



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Desempenho da produção de madeira e da regeneração da vegetação no bioma Caatinga sob diferentes tempos de pousio: estudo de caso em São Gonçalo do Amarante, CE, Brasil

Marcelo Oliveira Teles de Menezes¹, Pablo Francisco Mapurunga Bonfim², Francisca Soares de Araújo³

¹Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Campus Fortaleza. Av. Treze de Maio, 2081. Benfica, Fortaleza-CE, CEP 60.040-215. e-mail: teles@ifce.edu.br ²Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN) da Universidade Federal do Ceará. Servidor da Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará (SEMACE). Rua Jaime benévolo, 1400. Bairro de Fátima, Fortaleza-CE, CEP: 60.050-155. e-mail: pablofimbomfim@gmail.com ³Docente do programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza-CE, CEP 60.440-900. E-mail: tchesca@ufc.br

Artigo recebido em 13/09/2024 e aceito em 20/01/2025

RESUMO

Os Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) constituem uma alternativa de exploração racional dos recursos florestais na Caatinga desde a década de 1990. No entanto, mesmo após quatro décadas de experiências e experimentos, ainda há lacunas de conhecimento sobre seus efeitos na vegetação. Este estudo teve como objetivo analisar o desempenho da produção de madeira e da regeneração de parâmetros fitossociológicos sob ciclos de corte com durações diferentes, bem como avaliar a viabilidade ecológica dos ciclos de corte legalmente estabelecidos para a Caatinga. Para isso, foi realizado um estudo de caso em um PMFS instalado em 1996 na Fazenda Alvorada, São Gonçalo do Amarante-CE, Brasil. Foram utilizados dados de diversidade e volume de madeira de dois inventários do componente lenhoso de 10 parcelas de 400 m² (2008 e 2021). No inventário de 2008, as parcelas tinham de 10 a 12 anos de pousio e, no de 2021, de 7 a 10 anos. A meta de produção (175 st/ha) foi atingida apenas no intervalo iniciado a partir de 10 a 12 anos de pousio. O aumento do intervalo de 7 a 10 anos para o de 10 a 12 anos afeta significativamente densidade, área basal e composição volumétrica. Foi detectada uma correlação positiva entre tempo de pousio e área basal ($r = +0,46$, $p = 0,0453$). No entanto, mesmo com um intervalo entre 10 e 12 anos de pousio, não houve pleno restabelecimento dos parâmetros vegetacionais analisados. Concluiu-se que os ciclos de corte praticados na Caatinga podem ser suficientes para manter a rentabilidade do empreendimento, mas não necessariamente são capazes de conservar os atributos da vegetação. Nesse sentido, a continuidade desses experimentos é fundamental para a compreensão desses efeitos em longo prazo e para o ajuste da duração dos ciclos de corte.

Palavras-chave: semiárido, silvicultura, PMFS, sucessão, fitossociologia.

Performance of Wood Production and Vegetation Regeneration in the Caatinga Biome under Different Fallow Periods: A Case Study in São Gonçalo do Amarante, CE, Brazil

ABSTRACT

Sustainable Forest Management Plans (PMFS) have been an alternative for the rational exploitation of forest resources in the Caatinga biome since the 1990s. However, even after four decades of practices and experiments, knowledge gaps remain regarding their effects on vegetation. This study aimed to analyze the performance of wood production and the regeneration of phytosociological parameters under cutting cycles of different durations, as well as to evaluate the ecological viability of the cutting cycles legally established for the Caatinga. To achieve this, a case study was conducted in a PMFS implemented in 1996 at Fazenda Alvorada, São Gonçalo do Amarante-CE, Brazil. Data on diversity and wood volume were collected from two inventories of the woody component in 10 plots of 400 m² (2008 and 2021). In the 2008 inventory, the plots had 10–12 years of fallow, while in 2021, they had 7–10 years. The production target (175 st/ha) was only achieved after 10–12 years of fallow. Extending the fallow period from 7–10 years to 10–12 years significantly affected density, basal area, and volumetric composition. A positive correlation was found between fallow period and basal area ($r = +0.46$, $p = 0.0453$). However, even with 10–12 years of fallow, the full recovery of the analyzed vegetation parameters was not achieved. It was concluded that the cutting cycles practiced in the Caatinga may be sufficient to maintain enterprise profitability but are not necessarily capable of conserving vegetation attributes. In this sense, the continuation of such experiments is essential for understanding these effects in the long term and for adjusting the duration of cutting cycles.

Keywords: semi-arid, forestry, sustainable forest management, succession, phytosociology.

Introdução

As regiões secas (hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas) estão presentes em todos os continentes (exceto a Antártida), e cobrem cerca de 41% da superfície terrestre (Cherlet et al., 2018; Maestre et al., 2021). Apesar de serem áreas definidas pela escassez de água, possuem comunidades bióticas diversas e especialmente adaptadas à sazonalidade hídrica. Por isso, são de extrema importância para o equilíbrio ecológico da Terra e fornecem inúmeros recursos florestais para populações rurais pobres de todo o mundo, garantindo a sua sobrevivência (Davies et al., 2012). Além disso, têm um papel extremamente relevante na conjuntura climática global, visto que, segundo estimativas recentes, estocam 30% do carbono global em sua vegetação e no seu solo (Hanan et al., 2021).

O Brasil possui um extenso território semiárido, com 1.318.750 km², localizado basicamente na região Nordeste e associado ao domínio biogeográfico da Caatinga, onde residem cerca de 28 milhões de pessoas (Brasil, 2021). O semiárido brasileiro é oficialmente delimitado pelo Conselho Deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, que periodicamente publica resoluções com uma lista de municípios considerados como áridos e semiáridos a partir de critérios pré-definidos. Atualmente fazem parte do semiárido brasileiro mais de mil municípios dos estados de Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo. Nessa região, a precipitação média é igual ou inferior a 800 mm/ano (geralmente concentrada em um intervalo de 3 a 5 meses), o Índice de Aridez é igual ou inferior a 0,5, e o percentual diário de déficit hídrico é igual ou superior a 60% (Resolução n.º 150, 2021).

O domínio da Caatinga representa o maior núcleo de vegetação seca da região Neotropical, com aproximadamente 800.000 km² (Moro et al., 2016). As espécies vegetais da região são utilizadas para os mais diversos fins, como no fornecimento de frutos comestíveis, forragem, lenha, carvão, madeira para cerca, carpintaria, marcenaria e artesanato (Maia, 2004). Além desses usos, de acordo com Sampaio (2002), a lenha e o carvão são os principais produtos florestais utilizados no Nordeste do Brasil. Essa produção de lenha e carvão envolve o corte raso de milhares de hectares de Caatinga e produz efeitos danosos sobre a biodiversidade, visto que mesmo as espécies de crescimento muito lento são cortadas indiscriminadamente. O

Os ecossistemas de regiões secas são especialmente sensíveis a perturbações (Davies et al., 2012; Zhang et al., 2023). Vasconcelos-Sobrinho (2002) indicou que, após cinco séculos de exploração, o potencial de regeneração da vegetação da Caatinga vem sendo comprometido. O uso predatório de recursos florestais pode comprometer a resiliência do ecossistema (Tabarelli et al., 2017). Face ao exposto, se a retirada de madeira se der com um esforço de manejo superior à capacidade de regeneração natural da vegetação, pode levar ao desaparecimento desse ecossistema (Sampaio, 2002). Portanto, atenção especial deve ser dada ao uso de seus recursos florestais.

Nesse contexto, a disseminação dos Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) na Caatinga se dá mais amplamente a partir da década de 1990, com o intuito de promover a extração racional de madeira (Brasil, 2010). Gariglio (2010) definiu o PMFS como um “conjunto de intervenções efetuadas em uma área florestal, visando à obtenção continuada de produtos e serviços da floresta, mantendo sua capacidade produtiva e a diversidade biológica”. Atualmente, há 342 PMFS ativos no domínio da Caatinga, correspondendo a uma área de 220.892 ha (Riegelhaupt et al., 2024), o que equivale a 4% das matas remanescentes da Caatinga (Brasil, 2024b).

A prática do manejo florestal deve considerar a capacidade de resistência e resiliência da comunidade vegetal, sendo de fundamental importância o conhecimento sobre a forma como a vegetação reage ao ser suprimida e os processos que ocorrem para a sua recuperação (Meunier et al., 2018). Segundo Scolforo et al. (2008), o tipo de manejo é determinante para a sobrevivência da comunidade de plantas, haja vista que a maneira como ocorre a extração e a remoção da vegetação pode ocasionar grandes impactos ambientais, comprometendo a sustentabilidade da produção de madeira e, além disso, a capacidade de rebrota das cepas. Portanto, os autores ressaltam que adotar critério de manejo e tipo de corte adequados é fundamental para o manejo florestal sustentável, pois impacta diretamente a manutenção da diversidade florística e, conseqüentemente, a diversidade da fauna.

