



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Antonio Anderson Dantas de Freitas

**Diagnóstico ambiental e implementação de técnica de restauração florestal em área de
nascente degradada na ARIE Mata da Bica – Rio Grande do Norte**

MOSSORÓ
2025

Antonio Anderson Dantas de Freitas

Diagnóstico ambiental e implementação de técnica de restauração florestal em área de nascente degradada na ARIE Mata da Bica – Rio Grande do Norte

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Gabriela Salami

MOSSORÓ
2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

d862d de Freitas, Antonio Anderson Dantas.
Diagnóstico ambiental e implementação de técnica
de restauração florestal em área de nascente
degradada na ARIE Mata da Bica ? Rio Grande do
Norte / Antonio Anderson Dantas de Freitas. -
2025.
64 f. : il.

Orientadora: Gabriela Salami.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2025.

1. Degradação ambiental. 2. Pressões antrópicas.
3. Adensamento florestal. 4. Brejo de altitude.
I. Salami, Gabriela, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Antonio Anderson Dantas de Freitas

**Diagnóstico ambiental e implementação de técnica de restauração florestal em área de
nascente degradada na ARIE Mata da Bica – Rio Grande do Norte**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Defendida em: 09/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Gabriela Salami, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Ane Cristine Fortes da Silva, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Carlos José da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, que em nenhum momento deixou de acreditar em mim; aos meus familiares e amigos, pelo apoio constante; à minha orientadora, por todo o conhecimento compartilhado; e a Deus, cuja graça e força sustentaram cada passo desta caminhada, permitindo que eu mantivesse a fé e a determinação até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, proteção e sabedoria concedidas em cada etapa desta caminhada acadêmica.

À UFERSA, pelo suporte técnico, científico e pela disponibilidade de estrutura acadêmica que contribuiu para o desenvolvimento das análises e para a consolidação deste trabalho.

À minha mãe, Katia, pelo carinho, pelas mensagens de apoio e por sempre estar de braços abertos para acolher a mim e aos meus amigos durante todas as etapas do plantio, replantio e monitoramento. Sua presença, dedicação e generosidade foram essenciais para que eu pudesse seguir com confiança e determinação.

Ao meu pai, Hélio, e ao meu tio, Josuel, pela ajuda indispensável na abertura das covas e pelo apoio constante nas atividades práticas. A colaboração de vocês foi necessária para o avanço do projeto e faz parte desta conquista.

À minha orientadora, professora Gabriela, pela dedicação, paciência e empenho ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Suas orientações, disponibilidade e compromisso foram decisivos para minha evolução acadêmica e profissional.

Aos meus amigos, que estiveram presentes ao meu lado ao longo de toda a graduação, oferecendo apoio, incentivo e companheirismo nos momentos mais importantes. Agradeço, em especial, àqueles que contribuíram diretamente para a execução deste Trabalho de Conclusão de Curso, participando das coletas, do plantio, do replantio e das avaliações das mudas. Cada dia de campo compartilhado foi fundamental para que este projeto se tornasse possível.

Ao Ministério Público, pelo apoio e pela aprovação no edital que destinou recursos fundamentais para a execução deste projeto. O incentivo financeiro permitiu ampliar as ações, adquirir materiais essenciais e garantir melhores condições de desenvolvimento desta pesquisa.

À Prefeitura Municipal de Portalegre/RN, pelo suporte institucional durante a realização das atividades de campo e pelo apoio às ações relacionadas ao projeto.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo. Cada gesto, palavra e colaboração tiveram papel significativo nesta jornada.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”

-Mahatma Gandhi

RESUMO

A degradação de nascentes em unidades de conservação de uso sustentável no semiárido nordestino representa um desafio recorrente para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, sobretudo pela escassez de estudos que avaliem, de forma integrada, o diagnóstico ambiental e o desempenho inicial de técnicas de restauração florestal em brejos de altitude. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho inicial da restauração florestal em área de nascente degradada na ARIE Mata da Bica, em Portalegre–RN, a partir de diagnóstico ambiental prévio, intervenção silvicultural e monitoramento da regeneração. Partiu-se da hipótese de que a adoção de espécies nativas associada ao preparo mínimo do solo seria suficiente para promover o estabelecimento inicial das mudas, mesmo sob condições edáficas restritivas. A caracterização da área contemplou o levantamento florístico, análise do histórico de uso, avaliação das condições edáficas e enquadramento legal, permitindo a definição de áreas prioritárias para intervenção. O levantamento florístico registrou 94 indivíduos distribuídos em 15 espécies, com predomínio de *Eugenia candolleana*, *Hymenaea courbaril*, *Anadenanthera macrocarpa* e *Inga edulis*, indicando potencial de regeneração natural. As análises de solo evidenciaram elevada acidez e baixa saturação por bases, critérios técnicos determinantes para a seleção das espécies e do método de plantio adotado. Foram implantadas 715 mudas de sete espécies nativas, com monitoramento ao longo de um ano. A taxa de sobrevivência reduziu-se de 45,5% na primeira avaliação para 18,5% ao final do período, resultado influenciado principalmente pelo estresse hídrico, falhas no sistema de irrigação, competição com gramíneas e interferências antrópicas. Entre as limitações metodológicas, destacam-se a ausência de irrigação contínua, o curto período de monitoramento e a dificuldade de controle das ações de manejo em área pública. Os resultados evidenciam que a restauração florestal em áreas de nascente requer manejo adaptativo, articulação institucional e acompanhamento de longo prazo, contribuindo para o aprimoramento de estratégias de recuperação em ambientes de brejo de altitude.

Palavras-chave: Degradação ambiental, pressões antrópicas, adensamento florestal, brejo de altitude.

ABSTRACT

The degradation of springs in sustainable-use conservation units in the northeastern Brazilian semi-arid region represents a recurring challenge for the maintenance of ecosystem services, especially due to the scarcity of studies that integratively assess environmental diagnosis and the initial performance of forest restoration techniques in high-altitude wetland areas (*brejos de altitude*). In this context, this study aimed to evaluate the initial performance of forest restoration in a degraded spring area within the ARIE Mata da Bica, in Portalegre, Rio Grande do Norte State, based on a prior environmental diagnosis, silvicultural intervention, and regeneration monitoring. The study was based on the hypothesis that the adoption of native species combined with minimal soil preparation would be sufficient to promote the initial establishment of seedlings, even under restrictive edaphic conditions. Area characterization included a floristic survey, analysis of land-use history, assessment of soil conditions, and legal classification, allowing the identification of priority areas for intervention. The floristic survey recorded 94 individuals distributed among 15 species, with a predominance of *Eugenia candolleana*, *Hymenaea courbaril*, *Anadenanthera macrocarpa*, and *Inga edulis*, indicating potential for natural regeneration. Soil analyses revealed high acidity and low base saturation, technical criteria that were decisive for species selection, and the planting method adopted. A total of 715 seedlings of seven native species were planted and monitored for over one year. The survival rate decreased from 45.5% in the first assessment to 18.5% at the end of the period, mainly influenced by water stress, failures in the irrigation system, competition with grasses, and anthropogenic interference. Methodological limitations included the absence of continuous irrigation, the short monitoring period, and difficulties in controlling management actions in a public area. The results indicate that forest restoration in spring areas requires adaptive management, institutional coordination, and long-term monitoring, contributing to the improvement of restoration strategies in high-altitude wetland environments.

