



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



A perda de abundância de indivíduos, riqueza de espécies e mudança da composição florística de plantas de sub-bosque em consequência da redução da precipitação na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil

Marcilene da Silva Pinheiro¹, Mário Augusto Gonçalves Jardim², Leandro Valle Ferreira³

¹Engenheira Florestal. Doutora em Biodiversidade e Evolução/MPEG. marcilene.pinheiro19@gmail.com. ²Pesquisador do Museu paraense Emilio Goeldi/Coordenação de Botânica. jardim@museu-goeldi.br ³Pesquisador do Museu paraense Emilio Goeldi/Coordenação de Botânica. lvferreira@museu-goeldi.br

Artigo recebido em 29/05/2024 e aceito em 11/06/2024

RESUMO

Eventos de seca extrema tem se tornado mais frequente na Amazônia com incertezas sobre a resposta da vegetação. Para monitorar o impacto das mudanças climáticas na biota da Amazônia foi implantado em 2021 no estado do Pará, o Projeto de Estudo da Seca (ESECAFLOR) que simula redução artificial da precipitação e suas consequências nos processos físicos e biológicos. O objetivo deste estudo foi comparar o impacto da redução da disponibilidade de água no solo da floresta na densidade de indivíduos, número e composição de espécies de plantas da regeneração natural nos anos de 2010, 2017 e 2022. Foi realizada amostragem da vegetação em parcelas controle e experimental (com redução de 50% da precipitação). Nas parcelas todos os indivíduos com até 20 cm de altura foram identificados e classificados quanto a forma de vida em arbustos, árvores, palmeira, liana e ervas. Foram registrados dados da umidade do solo a 20 cm nas parcelas. A umidade do solo foi maior na parcela controle. Houve redução na abundância de indivíduos e número de espécies na parcela experimental. Arbustos, árvores, lianas e ervas tiveram redução de abundância de indivíduos na parcela experimental. A única forma de vida com aumento de indivíduos na parcela experimental foram as palmeiras. Não houve variação da composição de espécies entre as parcelas controle e experimental em 2010, contudo, houveram diferenças significativas da composição de espécies entre as parcelas em 2017 e 2022. O estresse hídrico artificial tem profundo impacto na diminuição da abundância de indivíduos e riqueza de espécies da regeneração natural, além de provocar uma drástica mudança da composição de espécies na parcela experimental, corroborando os modelos climáticos que predizem que a diminuição das chuvas da Amazônia pode transformá-la em outro tipo de vegetação, mais seca, com menor biomassa, com menor número de espécies.

Palavras-chave: Amazônia, estresse hídrico, impactos climáticos, regeneração natural, sítios PELD.

The loss of abundance of individuals, species richness and change in the floristic composition of understory plants result of reduced precipitation in the Caxiuanã National Forest, Pará, Brazil

ABSTRACT

Extreme drought events have become increasingly frequent in the Amazon, with uncertainty about the response of vegetation. To monitor the impact of climate change on the Amazon biota, the Drought Study Project (ESECAFLOR) was implemented in the state of Pará in 2021, which simulates an artificial reduction in precipitation and its consequences, physical and biological processes. The objective of this study was to compare the impact of reducing water availability on the forest floor on the density of individuals, number and composition of plant species from natural regeneration in the years 2010, 2017 and 2022. Vegetation sampling was carried out with plots between the two areas control and experimental (where there is a 50% reduction in precipitation). In the plots, all individuals up to 20 cm tall were identified and classified according to their form of life as shrubs, trees, palm trees, lianas and herbs. Soil moisture data was recorded at 20 cm above the ground in both areas. Soil moisture was higher in the control plot. There was a reduction in the abundance of individuals and the number of species in the experimental plot. Shrubs, trees, lianas and herbs had a reduction in the abundance of individuals in the experimental plot. The only form of life with an increase in individuals in the experimental plot were palm trees. There was no variation in the species composition between the control and experimental plots in 2010, however, there were significant differences in the species composition between the plots in the years 2017 and 2022. Artificial water stress has a profound impact on the decrease in the abundance of individuals and richness of species from natural regeneration, in addition to causing a drastic change in the composition of species in the experimental plot, corroborating climate models that predict that the decrease in rainfall in the Amazon could

transform it into another type of vegetation, drier, with lower biomass, with fewer species.

Keywords: Amazon, hydric stress, climate impacts, natural regeneration, PELD sites.

Introdução

Durante o último milênio, o clima do planeta terra passou por diversas modificações que tiveram influências sobre a humanidade. O clima global está sob observação da humanidade, em razão de alterações significativas na frequência e grandeza com que alguns fenômenos vêm ocorrendo nos últimos anos. As mudanças nesta escala afetam toda a vida no planeta e devem ser monitoradas de forma integrada por todas as ciências, cujas disciplinas têm alguma interface com os problemas e consequências produzidas pela má intervenção do homem sobre a biosfera. As mudanças climáticas constituem um dos maiores desafios da humanidade. É urgente entender como os ecossistemas brasileiros, a economia, a infraestrutura, as cadeias produtivas, a biodiversidade, a saúde, entre outros aspectos, estão sendo afetados (Artaxo, 2022), além das variabilidades espaciais do comportamento da chuva e da temperatura influenciadas pela conformação geográfica, hidrológica e geológica das cidades, fazem com que os impactos sejam diferenciados (Bosco e Valverde, 2022).

A bacia Amazônica contém a maior extensão de florestas tropicais na terra, com mais de 5 milhões de km², e aproximadamente 1/3 das espécies animais e de plantas. A precipitação média na Amazônia é de 2.300 mm, enquanto que o fluxo médio de água do Rio Amazonas para o Oceano atlântico é de, aproximadamente, 200.000 m³/s, o que corresponde a 18% do fluxo total de água doce nos oceanos. Entretanto, nas últimas décadas, o desenvolvimento desordenado consumiu cerca de 550.000 Km², somente na Amazônia brasileira.

Muitos estudos sobre a Amazônia têm sido desenvolvidos nos últimos anos, mostrando alterações significantes, embora localizadas, nos fluxos de água, energia, carbono, ciclagem de nutrientes e na composição da atmosfera causada por desmatamento e queimadas e o aumento das taxas de desmatamento tem provocado alguns efeitos no clima como alteração nos padrões de temperatura do ar. As florestas têm influência direta sobre o clima, causando variações de temperatura e umidade, ou seja, mudanças na cobertura superficial podem ter um impacto significativo no clima, potencializando as mudanças climáticas. Na Amazônia tem sido observado o aumento de temperatura que pode ter relação com o grau de desmatamento e outros

fenômenos climáticos como maior concentração da precipitação e alteração dos espaços urbanos (Ribeiro et al., 2023; Lima et al., 2023; Moraes et al., 2022).

As florestas tropicais da Região Amazônica concentram uma das maiores biodiversidades do planeta, tanto na fauna como na flora e tem despertado interesse de pesquisadores do mundo inteiro, pelas elevadas taxas de desmatamento e a consequente ameaça de extinção de algumas espécies. A floresta amazônica representa 45% do total de florestas tropicais do mundo e acumula um quinto do carbono total da vegetação terrestre global, processando três vezes mais carbono através da fotossíntese e respiração do que o carbono liberado para a atmosfera através da queima de combustíveis fósseis. A floresta amazônica brasileira concentra um dos maiores estoques de biomassa viva como sumidouro de carbono, estudos de quantificação de biomassa nesta floresta tropical são imprescindíveis maior entendimento nas questões ligadas às mudanças climáticas (Neves et al., 2023; Piva et al., 2021).

Os estudos da produção primária líquida da floresta amazônica são importantes para o entendimento da extensão e o ritmo em que ocorre a fixação e a liberação de carbono para o meio físico. O balanço energético que envolve estes processos ainda é pouco compreendido. As pesquisas recentes apontam para uma assimetria no sequestro de carbono em florestas tropicais, onde a floresta funcionaria como um sumidouro de carbono e também seu papel na agricultura familiar, no desmatamento e nas atividades agropecuárias em relação ao sequestro de carbono e adaptação às mudanças climáticas (Crespo et al., 2023; Gomes & Cardoso, 2021). No entanto, não há evidências de como se comportará a dinâmica da produção primária líquida, especialmente a queda de liteira e a velocidade de decomposição da matéria orgânica.

Diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas no sentido de comprovar se as mudanças globais estão associadas ao impacto antrópico (Meir et al., 2015; Moreira et al., 2022; Rowland et al., 2015). Uma das importantes anomalias climáticas globais é a que se refere ao aquecimento diferencial das águas do Oceano Pacífico, conhecida como o fenômeno El-Niño. Uma das principais consequências do fenômeno El-Niño, na Amazônia Brasileira, é a redução drástica da precipitação. Esta redução pode causar alterações consideráveis no comportamento da floresta, dentre as quais podemos citar o aumento

da susceptibilidade a incêndios florestais. O Experimento ESECAFLOR (Estudo da Seca da Floresta) consiste na simulação de um período de seca prolongada na floresta, para avaliar o impacto da seca nos fluxos de água e dióxido de carbono, em uma floresta tropical amazônica, investigando a exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta, e as alterações provocadas pelo evento, algo semelhante à influência de um fenômeno El-Niño. A hipótese testada é de que a baixa precipitação influencia negativamente na riqueza de espécies. O objetivo deste estudo foi comparar o impacto da redução da disponibilidade de água na densidade de indivíduos, número e composição de espécies de

plantas da regeneração natural em uma floresta de terra firme da Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

Material e métodos

O sítio experimental do projeto ESECAFLOR está localizado no município de Melgaço-PA, na Floresta Nacional de Caxiuanã, na Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn (01° 42' 30" S; 51° 31' 45" W e 60 m de altitude), administrada pelo Museu Paraense Emílio Goeldi, uma área de 330 mil hectares, a cerca de 400 km de Belém (Figura 1).

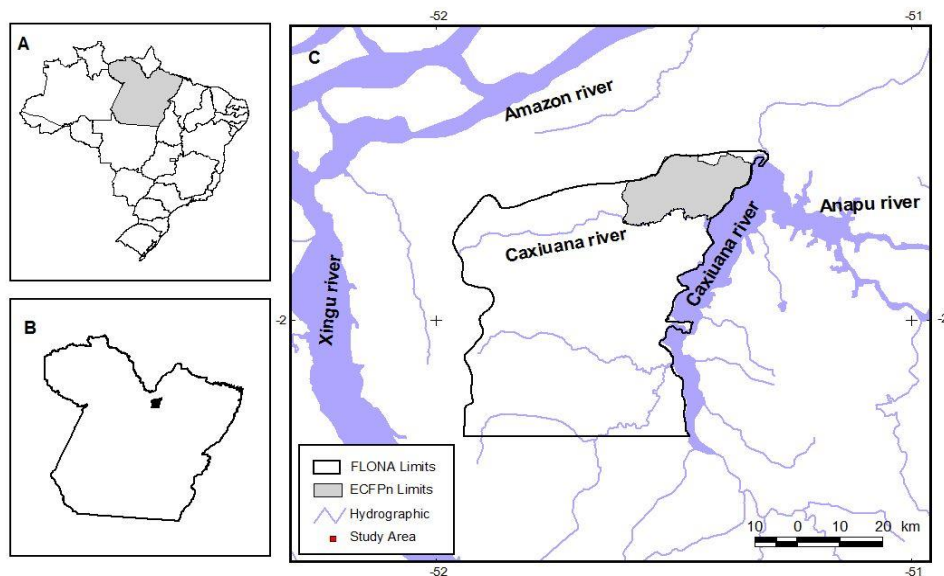


Figura 1. (A) Mapa do Brasil mostrando o estado do Pará; (B) Estado do Pará, mostrando a localização da Floresta Nacional de Caxiuanã e (C) Localização da Área de trabalho evidenciando, limite da Estação Científica Ferreira Penna, em relação a Floresta Nacional de Caxiuanã.

A região da FLONA de Caxiuanã possui o clima tipo Am, um clima tropical quente de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de cerca de 26,70° C, com mínima média de 23° C e máxima de 32,7° C. A umidade relativa do ar média é de 87% (Santos Junior et al., 2023a;b). É constituída por 90% de floresta densa e de terra firme. A área experimental está localizada aproximadamente a 1 km de distância a Oeste da sede da ECFPn, a altura média das árvores fica em torno de 40 m e o solo classificado como Latossolo Amarelo (Ruivo et al., 2002). As áreas das parcelas experimentais foram conforme a composição basal e predominância das espécies. Uma seca artificial do solo foi imposta na parcela de exclusão da chuva. A estrutura física do projeto ESECAFLOR é composta por duas parcelas, de um hectare cada, uma denominada de controle e outra de exclusão da água denominada de hectare

experimental. Estas áreas são delimitadas por trincheiras cavadas com profundidades variando de 50 a 150 cm. A parcela de exclusão é composta por 6000 painéis plásticos, instalados a uma altura média variando de 1,5 a 3,5 metros acima do solo. Esses painéis direcionam a água da chuva para calhas impermeabilizadas com plástico, as quais apresentam um desnível de 2 metros do início para o final da parcela, com intuito de excluir a água em direção a uma trincheira que exclui cerca de 90% dessa água para uma área distante da parcela (Costa et al., 2010).

A parcela controle foi usada como referência para os experimentos realizados na parcela experimental (Figura 2). Cada uma das parcelas possui uma torre meteorológica 40 metros de altura. Em cada parcela existem quatro poços, com 5 metros de profundidade, onde são realizadas medidas de temperatura e umidade do solo. Todas

as medidas foram realizadas simultaneamente em ambas as parcelas, para se quantificar os efeitos da deficiência hídrica artificial induzida na floresta (Ferreira et al., 2016). Os dados de umidade do solo foram coletados a 20 cm do solo, usando trincheiras de medição nas parcelas. Para a amostragem da vegetação foram estabelecidas 20 parcelas de 2 x 2 metros, randomicamente selecionadas, onde todos os indivíduos com até 20 cm de altura foram identificados ao nível mais específico possível. Não existiu diferença na

topografia, estrutura e tipos de solo da floresta de terra firme entre as parcelas controle e experimental. As plantas foram classificadas de acordo com suas formas de vida (arbórea, palmeira, liana e herbácea). As medições ocorreram no mês de novembro anos de 2010, 2017 e 2022. O sistema de classificação das espécies adotado foi o APG IV (2016) e a validação dos nomes foi baseada na Lista de Espécies do site Flora do Brasil 2020 (< <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>).



Figura 2. (a) Vista superior e (b) Vista inferior do sub-bosque da floresta de terra firme na parcela controle e (c) Vista superior e (d) Vista inferior do sub-bosque da parcela experimental, do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) recoberta por painéis plásticos com 50% da precipitação na Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

A diferença da abundância de indivíduos, número de espécies e umidade do solo (variáveis dependentes) em relação as parcelas controle e experimental e os anos de levantamentos (fatores) foram testadas usando um modelo de análise de variância de dois fatores; a normalidade dos dados foi determinada pelo teste de Shapiro-Will e as diferenças entre os tratamentos pelo teste a posteriori Tukey (Zar, 2010). Para testar as diferenças na composição de espécies da comunidade da regeneração natural foi utilizada uma análise multivariada de (PERMDISP) que avalia a dispersão de grupos entre os tratamentos (Anderson, 2005; 2004), usando o programa estatístico R (R Core Team, 2021) por meio das bibliotecas Vegan (Oksanen et al., 2020) e ggplot2 (Wickham, 2016).

Resultados

A redução da abundância de indivíduos entre a parcela experimental em comparação a controle variou de 46,1% em 2010 e 50,5% em 2017, sendo a média de redução dos três anos de 47,8% (Tabela 1). A umidade do solo a 20 cm de profundidade foi significativamente maior na parcela controle em comparação a parcela experimental entre os anos de 2010, 2017 e 2022 ($r^2 = 0,63$; $F = 104,93$; $p > 0,0001$), mas não variaram entre os anos ($F = 1,072$; $P = 0,348$) (Figura 3). Houve redução significativa da densidade de indivíduos entre a parcela experimental em comparação a nos três anos de amostragens ($r^2 = 0,48$; $F = 70,13$; $p > 0,0001$) e os anos de amostragens ($F = 15,51 = 0,0001$), sendo o ano de 2010 significativamente diferente dos anos de 2017 e

2022 ($p>0,0001$) que não foram diferentes entre si ($p>0,339$) (Figura 4).

A forma de vida que mais perdeu densidade foi arbustiva (78,6% a 96%), seguida de árvore (44,6% a 56,3%) e erva (23,5% a 79,5%) (Tabela 2). Foram registradas 273 espécies na regeneração natural em 61 famílias botânicas. 135 espécies ocorreram em ambas as parcelas e 138 exclusivas com 96 (69,6%) na parcela controle e 42 (31,4%) na experimental. Houve redução do número de espécies entre a parcela experimental

em comparação a controle, variando de 14,1% em 2017 a 33,3% em 2010 (Tabela 1). Houve redução significativa do número de espécies entre a parcela experimental em comparação ao controle ($r^2=0,49$; $F=73,65$; $p>0,0001$) e os anos de amostragens ($F=18,15=0,0001$)., Em 2010 foi significativamente diferente de 2017 e 2022 ($p>0,0001$) que não foram diferentes entre si ($p>0,352$) (Figura 4).