Para averiguar a sustentabilidade do manejo florestal, Scolforo (1997) afirmou que é necessário monitorar áreas sob exploração, com a medição de parâmetros fitossociológicos em parcelas permanentes antes da intervenção. Além disso, afirmou que o monitoramento deve ser feito através de parâmetros que sejam bons preditores da capacidade de regeneração, tais como a

biodiversidade e a biomassa lenhosa. De acordo com Lima et al. (2018), esses parâmetros devem ser usados como subsídio para quantificar os impactos causados pela exploração, conhecer a velocidade da regeneração natural (resiliência), auxiliar na tomada de decisões quanto ao manejo da floresta (ciclo de corte, práticas silviculturais, etc.) e averiguar a perda de diversidade florística. Velazco et al. (2015) consideram que o conhecimento sobre a composição florística, a diversidade e a estrutura fitossociológica da vegetação são de grande importância para o correto manejo dos ecossistemas, para a eficácia da recuperação, da conservação e do uso racional, especialmente diante das mudanças que podem advir do manejo. Nessa perspectiva, Lima et al. (2018) sugeriu que os parâmetros fitossociológicos, a exemplo de densidade, altura média, área basal, composição florística e abundância das populações, são bons atributos para compreender as mudanças estruturais e florísticas da comunidade vegetal e auxiliar no conhecimento do modo como ocorre a recuperação da vegetação.

Dentre os estudos pioneiros sobre a exploração e reposição de estoque madeireiro na Caatinga, destacam-se Hardesty et al. (1988) e Sampaio et al. (1998). Estudos como esses apresentaram as primeiras estimativas de reposição de estoque, bem como insights sobre a melhor época para realização do corte. Consequentemente, permitiram a criação das primeiras normas legais para exploração de madeira na Caatinga. No entanto, foram experimentos de duração relativamente curta: nenhum deles deu continuidade ao monitoramento dos parâmetros vegetacionais de forma permanente. Ainda há poucos trabalhos de pesquisa avaliando a capacidade de regeneração natural da vegetação da Caatinga após ciclos de corte consecutivos (Lucena et al., 2017; Brasil, 2024b).

Em 2003, foi criada a Rede de Manejo Florestal da Caatinga (RMFC) – rede de pesquisa com 13 Unidades Experimentais (UE), localizadas nos estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia, com o objetivo de consolidar e ampliar a fundamentação técnico-científica do manejo florestal na Caatinga (Garlet et al., 2024). A rede tem se consolidado como o experimento mais longo sobre o tema, visto que a maior parte das UE já realizava o monitoramento vegetacional anteriormente. No entanto, apesar das contribuições da rede, restam lacunas quanto aos efeitos que essa forma de exploração pode acarretar à Caatinga (Riegelhaupt et al., 2024), dada suas peculiaridades ecológicas e sua heterogeneidade de clima, solo e flora. Uma vez que o ambiente tem

altas temperaturas e alta evapotranspiração (por situar-se na região tropical); forte sazonalidade hídrica, com chuvas concentradas em um período de 3 a 5 meses do ano; eventos de secas sazonais associadas ao fenômeno El Niño e outros mecanismos climáticos; solos predominantemente rasos (com baixa capacidade de retenção de água); e biodiversidade extremamente sensível a perturbações, a sustentabilidade dos PMFS deve ser criticamente avaliada. Nesse sentido, um dos principais pontos que precisam ser estudados é a capacidade de a vegetação da Caatinga manter seu potencial produtivo madeireiro em longo prazo (Souza, 2010; Brasil, 2024b).

Ao longo de cerca de 40 anos de experimentação, os estudos realizados pela RMFC permitem concluir que, em geral, os PMFS são capazes de manter a diversidade de espécies na vegetação explorada. Não raro, após os primeiros ciclos de corte, a riqueza de espécies e a equabilidade da flora na comunidade arbórea aumentam, visto que, de forma geral, inicialmente as áreas da RMFC já estavam ecologicamente perturbadas (Brasil, 2024b). Este desempenho pode acontecer, pois o corte, quando feito adequadamente, permite a rebrota do componente lenhoso, mantendo, assim, a riqueza de espécies (Campanha et al., 2011; Brasil 2024b). Adicionalmente, o corte pode alterar as condições ambientais, abrindo um nicho que antes estava indisponível para espécies pioneiras (Sampaio et al., 1998; Brasil, 2024b).

No entanto, o mesmo não se pode dizer dos outros atributos da vegetação, que podem demorar décadas para atingirem os patamares originais: a biomassa vegetal, geralmente mensurada por meio da Área Basal na altura do peito (ABP) ou do volume cilíndrico na altura do peito (ABPH), dificilmente se recupera integralmente ao longo dos ciclos de exploração até então praticados na Caatinga (Brasil, 2024b). De acordo com Sampaio et al. (1998), a recomposição da biomassa segue uma curva sigmoide, tendo uma fase inicial de crescimento exponencial seguida por uma fase de crescimento desacelerado até lentamente atingir a biomassa máxima ou original. Esta dinâmica explicaria a estagnação do Incremento Médio Anual (IMA), que se observa após alguns anos de regeneração, bem como a demora para restabelecimento da biomassa (Brasil, 2024b). Dados da RMFC são divergentes quanto ao tempo de recuperação de AB e ABPH devido à heterogeneidade de condições das UE. Em alguns casos, parcelas experimentais de corte raso não conseguem se restabelecer mesmo após 26 anos em pousio (Lopes-Nunes et al., 2024a; Pareyn et al.,

2024a).

Em algumas das UE da RMFC, foi possível observar a recuperação de 80 a 100% da biomassa da Reserva Legal (RL) ou dos patamares originais dos talhões explorados, em períodos tão curtos quanto 10 a 15 anos. No entanto, além da comparação com testemunhos ser imprecisa, em nenhum caso da RMFC houve restabelecimento da estrutura diamétrica original ou da RL. Para se obter classes diamétricas similares à vegetação original, foi necessário muito mais tempo do que para se recuperar o estoque de biomassa (Brasil, 2024a).

Aparentemente, a duração que é economicamente viável para os ciclos de exploração não é suficiente para a recuperação desse parâmetro. Isso tanto tem implicações ecológicas, dado o severo impacto do corte raso sobre vegetação e fauna, como implicações para a qualidade da madeira produzida. Ciclos curtos, como os de 10 anos, por exemplo, podem ser viáveis para produção de lenha em regiões com melhores condições edafo-climáticas, mas não são capazes de prover diâmetros maiores, como estacas e mourões (Brasil, 2024b).

A densidade (fustes/hectare) é um dos primeiros parâmetros a alcançar o patamar original após o corte, o que geralmente ocorre entre 9 e 10 anos, e pode continuar aumentando até 23 anos após o corte. No entanto, seu restabelecimento não é sinônimo de regeneração da vegetação, pois há alteração da estrutura diamétrica (Brasil, 2024b). Isso acontece porque cada fuste maduro cortado pode emitir vários brotos jovens, sendo comum que uma única árvore cortada produza mais de um fuste quando se regenera. Além disso, o aumento da luminosidade com o corte raso permite a germinação de sementes de espécies pioneiras, de rápido crescimento, contribuindo para o aumento da densidade (Sampaio et al., 1998). Nesse sentido, é comum, nos PMFS que utilizam o corte raso, a substituição de fustes maduros (de maior altura e de maior diâmetro) por uma quantidade maior de fustes jovens (mais baixos, de diâmetro reduzido), aumentando, assim, a densidade (Brasil, 2024b).

Desde o início dos estudos sobre PMFS na Caatinga, quando os estudos de monitoramento ainda eram incipientes, tem-se procurado estabelecer uma duração ótima para o ciclo de corte – uma duração capaz de assegurar pelo menos a regeneração da vegetação e a recuperação do estoque de biomassa (Pareyn et al., 2010; Brasil, 2024b). O que tem se observado em todo este tempo de experiência, é que este tempo ideal varia muito de caso para caso, podendo ser de 6 a 32 anos (Brasil, 2024b). Nesse sentido, os experimentos da

RMFC revelam que a recuperação do estoque de biomassa depende muito das condições locais, especialmente da Precipitação Média Anual (PMA), que pode responder por 77 a 82% da variação no IMA – um dos fatores-chave para o estabelecimento da duração dos ciclos de corte. Com base nos estudos da RMFC, Brasil (2024b) propõe uma tabela de ciclos de corte ideais para a Caatinga de acordo com a PMA e o estoque de biomassa a ser produzido. As durações recomendadas variam de 30 a 61 anos em lugares com precipitação inferior a 500 mm anuais e de 5 a 13 anos em lugares com precipitação maior que 900 mm anuais. A legislação atual que rege os PMFS na Caatinga, Resolução n.º 507, de 18 de julho de 2024, propõe uma regra de cálculo que pode gerar resultados mais precisos e individualizados. Segundo a norma, o Ciclo de Corte ideal para cada PMFS deve ser obtido a partir da divisão do Estoque Projetado pela Produtividade do Local (dada em função da PMA).

