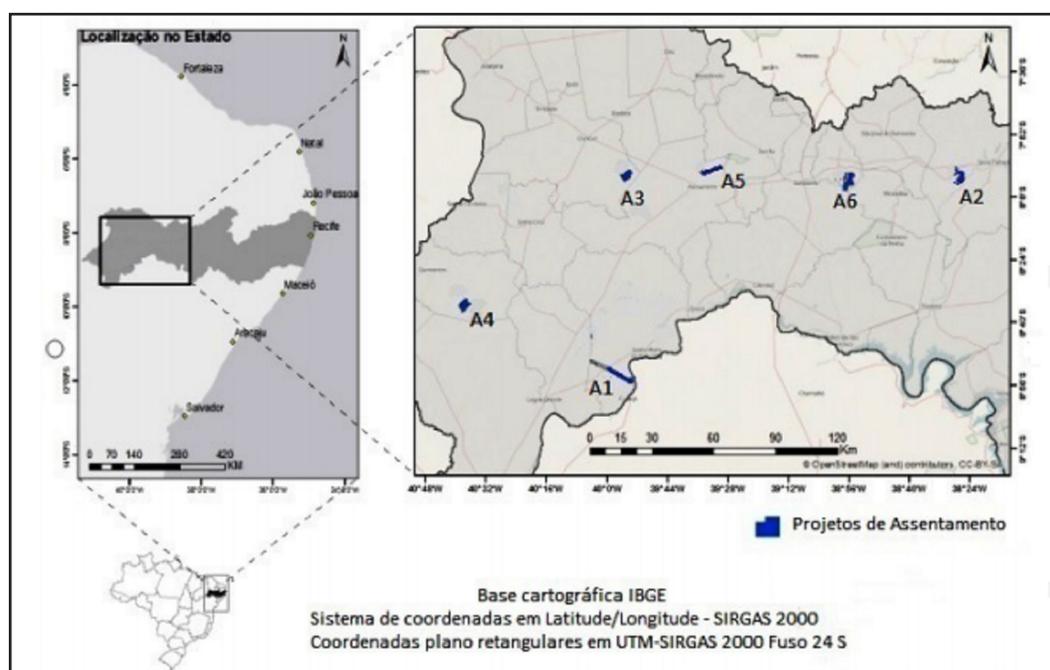
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

O estudo foi realizado em seis áreas caracterizadas como Floresta Tropical Seca (Faber-Langendoen *et al.*, 2016), em Pernambuco, no Nordeste do Brasil, tendo como referência os dados de planos de manejo florestais oriundos do conjunto de dados que estão sob a gestão do Serviço Florestal Brasileiro-SFB, dados estes utilizados pelo projeto “Apoio à Implantação do Programa de Desenvolvimento Florestal Sustentável da Região do Araripe”, originado de parceria entre CODEVASF (3ª Superintendência Regional), Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária (SARA-PE) e o Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Todas as seis áreas (Figura 1), segundo a Classificação de Koppen, possuem clima BSh', sendo a altitude média, a temperatura média anual, a pluviosidade média anual e a luminosidade média anual destas seis áreas, em conjunto, respectivamente, 439 m, 26,0°C, 503,17 mm e 2.823,08 horas de insolação (Climate-Data, 2022) e totalizam 2.397,71 hectares de florestas

(Caatinga) com espécies nativas distribuídas em áreas de assentamento de agricultura familiar em seis municípios do Semiárido do Estado de Pernambuco (Santa Maria da Boa Vista, Serra Talhada, Ouricuri, Dormentes, Verdejante e Parnamirim). Ressalta-se que é a primeira vez que estas áreas foram inventariadas e submetidas a projetos de plano de manejo florestal, não sendo relatado que esta vegetação nativa tenha sido anteriormente cortada.

Figura 1 – Localização das áreas de estudo



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023)

Em que: Onde: A1 = Santa Maria da Boa Vista; A2 = Serra Talhada; A3 = Ouricuri; A4 = Dormentes; A5 = Parnamirim; A6 = Verdejante.

