



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS – CB  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS

JONATHAN MARQUES TAVARES

**VIABILIDADE DA CHUVA DE SEMENTES APÓS AGRICULTURA DE CORTE-E-  
QUEIMA: IMPLICAÇÕES PARA A REGENERAÇÃO DA FLORESTA SECA DA  
CAATINGA**

Recife

2023

JONATHAN MARQUES TAVARES

**VIABILIDADE DA CHUVA DE SEMENTES APÓS AGRICULTURA DE CORTE-E-QUEIMA: IMPLICAÇÕES PARA A REGENERAÇÃO DA FLORESTA SECA DA CAATINGA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tabarelli

Coorientadora: Dra. Jakelyne S. Bezerra

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Marques Tavares, Jonathan.

A viabilidade da chuva de sementes após a agricultura de corte-e-queima:  
Implicações importantes para a regeneração da floresta seca da Caatinga. /  
Jonathan Marques Tavares. - Recife, 2023.

33

Orientador(a): Marcelo Tabarelli

Coorientador(a): Jakelyne S. Bezerra

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências  
Ambientais - Bacharelado, 2023.

1. Dispersão de sementes. 2. Potencial de resiliência. 3. Limitação de fonte.  
4. Fontes de regeneração. 5. Sementes inviáveis. I. Tabarelli, Marcelo .  
(Orientação). II. S. Bezerra , Jakelyne . (Coorientação). III. Título.

580 CDD (22.ed.)

JONATHAN MARQUES TAVARES

**VIABILIDADE DA CHUVA DE SEMENTES APÓS AGRICULTURA DE CORTE-E-QUEIMA: IMPLICAÇÕES PARA A REGENERAÇÃO DA FLORESTA SECA DA CAATINGA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

**Aprovado em:** 28/04/2023

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Marcelo Tabarelli

---

Dra. Mariana Santos de Souza Gonçalves

---

Dra. Fernanda Maria Pereira de Oliveira

---

Dr. Ronald Noutcheu

**Esse seguinte trabalho é dedicado para  
minha família. Sem o apoio e amor deles,  
nada disso seria possível. É tudo por eles.**

## **AGRADECIMENTOS**

Tenho muita sorte em poder dizer que dedico esse trabalho a uma multidão de pessoas especiais que estiveram ao meu lado em todo esse período de graduação e a mim mesmo que venho me esforçando para ser minha melhor versão todos os dias.

Agradeço ao meu Orientador Marcelo Tabarelli por ter me permitido entrar no seu laboratório, pelos ensinamentos e pela ajuda para o desenvolvimento desse manuscrito.

Um agradecimento especial para minha Coorientadora Jakelyne, que foi o meu grande ponto de partida de toda a minha participação acadêmica na área da ecologia vegetal. Agradeço muito todo o apoio e carinho nesses anos de parceira da gente! Esse final da graduação só foi possível graças a você.

Agradecimentos a FACEPE e a UFPE pelo auxílio financeiro e toda estrutura de apoio Acadêmico.

Aos meus melhores amigos, Breno Rafael e Gean Santos que sempre estiveram do meu lado me apoiando nas empreitadas da vida.

A todos os meus amigos de graduação, em especial a Bruna, Charles, Fernanda, Gabriel, Thais, Zé, Henrique, Sandy, Stephanie, Clara e Polly. Os dias que compartilhamos foram uma das melhores coisas da graduação. Sempre vou lembrar de todas as nossas aventuras.

A minha família que deram a base para eu me tornar quem eu sou hoje, em especial meus irmãos, meus pais e meus queridos avós [...]

[...] E por último, a minha companheira de vida, Elys, que tenho a honra de compartilhar os dias. Sem o seu apoio, principalmente nessa reta final, nada disso seria possível <3.

## RESUMO

A regeneração das florestas tropicais sazonalmente secas teve o interesse renovado nos últimos anos, pois atualmente coube a elas o dever emergente de reter biodiversidade e fornecer serviços ecossistêmicos de importância global como a regulação do clima e sequestro e armazenamento de carbono. Aqui, nós quantificamos a viabilidade da chuva de sementes de plantas lenhosas e suas implicações para o potencial de regeneração da floresta seca da Caatinga. A chuva de sementes de espécies de plantas lenhosas foi monitorada durante um período de 12 meses em seis florestas nativas (i.e. parcelas de controle - floresta madura) e florestas em regeneração (i.e. parcelas experimentais – florestas em estágio inicial de regeneração). A partir deste conjunto de sementes, avaliamos a proporção de sementes viáveis na chuva de sementes de florestas nativas e em regeneração utilizando o teste de tetrazólio. Em geral, observamos que sementes viáveis representam apenas 12% do total de sementes que chegam em florestas nativas e florestas em regeneração. A proporção de sementes viáveis foi maior aproximadamente 8,3 vezes em florestas nativas do que em florestas em regeneração, evidenciando a contribuição das árvores adultas locais na maior proporção de sementes viáveis em florestas nativas. Contudo, o tamanho da semente não parece interferir na viabilidade das sementes, sugerindo pouca influência das características das espécies na viabilidade das sementes. Finalmente, a viabilidade das sementes da espécie *Senegalia piauhiensis* foi maior nas florestas em regeneração, mas para o restante das espécies essa diferença não foi estatisticamente significativa. Tomados em conjunto, nossos achados destacam a baixa viabilidade da chuva de sementes da floresta seca da Caatinga. Isso provavelmente está relacionado a uma combinação de forças naturais (falhas de polinização, produção de flores e frutos) e humanas (falta de fontes de sementes e dispersores de sementes em florestas em regeneração pós agricultura de corte-e-queima) que afetam a viabilidade da chuva de sementes e, conseqüentemente a regeneração da floresta seca da Caatinga. Portanto, aumentar a disponibilidade de fontes de sementes e investigar processos ecológicos associados a polinização e produção de frutos são ações críticas para melhorar a dispersão de sementes e a recuperação florestal em florestas expostas a agricultura de corte-e-queima.

**Palavras-chave:** dispersão de sementes, potencial de resiliência, limitação de fonte, fontes de regeneração, sucesso reprodutivo, sementes inviáveis.

## ABSTRACT

Forest regeneration on seasonally dry tropical forests has seen renewed interest in recent years, as they now have an emerging role to retain biodiversity and provide ecosystem services of global importance such as climate regulation and carbon sequestration and storage. Here, we quantify the seed viability of woody plants from seed rain and its implications for the regeneration potential of the Caatinga dry forest. Seed rain of woody plant species was monitored over a period of 12 months in six native forests (i.e. control plots - mature forest) and regenerating forests (i.e. experimental plots - forests in early regeneration). From this set of seeds, we evaluated the proportion of viable seeds in the seed rain of native and regenerating forests using the tetrazolium test. Overall, we observed that viable seeds represent only 12% of the total number of seeds that arrive in native and regenerating forests. The proportion of viable seeds was approximately 8.3 times higher in native forests than in regenerating forests, evidencing the contribution of local adult trees increasing the proportion of viable seeds in native forests. However, seed size does not seem to interfere with seed viability, suggesting little influence of species traits on seed viability. Finally, seed viability of the *Senegalia piauhiensis* specie was higher in regenerating forests, but for the rest of the species this difference was not statistically significant. Taken together, our findings highlight the low viability of seed rain of Caatinga forest. This is likely related to a combination of natural (failures in pollination and flower and fruit production) and anthropogenic (lack of seed sources and seed dispersers in regenerating forests post slash-and-burn agriculture) forces that affect the seed rain viability and, consequently, the forest regeneration in Caatinga dry forest. Therefore, increasing the availability of seed sources and investigating ecological processes associated to pollination and fruit set are critical actions to improve seed dispersal and forest recovery in forests exposed to slash-and-burn agriculture.