Diante do cenário de previsões de aumento de temperatura e redução na precipitação, além do aumento da frequência de eventos extremos, como as secas, na região Nordeste (e.g. Marengo et al., 2020), há necessidade de revisões periódicas da duração dos ciclos de corte. Nesse contexto, este trabalho visa avaliar, por meio de um estudo de caso na Caatinga: 1) o desempenho de diferentes durações do ciclo de corte na produção de madeira e na regeneração de parâmetros fitossociológicos da vegetação manejada; 2) a viabilidade ecológica dos ciclos de corte legalmente estabelecidos para a Caatinga. A hipótese testada neste artigo, baseada nos experimentos de Brasil (2024b), é de que a regeneração dos atributos vegetacionais na Caatinga é proporcional ao tempo de regeneração entre cortes sucessivos. Dela deriva a previsão de que deve haver uma duração do ciclo de corte na qual todos os parâmetros vegetacionais terão se restabelecido.

Material e métodos

Área de Estudo

O estudo foi feito na Fazenda Alvorada (3° 40' 8,4" S; 39° 7' 19,2" W), distrito de Croatá, município de São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil. O imóvel está situado entre as rodovias BR-222 e CE-341 (Figura 1). O clima na região é classificado como Tropical Quente Semiárido Brando: a precipitação média anual é de 1.026 mm/ano, com chuvas concentradas entre janeiro e maio, e a temperatura média oscila entre os 26° e os 28 °C (Ceará, 2024a). O período de déficit

hídrico ocorre entre julho e janeiro (Figura 2). Os solos predominantes na Fazenda Alvorada são os Latossolos e Neossolos quartzarênicos, tendo sido também encontradas pequenas manchas com associações de Luvisolos e Neossolos litólicos (Lima, 2010).

A seleção da área de estudo baseou-se na disponibilidade de dados florísticos e fitossociológicos para um período de 26 anos

(1995-2021). A Fazenda possui extensão total de 1.192,46 ha, dentro da qual há uma área de 506,16 ha destinada à exploração de madeira, objetivando uma produção média anual igual ou superior a 175,78 st/ha (Lima, 2010). Na época em que o PMFS foi implementado, em 1996, a duração mínima para o ciclo de corte era de 10 anos. Assim, a área de exploração de madeira foi dividida em 10 talhões (Tabela 1).

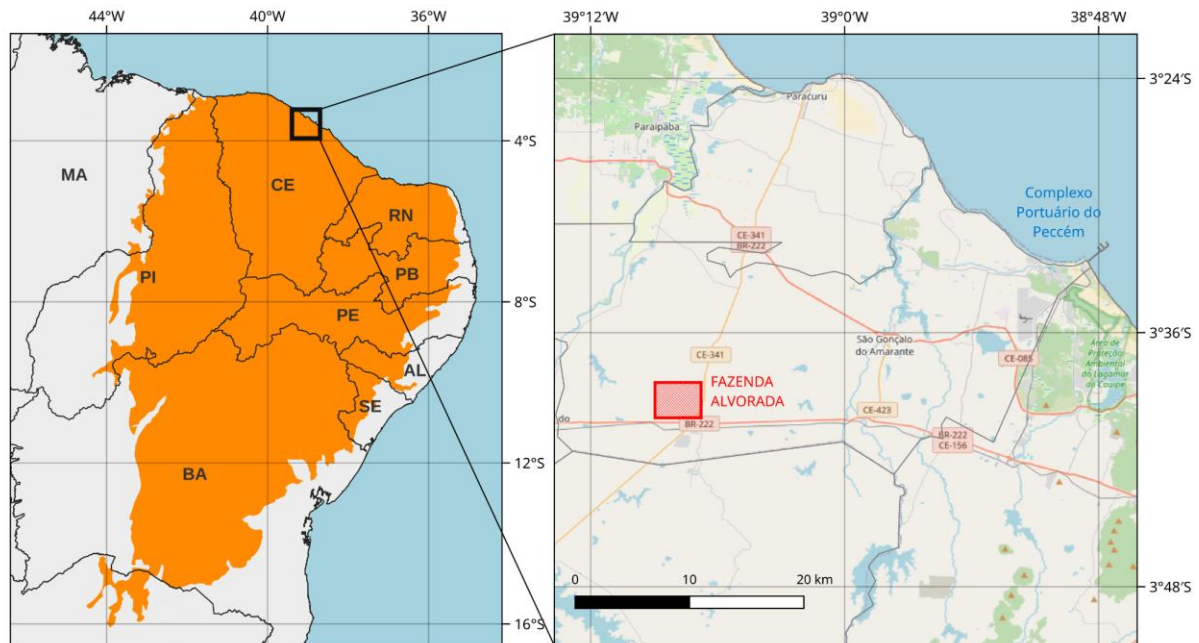


Figura 1. Localização da Fazenda Alvorada (município de São Gonçalo do Amarante) dentro do contexto da Caatinga (em laranja). Fonte: XYZ Tiles / OpenStreet Map.

No entanto, no fim do primeiro ciclo de corte, a atribuição de licenciar a exploração de madeira deixou de ser do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e passou a ser dos órgãos ambientais estaduais. Além disso, nessa época foi publicada a Instrução Normativa n.º 1 de 25 de junho de 2009 do Ministério do Meio Ambiente, alterando a duração mínima do ciclo de corte para 15 anos. Assim, para se adaptar à nova legislação, o PMFS da Fazenda Alvorada passou por um novo licenciamento, junto à Superintendência Estadual de Meio Ambiente (SEMACE), e interrompeu a exploração por cinco anos antes de iniciar o 2º ciclo de corte, em 2011.

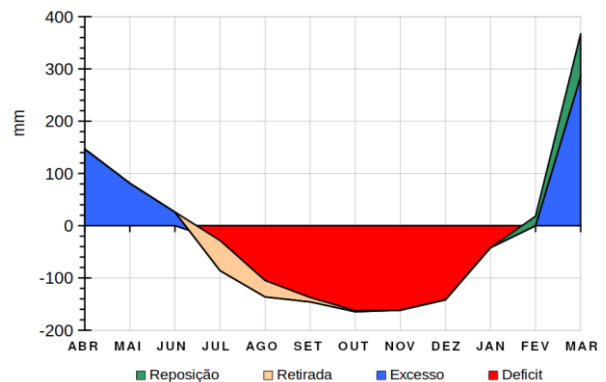


Figura 2. Balanço hídrico do município de São Gonçalo do Amarante-CE, Brasil, com base em dados meteorológicos de 2022 e 2023. FONTE: Ceará (2024b).

Em 1995, foi realizado um inventário florestal em toda a área a ser manejada, sem individualização por talhão. O tipo fisionômico identificado nos talhões do PMFS foi caracterizado como caatinga hiperxerófila (Lima, 2010), embora localizada em uma área com precipitação média anual acima de 1.000 mm. As principais espécies arbustivas-arbóreas presentes são: sabiá (*Mimosa*

caesalpinifolia Benth.), catingueira [*Cenostigma bracteosum* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis] e marmeleiro (*Croton blanchetianus* Baill.). Na época da implementação do PMFS, constatou-se que a vegetação da Fazenda Alvorada já estava degradada e estimou-se que estivesse em pousio há cerca de nove anos (Lima, 2010).

Os talhões analisados neste estudo (T1, T2 e T3) foram os primeiros a serem explorados, todos com corte raso. Eles sofreram o primeiro ciclo de corte, respectivamente, em 1996, 1997 e 1998. No

segundo ciclo de corte, os talhões foram explorados na mesma ordem, respectivamente em 2011, 2012 e 2014 (Lima, 2010). Em vez de realizar o inventário florístico antes do corte dos respectivos talhões, foram feitos apenas dois inventários em todo o período de funcionamento do PMFS, respectivamente em 2008 e 2021. Dessa forma, na ocasião dos inventários, cada talhão possuía um tempo de regeneração diferente – informação utilizada para fazer este estudo (Tabela 2).

Tabela 1: Uso atual e programado do uso do solo no Plano de Manejo Florestal Sustentável da Fazenda Alvorada, São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

Talhão	Área Útil (ha)	Aceiros (ha)	APP (ha)	Espelho d'água (ha)	Área Total (ha)
T1*	37,75	1,23	-	-	38,98
T2*	40,92	1,05	-	-	41,97
T3*	33,25	0,84	3,49	5,20	42,78
T4	40,94	0,59	-	-	41,53
T5	45,52	0,49	-	-	46,01
T6	56,62	0,77	-	-	57,39
T7	46,41	0,97	-	-	47,38
T8	58,28	0,82	5,04	11,72	75,86
T9	67,71	1,11	5,27	10,08	84,17
T10	78,76	1,48	-	-	80,24
Total	506,16	9,35	13,80	27,00	556,31

* Talhões analisados neste estudo.