2.2 Desenho amostral, coleta e tratamento dos dados

O desenho amostral adotado levou em consideração as altitudes, temperaturas, pluviosidade e luminosidade (horas de insolação por ano) consideradas fatores que promovem a heterogeneidade de habitat e as seis áreas (seis municípios) foram consideradas repetições deste desenho amostral. Nas áreas estudadas, foram analisados os dados dos inventários de planos de manejo florestais de todos os

indivíduos arbóreos com circunferência do caule a 1,30 metros da altura do solo (CAP) $\geq 6,0$ cm em 101 parcelas de tamanho 20 x 20 m (400 m²), totalizando 40.400 m², de onde foram realizadas as análises de riqueza e diversidade de espécies. Nos inventários florestais, foi detectado que as parcelas foram lançadas de forma aleatória e que foi adotado o nível de 90% de probabilidade pelo Teste T de Student e erro de amostragem de no máximo 20,0% conforme protocolos da Rede de Manejo Florestal da Caatinga e da Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco.

2.3 Análise dos dados

Os valores da riqueza, diversidade e dominância (Tabela 1) tiveram a sua normalidade verificada pelo Teste de Shapiro-Wilk, tendo o resultado do teste sido normal. Os valores dos gradientes ambientais (altitude, temperatura, pluviosidade e luminosidade, Tabela-1) foram coletados na base de dados climáticos do site Climate-Data no ano de 2022 (Climate-Data, 2022 – informações meteorológicas, médias de 30 anos), e tais dados tiveram a sua normalidade verificada pelo Teste de Shapiro-Wilk, tendo o resultado do teste sido normal para os gradientes ambientais.

A diversidade alfa nas seis áreas foi calculada pelos valores médios da Série de Hill, que inclui as três principais medidas de diversidade: riqueza ($q=0$), diversidade (Shannon corrigido, $q=1$) e dominância (Simpson, $q=2$), conforme Chao *et al.* (2014). Os valores médios da Série de Hill dos tratamentos foram calculados pela análise estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis para verificar se as comunidades possuem a mesma distribuição de riqueza, diversidade e dominância de espécies nos tratamentos. Com a finalidade de compreender a influência da heterogeneidade ambiental (altitude, temperatura, pluviosidade e luminosidade) na diversidade alfa foram calculadas as médias da riqueza e diversidade de espécies em cada ambiente estudado e em seguida esses dados foram submetidos a diferentes análises estatísticas: a) análise de correlação de Spearman para verificar se existia correlação entre riqueza e cada fator dos gradientes ambientais e entre diversidade e cada fator dos gradientes ambientais; b) análise de regressão múltipla linear (RLM com $p \leq 0,05$) para verificar as correlações

entre riqueza e todos os gradientes ambientais em conjunto e entre diversidade e todos os gradientes ambientais em conjunto.

A diversidade beta na heterogeneidade de habitat (altitude, temperatura, pluviosidade e luminosidade) foi analisada com base no seu particionamento (Cubino *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022), sendo calculados o índice de similaridade de Sorensen (β_{sor}), o índice de dissimilaridade de Jaccard (β_{jac}) para obter a contribuição do processo de *turnover* (substituição) e depois foi calculada a contribuição do processo de aninhamento (β_{nes}) pela equação $\beta_{nes} = \beta_{sor} - \beta_{jac}$. Em seguida foi analisado qual dos dois processos (*turnover* ou aninhamento) explicava de forma mais evidente a diversidade beta, relacionando em termos percentuais a média do β_{jac} e do β_{nes} com a média do β_{sor} . Posteriormente, foi realizada uma análise de correspondência canônica (CCA) para verificar a correlação entre β_{sor} , β_{jac} , β_{nes} e os gradientes ambientais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Diversidade alfa

As 12 principais famílias e 36 espécies identificadas nas áreas de TDF são apresentadas na Tabela 1, enquanto os valores médios da série de Hill relativos à riqueza de espécies e diversidade alfa, juntamente com os dos gradientes ambientais, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 1 – Espécies arbóreas identificadas em seis áreas de estudo da Floresta Tropical Seca de Pernambuco, Brasil

Famílias e espécies	Presença (1) ou ausência (0) das espécies nas áreas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
ANACARDIACEAE						
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allem.	1	1	1	1	1	1
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	1	1	1	0	1	1
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	1	1	0	1	1	0
APOCYNACEAE						
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	1	1	1	1	1	1

Continua ...