**Keywords:** seed dispersal, resilience potential, source limitation, regeneration sources, reproductive success, unviable seeds.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	10
2.1	IMPACTOS DA AGRICULTURA DE CORTE-E-QUEIMA SOBRE A BIODIVERSIDADE DAS FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS (FTSS) .....	10
2.2	REGENERAÇÃO EM FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS .....	12
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	16
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	16
4.2	DESENHO DE ESTUDO E MONITORAMENTO DA CHUVA DE SEMENTES .....	17
4.3	ANÁLISE DE DADOS .....	18
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	18
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	22
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	24
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	26

## 1 INTRODUÇÃO

Florestas tropicais foram progressivamente convertidas em terras agrícolas e atualmente quase metade dos ecossistemas tropicais são formados por florestas em regeneração (ARROYO-RODRÍGUEZ et al., 2017; FAO, 2018; TABARELLI et al., 2010). Este cenário é particularmente comum nas florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS), ecossistemas ocupados por milhões de comunidades rurais de baixa renda que utilizam produtos florestais derivados da regeneração (e.g. plantas medicinais, lenha e forragem) para fins de subsistência (ALBUQUERQUE et al., 2007; BARROS et al., 2021; SOUZA et al., 2019). Logo, a prestação e a sustentabilidade dos serviços florestais dependem da capacidade da floresta se regenerar após perturbações induzidas pelo homem (BARROS et al., 2021; BEZERRA et al., 2022; 2023). Neste sentido, a regeneração e resiliência florestal destas paisagens modificadas humanas vêm recebendo crescente interesse científico (POORTER et al., 2016; ROZENDAAL et al., 2019).

Florestas em regeneração nas FTSS dependem de fontes básicas de regeneração como a rebrota de plantas, o banco de sementes e a chuva de sementes (VIEIRA; SCARIOT 2006). Evidências recentes demonstram que a regeneração destas florestas é em grande parte impulsionada pela rebrota de plantas e propagação vegetativa (BARROS et al., 2021; CHAZDON, 2012; KENNARD et al., 2002; VANDERLEI et al., 2021), que apesar de oferecer algum nível de resiliência às florestas em regeneração (LAWRENCE et al., 2010), não é suficiente para recuperar os atributos da comunidade, bem como serviços que fornecem (i.e. recuperação da biomassa vegetal), uma vez que estes atributos dependem em grande parte das características da flora remanescente (BARROS et al., 2021; KENNARD et al., 2002). Assim, a regeneração da floresta e a recuperação da estrutura e composição das comunidades de plantas em áreas agrícolas depende de outras fontes de regeneração como o banco e a chuva de sementes (MARTÍNEZ-RAMOS; SOTO-CASTRO, 1993). No entanto, já é conhecido que o banco de sementes fica seriamente empobrecido e com baixa densidade de sementes após agricultura de corte-e-queima. Isto porque o fogo desidrata e superaquece o embrião das sementes, causando sua mortalidade (BEZERRA et al., 2022). Nesse sentido, a chuva de sementes pode ser fundamental para aumentar o potencial de resiliência em florestas em regeneração por meio do reabastecimento do banco de sementes, que normalmente mostra poucas sementes viáveis no solo (BEZERRA et al., 2022). Tal função crítica da chuva de

sementes pode ser, no entanto, comprometida se as sementes dispersadas até as áreas em regeneração apresentam baixa viabilidade. Portanto, entender a contribuição da chuva de sementes, mais precisamente sua viabilidade, tem grande implicações teóricas e aplicadas sobre a regeneração de florestas secas.

A chuva de sementes é definida como o conjunto de sementes que chegam até determinado local e espaço de tempo e depende de todos os indivíduos ao redor e suas sombras de sementes, compreendido como o espaço potencial que pode receber uma semente de cada árvore. A chuva sementes também depende da disponibilidade de frutos e sementes na vegetação circundante, e da dispersão ativa de sementes por frugívoros ou dispersão passiva (por exemplo, gravidade, vento) (CARRIERE et al., 2002; HUANCA-NUNEZ et al., 2021; NATHAN; MULLER-LANDAU, 2000; SAN-JOSÉ et al., 2019). Ela está associada a alguns fatores que podem ditar sua dinâmica, como por exemplo: densidade de indivíduos férteis das florestas adjacentes (no caso de clareiras), alcance da chuva de sementes, disponibilidade de dispersores e viabilidade das sementes que chegam até os locais (CLARK et al., 2001; HARDWICK et al., 1997).

A viabilidade de sementes está relacionada a uma série de fatores fisiológicos e bioquímicos internos, como padrões genéticos (BECERRA-VÁZQUEZ et al., 2018; HU et al., 2012) e externos, como umidade e temperatura (PUKACKA; RATAJCZAK, 2007), que podem aumentar gradativamente o envelhecimento da semente e induzir a perda da viabilidade, bem como por falhas em processos ecológicos como a polinização, produção de flores, frutos e sementes. Nesse sentido, a viabilidade de sementes é crucial para o processo de regeneração florestal, uma vez que são responsáveis pela produção de novas plantas na comunidade e, conseqüentemente, pela manutenção da biodiversidade dos ecossistemas (BEZERRA et al., 2022). Portanto, avaliar a viabilidade dos propágulos da chuva de sementes tem grandes implicações ecológicas e aplicadas.

A Caatinga é uma floresta tropical sazonalmente seca do Brasil (SILVA et al., 2017). Semelhante a outras florestas tropicais sazonalmente secas, a maior parte da região da Caatinga foi historicamente convertida em mosaicos de florestas em regeneração devido à agricultura de corte-e-queima e pecuária (BULLOCK et al., 1995; SOUZA et al., 2019). Conseqüentemente, as florestas remanescentes (tanto florestas primárias quanto em regeneração) geralmente respondem por uma grande parte dos produtos florestais para fins medicinais, lenha, construções e alimentação animal e humana (ARNAN et al., 2018). Neste cenário de subsistência humana assistida pelos produtos florestais, a Caatinga surge como uma oportunidade interessante para investigar a viabilidade dos propágulos da chuva de sementes

que chega em florestas nativas e em regeneração. No entanto, a maneira como esse fator afeta a regeneração da floresta seca da Caatinga permanece inexplorada.

Aqui, avaliamos a viabilidade dos propágulos da chuva de sementes de plantas lenhosas da Caatinga. Evidências já relatadas para esta floresta seca demonstram que tanto a chuva de sementes como as assembleias de plântulas de plantas lenhosas capturam um conjunto de indivíduos com densidade relativamente baixa e taxonomicamente empobrecidos em termos de diversidade de espécies (BEZERRA et al., 2023; TRINDADE et al., 2020; VANDERLEI et al., 2022). Além disso, em muitas paisagens da nossa região de estudo, o recrutamento de plântulas é associado à rebrota (VANDERLEI et al., 2021). Logo, é urgente investigar se a viabilidade das sementes da chuva está associada a estes padrões anteriormente encontrados e entender suas implicações para o potencial de resiliência e regeneração desta floresta seca rica em espécies, mas em desaparecimento.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 IMPACTOS DA AGRICULTURA DE CORTE-E-QUEIMA SOBRE A BIODIVERSIDADE DAS FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS (FTSS)**

As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (*Seasonally Dry Tropical Forests* sensu Pennington et al. 2009; de agora em diante florestas secas) são ecossistemas que possuem uma rica biodiversidade que está exposta a um ambiente altamente sazonal com vários meses de seca severa e chuvas irregulares (GENTRY et al., 1995). Estes fatores resultam em uma ampla abundância de plantas arbustivas e florestas que perdem suas folhas durante a estação seca (i.e. hábito caducifólio). Apesar destas florestas abrigarem uma alta diversidade biológica e um patrimônio natural e cultural único de importância global, secas prolongadas e perturbações humanas frequentemente trazem graves impactos negativos nos recursos da flora e fauna, nas populações humanas e na economia regional (MENEZES et al., 2012). Isto porque as florestas secas também são o lar de bilhões de pessoas de baixa renda extremamente vulneráveis às variações climáticas e mudanças na provisão de produtos florestais (SILVA et al., 2017). Essas populações humanas são altamente dependentes da provisão de plantas medicinais, lenha e forragem, bem como da criação extensiva de animais e agricultura para fins de subsistência (ALBUQUERQUE et al., 2007; BARROS et al., 2021; PENNINGTON et al., 2009; SOUZA et al., 2019). A agricultura de corte-e-queima é uma das principais fontes de subsistência no

contexto das FTSS (CURTIS et al., 2018). Embora esta atividade agrícola seja utilizada há milhares de anos e considerada como sustentável segundo alguns autores, principalmente em regiões com baixa densidade populacional e alta cobertura florestal (BISHT et al., 2014; JOHNSON; CURTIS, 2001; KLEINMAN et al., 1995; PEDROSO-JUNIOR et al., 2008; 2009), ela também pode apresentar vários efeitos negativos sobre os padrões e processos associados a biodiversidade (BARROS et al., 2021; FILGUEIRAS et al., 2021). Este é particularmente o caso de evidências recentes que têm mostrado importantes ameaças à diversidade biológica em diferentes níveis de organização biológica (BEZERRA et al., 2022, 2023; SOUZA et al., 2019), incluindo os serviços florestais que direta ou indiretamente são cruciais ao bem-estar humano (FILHO et al., 2015; SOUZA et al., 2019). Tais impactos negativos podem ser particularmente prejudiciais em florestas secas, especialmente em paisagens já degradadas e que apresentam uma longa história de uso da terra (BARROS et al., 2021; BEZERRA et al., 2022; 2023; LINS et al., 2022; VANDERLEI et al., 2022). Além disso, diferente de outros biomas dependentes do fogo como a Savana africana, a biota das florestas secas raramente sofre incêndios, e, portanto, não apresentam adaptações a queimadas antrópicas (PIVELLO et al., 2021), o que pode resultar em baixa resistência do ecossistema a esta perturbação.