Tabela 1. Abundância de indivíduos, número de espécies e proporção da redução da regeneração natural entre as parcelas controle e experimental do Projeto ESECAFLOR nos anos de 2010, 2017 e 2022, na Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

Abundância de Indivíduos			
Ano	Controle (C)	Experimental (E)	Redução (C/E)
2010	660	356	46,1
2017	491	243	50,5
2022	406	216	46,8
			47,8
Número de Espécies			
Ano	Controle (C)	Experimental (E)	Redução (C/E)
2010	126	84	33,3
2017	110	94	14,5
2022	1160	81	30,2
			26,0

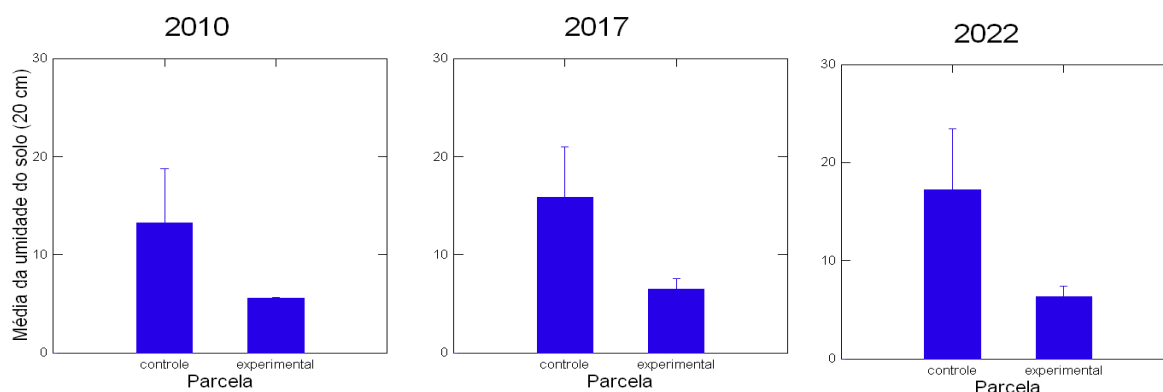


Figura 3. Média e desvio padrão da umidade do solo a 20 cm entre a parcela controle e experimental do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR, nos anos de 2010, 2017 e 2022, na Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

Foram identificadas 11 espécies, com redução total de abundância de 79,8% na parcela experimental, variando de 50% a 84,5%. Cinco espécies foram restritas a parcela controle e somente uma na experimental. Destaque para *Faramaea anisocalyx* Poepp. & Endl. como abundante com 76,6% dos indivíduos amostrados, com redução de abundância de 84,5% na parcela experimental (Tabela 3). Foram identificadas 194 espécies, com redução total de abundância de 50,9%

na parcela experimental, 169 espécies ocorreram na parcela controle e 126 na experimental, redução de 25,4%. Noventa de três espécies ocorreram em uma das parcelas, 68 na parcela controle (73,1%) e 25 na parcela experimental (26,9%). Das 101 espécies que ocorreram em ambas as parcelas, 59 tiveram redução de abundância variando de 18,2% a 90%, e 19 aumento de abundância variando de 16% a 500%, na parcela experimental, enquanto 19 não tiveram variação de abundância entre as parcelas.

Destaques para *Vouacapoua americana* Aubl., *Minquartia guianensis* Aubl. e *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A.Mori consideradas espécies típicas da floresta ombrófila densa da Amazônia, que tiveram reduções de abundância na parcela experimental (Tabela 4).

Foram identificadas 19 espécies, com redução total de abundância de 61,9%, seis espécies foram restritas a parcela controle e quatro a experimental. Das sete espécies comuns a ambas parcelas, duas tiveram aumento de abundância, variando de 33,3% a 100% e cinco tiveram redução de abundância, variando de 62,5% a 82,4% na parcela experimental, respectivamente (Tabela 5).

Foram identificadas 44 espécies, com redução total de abundância de 22,4% na parcela experimental, 35 espécies ocorreram na parcela controle e 28 na experimental, redução de 25.4%. Vinte e cinco espécies ocorreram em uma das parcelas, 16 na parcela controle e 9 na experimental. Das 19 espécies que ocorreram em ambas as parcelas, 11 tiveram redução de abundância variando de 15,6% a 88,9% e 7 tiveram aumento de abundância variando de 20% a 200%, na parcela experimental, enquanto 1 não teve variação de abundância entre as parcelas (Tabela 6).

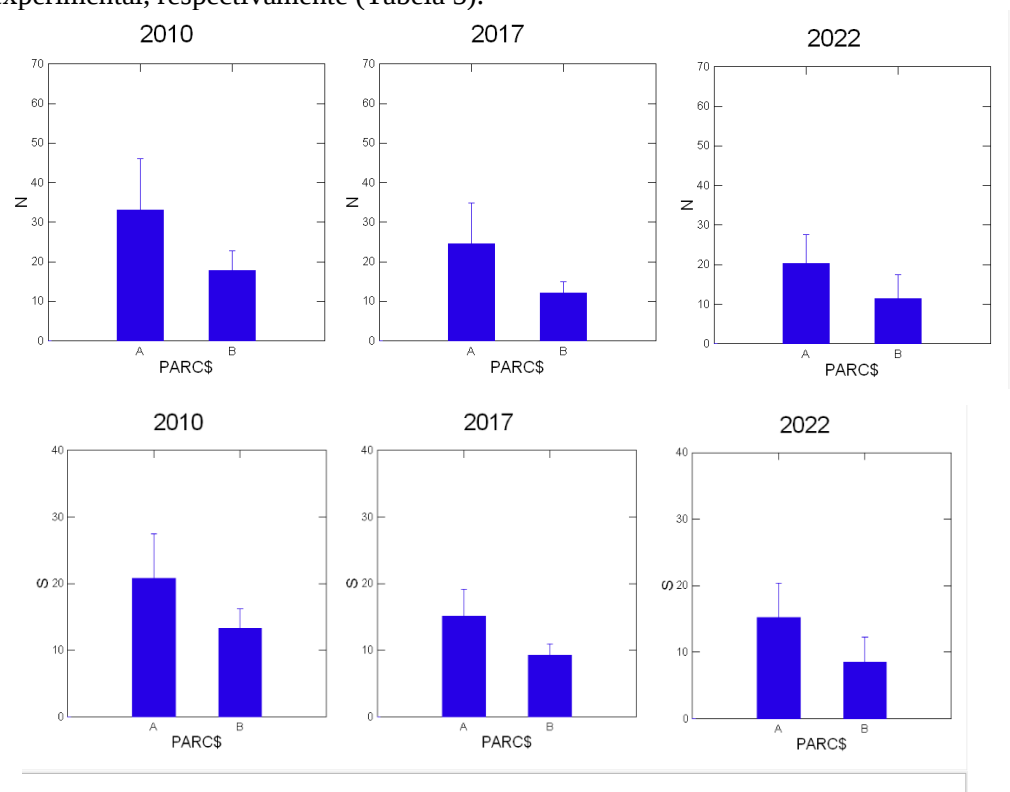


Figura 4. Média da abundância de indivíduos (N) e número de espécies (S) e proporção da regeneração natural entre a parcela controle e experimental do Projeto ESECAFLOR, nos anos de 2010, 2017 e 2022, na Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

Tabela 2. Número de indivíduos por Forma de vida entre a parcela controle e experimental do Projeto ESECAFLOR, nos anos de 2010, 2017 e 2022, na Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

2010			
Forma de Vida	Controle (C)	Experimental (E)	% de modificação(C/E)
Arbusto	50	14	-72,0
Árvore	495	246	-50,3
Herbácea	17	13	-23,5
Liana	92	75	-18,5
Palmeira	6	8	33,3
Total	660	356	-46,1
2017			
Forma de Vida	Controle (C)	Experimental (E)	% de modificação(C/E)
Arbusto	25	1	-96,0
Árvore	355	155	-56,3
Herbácea	39	8	-79,5

Liana	64	72	12,5
Palmeira	8	7	-12,5
Total	491	243	-50,5
2022			
Forma de Vida	Controle (C)	Experimental (E)	% de modificação(C/E)
Arbusto	14	3	-78,6
Árvore	258	143	-44,6
Herbácea	28	11	-60,7
Liana	98	50	-49,0
Palmeira	6	9	50,0
Samambaia	2	0	-100,0
Total	406	216	-46,8

Tabela 3. Abundância de indivíduos da regeneração natural com forma de vida arbustiva, entre a parcela controle (PC) e experimental (PE) do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) (diferenças de abundância foram calculadas para as espécies que ocorreram em ambas parcelas).