Ao contrário do inventário inicial, realizado em 1995, os inventários de 2008 e 2021 foram realizados separadamente em cada talhão. Para este estudo utilizaram-se três parcelas em cada talhão e uma parcela na Reserva Legal (RL), a título de testemunho. No inventário de 2008, a RL alcançou aproximadamente 22 anos de pousio.

Em 2021, a RL completaria 35 anos de pousio. No entanto, devido a um incêndio florestal ocorrido nessa área pouco antes do inventário (P.F.M. BONFIM, comunicação pessoal), a vegetação foi comprometida, de forma que os dados de 2021 foram descartados das análises.

Tabela 2: Ciclo de corte, tempo de pousio e inventários florestais realizados nas áreas estudadas na Fazenda Alvorada, município de São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

Talhão	Inventário	1º Ciclo de Corte	Inventário	2º Ciclo de Corte	Inventário
T1	-	1996	2008 (12 anos após o corte)	2011	2021 (10 anos após o corte)
T2	-	1997	2008 (11 anos após o corte)	2012	2021 (9 anos após o corte)
T3	-	1998	2008 (10 anos após o corte)	2014	2021 (7 anos após o corte)
RL	1995 (9 anos de pousio)	-	2008 (22 anos de pousio)	-	2021 (35 anos de pousio)*

* Os dados da RL de 2021 foram ignorados devido a um incêndio florestal que afetou significativamente sua vegetação.

Coleta e análise de dados

Para avaliar o desempenho da produção de madeira e da regeneração vegetal

proporcionada por ciclos de corte com durações diferentes, foram analisados dados dos inventários florestais / fitossociológicos de 2008 e 2021

referentes aos talhões T1, T2, T3 e à Reserva Legal (RL) da Fazenda Alvorada. O levantamento foi feito em parcelas aleatórias de 20 x 20 m (400 m²). Em cada talhão, foram amostradas três parcelas, tanto em 2008 quanto em 2021. Na RL, foi amostrada apenas uma parcela em cada ano. No total, foram estudadas nove parcelas de talhões (três de cada) e uma de reserva legal, somando uma área amostral de 4.000 m² (0,4 hectare). As parcelas foram delimitadas com piquetes de madeira e barbantes. Dentro da parcela, foram coletados dados de todos os indivíduos com Diâmetro na Altura do Peito (DAP), igual ou maior que 2 cm (medida realizada a 1,30 m da superfície do solo). O diâmetro das plantas foi medido com Suta Dendrométrica Finlandesa. Além disso, cada árvore ou arbusto também teve os seguintes atributos registrados: circunferência, em centímetros, 30 cm acima da superfície do solo (CNB); e altura (H), em metros, estimada com auxílio de uma vara marcada com intervalos de 50 cm.

Os parâmetros coletados para cada indivíduo em campo (nome da espécie, DAP, CNB e H) foram processados através do Software INFL, Programa de Inventário Florestal específico para a Caatinga, desenvolvido pelo Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/087/077. Em seguida, os dados foram utilizados para calcular os seguintes atributos fitossociológicos em cada parcela/ano: 1) Riqueza de Espécies lenhosas; 2) Índice de Diversidade de Shannon; 3) Densidade (fustes/ha); 4) Área Basal, na altura do peito – ABP (m²/ha); 5) Composição Volumétrica – CV (st/ha), determinada através de equações volumétricas desenvolvidas pelo projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/077; e 6) Altura estimada (m). O Índice de Diversidade de Shannon de cada parcela, em cada ano, foi calculado em ambiente estatístico R (R Core Team, 2024), por meio do comando *'diversity'* do pacote *'vegan'* (Oksanen et al., 2024).

Para análise do desempenho de produção de madeira, foram utilizados os dados de CV dos talhões nos inventários de 2008 e 2021, em comparação com a meta de produção do PMFS da Fazenda Alvorada, que é de 175,78 st/ha. Considerando a forte influência da Precipitação Média Anual (PMA) no Incremento Médio Anual (IMA), e consequentemente no estoque de madeira acumulado ao longo do ciclo de corte, também foi analisada a série histórica de precipitação anual do município de São Gonçalo de Amarante no período de 1986 (início da regeneração prévia ao 1º ciclo de

exploração) até 2021 (realização do último inventário fitossociológico). Os dados foram obtidos a partir de postos pluviométricos geridos pela Agência Nacional de Águas (Brasil, 2024a) e pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Ceará, 2024b). Adicionalmente, a PMA relativa ao período de crescimento do primeiro ciclo até seu inventário (1996 - 2008) foi comparada ao período do segundo ciclo até o inventário seguinte (2011 - 2021). As médias das precipitações relativas aos dois períodos foram comparadas em ambiente estatístico R. Ambas foram submetidas ao teste t de Student, por meio do comando *'t.test'* do pacote *'stats'* (R Core Team, 2024).

Os seis parâmetros vegetacionais acima listados foram submetidos a duas análises estatísticas, ambas realizadas em ambiente estatístico R. Na primeira, testou-se a possibilidade de haver diferença significativa nos parâmetros com 7-10 anos de pousio (inventário de 2021) e com 10-12 anos (inventário de 2008). Para isso, foi feita a comparação pareada dos parâmetros das parcelas (2008 *versus* 2021). Para tanto, foi utilizado o teste t de Student, por meio do comando *t.test* do pacote *stats* (R Core Team, 2024). Apenas no caso da densidade, cuja distribuição não seguiu a normalidade, foi utilizado ranqueamento não paramétrico de Wilcoxon para comparação pareada das médias. O procedimento foi implementado por meio da função *wilcox.test* do pacote *stats*, com um nível de significância de $p < 0,01$. Gráficos foram gerados com a função *boxplot*, do pacote *graphics* (R Core Team, 2024). Os dados da RL não entraram na comparação de médias pela impossibilidade de obter uma média a partir de apenas uma única parcela inventariada. De toda forma, os parâmetros referentes à RL em 2008 (com 22 anos de pousio) foram utilizados como referência visual na exibição gráfica dos resultados.

Na segunda análise, estudou-se a relação entre o tempo de regeneração (intervalo entre o último corte e o inventário florestal) e cada um dos parâmetros vegetacionais citados anteriormente. Neste caso, os dados da RL referentes aos anos de 1995 (Lima, 2010) e 2008 foram utilizados¹. Essa análise também foi realizada em ambiente R, por meio do comando *cor.test*, do pacote *stats*, utilizando o coeficiente de correlação de Spearman. A apresentação gráfica desses resultados foi feita com a função *plot*, do pacote *base* (R Core Team, 2024).

¹Os dados da RL para o ano de 2021 foram descartados

devido a um incêndio florestal ocorrido antes do inventário.

Resultados

Os inventários realizados mostraram alta variabilidade entre talhões e entre parcelas de um mesmo talhão, para todos os parâmetros estudados, tanto em 2008 quanto em 2021. A composição das comunidades arbóreas variou de 6 a 16 espécies; enquanto o Índice de Shannon, de 0,93 a 2,36. A

densidade apresentou maior divergência tendo sido observados desde 2.900 até 8.000 fustes/ha. A altura média das árvores variou entre 3,23 e 5,23 m. A ABP e a CV também apresentaram intervalos amplos de variação, respectivamente, 4,89 a 16,81 m²/ha e 65,57 a 253,75 st/ha (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros fitossociológicos de cada parcela inventariada em 2008 e 2021 na Fazenda Alvorada, São Gonçalo do Amarante-CE, Brasil.

Talhão / Parcela		Riqueza de Espécies		Índice de Shannon		Altura (m)		Densidade (fustes/ha)		ABP (m²/ha)		CV (st/ha)		Percentual da meta de produção (%)	
		2008	2021	2008	2021	2008	2021	2008	2021	2008	2021	2008	2021	2008	2021
T1	1	11	11	1,35	1,37	4,97	3,87	4.650	4.475	15,28	7,70	196,50	120,25	111,79	68,41
	2	10	13	1,56	1,80	4,11	3,23	2.800	2.875	10,45	4,89	120,75	65,75	68,69	37,40
	3	9	10	1,25	1,49	4,19	3,63	3.300	3.175	13,27	9,36	169,50	114,25	96,43	65,00
T2	1	15	8	1,75	0,93	4,30	4,05	5.500	4.375	12,82	8,26	180,50	153,75	102,69	87,47
	2	13	11	1,90	1,23	4,73	4,08	3.350	2.900	16,75	10,56	222,50	150,75	126,58	85,76
	3	11	10	1,10	1,47	4,42	5,00	8.000	2.775	14,48	11,34	199,00	153,75	113,21	87,47
T3	1	6	13	1,38	1,27	4,77	5,23	4.475	3.075	13,90	12,92	184,75	162,00	105,10	92,16
	2	10	14	1,40	1,70	4,89	3,95	4.800	3.250	16,81	8,90	237,75	122,00	135,25	69,40
	3	16	11	1,62	1,44	3,95	4,61	5.025	4.375	10,80	10,23	133,75	144,00	76,09	81,92
RL	1	17	11*	2,36	1,66*	4,60	4,76*	5.075	4.075*	13,49	11,28*	253,75	163,50*	144,36	93,01*

* Pouco antes de 2021, a Reserva Legal (RL) foi afetada por um incêndio florestal que comprometeu sua vegetação. Dessa forma, os dados de 2021 para a RL foram ignorados nas análises.