Tabela 1 – Continuação

Famílias e espécies	Presença (1) ou ausência (0) das espécies nas áreas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
BORAGINACEAE						
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	1	0	0	1	1	0
<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	1	1	1	1	1	1
BURSERACEAE						
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	1	1	1	1	1	1
CAPPARACEAE						
<i>Capparis flexuosa</i> (L.) L.	1	0	1	1	1	1
<i>Capparis yco</i> Mart.	1	0	1	0	1	1
CELASTRACEA						
<i>Maytenus rigida</i> (Thunb.) Mart.	0	1	0	1	0	0
EUPHORBIACEAE						
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	1	0	1	1	1	1
<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl	1	1	1	1	1	1
<i>Manihot carthagenensis</i> (Jacq.) Müll. Arg.	1	1	1	1	1	1
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	1	1	1	1	1	1
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur	1	0	1	1	1	1
<i>Euphorbia phosphorea</i> Mart.	1	0	0	0	1	1
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	1	1	1	1	1	1
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	1	1	1	1	1	1
FABACEAE						
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	1	1	1	1	1	1
<i>Chloroleucon dumosum</i> (Benth.) G.P.Lewis	1	0	0	1	1	0
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby	0	0	0	1	0	0
<i>Cenostigma macrophyllum</i> Tul.	1	1	0	0	0	0
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Brenan	1	1	1	1	1	1
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	1	1	0	1	1	1
<i>Mimosa sensitiva</i> L.	0	0	0	0	1	0
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	1	1	1	1	1	1
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	1	1	1	1	1	1
<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul.	1	0	1	0	1	0
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	0	0	1	1	0	1
<i>Senegalia piauiensis</i> (Benth.) Bocage & L.P.Queiroz	1	0	0	1	1	0
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	1	1	1	0	1	1

Continua ...

Tabela 1 – Conclusão

Famílias e espécies	Presença (1) ou ausência (0) das espécies nas áreas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
OLACACEAE						
<i>Ximenia americana</i> L.	1	0	0	1	0	0
RHAMNACEAE						
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	1	1	1	0	0	1
RUTACEAE						
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	0	0	0	1	0	0
SAPOTACEAE						
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D.Penn.	0	1	1	0	1	0

Fonte: Autores (2023)

Em que: A1 = Santa Maria da Boa Vista; A2 = Serra Talhada; A3 = Ouricuri; A4 = Dormentes; A5 = Parnamirim; A6 = Verdejante.

Tabela 2 – Valores médios de Série de Hill (riqueza, diversidade e dominância de espécies) e gradientes ambientais em áreas de Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil

Áreas	Série HILL			Gradientes ambientais*			
	Riqueza	Diversidade	Dominância	Altitude (m)	Temperatura Anual (°C)	Pluviosidade anual (mm)	Luminosidade anual (h)
A1	8.0	4.4	3.5	367	26.7	441	2803.11
A2	8.6	5.6	4.4	438	26.1	448	2930.78
A3	13.0	6.7	4.8	456	25.6	579	2701.97
A4	9.8	5.2	3.7	506	25.6	522	2834.41
A5	9.7	5.0	3.9	384	26.5	530	2808.87
A6	9.1	5.0	3.7	481	25.6	499	2859.36

Fonte: Climate Data (2022)

Em que: A1 = Santa Maria da Boa Vista; A2 = Serra Talhada; A3 = Ouricuri; A4 = Dormentes; A5 = Parnamirim; A6 = Verdejante.

A análise de Kruskal-Wallis dos números de Hill revelou que não houve diferenças significativas entre as áreas TDF estudadas em relação à riqueza de espécies e diversidade alfa (Tabela 3). As análises de correlação de Spearman dos valores médios de riqueza ou diversidade de espécies e gradientes ambientais revelaram que a riqueza de espécies estava fortemente correlacionada com a precipitação, enquanto as correlações com os outros gradientes ambientais eram fracas (Tabela 4). Além disso, as correlações entre a diversidade e os quatro gradientes ambientais também foram fracas.