Família	Nome Científico	PC	PE	Diferença (PE/PC)
Cordiaceae	<i>Cordia nodosa</i> Lam.	4	2	-50,0
Primulaceae	<i>Cybianthus peruvianus</i> (A.DC.) Miq.	1		
Rubiaceae	<i>Faramea anisocalyx</i> Poepp. & Endl.	71	11	-84,5
Malpighiaceae	<i>Glicophyllum argenteum</i> (A.Juss) R.F. Almeida & M.Pell		2	
Erythraliaceae	<i>Heisteria ovata</i> Benth.	1		
Rubiaceae	<i>Palicourea quadrifolia</i> (Rudge) DC.	1		
	<i>Palicourea hoffmannseggiana</i> (Schult.) Borhidi	2	1	-50,0
	<i>Palicourea tomentosa</i> (Aubl.) Borhidi	2	1	-50,0
	<i>Psychotria racemosa</i> (Aubl.) G.Nicholson	1		
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana angulata</i> Mart. ex Müll.Arg.	4	1	-75,0
	<i>Tabernaemontana flavicans</i> Willd. ex Roem. & Schult.	2		
Total		89	18	-79,8

Tabela 4. Abundância de indivíduos da regeneração natural com forma de vida arbórea, entre a parcela controle (PC) e experimental (PE) do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) (diferenças de abundância foram calculadas para as espécies que ocorreram em ambas parcelas).

Família	Nome Científico	PC	PE	Diferença (PE/PC)
Euphorbiaceae	<i>Alchornea discolor</i> Poepp.		1	
	<i>Alchorneopsis floribunda</i> (Benth.) Müll.Arg.	1		
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.		1	
Sapindaceae	<i>Allophylus divaricatus</i> Radlk.	1		
Rubiaceae	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.		2	
Lamiaceae	<i>Amasonia campestris</i> (Aubl.) Moldenke		1	
Fabaceae	<i>Amphiodon effusus</i> Huber	6		
Annonaceae	<i>Anaxagorea acuminata</i> (Dunal) A.DC.	1		
Lauraceae	<i>Aniba cujumarum</i> (Mart.) A.Lyons	1		
	<i>Aniba parviflora</i> (Meisn.) Mez	8	5	-37,5
	<i>Aniba</i> sp.		1	
Apocynaceae	<i>Aspidosperma nitidum</i> Benth. ex Müll.Arg.	7	5	-28,6
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	7	3	-57,1
Annonaceae	<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.) R.E.Fr.	4	1	-75,0
Moraceae	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	4	3	-25,0

	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	12	4	-66,7
	<i>Brosimum lactescens</i> (S.Moore) C.C.Berg	2		
	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	13	2	-84,6
	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	1		
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.		1	
Rhizophoraceae	<i>Cassipourea guianensis</i> Aubl.	3	1	-66,7
Urticaceae	<i>Cecropia obtusa</i> Trécul	1		
Cordiaceae	<i>Cordia scabrifolia</i> A.DC.	2	1	-50,0
Chrysobalanaceae	<i>Couepia bracteosa</i> Benth.	1	1	0,0
Apocynaceae	<i>Couma guianensis</i> Aubl.		1	
Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	2		
Sapindaceae	<i>Cupania scrobiculata</i> Rich.	1		
Annonaceae	<i>Cymbopetalum brasiliense</i> (Vell.) Benth. ex Baill.		1	
Metteniusaceae	<i>Dendrobangia boliviana</i> Rusby	2		
Fabaceae	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith		1	
Araliaceae	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	1		
Fabaceae	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	4	8	
Ebenaceae	<i>Diospyros vestita</i> Benoist	3		
Annonaceae	<i>Duguetia cadaverica</i> Huber	27	11	-59,3
	<i>Duguetia echinophora</i> R.E.Fr.	20	3	-85,0
Sapotaceae	<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	1		
	<i>Ecclinusa ramiflora</i> Mart.	1	2	
Lauraceae	<i>Endlicheria</i> sp.	1		
	<i>Endlicheria bracteata</i> Mez	1	1	0,0
Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.		1	
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum citrifolium</i> A.St.-Hil.	2	1	-50,0
Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori	8	4	-50,0
Myrtaceae	<i>Eugenia coffeifolia</i> DC.	18	21	16,7
	<i>Eugenia cupulata</i> Amshoff	1	6	500,0
	<i>Eugenia flavescens</i> DC.	1		
	<i>Eugenia omissa</i> McVaugh	9	1	-88,9
	<i>Eugenia patrisii</i> Vahl	2	8	300,0
Apocynaceae	<i>Geissospermum sericeum</i> Miers		1	
Nyctaginaceae	<i>Guapira venosa</i> (Choisy) Lundell	1		
Meliaceae	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	3	2	-33,3
	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	7	1	-85,7
	<i>Guarea</i> sp.	1		
Annonaceae	<i>Guatteria blepharophylla</i> Mart.	4		
	<i>Guatteria punctata</i> (Aubl.) R.A.Howard	10	3	-70,0
	<i>Guatteria schomburgkiana</i> Mart.	1	4	300,0
Moraceae	<i>Helicostylis pedunculata</i> Benoist	4	3	-25,0
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella bicornis</i> Mart. & Zucc.	3	4	33,3
	<i>Hirtella hispidula</i> Miq.	8	1	-87,5
	<i>Hirtella lancifolia</i> Ducke	1		
	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	11	4	-63,6

Fabaceae	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	4		
	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	32	15	-53,1
	<i>Inga brachyrhachis</i> Harms	15	4	-73,3
	<i>Inga gracilis</i> Jungh. ex Miq.	2	2	0,0
	<i>Inga grandiflora</i> Ducke	1		
	<i>Inga lateriflora</i> Miq.	17	20	17,6
	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	1		
	<i>Inga macrophylla</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.		2	
	<i>Inga marginata</i> Willd.	4		
	<i>Inga nobilis</i> Willd.	2		
	<i>Inga pilosula</i> (Rich.) J.F.Macbr.	1	2	100,0
	<i>Inga rubiginosa</i> (Rich.) DC.	3	4	33,3
	<i>Inga splendens</i> Willd.	1	1	0,0
	<i>Inga stipularis</i> DC.	4	4	0,0
	<i>Inga thibaudiana</i> DC.		1	
Myristicaceae	<i>Iryanthera laevis</i> Markgr.	10		
	<i>Iryanthera paraensis</i> Huber	2		
Quiinaceae	<i>Lacunaria crenata</i> (Tul.) A.C.Sm.	2	4	100,0
	<i>Lacunaria jenmanii</i> (Oliv.) Ducke		2	
Lecythidaceae	<i>Lecythis idatimon</i> Aubl.	83	50	-39,8
Chrysobalanaceae	<i>Leptobalanus apetalus</i> (E.Mey.) Sothers & Prance	2		
	<i>Leptobalanus octandrus</i> (Hoffmanns. ex Roem. & Schult.) Sothers & Prance	6	1	-83,3
	<i>Leptobalanus apetalus</i> (E.Mey) Sothers & Prance var. <i>apetalus</i>	4		
	<i>Licania canescens</i> Benoist	17	7	-58,8
	<i>Licania impressa</i> Prance	3		
	<i>Licania laxiflora</i> Fritsch		1	
	<i>Licania membranacea</i> Sagot ex Laness.	24	8	-66,7
	<i>Licania pallida</i> Spruce ex Sagot	2	2	0,0
Sapotaceae	<i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach.	2	2	0,0
Moraceae	<i>Maquira calophylla</i> (Poepp. & Endl.) C.C.Berg		1	
	<i>Maquira guianensis</i> Aubl.	6		
Sapindaceae	<i>Matayba arborescens</i> (Aubl.) Radlk.	2		
Melastomataceae	<i>Miconia ciliata</i> (Rich.) DC.	1		
	<i>Miconia holosericea</i> (L.) DC.	1		
	<i>Miconia splendens</i> (Sw.) Griseb.	5	1	-80,0
Sapotaceae	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	8		
Coulaceae	<i>Minuartia guianensis</i> Aubl.	10	3	-70,0
Celastraceae	<i>Monteverdia guyanensis</i> (Klotzsch ex Reissek) Biral	1	6	500,0
Chrysobalaceae	<i>Moquilea egleri</i> (Prance) Sothers & Prance	2	1	-50,0
Clusiaceae	<i>Moronobea coccinea</i> Aubl.	4		
Melastomataceae	<i>Mouriri brachyanthera</i> Ducke	10	1	-90,0
	<i>Mouriri collocarpa</i> Ducke	45	10	-77,8
	<i>Mouriri duckeana</i> Morley		3	
Myrtaceae	<i>Myrcia bracteata</i> (Rich.) DC.		1	
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	2	3	50,0