Com relação ao desempenho de produção, em 2008, com 10-12 anos de pousio, seis das nove parcelas atingiram ou superaram a meta de produção de 175,78 st/ha. No entanto, em 2021, com 7-10 anos de pousio, nenhuma das parcelas atingiu a meta, e apenas cinco delas chegaram a

pelo menos 80% da meta (Tabela 3). Quando analisadas em conjunto (somando o volume bruto das nove parcelas), em 2008 (10-12 anos de pousio) houve uma produção de 103,98% da meta de produção, enquanto que em 2021 (7-10 anos de pousio), a produção foi de apenas 75% da meta.

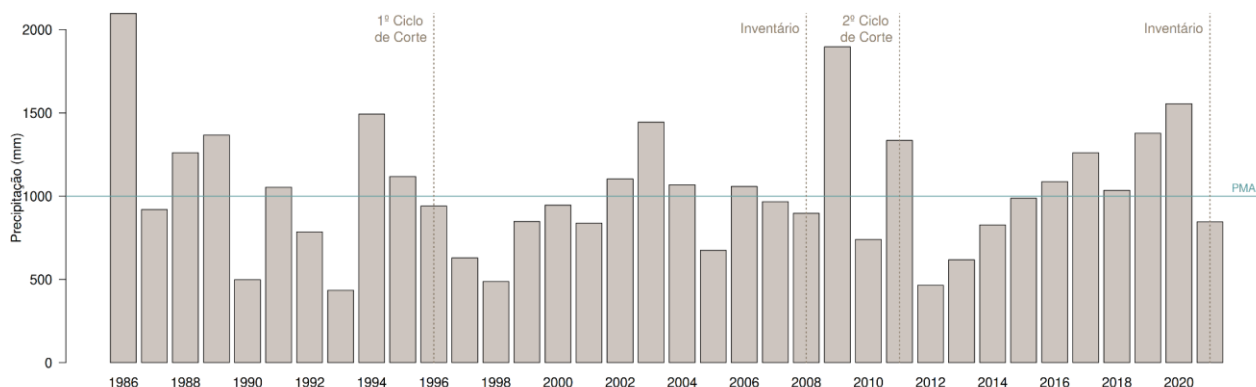


Figura 3. Precipitação anual no Município de São Gonçalo do Amarante-CE desde 10 anos antes da implementação do PMFS até a realização do último inventário florestal.

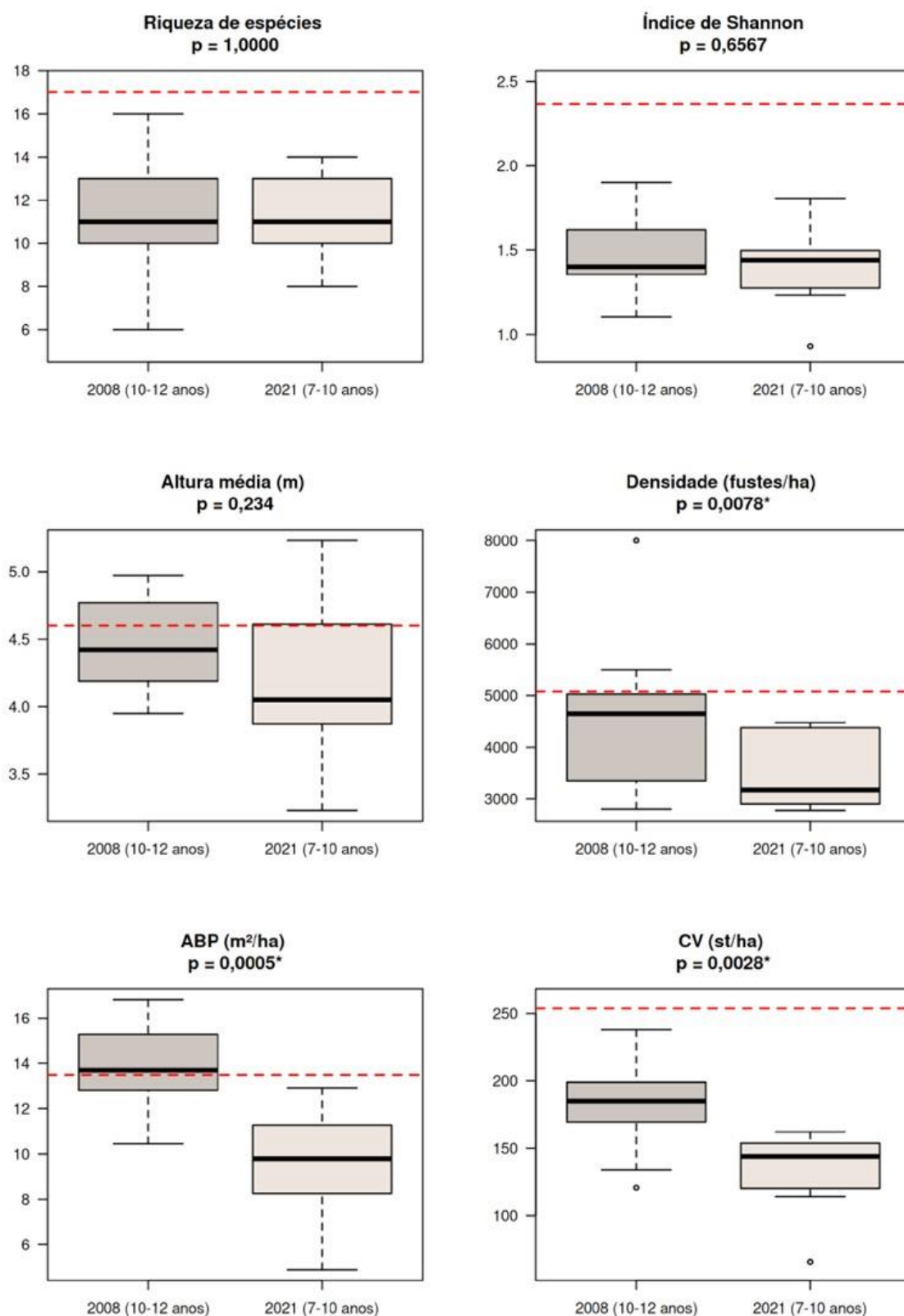


Figura 4. Comparação dos atributos vegetacionais dos Talhões T1, T2 e T3 da Fazenda Alvorada (São Gonçalo do Amarante-CE, Brasil) em 2008 e 2021, com diferentes tempos de regeneração. Linha vermelha tracejada: valores de referência da parcela testemunho (Reserva Legal em 2008, com 22 anos de pousio).

A precipitação do período de 1986 a 2021 mostrou uma alta variabilidade, oscilando de 434,1 até 2.096,6 mm/ano (Figura 3). Houve 19 anos abaixo da média histórica e 17 anos acima. No primeiro ciclo de exploração (1996-2008), a precipitação média foi de 915.41 mm/ano (com 9 anos abaixo da média), enquanto que, no segundo, 1.035.59 mm/ano (com 5 anos abaixo da média). Apesar de a pluviosidade ter sido um pouco maior no segundo ciclo, não houve diferença estatisticamente significativa entre os dois períodos ($p = 0,3329$). Dessa forma, presume-se que diferenças constatadas entre os parâmetros vegetacionais dos inventários de 2008 e 2021 possam ser atribuídas exclusivamente à duração dos respectivos ciclos de exploração, não à variação da precipitação.

As análises de comparação de médias dos parâmetros vegetacionais retornaram resultados estatisticamente significativos para três variáveis: Densidade, ABP e CV. Em todas elas, o patamar atingido com 10-12 anos de regeneração foi significativamente maior que o obtido com 7-10 anos. As demais (Riqueza de Espécies, Índice de Diversidade de Shannon e Altura) não apresentaram diferenças significativas (Figura 4), indicando que, na Fazenda Alvorada, uma ampliação do tempo de regeneração de 7-10 anos para 10-12 anos não é suficiente para observar o efeito da regeneração nessas variáveis.

Considerando o intervalo dos quartis inferior e superior (25-75%) dos dados, o tempo de regeneração de 7-10 anos (inventário de 2021) não permitiu que nenhum parâmetro vegetacional atingisse os patamares observados na RL (testemunho). A ampliação do tempo de pousio para um intervalo de 10-12 anos (inventário de 2008) permitiu que apenas a altura e biomassa alcançassem o nível da parcela testemunho. Considerando estritamente os valores médios das variáveis, apenas a biomassa alcançou equiparação com o patamar de referência (Figura 4).