Tabela 3 – Resultado da análise Kruskal-Wallis dos valores da Série de Hill encontrados em áreas de Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil

Áreas	Parâmetros	
	H (χ^2)	p (probabilidade)*
A1 - Santa Maria da Boa Vista	39.30	0.06
A2 - Serra Talhada	20.26	0.06
A3 - Ouricuri	12.24	0.66
A4 - Dormentes	5.92	0.88
A5 - Parnamirim	9.76	0.78
A6 - Verdejante	11.75	0.69

Fonte: Autores (2023)

Em que: * Level of significance $p \leq 0.05$.

Tabela 4 – Parâmetros da correlação de Spearman entre riqueza das espécies arbóreas em relação à altitude, temperatura, precipitação e luminosidade das áreas estudadas de Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil

Associações	R coeficientes	p (probabilidade)	Correlações*
Riqueza x Altitude	0.44	0.38	Fraca
Riqueza x Temperatura	- 0.32	0.54	Fraca
Riqueza x pluviosidade	0.97	0.001	Forte
Riqueza x Luminosidade	- 0.38	0.45	Fraca
Diversidade x Altitude	0.33	0.52	Fraca
Diversidade x Temperatura	- 0.66	0.15	Fraca
Diversidade x pluviosidade	0.58	0.23	Fraca
Diversidade x Luminosidade	0.03	0.95	Fraca

Fonte: Authors (2023)

Em que: * Classificação de acordo com Vieira (2012).

A análise da riqueza de espécies e dos gradientes ambientais (altitude, temperatura, precipitação e luminosidade) mostrou que as relações entre essas variáveis foram bem explicadas pelo modelo de regressão (RLM), conforme demonstrado pela qualidade do ajuste aos dados ($R^2 = 0,99$). Situação semelhante existia em relação às relações entre diversidade e gradientes ambientais, para as quais o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,94. No entanto, a análise de RLM também revelou que as correlações entre riqueza ou diversidade de espécies e altitude, temperatura, precipitação ou luminosidade estavam fora do limite de significância expresso pelos valores de F ($> 0,05$) e confirmado pelos valores de p correspondentes $> 0,05$ (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros da regressão linear múltipla (RLM) da riqueza em relação à altitude, temperatura, precipitação e luminosidade em área de Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil

Parâmetros	Riqueza	Diversidade
R ² coeficiente de determinação	0.99	0.94
F significação	0.17	0.36
p altitude	0.47	0.56
p temperatura	0.23	0.22
p pluviosidade	0.32	0.26
p luminosidade	0.21	0.23

Fonte: Authors (2023)

Os resultados das análises estatísticas realizadas nos dados relativos à diversidade alfa demonstraram que a precipitação é o único fator ambiental que exerceu influência significativa na riqueza de espécies, enquanto nenhum dos fatores estudados afetou a diversidade de espécies.

3.2 Diversidade Beta

A variação nas comunidades arbóreas nas seis áreas de TDF foi expressa pela diversidade beta e foi determinada pela rotatividade e aninhamento de espécies.

Conforme mostrado na Tabela 6, o particionamento da diversidade beta mostrou que a comunidade arbórea de Serra Talhada (A2) apresentou o maior nível de similaridade, indicado pelo maior valor (0,55) de β_{sor} , enquanto as comunidades de Santa Maria da Boa Vista (A1) e Ouricuri (A3) exibiram o menor nível de dissimilaridade indicado pelos valores mais baixos (0,32) de β_{jac} . O maior grau de aninhamento foi encontrado em Verdejante (A6), que apresentou valor de β_{nes} de 0,15, indicando que ocorreu maior perda de diversidade de espécies arbóreas nesta área. Os níveis mais baixos de todos os índices de diversidade beta foram encontrados em A3.