Keywords: Environmental degradation; anthropogenic pressures; forest densification; high-altitude wetlands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização e limites da Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata da Bica, Portalegre/RN.	24
Figura 2: Curva de acumulação de espécies arbustivo-arbóreas amostradas na ARIE Mata da Bica, Portalegre-RN.	31
Figura 3: Amostragem do Solo na ARIE da Mata da Bica em Portalegre-RN.	32
Figura 4: Produção de mudas para o plantio na ARIE da Mata da Bica em Portalegre-RN.	34
Figura 5: Abertura de covas e plantio de mudas na ARIE Mata da Bica em Portalegre-RN.	35
Figura 6: Implementação do sistema de irrigação com garrafas plásticas para o plantio das mudas na ARIE da Mata da Bica em Portalegre-RN.	36
Figura 7: Boxplots contendo a variação das médias das propriedades químicas do solo, na ARIE da Mata da Bica em Portalegre -RN.	44
Figura 8: Mudas suprimidas pela competição com plantas daninhas, ARIE da Mata da Bica, Portalegre-RN.	47
Figura 9: Coroamento realizado nas mudas de <i>Myracrodruon urundeuva</i> (Aroeira), e <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Timbaúba).	48
Figura 10: Retirada ilegal de madeira observada durante a execução das atividades do projeto dentro da ARIE da Mata da Bica, Portalegre-RN.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das espécies arbustivo-arbóreas, encontradas na ARIE Mata da Bica, no município de Portalegre, RN.	38
Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbustivo-arbóreas, encontradas na ARIE Mata da Bica, no município de Portalegre, RN.	40
Tabela 3. Propriedades químicas do solo da ARIE Mata da Bica, Portalegre, RN.	43
Tabela 4. Sucesso de sobrevivência das mudas plantadas na ARIE da Mata da Bica em Portalegre -RN.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL - Alumínio
APP - Área de Preservação Permanente
ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico
C - Índice de Dominância de Simpson
CA²⁺ - Cálcio
CE - Condutividade Elétrica
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTC – Capacidade de Troca de Cátions
DA – Densidade Absoluta
DR – Densidade Relativa
DoA – Dominância Absoluta
DoR – Dominância Relativa
FA – Frequência Absoluta
FR – Frequência Relativa
H - Hidrogênio
H' - Índice de Diversidade de Shannon
IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
Ind/ha – Indivíduos por Hectare
J – Equabilidade de Pielou
K⁺ - Potássio
LASAP - Laboratório de Análise de Solo, Água e Plantas
Mg²⁺ - Magnésio
MIN – Ministério da Integração Nacional
NA⁺ - Sódio
NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio
P - Fósforo
PA - Parcelas de Áreas Fixas
pH - Potencial Hidrogeniônico
PST - Saturação por Alumínio e Porcentagem de Sódio Trocável
PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
RAD - Recuperação de Áreas Degradadas
RL - Reserva Legal
SAF's – Sistemas AgroFlorestais
SB - Soma de Bases
SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
UC - Unidade de Conservação
UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UR - Área de Uso Restrito
VC - Valor de Cobertura
IVI - Valor de Importância
V% - Saturação por Bases

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Contextualização do Bioma Caatinga e dos Brejos de Altitude	14
2.2 Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIEs) e sua função na conservação	16
2.3 Processos de degradação ambiental em ambientes de Caatinga e Brejos de Altitude....	17
2.4 Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) e sucessão ecológica.....	18
2.5 Levantamento florístico como ferramenta de diagnóstico ambiental	21
2.6 Caracterização e qualidade do solo em áreas de restauração.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Descrição da área de estudo	24
3.2 Amostragem e coleta de dados	25
3.2.1 Levantamento Florístico.....	26
3.2.2 Caracterização do solo	31
3.2.3 Técnica de Recuperação da área degradada.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Composição Florística	38
4.2 Propriedades químicas do solo	42
4.3 Avaliação do plantio realizado.....	46
4.3.1 Visão geral do desempenho do adensamento florestal nas três campanhas de plantio	46
4.3.2 Campanha 1 - Implantação inicial do adensamento florestal.....	49
4.3.3 Campanha 2 - Reposição e ajustes no plantio	50
4.3.4 Campanha 3 - Plantio tardio e limitações acumuladas.....	51
4.4 Implicações ecológicas e recomendações para projetos de restauração	52
5. CONCLUSÃO.....	55
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	56

1. INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga apresenta elevada vulnerabilidade ambiental, marcada por pressões antrópicas que reduzem a cobertura vegetal e comprometem os serviços ecossistêmicos (MapBiomas, 2024). No Rio Grande do Norte, embora existam iniciativas de conservação, apenas 4,5% do território encontra-se protegido formalmente, com previsão de expansão para 6,8% (Gê, 2018). Entre os ambientes de maior relevância ecológica no estado destacam-se os brejos de altitude, formações perenifólias associadas a microclimas úmidos e solos mais desenvolvidos, que contrastam com a aridez predominante da região (Andrade-Lima, 1957; Brasil, 2024a).

A Serra de Portalegre abriga um desses ambientes úmidos, onde se localiza a Mata da Bica, reconhecida pela presença de nascentes, vegetação frondosa e importância hidrológica para a bacia do rio Apodi-Mossoró (Medeiros *et al.*, 2018; Silveira; Carvalho, 2016). Apesar de sua relevância ecológica e social, a área sofre com degradação decorrente de pressões antrópicas, como uso inadequado do solo, limpeza urbana e atividades agrícolas nas encostas (Gois *et al.*, 2019). Esses fatores são agravados pela ausência de um plano de manejo na Unidade de Conservação (ARIE Mata da Bica), o que aumenta a vulnerabilidade do fragmento e compromete sua capacidade de regeneração natural.

Apesar da importância dos brejos de altitude, pouco se conhece sobre sua capacidade de regeneração e sobre a eficácia de técnicas de restauração aplicadas nesses ambientes específicos. A Mata da Bica apresenta sinais de degradação que podem reduzir a resiliência da vegetação e comprometer nascentes, mas não há estudos que avaliem se a regeneração natural é suficiente ou se intervenções de adensamento são necessárias.