Evidências científicas demonstram que após agricultura de corte-e-queima, a riqueza de espécies tende a diminuir, comprometendo atributos básicos que influenciam o funcionamento e a operação do ecossistema (LANDAVERDE-GONZÁLEZ et al., 2017; TILMAN, 2001). Este é o caso da perda de importantes atributos das comunidades de formigas arborícolas e agentes polinizadores, e dispersores de sementes, que comprometem assim serviços ambientais como a defesa de plantas contra herbívoros e processos ecológicos como a dispersão de sementes (HAUSER; NORRGROVE, 2013; SAN-JOSÉ et al., 2020). Além disso, em espécies de vertebrados a conversão de florestas nativas em cultivos impede a locomoção de vários grupos de animais como é o caso dos répteis e anfíbios, que são mortos com a queima da vegetação, uma vez que não podem escapar rapidamente (RUSSEL et al., 1999). De fato, quando este método agrícola afeta a abundância de mamíferos e aves, a recuperação da floresta é prejudicada porque muitos deles são vetores responsáveis pela dispersão de sementes (ALVES et al., 2020; BEZERRA et al., 2020; RAMAN et al., 2001). Nesse contexto, a agricultura de corte-e-queima também pode prejudicar ainda mais a biodiversidade das florestas secas ao reduzir as fontes de regeneração e impedir ou atrasar a regeneração da floresta (SILVA, 2021; TABARELLI et al., 2008). Isto porque ao converter áreas florestais em cultivos, a vegetação lenhosa adulta é prontamente cortada, eliminando assim a disponibilidade de frutos e sementes, o que pode prejudicar a resiliência ecológica local e levar a uma perda significativa

da densidade de indivíduos e diversidade de espécies (AIDE; CAVELIER, 1994; PARROTA, 1993). Um bom exemplo deste fenômeno é o caso do banco de sementes do solo, que sofre alta redução na proporção de sementes viáveis, pois a queima desidrata e superaquece o embrião das sementes de plantas lenhosas, causando a perda da viabilidade das sementes (BEZERRA et al., 2022; MAMEDE, ARAÚJO; 2008; TOKY, RAMAKRISHNAN; 1983). Em resposta, a estrutura das comunidades de plantas é afetada, causando particularmente a redução no número de espécies raras em nível local ( $\alpha$ ) e regional ( $\gamma$ ), bem como levando a homogeneização (perda de  $\beta$ -diversidade) de conjuntos de sementes através do espaço, e mudanças na sua composição funcional após o fogo (BEZERRA et al., 2022). Similarmente, a remoção de árvores adultas (e sementes) em áreas cultivadas (ou seja, limitação da fonte de sementes; CLARK et al., 1998) é particularmente prejudicial a chuva de sementes, especialmente em florestas secas como a Caatinga, onde  $\approx 70\%$  das espécies de plantas têm dispersão abiótica (por exemplo, gravidade, vento e balística; BARBOSA et al., 2003; GRIZ; MACHADO, 2001). Neste caso, evidências também demonstram que as espécies raras da Caatinga são as mais vulneráveis a extinção local após perturbações antrópicas, pois espera-se que os fatores que limitam a dispersão de sementes em áreas agrícolas sejam ainda mais fortes em espécies com populações menores (PINHO et al., 2022). Logo, como as comunidades de plantas do banco e da chuva de sementes são drasticamente alterados após agricultura de corte-e-queima, sendo o banco de sementes o mais prejudicado, visto o impacto direto do fogo sobre as sementes do solo. Então, a regeneração futura da floresta, deve depender não apenas da chegada de sementes de áreas próximas até as áreas degradadas, mas também da viabilidade destas sementes e sua contribuição na regeneração florestal. Assim, estudos adicionais de monitoramento que avaliem a viabilidade da chuva de sementes na regeneração florestal são necessários para preencher essa importante lacuna de conhecimento.

## 2.2 REGENERAÇÃO EM FLORESTAS TROPICAIS SAZONALMENTE SECAS

A regeneração florestal é um processo ecossistêmico em ampla escala, e está diretamente associado à manutenção da biodiversidade, entrega de produtos florestais para pessoas que vivem próximo às florestas e sustentabilidade global (CHAZDON et al., 2016; SOUZA et al., 2019). A regeneração de uma floresta após o abandono da terra depende de fontes-chave de regeneração como a rebrota de plantas, o banco de sementes (i.e. reservatório de sementes viáveis e não germinadas) e a chuva de sementes (i.e. dispersão de sementes e sua área de abrangência) (CHAZDON, 2012). Apesar do seu papel fundamental na recuperação das biotas

florestais, processo de regeneração pode seguir diferentes caminhos sucessionais, dependendo de como as atividades agrícolas afetam as fontes de regeneração (ARROYO-RODRÍGUEZ et al., 2017, BARROS et al., 2021). Isso é particularmente verdadeiro para áreas agrícolas (CARRIERE et al., 2002), onde a rebrota de plantas apesar de proporcionar algum nível de resiliência às florestas em regeneração (LAWRENCE et al., 2010), não é capaz por si só de recuperar os principais atributos da comunidade, como diversidade e composição de espécies em áreas queimadas (BARROS et al., 2021; KENNARD et al., 2002) além de contribuir com possíveis perdas de diversidade genética (VALBUENA-CARABAÑA et al., 2008). Em geral, os atributos das comunidades que elas mantêm, bem como serviços que fornecem, dependem em grande parte do perfil ecológico da flora remanescente. Logo, a regeneração da floresta e a estrutura e composição das comunidades de plantas em áreas afetadas pela agricultura passa a depender de outras fontes de regeneração como o banco e a chuva de sementes (MARTÍNEZ-RAMOS; SOTO-CASTRO, 1993). No entanto, já é conhecido que em áreas agrícolas, de FTSS, os bancos de sementes são drasticamente alterados como resultado da perda de viabilidade de sementes após o fogo (BEZERRA et al., 2022), o que conseqüentemente torna-os empobrecidos em termos de diversidade de espécies e densidade de sementes relativamente baixa (BEZERRA et al., 2022; MAMEDE, ARAÚJO; 2008). Logo, isso faz aumentar ainda mais o papel da chuva de sementes dispersas pelo vento ou trazidas por vertebrados frugívoros (CHAZDON, 2012).

A chuva de sementes é considerada o conjunto de sementes que chegam até determinado local e espaço de tempo e depende de todos os indivíduos ao redor e suas sombras de sementes, que é o espaço potencial que pode receber uma semente de cada árvore. Esse conjunto de sementes pode ser formado pelas sementes que caem das árvores vizinhas (sementes locais) e sementes imigrantes dispersas por vetores bióticos e abióticos (MARTÍNEZ-RAMOS; SOTO-CASTRO, 1993; MELO et al., 2010). Esses vetores e a chuva de sementes, podem ser particularmente sensíveis a mudanças na cobertura florestal da paisagem, especialmente àquelas mudanças que eliminam fontes de sementes e os movimentos dos agentes dispersores. Esta fonte de regeneração é extremamente importante durante os estágios sucessionais iniciais (CARRIERE et al., 2002; COLE et al., 2010; HUANCA-NUÑEZ et al., 2021; SVENNING; WRIGHT, 2005), pois pode repor o banco de sementes e aumentar o potencial regenerativo de áreas queimadas (BEZERRA et al., 2022). Contudo, existem evidências demonstrando que a chuva de sementes em cultivos abandonados tende a ser empobrecida em termos de diversidade de espécies e densidade de sementes, particularmente porque ao cortar e queimar a vegetação, este método de cultivo promove limitação de fonte e de dispersão de sementes (BEZERRA et al., 2023). A limitação da fonte de sementes ocorre por meio da falta de sementes em

decorrência da quantidade limitada de árvores e/ou produção de sementes (CLARK et al., 1998), o que resulta em redução na abundância e diversidade de sementes na chuva de sementes (BEZERRA et al., 2023). Já a limitação de dispersão, ocorre devido a falha na dispersão, devido à redução de agentes dispersores, mesmo quando existe disponibilidade suficiente de sementes (HOWE; SMALLWOOD, 1982).