Tabela 6 – Diversidade beta em áreas de Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil

Áreas	Índices de Diversidade Beta		
	β_{sor}	β_{jac}	β_{nes}
A1 - Santa Maria da Boa Vista	0.45	0.32	0.13
A2 - Serra Talhada	0.55	0.42	0.13
A3 - Ouricuri	0.42	0.32	0.13
A4 - Dormentes	0.54	0.39	0.14
A5 - Parnamirim	0.46	0.33	0.13
A6 - Verdejante	0.54	0.40	0.15
Média	0.49	0.36	0.14

Fonte: Autores (2023)

Em que: β_{sor} = Sorensen similaridade index; β_{jac} = Jaccard dissimilaridade index (turnover); β_{nes} = aninhamento.

A partição da diversidade beta também mostrou que, nas comunidades arbóreas estudadas, o processo de *turnover* predomina sobre o aninhamento (com contribuições para β_{sor} de 73,47 e 28,57%, respectivamente) e constitui o principal fator responsável pela diversidade beta (Bernardo, 2012). Assim, filtros abióticos (restrições ambientais, geográficas/espaciais e temporais) provavelmente promovam a estruturação da diversidade beta nessas áreas (Münkemüller *et al.*, 2020). A preponderância do processo de renovação sugere que certas situações e gradientes ambientais não são tolerados por algumas espécies, podendo estas serem substituídas por outras que tolerem melhores condições análogas (Zhang *et al.*, 2022).

Os resultados da análise CCA entre os índices de diversidade beta (β_{sor} , β_{jac} e β_{nes}) e os gradientes ambientais (altitude, temperatura, precipitação e luminosidade) revelaram que o eixo de ordenação 1 (eixo x) fornece a maior parte (97,73%) da explicação para a variação na composição das comunidades, enquanto o eixo 2 (eixo y) fornece apenas 2,27% (Tabela 7). A temperatura, a precipitação e a luminosidade permaneceram mais próximas do eixo 1, com a similaridade (β_{sor}) mais associada à luminosidade e o aninhamento (β_{nes}) mais associado à temperatura e à precipitação; já a altitude permaneceu mais próxima do eixo 2 e esteve mais associada à rotatividade (β_{jac}) (Figura 2).

Tabela 7 – Correlação entre as variáveis ambientais, com os dois eixos de ordenação CCA, para as comunidades arbóreas amostradas no conjunto dos seis ambientes florestais estudados em Pernambuco, Brasil

Gradientes ambientais	Axis 1	Axis 2
Altitude	- 0.28	- 0.31
Temperatura	0.30	0.19
Pluviosidade	0.48	- 0.14
Luminosidade	- 0.83	0.15

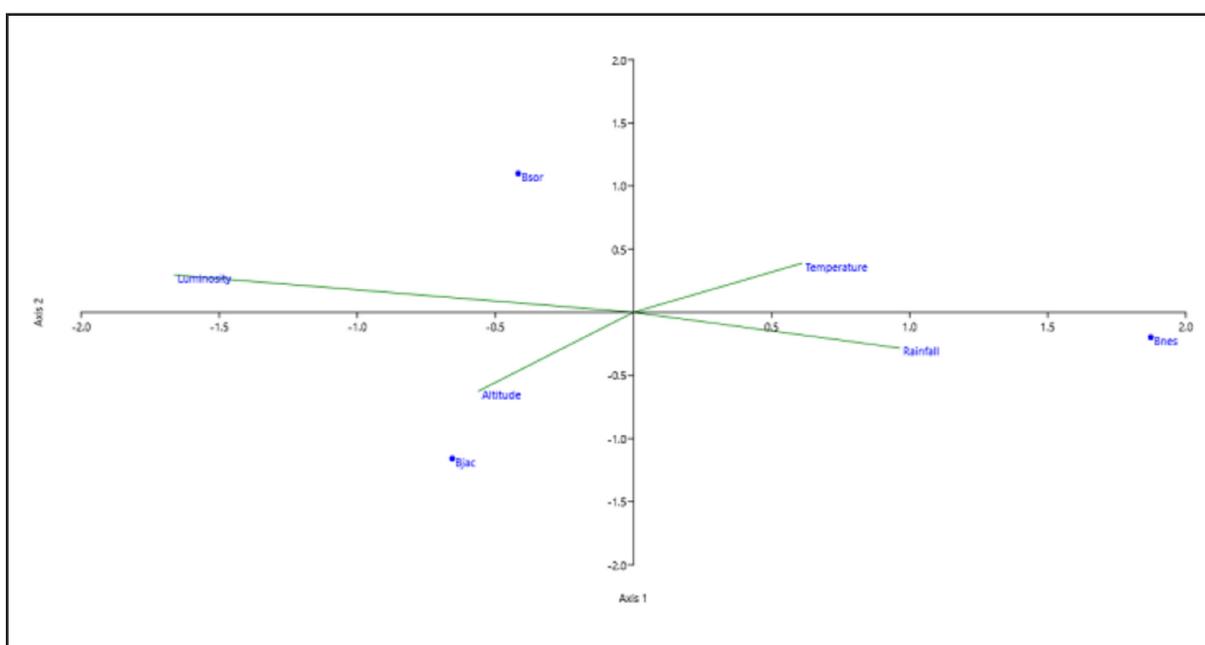
Fonte: Autores (2023)