Diante desse cenário, surge a questão central desta pesquisa: intervenções de adensamento florestal, fundamentadas em diagnóstico ambiental prévio, são capazes de melhorar o desempenho inicial das espécies nativas e favorecer a restauração ecológica de uma nascente degradada na ARIE Mata da Bica? Essa pergunta orienta a presente investigação e permite formular a hipótese de que o adensamento florestal pode aumentar a sobrevivência inicial das mudas, ampliar a diversidade de espécies e acelerar processos sucessionais, sobretudo em áreas onde características edáficas e o grau de degradação limitam a regeneração espontânea.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho inicial da restauração florestal em uma nascente degradada na ARIE Mata da Bica, em Portalegre-RN, a partir de diagnóstico ambiental, intervenção silvicultural e monitoramento da regeneração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contextualização do Bioma Caatinga e dos Brejos de Altitude

O Brasil é um país de dimensões continentais, sendo composto por vários biomas, cada um com sua singularidade. Dentre esses biomas, temos a caatinga, sendo esse o único exclusivamente brasileiro, ocupando uma área de cerca de 10% do território nacional e abrigando espécies únicas e adaptadas às condições climáticas locais (IBGE, 2025). O clima da caatinga é o tropical semiárido, com médias de temperaturas entre 23°C e 27°C, e chuvas irregulares, apresentando um longo período de seca durante o ano (EMBRAPA, 2021).

O Bioma Caatinga possui uma alta biodiversidade, apresentando uma fauna e flora rica, também adaptadas à escassez hídrica, sendo muitas espécies endêmicas, vistas somente na região, o que aumenta sua importância ecológica e a necessidade de mais conservação. Em um estudo realizado por Cotarelli *et al.* (2025) foram registradas 1.610 espécies de plantas, das quais 173 são endêmicas e 16 estão ameaçadas de extinção; também foram identificadas 284 novas ocorrências para a Caatinga, a descrição de duas novas espécies para a ciência e a contribuição para a caracterização de mais quatro. Segundo o estudo, houve um aumento de 240% no número de espécimes coletados e de 14% na riqueza de espécies conhecidas para a flora da Caatinga. A preservação dessas espécies endêmicas é importante, pois elas são adaptadas ao clima e ao regime de chuvas desse bioma, o que as tornam essenciais para a manutenção desses ecossistemas. Logo, a perda dessas espécies ocasionadas pelo desmatamento desenfreado, pode ocasionar em possíveis desequilíbrios ecológicos, afetando não só a fauna e a flora, mas as comunidades humanas também.

No entanto, toda essa biodiversidade está ameaçada, diante do avanço das zonas urbanas, das áreas agrícolas, junto ao constante desmatamento para implantação de parques eólicos e solares, que estão cada vez mais em alta na região. Outro fator preponderante para esse desmatamento descontrolado, é o uso da sua vegetação para energia, seja como lenha ou carvão, contudo, esse uso ocorre principalmente sem o manejo florestal correto, pois muitos não possuem nem ao menos a licença ambiental do órgão fiscalizador. Com isso estimasse que, entre 1985 e 2023, a caatinga perdeu 14,4% da sua vegetação, o que representa 8,6 milhões de hectares. Além disso, 38,2% são de áreas antropizadas, ou seja, já tiveram intervenção humana (MapBiomas, 2025). Dessa forma, surge a necessidade de realizar mais ações ambientais, visando preservar essas áreas, como é o caso do adensamento florestal com espécies da Caatinga e Mata Atlântica, que cumprirão esse papel fundamental de preservação da nossa fauna e flora.

Ainda assim, esses dados apresentados anteriormente são preocupantes, ainda mais pelo fato de que aproximadamente apenas 8% do bioma está legalmente protegido, sendo apenas 1,3% de forma integral (Oliveira *et al.*, 2019). Dessa forma, se julga necessário expandir a quantidade de áreas protegidas, assim como, recuperar essas áreas que hoje encontram-se degradadas e investir na capacitação de profissionais, visando aumentar o número de áreas com o manejo florestal sustentável.

Por outro lado, entendemos que muitas áreas com uma alta diversidade de espécies acaba sendo ameaçadas, como é o caso dos brejos de altitude. Essas áreas possuem algumas hipóteses de como surgiram, mas uma das mais aceitas seria a de (Andrade-Lima, 1970), que relata que os brejos surgiram ainda durante o período pleistoceno, após variações climáticas, a floresta atlântica avançou sobre o domínio da caatinga, ao retornar a sua área original, foi deixando pequenas ilhas úmidas, caracterizadas hoje como brejos de altitude. Contudo, essa mesma área, foi classificada por Dantas e Diodato (2024), por ter uma tipologia diferente, como Floresta Atlântica Nordestina. Além disso, diversas espécies que só ocorriam na mata atlântica, agora também ocorrem nos brejos, o que explica isso, seria que essas plantas encontraram nessas áreas temperatura, altitude e umidade ideal para realizar seu desenvolvimento, tendo em vista que o clima que ocorre no local é mais ameno do que nas áreas aos seus arredores (Andrade-Lima, 1970).

Essas áreas apesar de não ocuparem uma grande extensão territorial do bioma caatinga, ainda sim, possuem grande relevância ambiental ao aliar diversidade de fauna e flora presentes. Segundo Andrade-Lima (1957), os brejos ocorrem sempre em altitude por volta de 500 a 1100 metros, destacando-se por apresentar uma vegetação diferente do seu entorno e paralelo a isso, uma maior concentração de umidade (Medeiros; Cestaro, 2019) explica que devido à orografia, é proporcionado um maior volume pluviométrico na região, com menores temperaturas, criando assim, condições específicas de áreas de exceção do interior da caatinga, a mesma afirmação é feita por Carvalho (2021), que ainda explica que essas condições tornam a área privilegiada, com um melhor desenvolvimento da biomassa vegetal, devido a umidade do solo, do ar e a temperatura serem ideais para a ocorrência de uma vegetação mais diversa e que apresentem maior porte.

No caso do brejo de altitude de Portalegre/RN, tem ocorrência do clima sub-úmido, com precipitação pluviométrica que chega até a 1200 mm (Carvalho, 2021). É tido como refúgio de muitas aves e mamíferos, principalmente na época seca, onde as folhagens do sertão caem, logo, esses animais se deslocam até a localidade onde hoje encontra-se o Brejo de

altitude. Outra característica importante, é que esse brejo serve como uma esponja ao abastecer o lençol freático presente na serra de Portalegre, sendo comum a ocorrência de fontes naturais de água por toda a área. Carvalho (2021) identificou 10 nascentes somente no município de Portalegre/RN, algumas bem conservadas enquanto outras estão em alto estágio de degradação. Dentre elas, podemos citar a nascente da bica, sendo essa localizada dentro da Área de Relevante Interesse Ecológico Mata da Bica, unidade de conservação de suma importância para preservação dessa nascente e das espécies de fauna e flora que ali estão inseridas.

Assim, surge a necessidade de buscar soluções mais práticas para preservar essas áreas vulneráveis, recuperando também as que já apresentam degradação. Dessa forma, entende-se que o adensamento florestal é uma prática a ser adotada, tendo em vista que vem se demonstrando muito eficácia, unindo a preservação das espécies da flora com a recuperação das áreas degradadas.