	<i>Myrcia sylvatica</i> (G.Mey.) DC.		1	
Moraceae	<i>Naucleopsis caloneura</i> (Huber) Ducke	3		
Lauraceae	<i>Ocotea canaliculata</i> (Rich.) Mez	6	1	-83,3
	<i>Ocotea cernua</i> (Nees) Mez	1	3	200,0
	<i>Ocotea cujumarum</i> Mart.	1	1	0,0
	<i>Ocotea paraensis</i> Coe-Teix.	1		
Ochnaceae	<i>Ouratea discophora</i> Ducke	10	14	40,0
Rubiaceae	<i>Palicourea colorata</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Delprete & J.H.Kirkbr.	2	3	50,0
	<i>Palicourea egensis</i> (Müll.Arg.) Borhidi	1		
	<i>Palicourea racemosa</i> (Aubl.) G.Nicholson	3	10	233,3
	<i>Palicourea</i> sp.	1		
Chrysobalanaceae	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	2	1	-50,0
	<i>Parinari</i> sp.	1		
Fabaceae	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	1		
Violaceae	<i>Paypayrola grandiflora</i> Tul.	2	4	
Fabaceae	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	1		
Gentianaceae	<i>Potalia amara</i> Aubl.	1		
Urticaceae	<i>Pourouma mollis</i> Trécul	1	1	0,0
Sapotaceae	<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T.D.Penn.	1	1	0,0
	<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D.Penn.	1	1	0,0
	<i>Pouteria campanulata</i> Baehni	1		
	<i>Pouteria cladantha</i> Sandwith	67	29	-56,7
	<i>Pouteria decorticans</i> T.D.Penn.	19	5	-73,7
	<i>Pouteria eugeniifolia</i> (Pierre) Baehni	1	1	0,0
	<i>Pouteria filipes</i> Eyma	3	3	0,0
	<i>Pouteria gongrijpii</i> Eyma	3	2	-33,3
	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	5	1	-80,0
	<i>Pouteria krukovii</i> (A.C.Sm.) Baehni	11	2	-81,8
	<i>Pouteria oppositifolia</i> (Ducke) Baehni	3	2	-33,3
	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	6		
	<i>Pouteria venosa</i> (Mart.) Baehmi	2		
Burseraceae	<i>Protium apiculatum</i> Swart	43	11	-74,4
	<i>Protium aracouchini</i> (Aubl.) Marchant	4	12	200,0
	<i>Protium decandrum</i> (Aubl.) Marchand	5	1	-80,0
	<i>Protium guianense</i> (Aubl.) Marchand	1		
	<i>Protium opacum</i> Swart	5		
	<i>Protium paniculatum</i> Engl.	2	2	0,0
	<i>Protium pilosissimum</i> Engl.	12	18	50,0
	<i>Protium pilosum</i> (Cautrec.) Daly	3	2	-33,3
	<i>Protium sagotianum</i> Marchand	2		
	<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	6		
	<i>Protium stevensonii</i> (Standl.) Daly	17	8	-52,9
	<i>Protium subserratum</i> (Engl.) Engl.	4	3	-25,0
	<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	7	2	-71,4
	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	2	1	-50,0

Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	26	8	-69,2
Malvaceae	<i>Quararibea guianensis</i> Aubl.	1		
Quiinaceae	<i>Quiina florida</i> Tul.	4	2	-50,0
	<i>Quiina pteridophylla</i> (Radlk.) Pires	1		
Euphorbiaceae	<i>Rhodothyrus macrophyllus</i> (Ducke) Esser	1	1	0,0
Violaceae	<i>Rinorea guianensis</i> Aubl.	55	14	-74,5
	<i>Rinorea paniculata</i> (Mart.) Kuntze		2	
	<i>Rinorea passoura</i> Kuntze	1		
	<i>Rinorea pubiflora</i> (Benth.) Sprague & Sandwith	11	9	-18,2
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl.	2		
Humiriaceae	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	1		
Euphorbiaceae	<i>Sagotia brachysepala</i> (Müll.Arg.) Secco	1		
Simaroubaceae	<i>Simaba polyphylla</i> (Cavalcante) W.W. Thomas	1		
Siparunaceae	<i>Siparuna cuspidata</i> (Tul.) A.DC.	1		
	<i>Siparuna poeppigii</i> (Tul.) A.DC.	2		
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	1		
	<i>Sloanea sinemariensis</i> Aubl.	5	2	-60,0
Malvaceae	<i>Sterculia pruriens</i> (Aubl.) K.Schum.	1		
Fabaceae	<i>Stryphnodendron guianense</i> (Aubl.) Benth.	5	4	-20,0
	<i>Swartzia arborescens</i> (Aubl.) Pittier	4	2	-50,0
	<i>Swartzia laurifolia</i> Benth.	2	3	50,0
	<i>Swartzia racemosa</i> Benth.	14	4	-71,4
	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	6	6	0,0
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	2		
Fabaceae	<i>Tachigali glauca</i> Tul.	2		
	<i>Tachigali paraensis</i> (Huber) Barneby		3	
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.		1	
Combretaceae	<i>Terminalia grandis</i> (Ducke) Gere & Boatwr.	1		
Clusiaceae	<i>Tovomita choisyana</i> Planch. & Triana	1	2	
	<i>Tovomita guianensis</i> Aubl.	1		
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume		1	
Meliaceae	<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	2	3	50,0
	<i>Trichilia</i> sp.	1		
Annonaceae	<i>Unonopsis guatteroides</i> (A.DC.) R.E.Fr.	2	1	-50,0
Humiriaceae	<i>Vantanea guianensis</i> Aubl.	1	1	0,0
	<i>Vantanea parviflora</i> Lam.	8	5	-37,5
Myristicaceae	<i>Virola calophylla</i> Warb.	1	1	0,0
	<i>Virola michelii</i> Heckel	7	3	-57,1
Lamiaceae	<i>Vitex triflora</i> Vahl		2	
Fabaceae	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	70	19	-72,9
Annonaceae	<i>Xylopia nitida</i> Dunal	2	2	0,0
Fabaceae	<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	11	8	-27,3
Total		1108	544	-50,9

Tabela 5. Abundância de indivíduos da regeneração natural com forma de vida herbácea, entre a parcela controle (PC) e experimental (PE) do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) (diferenças de abundância foram calculadas para as espécies que ocorreram em ambas parcelas).

Família	Nome Científico	PC	PE	Total	Diferença (PE/PC)
Pteridaceae	<i>Adiantum paraense</i> Hieron.	2			
Marantaceae	<i>Calathea lutea</i> (Aubl.) Schult.	11	4	15	-63,6
Commelinaceae	<i>Commelina</i> sp.		1	1	
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	1		1	
Rubiaceae	<i>Geophila cordifolia</i> Miq.	1		1	
Heliconiaceae	<i>Heliconia acuminata</i> L.C.Rich.	8	3	11	-62,5
	<i>Heliconia psittacorum</i> L.f.	4	2	6	-50,0
Marantaceae	<i>Ischnosiphon arouma</i> (Aubl.) Körn.	18		18	
	<i>Ischnosiphon gracilis</i> (Rudge) Körn.	2		2	
Rubiaceae	<i>Ixora casei</i> Hance	17	3	20	-82,4
Marantaceae	<i>Monotagma floribundum</i> Hagberg & R. Erikss.	5	10	15	100,0
	<i>Monotagma laxum</i> (Poepp. & Endl.) K.Schum.	10	2	12	-80,0
Poaceae	<i>Pariana campestris</i> Aubl.	3	4	7	33,3
	<i>Pharus latifolius</i> L.	1		1	
Cyperaceae	<i>Scleria gaertneri</i> Raddi		1	1	
	<i>Scleria hirta</i> Boeckeler	3		3	
Selaginellaceae	<i>Selaginella asperula</i> Spring		1	1	
Zingiberaceae	<i>Zingiber</i> sp.		1	1	
Total		84	32	116	-61,9

Tabela 6. Abundância de indivíduos da regeneração natural com forma de vida de lianas, entre a parcela controle (PC) e experimental (PE) do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) (diferenças de abundância foram calculadas para as espécies que ocorreram em ambas parcelas).

Família	Nome Científico	PC	PE	Diferença (PE/PC)
Menispermaceae	<i>Abuta sandwithiana</i> Krukoff & Barneby	12	5	-58,3
Bignoniaceae	<i>Adenocalymma flaviflorum</i> (Miq.) L.G.Lohmann	3		
	<i>Adenocalymma allamandiflorum</i> (Bureau ex K.Schum.) L.G. Lohmann		2	
	<i>Adenocalymma schomburgkii</i> (DC.) L.G.Lohmann	35	22	-37,1
	<i>Adenocalymma validum</i> L.G.Lohmann	20	49	145,0
Celastraceae	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C.Sm.	21	17	-19,0
Menispermaceae	<i>Cissampelos</i> sp.	1		
Polygonaceae	<i>Coccoloba mollis</i> Casar.		2	
Combretaceae	<i>Combretum laxum</i> Jacq.	3		
Connaraceae	<i>Connarus erianthus</i> Benth. ex Baker	26	7	-73,1
Lecythidaceae	<i>Couratari multiflora</i> (Sm.) Eyma	1		
Fabaceae	<i>Deguelia utilis</i> (A.C.Sm.) A.M.G.Azevedo	6		
	<i>Deguelia nitidula</i> (Benth.) A.M.G. Azevedo & R.A.Camargo	7		
	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith		1	
Malpighiaceae	<i>Diplopterys lucida</i> (Rich.) W.R.Anderson		3	
	<i>Diplopterys pauciflora</i> (G.Mey.) Nied.		2	
Dilleniaceae	<i>Doliocapus brevipedicellatus</i> Garcke	27	3	-88,9