Os resultados aqui relatados sobre a influência de fatores abióticos nas diversidades alfa e beta de comunidades arbóreas em seis áreas de TDF em Pernambuco, Brasil, foram comparáveis com aqueles relatados anteriormente por diferentes pesquisadores. Por exemplo, as chuvas influenciaram fortemente a riqueza de espécies nas áreas estudadas e a estrutura das comunidades arbóreas (diversidade beta) foi afetada significativamente pelos gradientes ambientais. Nesse sentido, os resultados aqui relatados corroboram os obtidos em áreas de TDF no México (Silva-Aparicio *et al.*, 2018), China (Whang *et al.*, 2019) e Quênia (Zhang *et al.*, 2022).

No caso das TDFs em Pernambuco, identificaram-se a temperatura e as chuvas como os principais fatores ambientais que afetam o aninhamento (β_{nes}), o

que significa perda de diversidade de espécies arbóreas. Também, detectou-se que a altitude foi o principal fator que afeta o processo de renovação (β_{jac}), que leva à substituição de espécies arbóreas. Diante do exposto, considera-se que os filtros abióticos (representados pelos gradientes ambientais) desempenham um papel na seleção de espécies arbóreas mais tolerantes ao ambiente TDF.

Figura 2 – Diagrama de ordenação, gerado pela CCA, com posição de β_{sor} , β_{jac} e β_{nes} , em relação à direção e magnitude das variáveis ambientais nos eixos de ordenação, nas seis áreas de Floresta Tropical Seca em Pernambuco, Brasil



Fonte: Autores (2023)

Em que: β_{sor} = Sorensen similaridade index; β_{jac} = Jaccard dissimilaridade index (turnover); β_{nes} = aninhamento.

4 CONCLUSÕES

A primeira hipótese foi apenas parcialmente verificada pelos resultados obtidos, uma vez que se descobriu que um dos gradientes ambientais, no caso a precipitação, exerceu um efeito significativo na riqueza de espécies e na diversidade alfa. No

entanto, todos os gradientes ambientais influenciaram a estrutura da comunidade e a diversidade beta. O processo de rotatividade foi identificado como fator determinante na estruturação das comunidades arbóreas do TDF, validando assim a pressão causada pelos filtros abióticos e verificando a segunda hipótese. A estrutura da comunidade e a diversidade beta foram influenciadas principalmente pela pressão da altitude sobre a rotatividade e, em menor grau, da temperatura e da precipitação sobre o aninhamento.

O poder público do estado de Pernambuco autorizou um ciclo de corte de 15 anos da vegetação nativa nas seis áreas do TDF com o objetivo de retirar produtos madeireiros e não madeireiros para fornecer lenha para produção de energia. Diante do cenário atual de mudanças climáticas, o monitoramento contínuo dessas áreas é fundamental para garantir: (i) a sustentabilidade ecológica das áreas ao final de cada ciclo de 15 anos em relação às questões relativas à manutenção do estoque de madeira e a viabilidade econômica do plano de corte; e (ii) a conservação da riqueza e diversidade de espécies e a continuidade dos serviços ecossistêmicos prestados pelas TDFs.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Serviço Florestal Brasileiro por indicar as áreas de estudo, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) por fornecer os planos de manejo, dos quais extraímos os dados utilizados no estudo e à CODEVASF pelo apoio financeiro ao nosso estudo. Agradecemos também a Editione - Editoração Ltda pela assistência na tradução e edição do manuscrito.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, P. V. S. **Padrões de distribuição de mamíferos de médio e grande porte em paisagens fragmentadas**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução). Universidade Federal de Goiás-UFG. 2012. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/2571/1/Dissertacao_Paulo_Bernardo.pdf. Acesso em 28 abr. 2022.