2.2 Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIEs) e sua função na conservação

As ARIEs integram o conjunto de unidades de conservação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e regulamentado pelo Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002 (Brasil, 2000; Brasil, 2002). De acordo com o Art. 16 da referida lei: A Área de Relevante Interesse Ecológico é uma área em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional, e tem como objetivo manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.

As ARIEs são consideradas unidades de conservação chave para preservação da fauna e flora ali presentes, assim como, preservação das fontes naturais de água, como é o caso da Área de Relevante Interesse Ecológico Mata da Bica, em Portalegre/RN. Essa unidade de conservação (UC) é considerada por muitos autores, como um brejo de altitude, na qual cumpre um papel importante no abastecimento do lençol freático ali presente, agindo também de refúgio para diversas espécies da fauna que se abrigam na mata durante o período mais seco.

Contudo, essa ARIE em questão, criada em 02 de fevereiro de 2016 por meio do decreto municipal 002/2016, ainda não possui um plano de manejo, logo, há uma ausência de dados sistematizados da área. O Plano de manejo direciona quais são as zonas de uso permitido, zonas de proteção integral, áreas de visitação ou pesquisa. Embora essa atividade demonstre ser uma

das atividades mais desafiadoras para os órgãos e entidades ambientais gestoras, dada a profundidade técnica com que os temas costumam ser tratados. Contudo, por serem bastante detalhados e necessitarem de vários estudos técnicos, como é o caso de um inventário florestal, logo, acabam tendo um alto custo, não sendo elaborado no tempo desejado, razão pela qual muitas unidades de conservação aguardam a anos seus planos de manejo florestal (Barros; Leuzinger, 2019). Esse é o caso do plano de manejo da ARIE Mata da Bica, na qual as zonas de delimitação ainda não foram definidas, logo, existe o acesso irrestrito da população local e turistas que a frequentam, não havendo controle e fiscalização sobre ela, aumentando o desmatamento, caça, extração ilegal da madeira e uso irregular da água.

2.3 Processos de degradação ambiental em ambientes de Caatinga e Brejos de Altitude

O estado do Rio Grande do Norte apresenta grande parte do seu território inserido no bioma Caatinga, sendo as áreas remanescentes ocupadas por formações da Mata Atlântica. Estudos recentes indicam baixos níveis de conservação da fauna e da flora associadas à Caatinga, reflexo da intensa pressão antrópica exercida sobre esses ambientes, que se manifesta sobretudo por meio de atividades agropecuárias, extrativismo vegetal e ocupação desordenada do solo (Costa *et al.*, 2025).

Na área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi–Mossoró, aproximadamente 47,39% do uso e cobertura do solo correspondem à Caatinga aberta degradada, 20,50% a áreas de pastagem, 13,98% à Caatinga arbórea densa e 10,03% à agricultura. Esses dados evidenciam um elevado grau de intervenção humana, uma vez que cerca de 80% da área apresenta algum tipo de alteração antrópica, sendo parcela significativa já caracterizada por processos de degradação ambiental (Souza *et al.*, 2024).

Associadas a esse cenário, as variações climáticas observadas nas últimas décadas aumentam a vulnerabilidade dessas áreas à desertificação, fenômeno recorrente em regiões semiáridas. A desertificação acarreta impactos ambientais, econômicos e sociais importantes, destacando-se a intensificação dos processos erosivos, a redução da fertilidade dos solos e a diminuição da produtividade agrícola (Oliveira Jr.; Pereira, 2023).

Estudos que empregaram índices de susceptibilidade à desertificação, baseados em múltiplos indicadores ambientais, classificaram determinadas áreas do estado em níveis que variam de muito baixo a muito elevado risco. Nesse contexto, os maciços residuais de São Miguel–Luís Gomes e Martins–Portalegre apresentaram elevada tendência à desertificação. Tal condição está relacionada às características geomorfológicas dessas áreas serranas, marcadas pela predominância de rochas ígneas, solos rasos e pouco permeáveis, além de acentuada

declividade, fatores que favorecem o aumento dos processos erosivos e a consequente degradação do solo e da cobertura vegetal (Souza *et al.*, 2025).

A intensificação do desmatamento nessas regiões tem como uma de suas principais consequências a fragmentação florestal, processo que resulta na perda de conectividade ecológica ao dividir formações vegetais contínuas em fragmentos menores e isolados. Essa fragmentação compromete não apenas a flora, mas também a fauna associada, ao reduzir habitats, fluxos genéticos e a estabilidade dos ecossistemas. Embora possa ocorrer naturalmente, trata-se de um fenômeno amplamente acelerado pela ação humana. Após o desmatamento, os fragmentos remanescentes tornam-se mais expostos a condições microclimáticas adversas, como maior incidência de radiação solar, elevação da temperatura, aumento da ação dos ventos quentes e secos e redução da umidade relativa, fatores que agravam os processos de degradação ambiental (Pires *et al.*, 2006).

2.4 Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) e sucessão ecológica

Considera-se área degradada aquela que, em decorrência de impactos antrópicos intensos, perdeu sua capacidade de regeneração natural, tornando-se dependente de intervenções humanas para o restabelecimento de suas funções ecológicas. Por sua vez, a área alterada é aquela que, embora tenha sofrido perturbações ambientais, ainda mantém mecanismos de regeneração biótica ativos, apresentando potencial para recuperação natural mediante manejo adequado (Brasil, 2024a).

A Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) corresponde ao conjunto de ações e técnicas destinadas a reverter processos de degradação ambiental, com vistas ao restabelecimento das funções ecossistêmicas do ambiente impactado (Aronson *et al.*, 2011). No âmbito da restauração ecológica, a escolha entre regeneração natural assistida, plantio de mudas ou enriquecimento/adensamento florestal deve basear-se em critérios ecológicos objetivos, tais como o grau de degradação da área, a presença de regenerantes naturais, a proximidade de fragmentos conservados, a disponibilidade de propágulos, o histórico de uso do solo e as condições edáficas e microambientais.

Em áreas onde ainda se observam processos de regeneração espontânea, a condução da regeneração natural tende a ser mais eficiente e economicamente viável. Em contrapartida, ambientes severamente degradados, com baixa resiliência ecológica, demandam intervenções ativas, como o plantio de mudas e o adensamento florestal, visando acelerar os processos sucessionais e restabelecer funções ecológicas essenciais (Rodrigues; Gandolfi, 2007; Durigan; Engel, 2012; Aronson *et al.*, 2011).