Algumas descobertas anteriores em nossa paisagem focal demonstram que as assembleias de plântulas lenhosas possuem baixa densidade de indivíduos (por exemplo,  $< 0,05$  mudas/m<sup>2</sup>) e são taxonomicamente empobrecidas (VANDERLEI et al., 2022). Além disso, em muitos trechos da região, o recrutamento de plântulas está particularmente associado à rebrota (VANDERLEI et al., 2021). Recentemente foi reportado que conjuntamente áreas de floresta nativa e em regeneração podem capturar um número considerável de sementes (i.e. 8.417) via dispersão de áreas vizinhas (BEZERRA et al., 2023). O que explicaria então os padrões encontrados por estes estudos relacionados a uma grande quantidade de sementes dispersadas nesses locais (BEZERRA et al., 2023) e uma densidade de plântulas verdadeiras tão reduzida (VANDERLEI et al., 2022)? A redução e inviabilidade das populações de espécies vegetais pode ajudar a explicar este fenômeno. Este pode ser o caso de FTSS como a Caatinga, onde a degradação crescente do ecossistema tem contribuído para uma redução das populações de plantas a um tamanho crítico (BEZERRA et al., 2022). Nesse sentido, muitas populações pequenas podem apresentar falhas na produção de sementes devido a estresses climáticos como a aridez, polinização insuficiente e endogamia, o que leva à formação de sementes inviáveis e falhas na reprodução das plantas. No entanto, nosso conhecimento sobre este tema está longe de estar completo, especialmente no que diz respeito a viabilidade da chuva de sementes e sua contribuição real para a recuperação de florestas em regeneração, e pode ter implicações teóricas e aplicadas no contexto de conservação e manejo em florestas tropicais sazonalmente secas.

### 2.3 IMPORTANCIA DA CHUVA DE SEMENTES PARA A REGENERAÇÃO DA CAATINGA

A Caatinga é a floresta tropical sazonalmente seca do Brasil. (AB'SABER, 1977; PRADO, 2003; IBGE, 2004), que está distribuída em nove estados e representa a maior área contínua de FTSS da América do Sul (GIULIETTI et al., 2004; MMA/IBAMA, 2011). A vegetação da Caatinga possui grande diversidade florística, composta principalmente por plantas adaptadas às condições de seca, incluindo cactos, arbustos e árvores xerófilas

(OLIVEIRA-FILHO, 2009), e uma fauna com uma altíssima taxa de endemismo, tornando-se um ecossistema biologicamente importante (ALVES et al., 2009). No entanto, a Caatinga suporta milhões de comunidades humanas que utilizam a fauna e a flora do ecossistema como fontes de subsistência, o que ameaça cada vez mais a persistência da biodiversidade, manutenção da provisão de serviços ecossistêmicos e sustentabilidade socioecológica (SAMPAIO, 1995; SILVA et al., 2017).

A Caatinga em seu estado atual é formada por paisagens modificadas humanas compostas por mosaicos sucessionais (TABARELLI et al., 2017; SOUZA et al., 2019). Neste cenário ecológico dominado pelo homem, já existem algumas linhas de evidência demonstrando que a regeneração na Caatinga em áreas agrícolas abandonadas é impulsionada pela rebrota – uma fonte-chave de resiliência das FTSS, já que esse grupo não precisa enfrentar os desafios impostos durante o recrutamento por sementes (BARROS et al., 2021; CHAZDON, 2012; KENNARD et al., 2002; VANDERLEI et al., 2021). No entanto, o favorecimento de espécies com capacidade de rebrota por perturbação humana pode aumentar a distribuição de indivíduos geneticamente idênticos em uma população com um aumento concomitante na autopolinização (HANDEL, 1985; ECKERT, 2000), desperdício de pólen e/ou depressão por endogamia (MUIRHEAD; LANDE, 1997), resultando potencialmente em menor taxa sexual sucesso do recrutamento (LASSO et al., 2009).

A chuva de sementes poderia exercer um papel fundamental durante os estágios iniciais de regeneração florestal, pois pode reabastecer o banco de sementes e aumentar o potencial regenerativo de áreas expostas à agricultura de corte-e-queima, que normalmente apresentam poucas sementes viáveis no solo devido os danos causados pelo fogo (BEZERRA et al., 2022). Tal papel funcional crítico da chuva de sementes pode ser, no entanto, comprometido se as sementes que chegam as áreas em regeneração apresentam baixa viabilidade. Portanto, entender o papel da chuva de sementes, mais precisamente sua viabilidade, tem grande implicações ecológicas e aplicadas, e pode nos ajudar a entender outros padrões encontrados na nossa paisagem de estudo.

A viabilidade do acesso de sementes é uma medida de quantas sementes estão vivas e podem se transformar em plantas que se reproduzirão, dadas as condições apropriadas. A viabilidade destas sementes depende de fatores fisiológicos e bioquímicos internos (HU et al., 2012) que dependem da espécie e são condicionados geneticamente (BECERRA-VÁZQUEZ et al., 2018), e externos, como umidade e temperatura (PUKACKA; RATAJCZAK, 2007). Nesse sentido, temperaturas altas podem induzir processos oxidativos de várias origens que aumentam gradativamente o envelhecimento da semente e finalmente a redução da viabilidade.

Em outros casos, as árvores produzem uma quantidade maior de flores em temperaturas mais altas, mas estas não são efetivamente polinizadas e, como resultado, muitas sementes são inférteis (PEARSE et al., 2016). No entanto, até onde sabemos, nenhum estudo até o momento avaliou a viabilidade dos propágulos da chuva de sementes na floresta da Caatinga. Em particular, isso deve afetar a regeneração florestal em paisagens ocupadas por pessoas pobres que utilizam produtos florestais como fonte de subsistência, e consequentemente afetar a estrutura e composição de espécies em florestas em regeneração. Logo, se queremos conservar a biodiversidade e manter a sustentabilidade em paisagens modificadas humanas é necessário compreender o papel da viabilidade dos propágulos da chuva de sementes na regeneração da floresta tropical sazonalmente seca da Caatinga.

### **3 OBJETIVOS**

Quantificar a viabilidade dos propágulos que compõem a chuva de sementes de plantas lenhosas e suas implicações para o potencial de regeneração da floresta tropical sazonalmente seca da Caatinga.

#### **3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Quantificar a proporção de sementes viáveis da chuva de sementes de plantas lenhosas em florestas nativas e florestas em regeneração;
- Verificar se o tamanho da semente influencia a proporção de sementes viáveis de espécies de florestas nativas e em regeneração;
- Analisar se existem espécies de plantas com maior proporção de viabilidade de sementes em comparação com outras espécies em florestas nativas e florestas em regeneração.

### **4 METODOLOGIA**

#### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

O estudo foi realizado no Parque Nacional do Catimbau (8°23'17"- 8°36'35" S; 37°11'00"- 37°33'32"W; ~600 m a.s.l.), uma área protegida de 607 km<sup>2</sup> de floresta seca da Caatinga no nordeste do Brasil. O clima da região é predominantemente semiárido (classificação Köppen), com temperatura média anual de 23 °C e precipitação anual variando entre 650 e 1100 mm

(RITO et al., 2017; SAMPAIO et al., 1998). A maior parte da região ( $\approx 70\%$ ) apresenta solos litossólicos, que são cobertos por vegetação típica de florestas secas de pequeno porte dominadas por espécies de Fabaceae, Euphorbiaceae e Myrtaceae (RITO et al., 2017). A região está particularmente exposta às perturbações antrópicas (MARTORELL; PETERS 2005, 2009), pois desde o início da colonização europeia no século XVI as populações humanas fazem exploração intensiva dos recursos naturais (HIROTA et al., 2011; MILLES et al., 2006; SCHEFFER et al., 2001). Em particular, a agricultura de corte-e-queima é um dos principais tipos de uso da terra, transformando a floresta primária em um mosaico de florestas secundárias de diferentes idades (BARROS et al., 2021; SOUZA et al., 2019; SPECHT et al., 2019).