Todos os testes de correlação entre parâmetros vegetacionais e tempo de pousio (entre o corte e a realização do inventário), retornaram coeficientes de correção baixos e não significativos, exceto a ABP (Figura 5). Este parâmetro apresentou um resultado significativo e mostrou-se positivamente correlacionado com o tempo de pousio ($r = 0,46$, $p = 0,0453$).

Discussão

A diversidade da vegetação do PMFS da Fazenda Alvorada foi equivalente ou superior à de algumas UE da RMFC, tanto na riqueza de espécies quanto no índice de Shannon (e.g. Lopes-Nunes et al., 2024a; 2024b; Pareyn et al., 2024a;

Menezes, M. O. T., Bonfim, P. F. M., Araújo, F. S.

2024b; Sales et al., 2024). Inclusive, a alta variabilidade dos parâmetros observada nas parcelas da Fazenda Alvorada parece ser um fenômeno extremamente comum em áreas de exploração de madeira, como foi registrado em várias das UE da RMFC (e.g. Brasil, 2024b).

Considerando a PMA da região (em torno de 1.000 mm/ano) e o estoque de madeira a ser recuperado com o manejo florestal (175,78 st/ha), o ciclo ideal de corte para a Fazenda Alvorada seria de 8-10 anos segundo os critérios de Brasil (2024b). Em tese, os ciclos de corte propostos por Brasil (2024b) deveriam garantir a recuperação de pelo menos 80% do estoque desejado. No entanto, os resultados mostraram que, com 7-10 anos de pousio, apenas cinco das nove parcelas chegaram a este patamar, de modo que, na área manejada, como um todo, foram alcançados apenas 75% da meta de produção. Já com 10-12 anos de pousio, o percentual foi alcançado ou ultrapassado em sete das nove parcelas, de modo que houve uma compensação em relação às menos produtivas, alcançando-se 103,98% da meta.

Em relação à legislação vigente (Res. CONAMA n.º 507/2024), a situação é pior, pois segundo a fórmula de cálculo proposta, um PMFS com a PMA e a meta de produção da Fazenda Alvorada deveria ter um ciclo de corte de apenas 8,37 anos. Este intervalo entre cortes se encontra no limite inferior da estimativa proposta por Brasil (2024b). Dada a correlação entre ABP e tempo de pousio / duração do ciclo de corte, é esperado que os padrões legais não sejam suficientes para permitir sequer a reposição do estoque madeireiro.

Embora o pousio de 10-12 anos tenha sido suficiente para produzir o volume de madeira pretendido no empreendimento, o desempenho de regeneração da vegetação nesse período foi insuficiente em todos os parâmetros fitossociológicos. Nem mesmo a diversidade, que é um aspecto tido como estável ou crescente nos manejos florestais na Caatinga (Brasil, 2024b), restabeleceu-se plenamente. Em nenhum dos tratamentos, parcela alguma atingiu os patamares de riqueza de espécies ($N = 17$), nem de índice de diversidade ($H = 2,36$) observados na RL (Tabela 3). Esse resultado é um indicativo de que o corte raso pode afetar a diversidade de um modo que mesmo o período de 12 anos seja insuficiente para seu restabelecimento. A ausência de diferença significativa na riqueza de espécies e índice de Shannon entre 2008 e 2021 mostra que o salto de 7-10 anos para 10-12 anos de pousio aparentemente não foi relevante do ponto de vista da diversidade, podendo ser necessário mais tempo de pousio para se observar alguma evolução conspícua nesse atributo.

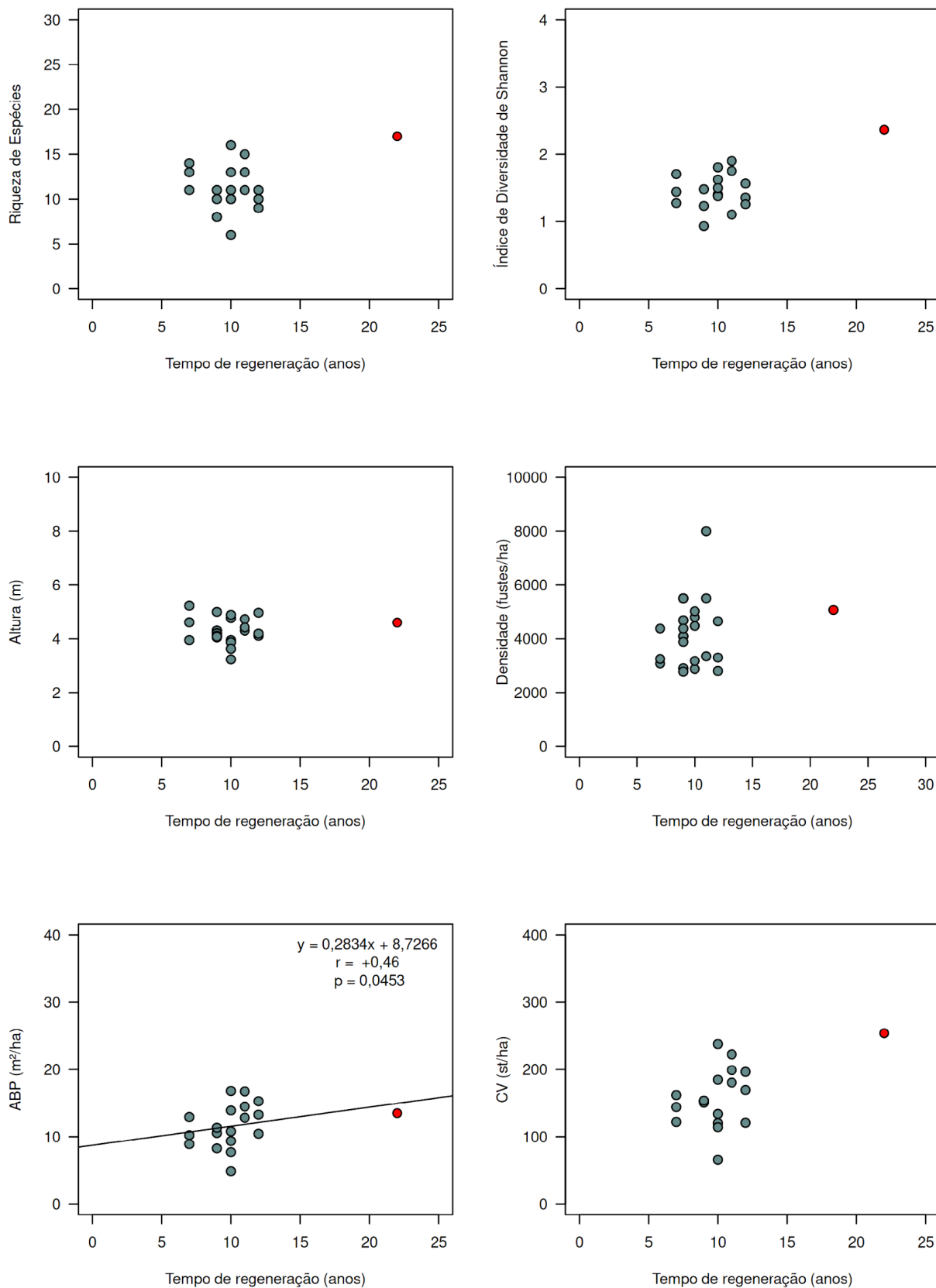


Figura 5. Relação entre os diferentes atributos vegetacionais e o tempo de pousio no PMFS da Fazenda Alvorada, São Gonçalo do Amarante-CE, Brasil. Ponto vermelho: valores de referência do inventário da RL realizado em 2008, com 22 anos de pousio (testemunho).

Os casos de aumento de diversidade em parcelas exploradas citados na literatura (e.g. Brasil 2024b) podem ser atribuídos à mistura de comunidades serais causada pelo corte seguido de rebrota e colonização (e.g. Sampaio et al., 1998; Brasil, 2024b). O corte, seja ele raso ou seletivo, cria a abertura de espaços para a germinação e estabelecimento de espécies de crescimento rápido, ciclo de vida curto e baixo potencial madeireiro (tidas como pioneiras). Isso faz com que a diversidade aumente, pois, além das espécies já existentes previamente ao corte (que passarão pela rebrota), haverá a germinação de propágulos das pioneiras (Sampaio et al., 1998). Considerando o processo de sucessão ecológica, sem perturbações o esperado seria que essas espécies pioneiras gradualmente cedessem espaço para as espécies clímax. No entanto, no caso de um PMFS, com a perturbação causada pelo corte de madeira periódico, essa condição de comunidade vegetal mista, formada por espécies pioneiras e clímax, pode persistir, travando a sucessão ecológica.

A ausência de diferença estatisticamente significativa na altura média das árvores nos inventários de 2008 e 2021 precisa ser avaliada com cautela. Embora pareça que apenas 7-10 anos de regeneração sejam suficientes para equiparar esse parâmetro ao d RL (testemunho), é preciso considerar que: 1) a área de manejo florestal da Fazenda Alvorada já se encontrava se regenerando de um corte prévio quando o PMFS foi implementado (Lima, 2010); e 2) após o corte raso, pode ocorrer a proliferação de novas espécies pioneiras, de baixo potencial madeireiro (Sampaio et al., 1998), que geralmente possuem crescimento primário mais rápido que as demais.