BILIA, C. G.; PINHA, G.; PETSCH, D. K.; TAKEDA, A. M. Influência da heterogeneidade ambiental sobre os atributos da comunidade de Chironomidae em lagoas de inundação neotropicais. **Heringia**, v. 105, p. 20-27, 2015. DOI: 10.1590/1678-4766201510512027.

BRAGA, C.; OLIVEIRA, J.; CERQUEIRA, R. Metacomunidades: Uma introdução aos termos e conceitos. **Oecologia Australis**, v. 21, p. 108-118, 2017. DOI: 10.4257/oeco.2017.2102.02.

CHAO, A.; GOTELLI, N. J.; HSIEH, T. C.; SANDER, E. L.; MA, K. H.; COLWELL, R. K.; ELLISON, A. M. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monographs**, v. 84, p. 45-67, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>.

CLIMATE-DATA. **Clima**: Pernambuco. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em 10 fev. 2022.

CUBINO, J. P.; JIMÉNEZ-ALFARO, B.; SABATINI, F. M.; WILLNER, W.; LOSOSOVÁ, Z.; BIURRUN, I.; BRUNET, J.; CAMPOS, J. A.; INDREICA, A.; JANSEN, F.; LENOIR, J.; ŠKVORC, Ž.; VASSILEV, K.; CHYTRÝ, M. Plant taxonomic and phylogenetic turnover increases toward climatic extremes and depends on historical factors in European beech forests. **Journal of Vegetation Science**, v. 31, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1111/jvs.12977.

FABER-LANGENDOEN, D.; KEELER-WOLF, T.; MEIDINGER, D.; JOSSE, C.; WEAKLEY, A.; TART, D.; NAVARRO, G.; HOAGLAND, B.; PONOMARENKO, S.; FULTS, G.; HELMER, E. **Classification and description of world formation types**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 222 p. 2016.

FÁVERO, A. A.; BÜNEKER, H. M.; WAECHTER, J. L. Patterns and metacommunity processes of epiphytic bromeliad assemblages along a coastal-inland gradient in a subtropical Brazilian geographic corridor. **Austral Ecology**, v. 47, p. 1184-1199, 2022, DOI: 10.1111/aec.13205.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa político do Estado de Pernambuco**. 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 1 mapa, color. Escala 1:650.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe.html>. Acesso em: 10 nov. 2023.

MAGNAGO, L. F. S.; MARTINS, S. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NERI, A. V. Structure and diversity of restingas along a flood gradient in southeastern Brazil. **Acta**, v. 27, p. 801-809. 2013. DOI: 10.1590/S0102-33062013000400020.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Curitiba: Editora da UFPR. 2013, 261 p.

MÜNKEMÜLLER, T.; GALLIEN, L.; POLLOCK, L. J.; BARROS, C.; CARBONI, M.; CHALMANDRIER, L.; MAZEL, F.; MOKANY, K.; ROQUET, C.; SMYČKA, J.; TALLUTO, M. V.; THUILLER, W. Dos and don'ts when inferring assembly rules from diversity patterns. **Global Ecology and Biogeography**, v. 29, p. 1-18, 2020. DOI: 10.1111/geb.13098.

SILVA-APARICIO, M.; CASTRO-RAMÍREZ, A.E.; CASTILLO-CAMPOS, G; RIVERA, E.P. Estructura de la vegetación leñosa en tres áreas con Selva Baja Caducifolia en el Istmo-Costa de Oaxaca, México. **Revista de Biología Tropical**, v. 66, p. 863-879, 2018. DOI: 10.15517/rbt.v66i2.33419.