As principais modalidades de RAD incluem a reabilitação, a restauração ecológica, a recomposição e a remediação. A reabilitação consiste no retorno de um ambiente degradado a uma condição de equilíbrio funcional, ainda que parcialmente distinta do ecossistema original (SER, 2004; Aronson *et al.*, 2011; Oliveira, 2011). A restauração ecológica, por sua vez, refere-se ao processo de auxílio ao restabelecimento da estrutura, função e composição de um ecossistema degradado, danificado ou destruído, tomando como referência um ecossistema similar ao original (SER, 2004). A recomposição envolve intervenções humanas em Áreas de Preservação Permanente (APP), Reservas Legais (RL) e Áreas de Uso Restrito (UR) degradadas ou alteradas, com o objetivo de promover a sucessão ecológica, proteger o solo e assegurar a manutenção da biodiversidade, podendo incluir, quando legalmente permitido, a implantação de Sistemas Agroflorestais (Brasil, 2012; Heller; Pollnow, 2024). Já a remediação aplica-se a áreas contaminadas por agentes químicos, demandando técnicas específicas de neutralização, imobilização ou remoção dos contaminantes.

De acordo com a Instrução Normativa IBAMA n.º 14/2024, a RAD abrange tanto áreas degradadas quanto áreas alteradas, uma vez que ambas requerem intervenções corretivas para o restabelecimento de suas funções ecológicas. A distinção entre esses ambientes está relacionada ao grau de comprometimento da resiliência ecológica e, conseqüentemente, à intensidade das ações necessárias. Enquanto áreas alteradas podem ser recuperadas prioritariamente por meio da condução da regeneração natural, áreas degradadas exigem intervenções humanas mais intensivas, como o plantio de espécies nativas, o preparo do solo e práticas de manejo silvicultural (Rodrigues; Gandolfi, 2007; Martins; Rodrigues, 2019; Brasil, 2024b).

No ordenamento jurídico brasileiro, a recuperação ambiental é prevista no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), que estabelece a obrigatoriedade da recomposição de APPs e Reservas Legais em casos de supressão irregular da vegetação nativa (Brasil, 2012). Complementarmente, a Lei nº 9.605/1998, que dispõe sobre os Crimes Ambientais, determina, em seu Art. 23, inciso II, que a recuperação de áreas degradadas pode ser aplicada como penalidade às pessoas físicas ou jurídicas responsáveis por danos ambientais (Brasil, 1998).

Nesse contexto, a Instrução Normativa IBAMA nº 14/2024 define o Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Área Alterada (PRAD) como um instrumento técnico, em nível executivo, essencial para o planejamento, execução e monitoramento das ações de recuperação ambiental (Brasil, 2024b). O PRAD reúne diagnóstico ambiental, definição de estratégias de intervenção e critérios de acompanhamento, constituindo o elo entre a exigência

legal de recomposição ambiental e a aplicação prática dos princípios da restauração ecológica. Na literatura científica, o PRAD é igualmente reconhecido como um instrumento fundamental de planejamento ambiental, por fornecer um roteiro técnico sistematizado, organizado em etapas lógicas, que orientam a recuperação funcional dos ecossistemas degradados (Almeida, 2016).

Com o objetivo de padronizar a elaboração e execução desses projetos, o IBAMA publicou a Instrução Normativa nº 11/2014, posteriormente revogada pela Instrução Normativa nº 14/2024, que estabelece procedimentos atualizados para a elaboração, apresentação, execução e monitoramento de PRADs em todos os biomas e fitofisionomias do território nacional (Brasil, 2014; 2024b).

A efetividade ecológica das ações de RAD depende do respeito aos princípios da sucessão ecológica e do reconhecimento da elevada variabilidade inerente aos processos de recuperação ambiental. Mesmo em ecossistemas submetidos a baixos níveis de interferência humana, a trajetória de recuperação raramente ocorre de forma linear ou previsível (Holl, 2023). Entre os principais desafios enfrentados, destacam-se as dificuldades relacionadas à obtenção de sementes e mudas adequadas antes da implantação das ações, bem como a intensa competição exercida por gramíneas após o plantio, fator que frequentemente compromete o estabelecimento das espécies arbóreas (Pilon; Durigan, 2013).

O plantio de mudas constitui uma das estratégias amplamente utilizadas no Brasil, especialmente em áreas com elevado grau de perturbação ambiental. Embora apresente resultados iniciais visualmente perceptíveis e acelere determinadas etapas da sucessão ecológica, trata-se de um método de elevado custo operacional, uma vez que antecipa fases naturais do processo sucessional (Medeiros, 2014). Em complemento, a condução da regeneração natural tem se mostrado altamente eficaz em áreas que dispõem de fragmentos florestais no entorno e mantêm mecanismos autóctones de regeneração, como banco de sementes, banco de plântulas, chuva de sementes e rebrota de cepas (Almeida, 2016).

Outra estratégia aplicável à recuperação de áreas em processo de degradação é a nucleação, técnica baseada na implantação de núcleos ou “ilhas de diversidade” compostos por espécies capazes de atrair dispersores e polinizadores. Associada a práticas como a disposição de galharias, instalação de poleiros artificiais e transposição de serrapilheira e banco de sementes, a nucleação favorece o incremento da biodiversidade e estimula a sucessão natural a partir da expansão progressiva das espécies secundárias (Rodrigues *et al.*, 2010; Dias *et al.*, 2014; Silveira *et al.*, 2015).

O acompanhamento pós-implantação constitui etapa indispensável em projetos de RAD, devendo ser realizado por um período mínimo de três anos consecutivos, conforme recomendado por manuais técnicos de restauração ecológica (Brasil, 2014; Rodrigues; Gandolfi, 2007). Indicadores como o retorno da fauna dispersora, o surgimento de novas plântulas, o aumento da cobertura foliar das mudas plantadas e a redução da presença de espécies exóticas competidoras são fundamentais para a avaliação do sucesso das intervenções. A adoção de práticas silviculturais complementares, como o coroamento das mudas e o controle de formigas cortadeiras, contribui para elevar as taxas de sobrevivência e assegurar o desenvolvimento estável e autossustentável da sucessão ecológica.

2.5 Levantamento florístico como ferramenta de diagnóstico ambiental

O Levantamento florístico é uma das primeiras atividades executadas dentro de um projeto de restauração florestal, sendo esse documento também necessário em um plano de manejo. Para elaboração desse plano, independente da legislação, é necessário conter alguns itens essenciais em seu respectivo relatório final, tais como: 1 - Relações alométricas utilizadas; 2 - Procedimentos de amostragem; 3 - Listagem das espécies florestais (nome científico); 4- Análise e interpretação dos dados estatísticos de amostragem; 5 - Análise estrutural da florestal (perfil e fitossociologia); 6 - Número de árvores, volume e área basal: por espécie, classe de diâmetro e hectare (Silva *et al.*, 2004), para permitir identificar e quantificar as espécies arbóreas e suas respectivas abundâncias e distribuições espaciais, dentre outras informações.