#### 4.2 DESENHO DE ESTUDO E MONITORAMENTO DA CHUVA DE SEMENTES

O desenho do estudo completo foi descrito em mais detalhes em outro trabalho (BEZERRA et al., 2022), mas um resumo é fornecido aqui. Adotamos uma abordagem experimental para avaliar a viabilidade dos propágulos da chuva de sementes de espécies de plantas lenhosas (ou seja, árvores e arbustos). Seleccionamos seis blocos de duas parcelas pareadas de 50 m  $\times$  20 m (0,1 ha) cada, sem registro de práticas agrícolas. Uma parcela foi exposta à agricultura de corte-e-queima e após a colheita foi abandonada (ou seja, florestas em regeneração) e, como controle, localizamos outra parcela em uma área de floresta próxima (florestas nativas) (50 m de distância) da floresta em regeneração.

Para acessar a chuva de sementes em florestas nativas e em regeneração utilizamos cinco coletores de tela de Nylon (1,0 m  $\times$  1,0 m) distribuídos aleatoriamente e mantendo uma distância de 2,5 m do coletor mais próximo e 50 cm acima do solo. As sementes coletadas foram separadas das folhas, galhos e flores e/ou frutos e, armazenadas em sacos de papel. As sementes foram identificadas até o menor nível taxonômico possível com auxílio de literatura especializada (DE PAULA, 2019), parataxonomistas e espécimes armazenados no Herbário da UFPE. Para avaliar a viabilidade das sementes utilizamos o método do tetrazólio descrito por Bezerra et al. (2022), mas oferecemos um pequeno resumo aqui. Inicialmente escarificamos cada semente com uma lixa para expor o endosperma, evitando danificar o embrião. Em seguida, pré-condicionamos as amostras em água deionizada por 12 horas, e as imergimos em tetrazólio (0,075%) a uma temperatura de 25 °C por aproximadamente 240 minutos. A seguir, lavamos as sementes com água corrente, cortamos longitudinalmente com auxílio de um estilete, e observamos com lupa a coloração de cada semente individualmente. Consideramos a cor avermelhada como a presença de tecido vivo (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI,

2019; MOORE, 1961), enquanto a cor branca leitosa foi considerada como tecido morto. Logo, consideramos a presença de tecido vivo no embrião como um sinal qualitativo de viabilidade da semente, e estimamos a proporção de sementes viáveis em florestas nativas (parcelas de controle) e florestas em regeneração (parcelas experimentais).

#### 4.3 ANÁLISE DE DADOS

Para quantificar diferenças na proporção de sementes viáveis da chuva de sementes entre florestas nativas e em regeneração utilizamos a função *prop.test* disponível no software R. Para verificar diferenças na proporção de sementes viáveis e sua relação com o tamanho da semente, utilizamos uma Análise de Covariância (ANCOVA) modelando a proporção de sementes viáveis de cada espécie por bloco (variável de resposta) em função do tratamento (florestas nativas e florestas em regeneração) e o tamanho da semente (cm) como covariável. Nós verificamos a distribuição dos dados e ajustamos uma distribuição binomial para dados de proporção. Em todos os modelos foram observados os efeitos dos tratamentos (florestas nativas e florestas em regeneração) sobre as proporções de sementes viáveis de cada espécie por separado. Finalmente, em relação a grupos taxonômicos com maior número de sementes viáveis, testamos as diferenças nas frequências de sementes viáveis de cada espécie de planta lenhosa presente em ambas as florestas nativas e florestas em regeneração (i.e. sete espécies) utilizando o teste exato de Fisher para tabelas de contingência  $2 \times 2$ . Para isso, utilizamos o número total de sementes por espécie (para maiores detalhes veja a Tabela 1) e o número de sementes viáveis por espécie em florestas nativas e florestas em regeneração.

### 5 RESULTADOS

No total, registramos 6.144 sementes de 27 espécies lenhosas pertencentes a 7 famílias botânicas em florestas nativas e florestas em regeneração. As sementes viáveis (nosso principal foco) representaram apenas 12% do total de sementes que chegaram em florestas nativas (685 – 11%, de um total de 5.992 sementes) e florestas em regeneração (82 – 53%, de um total de 152 sementes). Encontramos sementes viáveis de 16 espécies das famílias Fabaceae e Euphorbiaceae, e que representaram 62% e 25% das sementes de todas as espécies, respectivamente. Em nível taxonômico, cinco espécies tiveram maior número e proporção de sementes viáveis em relação ao conjunto total de espécies, são elas: *Senegalia piauhiensis* (452 – 59%), *Croton heliotropiifolius* (136 – 10%), *Pityrocarpa moniliformis* (69 - 14%) e

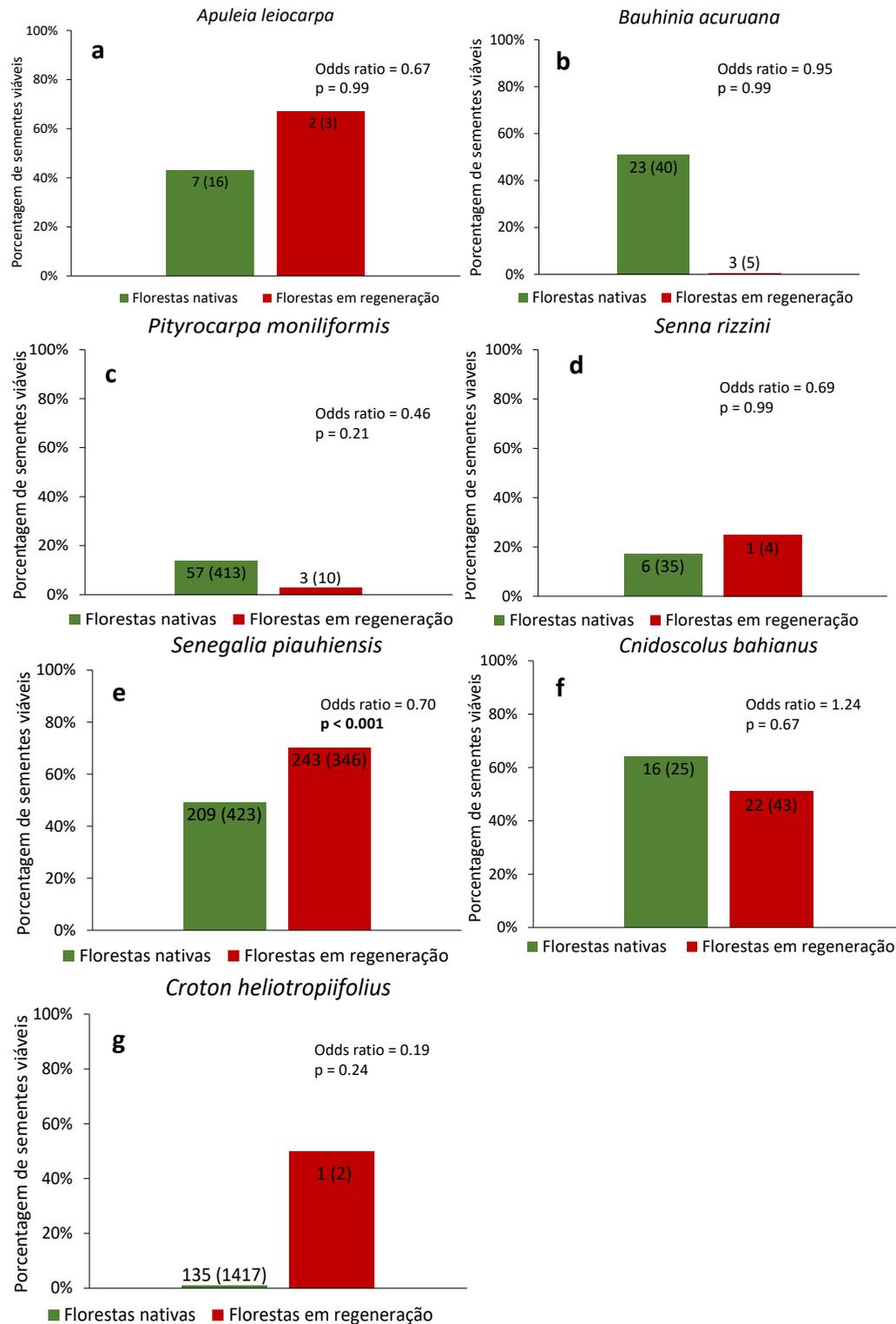
*Cnidoscolus bahianus* (38 – 56%). Funcionalmente, as sementes viáveis consistiram em espécies de árvores (82%) com frutos secos (82%) e sementes com dispersão abiótica (70%).