SIQUEIRA, C. C.; ROCHA, C. F. D. Gradientes altitudinais: conceitos e implicações sobre a biologia, a distribuição e a conservação dos anfíbios anuros. **Oecologia Australis**, v. 17, p. 282-302, 2013. DOI: 10.4257/oeco.2013.1702.09.

SOUZA, K.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; SCHIMALSKI, M. B.; LOEBENS, R.; BUZZI JÚNIOR, F.; SOUZA, C. C.; RODRIGUES JUNIOR, L. C.; WALTER, F. F.; MISSIO, F. F.; DALLA ROSA, A. Partição de nicho por grupos funcionais de espécies arbóreas em uma floresta subtropical. **Rodriguésia**, v. 68, p. 1165-1175, 2017. DOI: 10.1590/2175-7860201768401.

TERRA, M. C. N. S.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; SANTOS, R. M.; NUNES, A. C. R.; RAIMUNDO, M. R. Influência topo-edafo-climática na vegetação de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ambiente e Água**, v. 10, p. 928-942, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1705>.

VALLADARES, F.; BASTIAS, C. C.; GODOY, O.; GRANDA, E.; ESCUDERO, A. Species coexistence in a changing world. **Frontiers in Plant Sciences**. v. 6, p. 1-16, 2015. DOI: [10.3389/fpls.2015.00866](https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00866).

VIANNA, L. F. N.; SILVA, E. B.; MASSIGNAM, A. M.; OLIVEIRA, S. N. Aplicação de descritores de heterogeneidade ambiental na seleção de áreas para sistemas de parcelas amostrais: um estudo de caso para a determinação de hotspots potenciais de biodiversidade. **Geografia**, v. 40, p. 211-239, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em 03 fev. 2021.

VIEIRA, S. **Estatística básica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 176 p.

WHANG, J.; CHEN, C.; LI, J.; FENG, Y.; LU, Q. Different ecological process determined the alpha and beta components of taxonomic, functional, and phylogenetic diversity for plant communities in dryland regions of Northwest China. **Peerj**. p. 1-20, 2019. DOI: 10.7717/peerj.6220.

XU, J.; CHEN, Y.; ZHANG, L.; CHAI, Y.; WANG, M.; GUO, Y.; LI, T.; YUE, M. Using phylogeny and functional traits for assessing community assembly along environmental gradients: A deterministic process driven by elevation. **Ecology and Evolution**, v. 7, p. 5056-5069, 2017. DOI: 10.1002/ece3.3068.

ZHANG, Q.; YE, J. F.; LE, C. T.; NJENGA, D. M.; RABARIJAONA, N. R.; OMOLLO, W. O.; LU, L. M.; LIU, B.; CHEN, Z. D. New insights into the formation of biodiversity hotspots of the Kenyan flora. **Diversity and Distributions**. v. 28, p. 2696-2711, 2022. DOI: 10.1111/ddi.13624.

Contribuição de Autoria

1 Anália Carmem Silva de Almeida

Engenheira Florestal, Doutora em Ciências Florestais, Pesquisadora

<https://orcid.org/0000-0003-0644-5193> • engfloresta@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Metodologia; Análise de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição; Design da apresentação de dados

2 Geraldo Majella Bezerra Lopes

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Sistemas Agrícolas, Pesquisador

<https://orcid.org/0000-0002-0794-1271> • geraldo.majella@ipa.br

Contribuição: Administração do projeto; Disponibilização de ferramentas; Escrita – revisão e edição; Design da apresentação de dados

3 Sônia Formiga de Albuquerque

Engenheira Florestal, Doutora em Agrofloresta, Pesquisadora

<https://orcid.org/0000-0001-7121-3669> • sonia.formiga@ipa.br

Contribuição: Escrita – revisão e edição; Validação de dados e experimentos

Como citar este artigo

ALMEIDA, A. C. S.; LOPES, G. M. B.; ALBUQUERQUE, S. F. Heterogeneidade ambiental e sua influência na riqueza e diversidade taxonômica em Floresta Tropical Seca, PE, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 34, n. 4, e73821, p. 1-18, 2024. DOI 10.5902/1980509873821. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509873821>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.