Para a caracterização da estrutura da vegetação, podem ser empregadas diferentes metodologias de amostragem, dentre as quais se destaca o método de pontos quadrantes (Cottam; Curtis, 1956). Essa técnica consiste na seleção de pontos distribuídos ao longo de uma linha ou transecto, nos quais o espaço ao redor de cada ponto é subdividido em quatro quadrantes, sendo medida, em cada um deles, a distância até o indivíduo arbóreo mais próximo. De acordo com Pereira *et al.* (2015), o método de pontos quadrantes mostrou-se mais eficiente na estimativa da riqueza de espécies, na caracterização da estrutura vertical da vegetação e no registro de espécies de baixa abundância, quando comparado ao método de parcelas de área fixa (PA).

Embora apresente vantagens operacionais, como rapidez na coleta de dados e redução do esforço amostral, possui limitações técnicas que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. O método pressupõe uma distribuição espacial aleatória dos indivíduos, o que nem sempre ocorre em ambientes naturais, especialmente em áreas com forte heterogeneidade ambiental ou histórico de perturbação antrópica. Além disso, espécies raras ou com distribuição

agregada tendem a ser subamostradas, podendo resultar em subestimação da diversidade real e da estrutura da comunidade vegetal (Martins, 1991; Müeller-Dombois; Ellenberg, 1974). Dessa forma, os dados obtidos devem ser interpretados como uma representação estrutural geral da vegetação, e não como um retrato de censo da composição florística local.

Os dados obtidos por meio do levantamento são de suma importância, pois são por meio deles que serão calculados a quantidade de indivíduos por espécies que serão plantadas na área. Ainda também conseguimos identificar possíveis distúrbios que podem estar ocorrendo na floresta, como a baixa presença de alguns indivíduos ou a presença de plantas exóticas. Logo, esses dados são essenciais para traçarmos quais metodologias utilizar na restauração dessas áreas.

2.6 Caracterização e qualidade do solo em áreas de restauração

O solo coberto com vegetação consegue cumprir perfeitamente sua função ecológica, evitando a erosão e perda de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento de qualquer planta. A degradação do solo compromete as funções e os serviços ecossistêmicos essenciais tanto para o bem-estar humano quanto para a conservação dos ecossistemas naturais (Lal, 2015).

Contudo, é comum ver solos com degradação de seus atributos físicos e estruturais, como é o caso da compactação, solos compactados podem ocorrer em áreas com grande presença de animais, alto tráfego de veículos pesados ou com grandes faixas de desmatamentos, que por sua vez deixam o solo exposto à chuva e sol.

Essas atividades diminuem a porosidade e a infiltração de água e ar, o que favorece o escoamento superficial, erosão e dificuldade de penetração por parte das raízes das plantas. Esses resultados foram observados por Macedo *et al.* (2023), em um estudo em que o uso inadequado da área degradou o solo, acarretando perdas significativas de suas funções, como a ciclagem de nutrientes e a regulação por meio do controle de erosão e regulação do clima.

Nesse sentido, os resultados obtidos por Vital *et al.* (2004) reforçam a importância dos processos naturais de manutenção da qualidade do solo, evidenciando que a dinâmica de produção e decomposição da serapilheira sustenta a ciclagem contínua de nutrientes e contribui para a estabilidade ecológica das matas ciliares.

Estudos recentes apoiam essa ideia, ao indicarem que a dinâmica da serapilheira é um componente essencial na restauração de ecossistemas alterados. Montanez *et al.* (2023) observaram que as regiões em processo sucessional recuperam gradualmente a capacidade de

produzir e decompor biomassa, restabelecendo funções fundamentais do solo. Costa *et al.* (2024) encontraram resultados semelhantes, ao verificar um aumento na acumulação de serapilheira e uma maior disponibilidade de nutrientes em áreas restauradas, especialmente por meio da regeneração natural. Além disso, pesquisas conduzidas em florestas urbanas secas indicam que a retomada da ciclagem de nutrientes, estimulada pela deposição de serapilheira, constitui um mecanismo essencial para a recuperação de áreas degradadas (León-Peláez *et al.*, 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo é um brejo de altitude inserido na Mata da Bica, uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), no município de Portalegre-RN (Figura 1), localizado na mesorregião do Oeste Potiguar, sobre um maciço cristalino, a uma altitude média de 642 m e coordenadas 06°01'26,4" de latitude sul e 37°59'16,8" de longitude oeste (IDEMA, 2008), com área territorial de 110,054 Km² (IBGE, 2014). A área da microbacia da Mata da Bica, objeto deste estudo, está disposta sobre a vertente norte do município, ela faz parte da bacia do Rio Apodi Mossoró e está submetida ao regime climático semiárido e as características fitogeográficas do Bioma Caatinga (MIN, 2005).

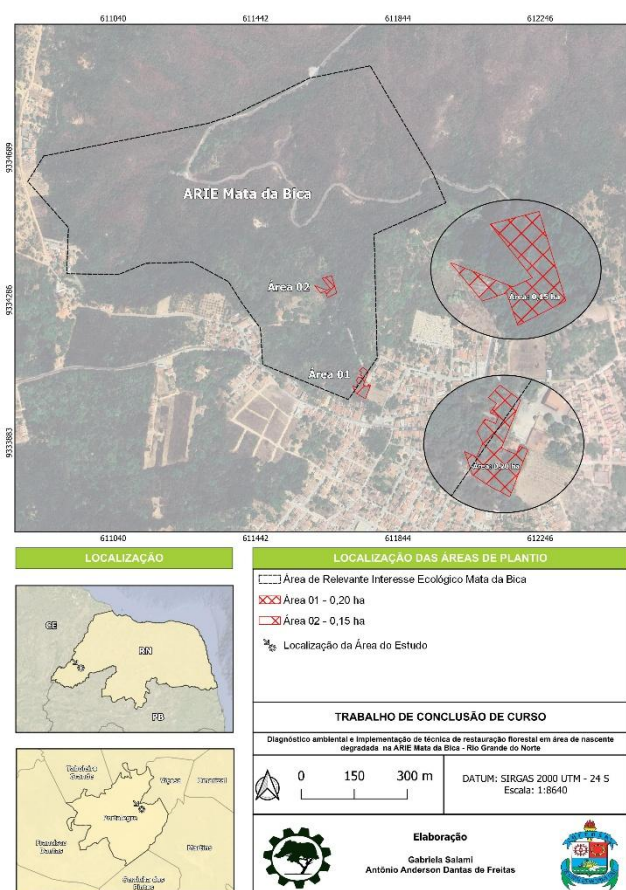


Figura 1: Localização e limites da Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata da Bica, Portalegre/RN.

Todavia, ao considerar apenas o índice pluviométrico, escala local sobre as serras interioranas, nas proximidades das nascentes ocorre o domínio do microclima AW, que equivale ao tropical chuvoso na classificação de Köppen, caracterizado por apresentar um inverno seco e uma estação chuvosa que se prolonga até o mês de julho (Alvares *et al.*, 2013).

De acordo com dados da CPRM (2005) a temperatura média anual é de aproximadamente 28 °C com uma umidade relativa média anual de 66%, e 2.700 horas de insolação.