	<i>Doliocarpus dentatus</i> (Aubl.) Standl.	32	27	-15,6
	<i>Doliocarpus spraguei</i> Cheeseman	1		
Apocynaceae	<i>Forsteronia acouci</i> (Aubl.) A.DC.	1		
Bignoniaceae	<i>Fridericia cinnamomea</i> (DC.) L.G.Lohmann	3		
Celastraceae	<i>Hippocratea volubilis</i> L.	6	1	-83,3
Fabaceae	<i>Machaerium latifolium</i> Rusby	1		
	<i>Machaerium lunatum</i> (L.f.) Ducke		1	
	<i>Machaerium macrophyllum</i> Benth.		4	
	<i>Macropsyчанthus bicolor</i> (Benth.) L.P.Queiroz & Snak	1	2	100,0
Polygonaceae	<i>Moutabea guianensis</i> Aubl.	5	5	0,0
Apocynaceae	<i>Odontadenia nitida</i> (Vahl.) Mull. Arg.	2	3	50,0
Menispermaceae	<i>Odontocarya amazonum</i> Barneby	1		
Piperaceae	<i>Piper anonifolium</i> Kunth	1		
Celastraceae	<i>Prionostemma asperum</i> (Lam.) Miers	4	9	125,0
	<i>Salacia impressifolia</i> (Miers) A.C. Sm.	9	13	44,4
Fabaceae	<i>Schnella guianensis</i> (Aubl.) Wunderlin	5	6	20,0
	<i>Schnella kunthiana</i> (Vogel) Wunderlin	1		
Menispermaceae	<i>Sciadotenia paraensis</i> (Eichler) Diels	2		
	<i>Sciatodenia</i> sp.		2	
Fabaceae	<i>Senegalia multipinnata</i> (Ducke) Seigler & Ebinger		1	
Sapindaceae	<i>Serjania paucidentata</i> DC.	2	1	-50,0
Smilacaceae	<i>Smilax syphilitica</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	2	1	-50,0
Loganiaceae	<i>Strychnos amazonica</i> Krukoff	7	1	-85,7
Bignoniaceae	<i>Tanaecium bilabiatum</i> (Sprague) L.G.Lohmann	1		
Menispermaceae	<i>Telotoxicum krukovii</i> Moldenke	2	1	-50,0
Dilleniaceae	<i>Tetracera willdenowiana</i> Steud.	2	6	200,0
Total		254	197	-22,4

A maior redução de abundância na parcela experimental foi para *Doliocarpus brevipes* Garcke, *Strychnos amazonica* Krukoff e *Hippocratea volubilis* L. (88,9%, 85,7% e 83,3%). O maior aumento de abundância na parcela experimental foi para *Prionostemma asperum* (Lam.) Miers, *Adenocalymma validum* L.G.Lohmann e *Adenocalymma allamandiflorum* (Bureau ex K.Schum.) L.G.Lohmann com 125%, 145% e 200% (Tabela 6). Seis espécies obtiveram aumento total de abundância de 20% na parcela experimental. Três espécies foram restritas a parcela experimental e ao controle. Das três espécies comuns as parcelas, duas tiveram reduções de abundância de 30% e 66,7%,

Astrocaryum aculeatum G.Mey. e *Geonoma baculifera* (Poit.) Kunth. Somente *Astrocaryum mumbaca* Mart. obteve aumento de 100% na parcela experimental (Tabela 7). Não houve variação na diferença significativa de dispersão de grupos na PCoA da composição de espécies entre as parcelas controle em comparação e experimental no ano 2010, com oito anos do início do experimento (PERMADISP (F=2.71; p=0.104) (Figura 5A). Contudo, houve diferença significativa entre os anos de 2017, 15 anos do início do experimento (PERMADISP (F=21.81; p=0,001) e no ano 2022, 20 anos do início do experimento (PERMADISP (F=8,24; p=0,009) (Figura 5A e 5B).

Tabela 7. Abundância de indivíduos da regeneração natural com forma de vida de palmeias, entre a parcela controle (PC) e experimental (PE) do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) (diferenças de abundância foram calculadas para as espécies que ocorreram em ambas parcelas).

Família	Nome Científico	PC	PE	Diferença (PE/PC)
Areaceae	<i>Astrocaryum aculeatum</i> G.Mey.	10	7	-30,0
	<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.		4	
	<i>Astrocaryum munbaca</i> Mart.	4	8	100,0
	<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.		2	
	<i>Bactris hirta</i> Mart.		1	
	<i>Geonoma baculifera</i> (Poit.) Kunth	6	2	-66,7
Total		20	24	20,0

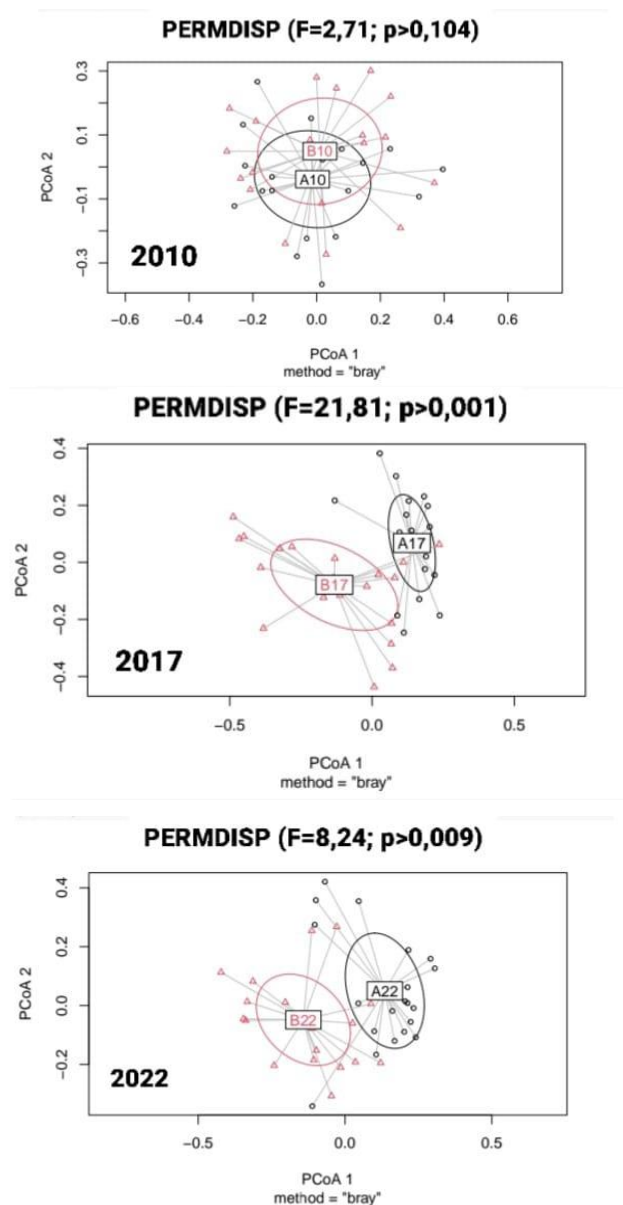


Figura 5. Dispersão da similaridade de espécies entre as parcelas controle (A) e experimental (B) do Projeto ESECAFLO, nos anos de 2010, 2017 e 2022, na Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil.

Discussão

A seca ameaça as florestas tropicais, mas os impulsionadores da mortalidade de árvores

após a seca permanecem mal compreendidos (Rowland et al., 2015). Ainda não está claro com que rapidez a vegetação tropical pode mudar e como essas intervenções modelarão a estrutura e composição das espécies nas próximas décadas. Para Souza et al. (2022), as análises meteorológicas de longo prazo sugerem o aumento na temperatura do ar e diminuição nas chuvas sobre o bioma Amazônia, portanto, a persistência de anomalias negativas de precipitação pode ser tão crítica para a floresta quanto o período de seca.

Os estudos realizados na área do Projeto ESECAFLOR têm demonstrado o nítido impacto do estresse hídrico na comunidade de plantas. Medeiros et al. (2014) mostraram redução da riqueza de espécies e da densidade de indivíduos de samambaias e licófitas em relação ao controle, resultante da redução da umidade do solo e maior mortalidade de árvores no hectare experimental sendo essa mortalidade mais significativa nas árvores com maiores diâmetros. Costa et al. (2010) determinaram que a taxa de fotossíntese foi maior no hectare controle em comparação ao experimental, demonstrando que as mudanças climáticas na Amazônia geram impactos negativos na biodiversidade.