**Tabela 1** Descrição das assembleias da chuva de sementes de 6 parcelas de floresta nativa e florestas em regeneração no Parque Nacional do Catimbau, Brasil. A lista das espécies e suas respectivas famílias são indicadas, bem como os valores totais de sementes, o número e a porcentagem de sementes viáveis.

<b>Espécie</b>	<b>Família</b>	<b>Número total de sementes</b>	<b>Número de sementes viáveis</b>	<b>Porcentagem de sementes viáveis</b>
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Fabaceae	4	4	100
<i>Hymenaea martiana</i>	Fabaceae	1	1	100
<i>Senegalia piauiensis</i>	Fabaceae	769	452	59
<i>Bauhinia acuruana</i>	Fabaceae	45	26	58
<i>Cnidoscolus bahianus</i>	Euphorbiaceae	68	38	56
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Fabaceae	19	9	47
<i>Peltogyne pauciflora</i>	Fabaceae	14	6	43
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Fabaceae	7	3	43
<i>Senegalia bahiensis</i>	Fabaceae	30	10	33
<i>Sapium glandulosum</i>	Euphorbiaceae	3	1	33
<i>Senna rizzini</i>	Fabaceae	39	7	18
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	Fabaceae	423	60	14
<i>Croton heliotropifolius</i>	Euphorbiaceae	1419	136	10
<i>Croton nepetifolius</i>	Euphorbiaceae	83	5	6
<i>Guapira graciliflora</i>	Nyctaginaceae	2.147	7	0
<i>Guapira laxa</i>	Nyctaginaceae	825	2	0
<i>Balfourodendron molle</i>	Rutaceae	13	0	0

<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	133	0	0
<i>Croton argyrophyloides</i>	Euphorbiaceae	1	0	0
<i>Helicteres velutina</i>	Malvaceae	3	0	0
<i>Jatropha mollissima</i>	Euphorbiaceae	3	0	0
<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	82	0	0
<i>Manihot carthagenensis</i>	Euphorbiaceae	1	0	0
<i>Myrtaceae sp. 1</i>	Myrtaceae	1	0	0
<i>Myrtaceae sp. 2</i>	Myrtaceae	1	0	0
<i>Senna acuruensis</i>	Fabaceae	2	0	0
<i>Syagrus coronata</i>	Arecaceae	3	0	0

A proporção de sementes viáveis dependeu significativamente do tratamento ( $X^2 = 241.38$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.001$ ) e foi maior aproximadamente 8,3 vezes em florestas nativas (685) do que em florestas em regeneração (82), evidenciando a diferença na chegada de sementes viáveis entre os tratamentos. No entanto, não observamos nenhum efeito do tamanho da semente sobre a proporção de sementes viáveis de florestas nativas e florestas em regeneração ( $t=0.19$ ;  $R^2=0.02$ ;  $p=0.84$ ).



**Figura 1** Porcentagem total de sementes (número de sementes viáveis dentro das barras e número sementes totais entre parênteses) por espécies encontradas em florestas nativas e florestas em regeneração no Parque Nacional do Catimbau, Brasil. As diferenças entre os tratamentos foram testadas com testes exatos de Fisher para tabelas de contingência  $2 \times 2$ , e as probabilidades razão e valor de p de cada teste é indicado para cada espécie encontrada tanto em florestas nativas como em florestas em regeneração.

Finalmente, as assembleias de sementes mostraram um aumento na frequência de sementes de *Senegalia piauiensis* (OR = 0.70;  $p < 0.001$ ; Fig. 2e). No entanto, a frequência relativa de sementes de *Apuleia leiocarpa* (OR = 0.67;  $p = 0.99$ ; Fig. 2a), *Bauhinia acuruana* (OR = 0.95;  $p = 0.99$ ; Fig. 2b), *Pityrocarpa moniliformis* (OR = 0.46;  $p = 0.21$ ; Fig. 2c), *Senna rizzini* (OR = 0.69;  $p = 0.99$ ; Fig. 2d), *Cnidocolus bahianus* (OR = 1.24;  $p = 0.67$ ; Fig. 2f) e *Croton heliotropiifolius* (odds ratio, OR = 0.19;  $p = 0.24$ ; Fig. 2g) não diferiu entre tratamentos.

## 6 DISCUSSÃO

Este estudo avaliou a viabilidade dos propágulos da chuva de sementes de plantas lenhosas em florestas nativas e florestas em regeneração no bioma Caatinga – uma floresta tropical seca do Brasil. Nossos resultados indicam que, a viabilidade da chuva de sementes da Caatinga é particularmente baixa, pois apenas 12% das sementes que chegam em florestas nativas e em regeneração são viáveis. Em particular, descobrimos que a proporção de sementes viáveis foi menor 8.5 vezes em florestas em regeneração. No entanto, o tamanho da semente não parece ter efeito sobre a viabilidade das sementes de cada espécie. Embora a frequência de sementes viáveis por espécie não tenha diferido entre os tratamentos, encontramos algumas tendências interessantes que merecem atenção especial. Em conjunto, esses resultados têm importantes implicações teóricas e aplicadas para a regeneração florestal da Caatinga e potencialmente outras florestas tropicais secas.

Encontramos evidências de que a chuva de sementes da floresta tropical sazonalmente seca da Caatinga aparentemente captura uma proporção relativamente baixa de sementes viáveis. Assim, sementes de plantas lenhosas nesta floresta tropical não devem apresentar um papel importante no processo de regeneração baseado em plântulas verdadeiras (i.e. plântulas derivadas de sementes). A proporção de sementes viáveis significativamente menor em florestas em regeneração reforça evidências recentes sobre o baixo potencial regenerativo capturado pelas sementes de plantas lenhosas na floresta seca da Caatinga. Por exemplo, Bezerra et al. (2023) descobriram que a densidade de sementes na chuva de sementes foi significativamente menor (até quinze vezes) em florestas em regeneração do que em nativas. Assim, uma baixa densidade de sementes é especialmente causada pela remoção de fontes de sementes e seus agentes dispersores em florestas em regeneração, o que em conjunto limitam a chegada a áreas expostas anteriormente à agricultura de corte-e-queima (BEZERRA et al., 2022; 2023). Mas porque mesmo capturando um número total de sementes relativamente alto (i.e. 6.144) ambas as florestas nativas e em regeneração apresentam uma proporção de sementes

viáveis tão baixa? Evidências emergentes demonstram que a baixa viabilidade de sementes não é um resultado incomum para nossa paisagem focal. Este é particularmente o caso dos bancos de sementes com baixa proporção de sementes viáveis em áreas de exclusão de caprinos (LINS et al., 2022) e áreas expostas à agricultura de corte-e-queima (BEZERRA et al., 2022). Embora não existam informações disponíveis sobre os fatores associados à viabilidade de sementes na floresta da Caatinga, propomos que a baixa proporção de sementes viáveis da chuva resulta de uma combinação de dois mecanismos principais: (1) limitação de fonte por meio da perda de árvores adultas, o que altera a disponibilidade de frutos e sementes (BEZERRA et al., 2022; 2023); (2) processos associados a polinização (i.e. pólen com baixa viabilidade), e produção de flores e frutos, provocando uma deficiência na reprodução da espécie (WEIS; HERMANUTZ, 1993). Além disso, é razoável que mesmo para plantas com alta produção de frutos e sementes, a perda da viabilidade pode ser uma resposta esperada à medida que o déficit hídrico (SINGH et al., 2013) e a redução no aporte de nutrientes do solo se tornam mais severos. Em qualquer caso, nossas descobertas implicam que, devido à baixa viabilidade das sementes, a regeneração florestal em áreas agrícolas terá uma baixa contribuição de plântulas derivadas de sementes, bem como seguirá diferentes caminhos sucessionais após a perturbação, dependendo da composição do banco de rebrotas disponível localmente (BARROS et al., 2021).