No município de Portalegre, há maior presença das seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Argissolo, Luvisolo, Regossolo e Neossolos (EMBRAPA, 2013). Esse tipo de formação pedogenética geral, assenta formações de florestas específicas e bastante úmidas, mantendo as condições geográficas necessárias à sua existência e em permanente expansão no espaço. São solos profundos e consequentemente apresentam uma textura espessa em relação à rocha matriz, sua rede de canais de drenagem ligados de ponta a ponta cortam o município por inteiro e fazem de seu solo fortemente drenado. Apresentam poucos horizontes e são pobres em minerais de valor econômico, em virtude da ação efetiva dos agentes do intemperismo físico e químico e por serem bastante lixiviados no período chuvoso onde prevalecem solos encharcados de água.

A Serra de Portalegre é composta por terrenos elevados com desníveis acentuados, o que propicia a formação de um ecossistema bastante diversificado, caracterizado pelos Brejos de Altitude nos quais coexistem vegetais de médio porte e espécies vegetais de grande porte (IDEMA, 2002). Segundo Aguilar (2010) os brejos de altitude são ilhas de florestas úmidas compostas por espécies típicas da Mata Atlântica, mas que podem apresentar espécies da Caatinga principalmente em suas áreas de bordas, constituindo assim os Brejos de Altitudes como áreas de vegetação mista. Não obstante, os brejos situados mais próximos à costa estão mais subordinados a Mata Atlântica, bem como os brejos que estão inseridos nos sertões, afastados do litoral, apresentam o predomínio de espécies florísticas da Caatinga.

Na microbacia hidrográfica encontra-se um imponente dispersor de águas, o platô do maciço serrano de Martins e Portalegre, cujas características geoambientais favorecem a formação de setores de brejos de altitude sustentados por nascentes de água perenes, responsáveis pela formação de “ilhas” de mata úmida.

3.2 Amostragem e coleta de dados

Antes da definição das técnicas de recuperação, foi realizado um diagnóstico rápido da área, contemplando: (i) inspeção visual da regeneração natural na faixa de entorno da nascente, com registro da presença de plântulas e indivíduos juvenis de espécies arbóreas e arbustivas; (ii) identificação de indícios de degradação antrópica, como supressão de vegetação, pisoteio, lixo, trilhas abertas, plantios irregulares de capim elefante e presença de gramíneas

competidoras; e (iii) avaliação da exposição do solo, erosão laminar e proximidade de afloramentos rochosos. Com base nesse diagnóstico, a área foi classificada como de regeneração natural incipiente e alto grau de perturbação, o que justificou a adoção de um método ativo de enriquecimento florestal com plantio adensado de mudas nativas, em complemento à condução da regeneração natural.

A partir desse diagnóstico, foram definidos três eixos principais de amostragem: (a) levantamento florístico da vegetação arbustivo-arbórea, (b) caracterização química do solo e (c) avaliação das técnicas de recuperação da área degradada.

3.2.1 Levantamento Florístico

Para a realização do levantamento florístico, foi empregado o método de pontos quadrantes (*point-centered quarter method*) (Cottan; Curtis, 1956), por apresentar elevada eficiência para estimar a estrutura de comunidades arbóreas em áreas heterogêneas e com relevo acidentado, demandando menor tempo e custo de implantação em comparação a parcelas retangulares tradicionais. Esse método é indicado para fragmentos de pequena extensão e difícil acesso, como a ARIE Mata da Bica, e é recomendado para estudos da estrutura de comunidades arbóreas em fitofisionomias florestais neotropicais com dossel irregular, devido à sua eficiência amostral e menor necessidade de abertura de parcelas permanentes (Cottan; Curtis, 1956; Müeller-Dombois; Ellenberg, 1974).

Os pontos de amostragem foram dispostos ao longo de três transectos retilíneos, acompanhando o gradiente de declividade da área: dois transectos com 100 m de comprimento e um transecto com 55 m, todas demarcadas com auxílio de trena e estacas de referência. Os pontos de amostragem foram dispostos ao longo de três transectos retilíneos, acompanhando o gradiente de declividade da área: dois transectos com 100 m de comprimento e um transecto com 55 m. Considerou-se uma largura efetiva de 5 m em torno de cada transecto, resultando em área total amostrada de aproximadamente 1.275 m² (0,1275 ha). Os pontos foram alocados com espaçamento médio de 5 m ao longo das linhas, sendo amostrados 20 pontos em cada um dos transectos de 100 m e 10 pontos no transecto de 55 m, totalizando 50 pontos amostrais. Em cada ponto, o terreno foi dividido em quatro quadrantes de 90° (N, S, L, O), sendo registrado em cada quadrante, o indivíduo arbóreo ou arbustivo mais próximo ao ponto central, quando existente. Embora o número máximo teórico de indivíduos passíveis de levantamento fosse de 200 (4 quadrantes × 50 pontos), o número efetivo de indivíduos amostrados foi de 92, em função da ocorrência de quadrantes sem indivíduos, registrados com valor zero na planilha de campo,

refletindo a baixa densidade e a descontinuidade estrutural da vegetação em determinados trechos do fragmento.

Foram incluídos na amostragem todos os indivíduos arbóreos e arbustivos com altura $\geq 1,0$ m, condição que define a densidade mínima amostrada em termos estruturais, garantindo que apenas indivíduos efetivamente estabelecidos fossem considerados no cálculo dos parâmetros fitossociológicos. Para cada indivíduo selecionado, registrou-se a circunferência à altura de 1,30 m do solo (CAP), a altura total e a distância do tronco ao ponto central de amostragem.

O material botânico coletado foi identificado ao nível de família, gênero e espécie segundo o sistema APG IV (2016) e ao acervo do Herbário “Dárdano de Andrade Lima”, do Departamento de Ciências Agrônomicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN. A partir dos dados de campo foram estimados os parâmetros fitossociológicos usuais (densidade, frequência, dominância, valor de cobertura e valor de importância), seguindo Müeller-Dombois e Ellenberg (1974), com processamento realizado no software Mata Nativa® 4.0, mantendo as equações já apresentadas no texto original.

Densidade Absoluta (DA) e Densidade Relativa (DR)

A densidade ou abundância, é o número de indivíduos por hectare de cada espécie na composição da floresta, e é estimado em termos de densidade absoluta e relativa, da seguinte forma:

$$DA_i = \frac{ni}{A} \quad DR_i = \frac{ni}{A} \times 100$$

Onde:

DA_i = Densidade absoluta pela i-ésima espécie;

ni = Número de indivíduos pela i-ésima espécie;

A = área amostrada em hectares;

DR_i = Densidade relativa pela i-ésima espécie;

Dominância Absoluta (DoA) e Dominância Relativa (DoR)

A dominância é um parâmetro que expressa a influência de cada espécie na comunidade, através de sua biomassa. A dominância absoluta é obtida através da soma das áreas basais (AB) dos indivíduos de uma mesma espécie, por hectare. A dominância

relativa corresponde à participação, em percentagem, em relação à área basal total (ABT), em m²:

$$DoA_i = \frac{AB_i}{A} \quad DoR_i = \frac{DoA}{DoT} \times 100$$

Onde:

DoA_i = Dominância absoluta pela i-ésima espécie;

AB_i = Área basal da i-ésima espécie em metros quadrados;

A = área amostrada em hectares;

DoR_i = Dominância relativa pela i-ésima espécie;

DoT = Dominância total de todas as espécies amostradas, em metros quadrados por hectare.