Dessa forma, o “restabelecimento” da altura 7-10 anos após o corte pode ser na verdade um indicativo de que a própria RL (parcela testemunho) tivesse uma vegetação secundária (Lima, 2010). Por exemplo, marmeleiro (*Croton blanchetianus*) foi uma das espécies dominantes em termos de densidade, nos talhões e na RL, tanto em 2008 como em 2021. Esta espécie é considerada pioneira e característica de ambientes degradados. Por isso, é considerada como indicadora do nível de perturbação, ocorrendo com elevada frequência em lugares com vegetação muito degradada (e.g. Maia, 2004).

A correlação positiva entre tempo de pousio e ABP é esperada, dado o incremento gradual de biomassa que ocorre com o crescimento secundário dos fustes. Esta associação também foi observada por Riegelhaupt e Pareyn (2024) e por Pareyn et al. (2024a). A ausência de correlação entre o tempo de pousio e os demais parâmetros vegetacionais pode ser explicada pela brevidade da

série temporal de dados de regeneração. Os dados da Fazenda Alvorada incluem amostras com pouco tempo de regeneração (no máximo 12 anos). Considerando a alta variabilidade / dispersão dos parâmetros entre e dentro dos talhões, talvez seja necessária a experimentação com períodos maiores de pousio para que algum padrão seja detectável. Além disso, enquanto alguns dos parâmetros vegetacionais analisados, como Riqueza de Espécies, Índice de Shannon e Densidade, podem apresentar uma relação matematicamente linear com o tempo de pousio (e.g. Riegelhaupt & Pareyn, 2024), outros, como ABP, ABPH e IMA, podem apresentar relações logarítmicas, exponenciais (e.g. Riegelhaupt & Pareyn, 2024; Pareyn et al., 2024a) ou sigmóides (Sampaio et al., 1998), mas somente com série temporal maior é possível detectar esses padrões. De toda forma, os resultados da Fazenda Alvorada são importantes, pois mostram que não se pode esperar uma proporcionalidade direta entre tempo de pousio e regeneração da vegetação – cada parâmetro segue seu ritmo, e a relação não é linear.

Em suma, a análise do desempenho produtivo, a comparação dos parâmetros vegetacionais com a RL (testemunho) e a comparação de médias entre os diferentes tempos de pousio mostram que pode haver um descompasso entre a viabilidade financeira do empreendimento e a sustentabilidade ecológica, pois a degradação da vegetação pode afetar a fauna de aves e invertebrados que demandam caules mais grossos para nidificarem em cavidades preexistentes (e.g. Brasil, 2024b; Melo & Zanella, 2012). Em outras palavras, é possível que empreendimentos de produção de madeira como o da Fazenda Alvorada (com ciclo de corte de 15 anos), apesar de financeiramente viáveis, mantenham permanentemente a vegetação em um estado de perturbação, visto que não há plena recuperação dentro do período do ciclo de corte. Embora esse desequilíbrio possa não afetar a produção de madeira em curto prazo, pode causar severos impactos à fauna, comprometendo a renovação do banco de sementes em longo prazo dentre outros serviços ecológicos, como polinização e ciclagem de nutrientes (Brasil, 2024b).

Conclusões

Constatou-se que a duração do ciclo de corte proposto por Brasil (2024b) é compatível com a produtividade esperada, mas a duração proposta pela legislação vigente (Res. CONAMA 507/2024), não é. A comparação entre os parâmetros vegetacionais dos talhões T1, T2 e T3 com a parcela testemunho (inventário da Reserva

Legal em 2008) mostrou que o tempo de pousio praticado na Fazenda Alvorada, de 15 anos, é suficiente para atender a sua meta de produção de madeira. No entanto, mesmo um intervalo de 12 anos de pousio ainda é insuficiente para restabelecer os parâmetros vegetacionais, mesmo tomando como referência uma parcela testemunho com sinais de degradação, como a dominância por espécies pioneiras, por exemplo. À medida que os estudos sobre o tema avancem e que as lacunas de conhecimento sejam preenchidas, as durações propostas para os ciclos de corte na Caatinga devem gradualmente ser reavaliadas.

O desempenho dos PMFS em longo prazo ainda não é conhecido na Caatinga, dado seu início relativamente recente. O corte raso permite a rebrota de árvores maduras, cujo incremento de biomassa é mais rápido. No entanto, não são claros seus efeitos sobre a dinâmica populacional das espécies secundárias e o clímax em uma escala de tempo maior, pois nenhum estudo se estendeu por um período além do período de vida completo das plantas originais recorrentemente cortadas em cada ciclo de corte. Em outros termos, a regeneração por rebrota, por si só, não garante a manutenção da biodiversidade em longo prazo, pois espécies secundárias são de crescimento lento e não toleram condições ambientais de pós-corte. Não basta que haja renovação do banco de sementes para que a população dessas espécies seja renovada. Novos indivíduos só serão recrutados com sucesso se houver condições ambientais adequadas pelo tempo necessário ao seu estabelecimento. Assim, é necessário que haja a continuidade da sucessão ecológica.

Ademais, no sentido de avaliar a sustentabilidade do manejo florestal para além da viabilidade econômica, é importante avaliar em profundidade seus efeitos sobre o componente herbáceo da vegetação, sobre a microbiota e a microfauna do solo, sobre a avifauna e os insetos que necessitam de cavidades preexistentes para se reproduzirem, sobre a formação de serrapilheira e renovação de nutrientes, e até mesmo sobre os atributos físicos do solo, uma vez que o corte raso pode afetar temperatura e umidade do solo devido à exposição excessiva ao sol. Portanto, áreas de Caatinga submetidas a ciclos de corte propostos pela legislação atual podem assegurar a produção do estoque madeireiro desejado, mas não devem ser consideradas para efeitos de Conservação da biodiversidade da Caatinga, pois sua comunidade vegetal é mantida em constante estado de perturbação, com efeitos de longo prazo desconhecidos para a biodiversidade.

Os resultados obtidos reforçam algumas das recomendações e orientações de Brasil (2024)

Menezes, M. O. T., Bonfim, P. F. M., Araújo, F. S.

para estudos sobre manejo florestal na Caatinga: primeiramente, é fundamental que se continue monitorando, nas próximas décadas, os parâmetros vegetacionais em manejos florestais mais antigos, como os RMFC (Garlet et al., 2024) e outros empreendimentos pioneiros, como a Fazenda Alvorada por exemplo. Só assim será possível verificar as respostas dos atributos vegetacionais em longo prazo; igualmente importante é ampliar o número e a distribuição geográfica dos estudos sobre manejo florestal, com acompanhamento periódico da vegetação; o monitoramento deve ser feito em intervalos regulares e utilizar parcelas de estudo permanentes, a fim de evitar o viés da heterogeneidade ambiental dentro dos próprios talhões; na medida do possível, deve ser avaliada a relação entre precipitação pluviométrica, atributos do solo e velocidade de regeneração da vegetação, de forma a refinar a compreensão sobre os padrões de regeneração ao longo de diferentes ecorregiões do domínio da Caatinga, de forma a garantir a perpetuação da biodiversidade.

Dentro desse contexto, é fundamental estimular a reflexão de que, para serem sustentáveis, além de manter a produtividade ao longo do tempo, é fundamental que os PMFS tenham ciclos de corte compatíveis com a regeneração plena dos parâmetros vegetacionais e pedológicos em longo prazo.

Agradecimentos

Este estudo foi, em parte, financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) concedeu bolsa de produtividade para F.S. Araújo (#311402/2019-4). Os autores agradecem ainda ao professor Mauro Ferreira Lima (aposentado), pela cessão dos dados dos inventários florestais utilizados na dissertação de P.F.M. Bonfim e neste artigo; a John Lenon Alves Silva, pela ajuda com a tabulação de dados; e à Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) pela liberação, em tempo parcial, de P.F.M. Bonfim para cursar o Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará.