O presente estudo sugere que a viabilidade não é significativamente afetada pelo tamanho da semente. Evidências anteriores sugerem que o tamanho da semente, em termos de peso, tem um impacto proporcionalmente mais forte no processo de regeneração (i.e. plântulas) do que para sementes de classes intermediárias e pequenas (SHANKAR, 2006). É provável que os processos relacionados à dispersão, ao invés da filtragem do habitat, tenham sido mais importantes na montagem de comunidades na regeneração inicial, resultando em comunidades que são pouco influenciadas pelas características das espécies (SONNIER et al., 2010). De fato, frutos carnosos de sementes grandes são raros em nossa paisagem focal (BEZERRA et al., 2022; BARROS et al., 2021; RITO et al., 2017), em resposta a uma combinação de agricultura de corte-e-queima e perturbação crônica.

Embora a proporção de sementes viáveis não indique qualquer associação com grupos taxonômicos específicos, algumas respostas foram observadas em relação à viabilidade. Por exemplo, *Senegalia piauhiensis*, apresentou maior proporção de sementes viáveis em florestas em regeneração. De fato, existem algumas características que favorecem esta espécie como: (1) alta produção de sementes, (2) distribuição mais ampla no espaço, (3) capacidade de rebrota, e, portanto, é maior propensão a apresentar alta viabilidade de sementes quando comparada a outras espécies. No entanto, como esta espécie dominante apresentou maior proporção de

sementes viáveis em florestas em regeneração, a generalidade deste padrão precisa ser investigada em mais detalhe no futuro.

Em síntese, nossos achados ajudam a explicar vários padrões de regeneração que não seguem o esperado em nossa paisagem de estudo. Este é particularmente o caso de (1) assembleias de plântulas lenhosas com baixa densidade e taxonomicamente empobrecidas (VANDERLEI et al., 2022), (2) alta mortalidade de plântulas causada pelo pastoreio de caprinos (LINS et al., 2022), (3) bem como o recrutamento de plântulas associado à rebrota (VANDERLEI et al., 2021), (4) a falta de mudanças direcionais em nível de comunidade medidas de diversidade de plantas e besouros coprófagos ao longo do processo de regeneração (BARROS et al., 2021; FILGUEIRAS et al. 2021) e (5) recuperação de biomassa/acumulação de espécies derivadas, particularmente, de espécies capazes de rebrotar (SOUZA et al., 2019).

Por fim, os padrões que aqui documentamos é semelhante ao observado em árvores adultas na região (RITO et al., 2021), provavelmente porque a maioria das comunidades de plantas são formadas predominantemente por árvores adultas e tem pouca contribuição de plântulas. Esses resultados reforçam evidências anteriores de que a regeneração da floresta seca da Caatinga é impulsionada, em grande parte, pela rebrota de plantas e reprodução clonal via rebentos de raiz (BARROS et al., 2021), em resposta a perdas de biomassa causados por distúrbios humanos, como agricultura de corte-e-queimada (NOUTCHEU et al., 2023). Nesse sentido, existem alguns esforços bem-sucedidos de restauração da floresta da Caatinga com plântulas de espécies lenhosas produzidas em viveiro, que têm aumentado a taxa de sobrevivência das espécies em 70% em terras agrícolas degradadas na Floresta Nacional do Açu Federal Reserva, Rio Grande do Norte, Brasil (A TREEDIV PROJECT: BRAZILDRY, 2023).

## **7 CONCLUSÃO**

Os resultados encontrados neste estudo trazem contribuições teóricas interessantes sobre a regeneração da Caatinga em áreas expostas à agricultura de corte-e-queima. Especificamente, a chuva de sementes de florestas em regeneração na Caatinga captura sementes na sua maior parte inviáveis em todas as áreas de estudo. Nossos achados destacam que a regeneração da floresta seca da Caatinga é altamente dependente de rebrotas, pois existe uma limitação na produção de sementes viáveis, o que pode resultar de eventos que afetam a eficiência reprodutiva das espécies, por exemplo, limitação de fonte e de dispersão, aumento da temperatura, falta de nutrientes no solo, falhas nos sistemas de polinização e floração –

interessantes linhas de investigação para o futuro. Como se espera que as mudanças climáticas em curso sejam ainda mais severas sobre biotas secas, nossa compreensão sobre a regeneração de paisagens modificadas em florestas secas deve ser melhor investigada para a manter a conservação da biodiversidade, provisão de serviços e bem-estar humano nesta floresta rica em espécies.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. **Geomorfologia**, n. 52, p. 1-22, 1977.
- AIDE, T. M.; CAVELIER, J. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Columbia. **Restoration Ecology**, v. 2, p. 219–229, 1994.
- ALBUQUERQUE, U. P. DE; OLIVEIRA, R. F. DE. Is the use-impact on native caatinga species in Brazil reduced by the high species richness of medicinal plants? **Journal of ethnopharmacology**, v. 113, n. 1, p. 156–170. 2007.
- ALVES, R. R. N. et al. Hunting strategies used in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 5, n. 1, p. 12, 2009.
- ARNAN, X. *et al.* Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. **The Science of the total environment**, v. 631–632, p. 429–438. 2018.
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V. et al. Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research: Multiple successional pathways. **Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 92, n. 1, p. 326–340. 2017.
- AZERÊDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. sob estresse hídrico. **Ciência Florestal**. v. 26, n. 1, p. 193-202, 2016.
- BARBOSA, D. C. A. et al. **Fenologia de espécies lenhosas da caatinga**. UFPE, Recife, 2003.
- BARROS, M.F., RIBEIRO, et al. Resprouting drives successional pathways and the resilience of Caatinga dry forest in human-modified landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118881, 2021.
- BECERRA-VÁZQUEZ, Á. G. et al. Seed longevity of five tropical species from south-eastern Mexico: Changes in seed germination during storage. **Tropical Conservation Science**, v. 11, p. 2018.
- BEZERRA et al. Negative impact of slash-and-burn agriculture on the seed rain in a tropical dry forest. **Forest ecology and management**, v. 531, n. 120821, p. 120821. 2023.
- BEZERRA, J. S. et al. Drastic impoverishment of the soil seed bank in a tropical dry forest exposed to slash-and-burn agriculture. **Forest ecology and management**, v. 513, n. 120185, p. 120185. 2022.
- CARRIÈRE, S. M. et al. Seed rain beneath remnant trees in a slash-and-burn agricultural system in southern Cameroon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 3, p. 353–374. 2002.

- CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 716-730, 2016.
- CHAZDON, R. Tropical Regeneração de florestas. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.
- CLARK, D. A. et al. Net primary production in tropical forests: An evaluation and synthesis of existing field data. **Ecological Applications: a Publication of the Ecological Society of America**, v. 11, n. 2, p. 371. 2001.
- CLARK, J. S.; MACKLIN, E.; WOOD, L. Stages and spatial scales of recruitment limitation in southern Appalachian forests. **Ecological monographs**, v. 68, n. 2, p. 213-235, 1998.
- CURTIS, P. G. et al. Classifying drivers of global forest loss. **Science**, v. 361, n. 6407, p. 1108-1111, 2018.
- DA SILVA, J. M.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Springer International, 2017. E-book.
- DUARTE, C.F. et al. **Biologia da conservação: essências**. Editorial Rima, São Paulo, 2006.
- FAO. **The State of the World's Forests 2018 - Forest Pathways to sustainable developmen.** p. 139, 2018.
- FILGUEIRAS, B. K. C. et al. Winner-loser species replacements in human-modified landscapes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 36, n. 6, p. 545-555. 2021.
- FRANÇA-NETO, J. De B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation, **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 3, p. 359-366. 2019.
- GENTRY, J. W.; JUN, S.; TANSUHAI, P. Consumer acculturation processes and cultural conflict. **Journal of business research**, v. 32, n. 2, p. 129-139, 1995.
- GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** p. 48-90, 2004.
- GRIZ, L. M. S.; MACHADO, I. C. S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 17, n. 2, p. 303-321. 2001.
- HANDEL, S.N. The intrusion of clonal growth patterns on plant breeding systems. **Am Nat**, v. 125, p. 367-384, 1985.
- HARDWICK, K. et al. Understanding and assisting natural regeneration processes in degraded seasonal evergreen forests in northern Thailand. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1-2, p. 203-214. 1997.
- HAUSER, S.; NORRGROVE, L. Slash-and-burn agriculture, effects of. **Encyclopedia of Biodiversity**. p. 551-562, 2013.