A mortalidade de árvores inicialmente mostrou-se resistente à seca, enquanto na Floresta Nacional do Tapajós aumentou para 9% após três anos, seguida de um declínio. As observações de resposta à seca de experimentos em escala de campo e secas naturais demonstraram aumento da mortalidade no curto prazo (1-3 anos), com vulnerabilidade notavelmente maior para alguns táxons e para árvores maiores (Costa et al., 2010). Após vários anos de seca, taxas de recuperação de crescimento em árvores menores, DAP (Diâmetro na altura do peito) <40 cm e mortalidade reduzida foram registradas em diferentes locais (Costa et al., 2010; Rowland et al., 2015). As oscilações das temperaturas do ar e do solo influenciam nos processos de germinação das sementes, crescimento do sistema radicular dentre outros processos e esse entendimento no açaizeiro é primordial para consolidação da cultura (Vieira et al., 2024)

No entanto, em um estudo recente, Bartholomew et al. (2020), destacaram que as pequenas árvores tropicais têm maior capacidade de responder às mudanças no nível do ecossistema e têm o potencial de regenerar florestas resilientes após secas futuras. As árvores de sub-bosque mostram maior capacidade de ajustar sua fisiologia foliar do que grandes árvores de dossel após 15 anos de exclusão, sugerindo que as respostas à seca dependem do tamanho da árvore.

Neste contexto, Ferreira et al. (2016), relataram que a menor densidade, altura, riqueza de espécies e diversidade de espécies ocorreram na parcela sujeita à escassez de água relacionando essas respostas a mortalidade de mudas e o crescimento de espécies com diferentes requisitos ecológicos e talvez um espectro ecológico mais amplo. Os autores apontam que a escassez de água levou a reduções da densidade de mudas nos níveis de comunidade e população, enfatizando a estreita relação entre disponibilidade de água, associações de habitat, padrões de riqueza de espécies de árvores e recrutamento e sobrevivência de mudas. Estudo de Moraes et al. (2023) apontam que a Amazônia tem enfrentado alterações significativas no clima, especificamente no aumento temporal da estação seca e na sua intensidade, enquanto a precipitação tornou-se mais intensa durante a estação chuvosa. As maiores frequências de Déficit Potencial de Água (DEF) ocorreram entre 25 e 75 mm/mês, enquanto o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) indicou períodos de secas moderadas a severas e a ausência de períodos úmidos na região, indica que a Amazônia já pode ter entrado em um novo regime de clima mais quente e variável.

Os diferentes grupos funcionais também diferem em suas respostas diante a seca severa, desta forma indicando uma mudança para espécies mais generalistas com melhores chances de sobrevivência e tolerantes a condições hídricas variáveis (Rowland et al., 2015). Em relação as formas de vida, as lianas foi o único grupo que obtiveram incremento no número de indivíduos na parcela experimental. Estudos sobre lianas e ambientes e suas implicações sobre a composição e dinâmica das florestas tropicais mostraram mudanças na densidade e biomassa dos indivíduos arbóreos relacionados aos impactos indiretos das mudanças climáticas no sumidouro de carbono das florestas tropicais, aumentando os efeitos negativos da ocupação da copa dos cipós na produtividade da biomassa das árvores (Maia et al., 2020).

De acordo com esses estudos, tal comportamento decorre, possivelmente, das mudanças climáticas no planeta, como o aumento da concentração de CO₂ nas florestas tropicais. Diante dos resultados obtidos nesse estudo, pode-se inferir que, caso esse ambiente florestal sofra grandes perturbações de forma contínua, as lianas poderão dominar a composição florestal atual, uma vez que essa forma de vida é bastante agressiva, e de rápida colonização de áreas perturbadas.

Os resultados sugerem uma modificação na composição e diversidade de espécies como

resposta a diminuição a oferta de água, favorecendo o estabelecimento de grupos de espécies mais generalistas e resistentes a falta de determinados recursos ecológicos e com uma capacidade maior de se ajustar a períodos de seca prolongada. A capacidade de uma árvore de mudar suas características e potencialmente se aclimatar a novas condições ambientais é suscetível de fornecer uma vantagem competitiva em condições ambientais instáveis. Para Cabral Júnior et al. (2022) a cobertura do solo na região oeste da Amazônia (Rio Branco, Acre) em anos de contrastes climáticos (chuvoso, normal e seco) mostraram que o ano de 2005 foi um dos mais secos e de 2009 um dos mais chuvosos. O ano de 2005 apresentou 66% de cobertura com vegetação densa, quanto que o ano de 2009 apresentou o maior percentual (87,4%), resultado de uma variação considerável da biomassa da floresta em Rio Branco. Entre os anos analisados, a seca ocorrida em 2005 mostrou os mais elevados percentuais de vegetação esparsa (29,8%) e solo exposto (4,1%). Portanto, reforça-se a influência da precipitação na região, onde em anos mais secos (2005), há uma diminuição na capacidade de resiliência da vegetação, que pode ter sido intensificada pelo processo de desmatamento e/ou queimadas.

As implicações ecológicas decorrentes da baixa precipitação e do estresse hídrico ocasionam mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas afetando todos os seus estágios desde a germinação até o desenvolvimento vegetativo (Campos et al., 2021). Para Carvalho et al. (2020) as secas e chuvas excessivas promovem é o aumento dos gases de efeito estufa proporcionando maior variação climática gerando impactos negativos sobre os vegetais. No cenário de mudanças climáticas, a água tem se tornado um recurso cada vez mais limitado e essa condição pode ser potencializada pelo aumento da temperatura (Oliveira et al., 2015). Neste sentido, é importante ficar atento aos fenômenos meteorológicos caracterizados por estiagens que estão associados a muitos prejuízos para diversos setores da economia (Tomazoni & Guimaraes, 2023). Para tal é fundamental compreender as relações entre o conteúdo de água na planta e outras variáveis do ecossistemas, como: biomassa e evapotranspiração que podem auxiliar e prever impactos da escassez hídrica e seca climatológica sobre a produção de biomassa (Galvêncio, 2017).

A resiliência da floresta diante de cenários futuros e estratégias para conservação deve focar principalmente na resiliência socioecológica mostrando que o equilíbrio em sistemas ecológicos

se dá na conservação dos serviços ambientais necessários para o bem-estar social das populações (Souza et al., 2021). De maneira mais ampla, evidenciar a relevância no entendimento da interação existente entre a suscetibilidade em relação à base física do espaço geográfico e a vulnerabilidade associada a elementos da sociedade, como subsídio ao entendimento da resiliência ambiental e aos desastres naturais (Santos, 2020).

Conclusão

Houve redução significativa na riqueza e diversidade de espécies nas parcelas amostradas no hectare experimental, para ambos os períodos amostrais. Em nível de comunidade ocorreu redução da densidade de indivíduos nas parcelas amostradas no hectare experimental em ambos os períodos amostrados. Em relação às formas de vida, somente as espécies de hábito arbóreo tiveram redução significativa da densidade de indivíduos nas parcelas amostradas no hectare experimental nos períodos amostrados. Em nível de comunidade não houve diferença na composição de espécies entre os hectares controle e experimental para a medição realizada em 2010. Em contraste, para a medição realizada em 2017 foi registrada diferença na composição de espécies entre os hectares controle e experimental. Em nível populacional, as espécies com as maiores densidades absolutas tiveram redução da densidade nas parcelas amostradas no hectare experimental. As diferenças observadas estão associadas a redução da temperatura do ar, da umidade do ar e do solo na parcela experimental.

Agradecimentos

Ao Conselho Científico e Tecnológico (CNPq) no âmbito do Programa de Pesquisa de Longa Duração (PELD) e pela concessão de Bolsa de Produtividade em Pesquisa para o segundo autor (Processo 306672/2021-9) e terceiro autor (Processo 312024/2021-5). Ao técnico Luiz Carlos Batista Lobato pela coleta e identificação das plantas e ao Dr. Antônio Carlos Lola da Costa, coordenador do Projeto ESECAFLOR. A Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas – FAPESPA pelo apoio financeiro Convênio para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PD&I - nº 009/2023 e a Empresa Benevides Madeiras LTDA pelo apoio técnico e logístico.