Referências

- Brasil. Agência Nacional de Águas. (2024a). *HIDROWEB – Séries Históricas de Estações*. <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024b). *Manejo florestal*

- na caatinga: 40 anos de experimentação. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente / Serviço Florestal Brasileiro. (2010). *Uso sustentável dos recursos florestais da caatinga*. Ministério do Meio Ambiente.
- Brasil – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. (2021). *Delimitação Do Semiárido - 2021 - Relatório Final*, SUDENE.
- Campanha, M.M., Araújo, F.S., Menezes, M.O.T., Silva, V.M.A., & Medeiros, H.R. (2011). Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral–CE. *Revista Caatinga*, 24(3), 94-101. <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/2278>
- Ceará. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. (2024b). *Postos Pluviométricos*. http://www.funceme.br/?page_id=2694
- Ceará. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. (2024a). *Perfil Municipal 2021: São Gonçalo do Amarante*. <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., & Von Maltitz, G. (2018). *World Atlas of desertification: rethinking land degradation and sustainable land management*. Publication Office of the European Union.
- Davies, J., Poulsen, J., Schulte-Herbrüggen, B., Mackinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W.D., Dudley, N., Smith, J., & Gudka, M. (2012). *Conserving Dryland Biodiversity*. IUCN/PNUMA.
- Gariglio, M.A. et al. (2010). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Serviço Florestal Brasileiro.
- Garlet, A., Gariglio, M.A., Pareyn, F.G.C., & Riegelhaupt, E.M. (2024). A rede de manejo florestal da Caatinga, In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 43-57). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Hanan, N.P., Eleanor, M., Ermias, A., Qiuyan, Y., & Julius, A. (2021). A Role for Drylands in a Carbon Neutral World? *Frontiers in Environmental Science*, 9, artigo 786087. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.786087>
- Hardesty, L.H., Box, T.W., & Malechek, J.C. (1988). Season of cutting affects biomass production by coppicing browse species of the Brazilian caatinga. *Journal of Range Management*, 41(6), 477-480. <https://doi.org/10.2307/3899520>
- Instrução Normativa n.º 1, de 25 de junho de 2009*. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS da Caatinga e suas formações sucessoras, e dá outras providências. Diário Oficial da União. <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INP/DFViewer?jornal=1&pagina=93&data=26/06/2009&captchafield=firstAccess>
- Lima, M.F. (2010). *Reformulação do plano de manejo florestal sustentável Fazenda Alvorada – município de São Gonçalo do Amarante* [Plano de Manejo Florestal Sustentável, Protocolo Semace nº 07437546-6].
- Lima, T. L., Ferreira, R.L.C., Silva, J.A.A., Alves-Júnior, F.T., Lima, A.L.A., Céspedes, G.H.G., Berger, R., & Longhi, R.V. (2018). Stump regrowth and estimation of reconstituting Caatinga shrub-tree biomass under forest management. *Scientia Forestalis*, 46(119), 449-458. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n119.12>
- Lopes-Nunes, A.L.S; Holanda, A.C., & Alves, A.R. (2024a). A dinâmica da vegetação de caatinga na unidade experimental do Assentamento Venâncio Zacharias, Macau/RN. In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 124-151). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Lopes-Nunes, A.L.S; Holanda, A.C., & Alves, A.R. (2024b). A dinâmica da vegetação de caatinga na unidade experimental Fazenda Belo Horizonte, Mossoró/RN. In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 58-81). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Lucena, M.S., Alves, A.R., & Bakke, I.A. (2017). Regeneração natural da vegetação arbóreo-arbustiva de Caatinga em face de duas formas de uso. *Agropecuária Científica no Semiárido (ACSA)*, 13(3), 212-222. <https://doi.org/10.30969/acsa.v13i3.887>
- Maestre, F.T., Benito, B.M., Berdugo, M., Concostrina-Zubiri, L., Delgado-Baquerizo, M., Eldridge, D.J., Guirado, E., Gross, N., Kéfi, S., Bagousse-Pinguet, Y.L., Ochoa-Hueso, R., & Soliveres, S. (2021). Biogeography of global drylands. *New Phytologist*, 231, 540–558. <https://doi.org/10.1111/nph.17395>
- Maia, G.N. (2004). *Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades*. Leitura & Arte.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P.M.A., Nobre, C.A., Ribeiro-Neto, G.G., Magalhães, A.R., Torres, R.R., Sampaio, G., Alexandre, F., Alves, L.M., Cuartas, L.A., Deusdará, K.R.L., & Ávala, R.C.S. (2020). Assessing drought in the

- drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. *Natural Hazards*, 102, 1-26. <http://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>
- Melo, R.R., & Zanella, F.C.V. (2012). Dinâmica de Fundação de Ninhos por Abelhas e Vespas Solitárias (Hymenoptera, Aculeta) em Área de Caatinga na Estação Ecológica do Seridó. *Agrária*, 7, 657-662. <https://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RB/CA/article/view/v7i4a1966>
- Meunier, I.M.J., Ferreira, R.L.C., & Silva, J.A.A. (2018). O licenciamento de Planos de Manejo Florestal da Caatinga assegura sua sustentabilidade? *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38, artigo e201701461. <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701461>
- Moro, M.F., Lughadha, E.N., Araújo, F.S., & Martins, F.R. (2016). A Phytogeographical Metaanalysis of the Semi-arid Caatinga Domain in Brazil. *Bot. Rev.*, 82, 91-148. <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9164-z>
- Oksanen, J., Simpson, G.L., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., et al. (2024). *Vegan: Community Ecology Package*. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>
- Pareyn, F.G.C. et al. (2010). Dinâmica da regeneração da vegetação da caatinga na Unidade Experimental PA Recanto III, Lagoa Salgada/RN. In: Gariglio, M.A. et al. (Orgs.) *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Serviço Florestal Brasileiro.
- Pareyn, F.G.C., Riegelhaupt, E.M., Garlet, A., & Santos, R.C. (2024b). A dinâmica da vegetação de caatinga na unidade experimental da Fazenda Recanto, Lagoa Salgada (RN). In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 284-310). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Pareyn, F.G.C., Riegelhaupt, E.M., Sales, F.C.V., & Araújo, L.V.C (2024a). A dinâmica da vegetação de caatinga na unidade experimental da Estação Ecológica do Seridó (RN). In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 82-123). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Resolução n.º 150, de 13 de dezembro de 2021. Aprova a Proposição n. 151/2021, que trata do Relatório Técnico que apresenta os resultados da revisão da delimitação do Semiárido 2021, inclusive os critérios técnicos e científicos, a relação de municípios habilitados, e da regra de transição para municípios excluídos. Diário Oficial da União. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623>
- Resolução n.º 507, de 18 de julho de 2024. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Caatinga. Diário Oficial da União. <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=22/07/2024&jornal=515&pagina=56&totalArquivos=125>
- Riegelhaupt, E.M., & Pareyn, F.G.C. (2024). A dinâmica da vegetação de caatinga na unidade experimental da Fazenda Maturi (Caucaia/CE) e Fazenda Formosa (Pacajus/CE). In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 152-210). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Riegelhaupt, E.M., Pareyn, F.G.C., Garlet, A., & Gariglio, M.A. (2024). Estado da arte do manejo florestal sustentável na Caatinga: Questões centrais. In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 21-42). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Sales, F.C.V., Coutinho, L.V., Pareyn, F.G.C., & Riegelhaupt, E.M. (2024). A dinâmica da vegetação de caatinga na unidade experimental da Fazenda Pendências, Soledade/PB. In: Pareyn et al. (Orgs.) *Manejo florestal na caatinga: 40 anos de experimentação* (pp. 211-256). Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Sampaio, E.V.S.B. (2002). Uso Das Plantas Da Caatinga. In: Sampaio, E.V.S.B. et al. (Org.) *Vegetação e flora da Caatinga* (pp. 49 – 90). Associação Plantas do Nordeste (APNE).
- Sampaio, E.V.S.B., Araújo, E. L; Salcedo, I. H; & Tiessen, H. (1998). Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33, 621-632.
- Scolforo, J.R.S. (1997). *Manejo florestal*. FAEPE.
- Scolforo, J.R.S. et al. (2008). Manejo da floresta decidual, uma abordagem científica. In: Mello, J. M., Scolforo, J. R., Carvalho, L. M. T. (Eds.) *Inventário florestal de Minas Gerais: floresta estacional decidual - florística, estrutura,*

- similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e manejo florestal* (pp. 229-240). UFLA.
- Souza, C.A. (2010). O estudo de caso nas Fazendas Maturi e Formosa – breve contextualização. In: Gariglio, M.A., Sampaio, E.V.S.B., Cestaro, L.A., Kageyama, P.Y. (Orgs.). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga* (pp. 279-286). Serviço Florestal Brasileiro.
- Tabarelli, M., Siqueira, F.F.S., Backé, J., Wirth, R., & Leal, I.R. (2017). Ecology of leafcutting ants in human-modified landscapes. In: Oliveira, P. S; Koptur, S. (editors): *AntPlant Interactions: Impacts of Humans on Terrestrial Ecosystems* (pp 73-90). Cambridge University Press.
- Vasconcelos-Sobrinho, J. (2002). *Desertificação no Nordeste do Brasil*. FADURPE/UFRPE.
- Velazco, S.J.E., Galvão, F. Keller, H.A., & Bedrij, N.A. (2015). Florística e fitossociologia de uma floresta estacional semidecidual, reserva privada Osununú-Misiones, Argentina. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 1-12. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.038513>
- Zhang, Y., Tariq, A., Hughes, A.C., Hong, D., Wei, F., Sun, H. et al. (2023). Challenges and solutions to biodiversity conservation in arid lands. *Science of The Total Environment*, 857(3), artigo 159695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159695>