- HIROTA, M. et al. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science (New York, N.Y.)**, v. 334, n. 6053, p. 232–235. 2011.
- HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. **Annual review of ecology and systematics**, v. 13, n. 1, p. 201-228, 1982.
- HUANCA NUÑEZ, N.; CHAZDON, R. L.; RUSSO, S. E. Seed-rain-successional feedbacks in wet tropical forests. **Ecology**, v. 102, n. 7, p. e03362. 2021.
- JOHNSON, D. W.; CURTIS, P. S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. **Forest Ecology And Management**, v. 140, n. 2–3, p. 227–238. 2001.
- KENNARD, D. K. et al. Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. **Forest Ecology And Management**, v. 162, n. 2–3, p. 197–208. 2002.
- KLEINMAN, P. J. A.; PIMENTEL, D.; BRYANT, R. B. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 52, n. 2-3, p. 235-249, 1995.
- LANDAVERDE-GONZÁLEZ, P. et al. Sweat bees on hot chillies: provision of pollination services by native bees in traditional slash-and-burn agriculture in the Yucatán Peninsula of tropical Mexico. **The Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 6, p. 1814–1824. 2017.
- LASSO, E.; ENGELBRECHT, B. M.; DALLING, J. W. When sex is not enough: ecological correlates of resprouting capacity in congeneric tropical forest shrubs. **Oecologia**, v. 161, p. 43-56, 2009.
- LINS, L.K.S. INFLUÊNCIA DE CAPRINOS NA REGENERAÇÃO DA CAATINGA. 107f. Tese de doutorado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 4, p. 458-470, 2008.
- MARTINEZ-RAMOS, M.; SOTO-CASTRO, A. Seed rain and advanced regeneration in a tropical rain forest. **Vegetatio**, v. 107–108, n. 1, p. 299–318. 1993.
- MARTORELL, C.; PETERS, E. M. Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. **Conservation Biology: The Journal of The Society for Conservation Biology**, v. 23, n. 2, p. 377–387. 2009.
- MARTORELL, C; PETERS, E. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. **Biological Conservation** 124,199–207, 2005.
- MELO, Y. *Diversidade de nectários extraflorais em Leguminosae em áreas de caatinga – PE*. Dissertação, Universidade Federal de Pernambuco, 2008.
- MENEZES, R. S. C. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal Of Biology**, p. 643-653, 2012.

MILES, L. et al. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 491–505. 2006.

MMA - Ministério do Meio Ambiente; IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Monitoramento do desmatamento dos biomas brasileiros por satélite; monitoramento do bioma Caatinga 2008-2009**. Brasília – DF: Centro de Sensoriamento Remoto - IBAMA, 2011.

MUIRHEAD CA, LANDE R. Inbreeding depression under joint selfing, outcrossing, and asexuality. **Evolution**. v. 51, p.1409-1415, 1997.

NATHAN, R.; MULLER-LANDAU, H. C. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 15, n. 7, p. 278–285. 2000.

NORGROVE, L.; HAUSER, S. Carbon stocks in shaded Theobroma cacao farms and adjacent secondary forests of similar age in Cameroon. **Tropical Ecology**, v. 54, p. 15-22, 2013.

NOUTCHEU, R. et al. Coppicing as a driver of plant resprouting and the regeneration of a caatinga dry forest. **SSRN Electronic Journal**, 2023.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Classificação das fitofisionomias da América do Sul cisandina tropical e subtropical: proposta de um novo sistema - prático e flexível - ou uma injeção a mais de caos? **Rodriguésia**, v. 60, n. 2, p. 237–258, 2009.

PARROTA, J. A. Secondary forest regeneration on degraded tropical lands; the role of plantations as "foster ecosystems". In: LIETH, H.; LOHMANN, M., ed. **Restoration of tropical forest ecosystems**. p.63-73, 1993.

PEARSE, I. S.; KOENIG, W. D.; KELLY, D. Mechanisms of mast seeding: resources, weather, cues, and selection. **The New Phytologist**, v. 212, n. 3, p. 546–562. 2016.

PEDROSO JÚNIOR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas**, v. 3, n. 2, p. 153–174. 2008.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: Perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 40, n. 1, p. 437–457, 2009.

PINHO, B. X. et al. Cross-scale drivers of woody plant species commonness and rarity in the Brazilian drylands. **Diversity & Distributions**, v. 28, n. 7, p. 1497–1511. 2022.

PIVELLO, V. R., et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233-255, 2021.

POORTER, L. et al. Biomass Resilience of Neotropical Secondary Forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214. 2016.

PRADO, D. et al. **As caatingas da América do Sul**. Ecologia e conservação da Caatinga. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 3-73, 2003.

PRADO; D.E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I.R; TABARELLI, M; SILVA, J.M.C. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife, Editora Universitária da UFPE, p. 3-73, 2003.

RITO, K. F. et al. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **The Journal of Ecology**, v. 105, n. 3, p. 828–838. 2017.

ROZENDAAL, D. M. A. et al. Biodiversity recovery of neotropical secondary forests. **Science Advances**, v. 5, n. 3, 2019.

SAMPAIO, E. V. B. et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em serra talhada, PE. **Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária**, v. 33 n. 5 621-632. 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. Em: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. **Seasonally Dry Tropical Forests**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 35–63. 1995.

SAN-JOSÉ, M. et al. The scale of landscape effect on seed dispersal depends on both response variables and landscape predictor. **Landscape Ecology**, v. 34, n. 5, p. 1069–1080. 2019.

SCARIOT, A.; VIEIRA, D.L.M. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. **Restoration Ecology**. v.14, p.11-20, 2006.

SHANKAR, U. Seed Size as a Predictor of Germination Success and Early Seedling Growth in “Hollong” (*Dipterocarpus macrocarpus* Vesque). **New Forests**, v. 31, n.2, p. 305–320, 2006.

SILVA, A. B. Efeitos da agricultura de corte-e-queima sobre a regeneração da Caatinga. **Tese- Universidade Federal da Bahia, Salvador**, 2021.

SINGH, G. et al. Soil erosion rates in India. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 47, p. 97–99, 1992.

SONNIER, G.; SHIPLEY, B.; NAVAS, M.-L. Quantifying relationships between traits and explicitly measured gradients of stress and disturbance in early successional plant communities: Trait-environment linkages in early successional communities. **Journal of vegetation science: official organ of the International Association for Vegetation Science**, v. 21, n. 6, p. 1014–1024. 2010.

SVENNING, J.-C.; WRIGHT, S. J. Seed limitation in a Panamanian forest. **The Journal of Ecology**, v. 93, n. 5, p. 853–862. 2005.

TABARELLI, M. Tropical Biodiversity in Human-Modified Landscapes: What is our Trump Card?: Tropical Biodiversity and Conservation Services. **Biotropica**, v. 42, n. 5, p. 553–554, 2010.

TABARELLI, M.; LOPES, A. V.; PERES, C. A. Edge-effects drive tropical forest fragments towards an early-successional system. **Biotropica**, v. 40, n. 6, p. 657–661. 2008.

TILMAN, D. **The Encyclopedia of Biodiversity**, v. 3, n. 0, p. 109–120. 2001.

TOKY, O. P.; RAMAKRISHNAN, P. S. Secondary succession following slash and burn agriculture in north- eastern India: II. Nutrient cycling. **The Journal of ecology**, v. 71, n. 3, p. 747, 1983.

TREEDIV. A treediv Project: Brazildry. 2023. Página inicial. Disponível em: <https://brazildry.wixsite.com/treediv>. Acesso em: 20/04/2023.

TRINDADE, D. P. F.; CARMONA, C. P.; PÄRTEL, M. Temporal lags in observed and dark diversity in the Anthropocene. **Global Change Biology**, v. 26, n. 6, p. 3193–3201. 2020.

VALBUENA-CARABANA, M.; GONZALEZ-MARTÍNEZ, S.C., GIL, L. Coppice forests and genetic diversity: A case study in *Quercus pyrenaica* Willd. from Central Spain. **For. Ecol. Manage.** v. 254, p. 225–232, 2008.

VANDERLEI, R. S. et al. Extensive clonal propagation and resprouting drive the regeneration of a Brazilian dry forest. **Journal of Tropical Ecology**, 37(1): 1-8. 2021.

VANDERLEI, R. S. et al. Impoverished woody seedling assemblages and the regeneration of Caatinga dry forest in a human-modified landscape. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 670–681. 2022.

WEIS, I. M.; HERMANUTZ, L. A. The population biology of the arctic dwarf birch, *Betula glandulosa*: seed rain and the germinable seed bank. Canadian journal of botany. **Journal Canadien de Botanique**, v. 66, n. 10, p. 2055–2061. 1988.