Referências

- Anderson, M.J. (2005). PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance. Department of Statisc, University of Auckland, New Zealand. pp. 1-24.
- Anderson, M.J. (2004). Permdisp: a Fortran computer program for permutational analysis of multivariate dispersions (for any twofactor ANOVA design) using permutational test. In Department of Statisc, University of Auckland, New Zealand. p.11-21.
- APG. Angiosperm Phylogeny Group IV (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society 181,1-20. DOI: 10.1111/boj.12385.
- Artaxo, P. (2022). Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil: a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. *Ciência e Cultura* 74,1-14. DOI: 10.5935/2317-6660.20220067.
- Bartholomew, D.C., Bittencourt, P.R.L., Costa, A.C.L., Banin, L.F., Costa, P.B., Coughlin, S.I., Domingues, T.F., Ferreira, L.V., Giles, A., & Mencuccini, M. (2020). Small tropical forest trees have a greater capacity to adjust carbon metabolism to long-term drought than large canopy trees. *Plant Cell Environment* 43, 2380-2393. DOI 10.1111/pce.13838.
- Bosco, R.B., & Valverde, M.C. (2022). Projeções climáticas de precipitação e temperature na Região Metropolitana do Vale do Paraíba-SP simulados por modelos climáticos do CMIP6. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 1621-1638. DOI: 10.26848/rbgf.v15.3.p1621-1638
- Cabral Júnior, J.B.C., Silva, H.J.F., & Reis, J.S. (2022). Características da Cobertura do Solo em Anos de Contrastes Climáticos (chuvoso e seco) no Oeste da Amazônia, Rio Branco – Acre. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 2704-2714. DOI:10.26848/rbgf.v15.6.p2704-2714.
- Campos, A.J.M., Santos, S.M., & Nacarath, I.R.F.F. (2021). Estresse hídrico em plantas: uma revisão. *Research, Society and Development* 10, e311101523155. DOI:10.33448/rsd-v10i15.23155.
- Carvalho, J.S.B., Silva, J.P.R., & Batista, R.C.M. (2020). Uso do ácido salicílico como atenuador aos efeitos do déficit hídrico em plantas de manjerição. *Diversitas Journal* 5, 1561-1574. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i3-888.
- Costa, A.C.L., Galbraith D., Almeida, S.S., Portela, B.T.T., Costa, M., Silva Junior, J.A., Braga, A.P., Gonçalves, P.H.L., Oliveira, A.A.R., & Fisher, R. (2010). Effect of 7 year of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. *New Phytologist* 187,579-591.
- Crespo, A.M., Souza, M.N., & Silva, M.A.B. (2023). Ciclo do carbono (c) e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção agrícola: revisão de literatura. *Incaper em Revista* 13 e 14, 6-19. DOI 10.54682/ier.v.13e14.p06.19.
- Ferreira, L.V., Cunha, D.A., Parolin, P., & Costa, A.C.L. (2016). Impacts of experimental drought on community structure and floristic composition of tree saplings in a lowland tropical rainforest in Eastern Amazonia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 11, 351-363.
- Flora do Brasil. (2020). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>.
- Galvêncio, J.D. (2017). Relation of leaf water content with real evapotranspiration and biomass in Caatinga biome, using remote sensing data. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 1545-1551. DOI: 10.26848/rbgf.v10.5.p1545-1551.
- Gomes, L.C.; & Cardoso, I.M. (2021). Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. *Cienc. Cult.* 73, 40-43. DOI: 10.21800/2317-66602021000100008.
- Lima, I.F., Oliveira, F.S., Junior, W.R.N., Serrão, E.A.O., & Furtado, L.G. (2023). Alterações antrópicas no uso da terra e seu impacto na temperatura do ar na porção setentrional do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 1565-1585. DOI:10.26848/rbgf.v16.3.p1565-1585.
- Maia, V.A., Santos, A.B.M., Aguiar-Campos, N., Souza, C.R., Morel, J.D., Oliveira, M.C.F., Fagundes, N.C.A., Gianasi, F.M., Fontes, M.A.L., & Santos, R.M. (2020). Climate and soil mediate the effects of liana density on forest dynamics. *Biotropica* 53,509-519. DOI: 10.1111/btp.12894.
- Medeiros, P.S., Ferreira, L.V., & Costa, A.C.L. (2014). O impacto do estresse hídrico artificial na comunidade de samambaias e licófitas em um sub-bosque de floresta ombrófila na Amazônia oriental. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 9, 223-230.
- Meir, P., Wood, T.E., Galbraith, D.R., Brando, P.M., Costa, A.C.L., Rowland, L., & Ferreira,

- L.V. (2015). Threshold responses to soil moisture deficit by trees and soil in tropical rain forests: insights from field experiments. *BioScience* 65, 882-92. DOI:10.1093/biosci/biv107.
- Moraes, B.C., Sodré, G.R., Lima, A.M., Junior, J.A.S., & Ribeiro, J. B. M. (2023). Risco agroclimático: Impacto da variabilidade dos episódios de seca sobre a produção do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) na Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 1685-1696. DOI:10.26848/rbgf.v16.4.p1685-1696.
- Moraes, B.C., Sodré, G.R.C., Cardoso, A.C.D., & Silva Júnior, A.R. (2022). Crescimento urbano e suas implicações para o tempo e clima da região Metropolitana de Belém do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 2042-2057. DOI:10.26848/rbgf.v15.4.p2042-2057.
- Moreira, A.T.R., Santos, E.C., Nobrega, G.T., & Carvalho, S.R.B. (2022). O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. *Revista Educação em Foco* 14, 22-27.
- Neves, A.H.B., Oliveira, A.C., Ataides, G.C., Santos, C.M.M., Pereira, V.L., Aquino, L.F.P., Scooti, M.S.V., Tronco, K.M.Q., Melo, R.R., & Mascarenhas, A.R.P. (2023). Biomassa e carbono em plantio comercial de paricá na Amazônia. *Nativa* 10, 154-162. DOI: 10.31413/nativa.v10i2.13330.
- Oliveira, A. R. de, Braga, M. B., & Walker, A. M. (2015). Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições semiáridas do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 525-541. DOI: 10.26848/rbgf.v8.0.p525-541.
- Oksanen, J., Simpson, G.L., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Solymos, P., Stevens, M.H.H., & Szoecs, E. (2020). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>, 2020.
- Piva, L.R.O., Sanquetta, C.R., Wojciechowski, J., & Corte, A.P.D. (2021). Estoques de biomassa e carbono na Amazônia brasileira: uma nova abordagem. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 14, Supl. 2, e8820. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14Supl.2.e8820.
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ribeiro, P.S., Gomes, D.J.C., Souza, E.B., Nascimento, M.M.M., Nascimento, J.C.S., Oliveira, M.R.S., & Rocha, M.C. (2023). Influência do desmatamento na temperatura do ar, Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16, 165-176. DOI: 10.26848/rbgf.v16.1.p165-176.
- Rowland, L., Costa, A.C.L., Galbraith, D.R., Oliveira, R.S., Binks, O.J., Oliveira, A.A.R., Pullen, A.M. Doughty, C.E., Metcalfe, D.B., & Vasconcelos, S.S. (2015). Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature* 528, 119-122.
- Ruivo, M.L.P., Pereira, S.B., Busseti, E.P.C., Costa, R.F., Quanz, B., Nagaishi, T.Y., Oliveira, P.J., Meir, P., Malhi, Y., & Costa, A.C.L. (2002). Propriedades do solo e fluxo de CO₂ em Caxiuanã, Pará: experimento LBA-ESECAFLOR. In: Klein, E.L., Vasquez, M.L., Rosa-Costa, M.L. (Org.): *Contribuições à Geologia da Amazônia* 3: 291-299.
- Santos Neto, C.A.L., Ferreira, L.V., Costa Neto, S.V., & Jardim, M.A.G. (2023a). Florística e estrutura da comunidade arbórea na floresta de terra firme da FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 001-035. DOI:10.26848/rbgf.v16.1.p001-035.
- Santos Neto, C.A.L., Ferreira, L.V., Jardim, M.A.G. (2023b). Estrutura diamétrica da comunidade de plantas na floresta de terra firme na Flona de Caxiuanã, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 3334-3346. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3334-3346.
- Santos, F.A. (2020). Resiliência ambiental a desastres naturais: conceitos e características gerais. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade* 6, e202021. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/12492>. Acesso em: 17 out 2024.
- Souza, R.A., Moura, V., Paloschi, R.A., Aguiar, R.G., Webler, A.D., & Borma, L.S. (2022). Assessing Drought Response in the Southwestern Amazon Forest by Remote Sensing and In Situ Measurements. *Remote Sens.* 14, 1733-1746. DOI:10.3390/rs14071733.
- Souza, C.M.M., Mello, B.J., Gomes, A.M. (2021). Desenvolvimento sustentável e resiliência socioecológica: agenda para uma transição sustentável dos territórios. *Redes* 26, 1-26. DOI: 10.17058/redes.v26i0.16759.
- Tomazoni, J. C., & Guimarães, E. (2023). Utilização de Índices de Vegetação para Avaliação de Impacto de Estiagem no Município de Francisco Beltrão. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 3125-3148. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3125-3148.

Vieira, I. C. O., Pires Costa, D. L., Martins, C. G. D., Teixeira, E. O., Ferreira, B. G., Luz, D. B., & Souza, P.J.O.P. (2024). Correlação entre temperatura do ar e do solo em um plantio comercial de açaizeiro, Castanhal, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 17, 1351-1361.
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rb>

[gfe/article/view/258665](https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rb/gfe/article/view/258665).

Zar, J.H. (2010). *Biostatistical Analysis*. 5 ed. New Jersey. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 484 p.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.