Frequência Absoluta (FA) e Frequência Relativa (FR)

A frequência mede o número de ocorrências de uma determinada espécie nas diferentes parcelas alocadas; pode ser frequência absoluta, quando obtida pela percentagem das parcelas em que a espécie ocorre, ou frequência relativa, obtida pela soma total das frequências absolutas, para cada espécie:

$$FA_i = \frac{U_i}{U_t} \times 100 \quad FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^P FA_i} \times 100$$

Onde:

FA_i = Frequência absoluta pela i-ésima espécie;

U_i = Número de unidades amostrais em que estão presentes a i-ésima espécie;

U_t = Número total de unidades amostrais;

FR_i = Frequência relativa pela i-ésima espécie;

P = número de espécies amostradas.

Valor de Cobertura

O Valor de Cobertura é o somatório dos parâmetros relativos de densidade e dominância das espécies amostradas, informando a importância ecológica da espécie em termos de distribuição horizontal, baseando-se, contudo, apenas na densidade e na dominância:

$$VC_i = DR_i + DoR_i \quad VC(\%) = \frac{VC_i}{2}$$

VCi = Valor de Cobertura absoluto

VCi(%) = Valor de Cobertura relativo

DRi = densidade relativa (%) da i-ésima espécie

DoRi = dominância relativa (%) da i-ésima espécie

Valor de Importância

É o somatório dos parâmetros relativos de densidade, dominância e frequência das espécies amostradas, informando a importância ecológica da espécie em termos de distribuição horizontal:

$$Vli = DRi + DoRi + FRi \quad Vli(\%) = \frac{Vli}{3}$$

Vli = Valor de Importância absoluto

Vli(%) = Valor de Importância relativo

DRi = densidade relativa (%) da i-ésima espécie

DoRi = dominância relativa (%) da i-ésima espécie

FRi = frequência relativa da i-ésima espécie

Dominância de Simpson

O Índice de dominância de Simpson (C) mede a probabilidade de 2 (dois) indivíduos, selecionados ao acaso na amostra, pertencerem à mesma espécie (Brower; Zarr, 1984). Uma comunidade de espécies com maior diversidade terá uma menor dominância. O valor estimado de C varia de 0 (zero) a 1 (um), sendo que para valores próximos de um, a diversidade é considerada maior.

$$C = \sum ni \frac{ni-1}{N-(N-1)}$$

C= índice de dominância de Simpson

ni= número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie

N= número total de indivíduos amostrados

Índices de diversidade de Shannon

Este índice de diversidade de espécies considera igual peso entre as espécies raras e abundantes (Magurran, 1988).

$$H' = \frac{N \cdot \ln \ln(N) - \sum_{i=1}^S n_i \cdot \ln(n_i)}{N}$$

Onde:

H'= Índice de Shannon-Weaver

ni=Número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie

N=número total de indivíduos amostrados

S=número total de espécies amostradas

ln=logaritmo de base neperiana

Quanto maior for o valor de H', maior será a diversidade florística da população em estudo, podendo expressar riqueza e uniformidade.

Equabilidade de Pielou

O índice de diversidade de espécies da Equabilidade de Pielou pertence ao intervalo [0,1], onde 1 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes.

$$J = \frac{H'}{H'_{\text{máx}}}$$

Onde:

Hmáx= ln(S)

J= Equabilidade de Pielou

S= número total de espécies amostradas

H'= índice de diversidade de Shannon-Weaver

A suficiência amostral foi avaliada por meio da curva de acumulação de espécies, construída a partir da riqueza acumulada em função do número de unidades amostrais (parcelas) (Figura 2).

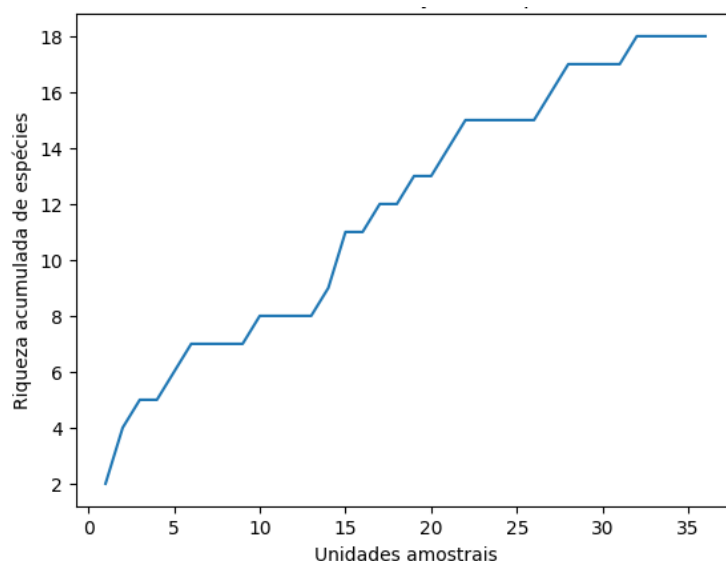


Figura 2: Curva de acumulação de espécies arbustivo-arbóreas amostradas na ARIE Mata da Bica, Portalegre-RN.

Observou-se que a curva apresentou crescimento acentuado nas primeiras unidades, seguido de tendência à estabilização a partir das últimas parcelas amostradas, indicando que o esforço amostral foi suficiente para representar a composição florística da área estudada. Esse padrão sugere que a inclusão de novas unidades amostrais resultaria em acréscimo marginal de espécies, corroborando a adequação do delineamento amostral adotado.

3.2.2 Caracterização do solo

Foram coletadas, com o auxílio de um trado Holandês, amostras de solo em três pontos por transecto de 100 metros, um ponto em cada extremidade, e um no centro, na profundidade de 0-0,20m e 0,20-0,40m, sendo três amostras simples para compor uma amostra composta (Figura 3). As amostras de solo foram analisadas pelo laboratório de Análise de Solo, Água e Plantas (LASAP) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).



Figura 3: Amostragem do Solo na ARIE da Mata da Bica em Portalegre-RN.

Foram determinados os atributos químicos pH em água, acidez potencial ($H+Al$), teores de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al trocáveis, P extraível e Condutividade elétrica. As determinações do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica foram realizadas em um extrato de pasta saturada em água. O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) trocáveis foram extraídos utilizando cloreto de potássio 1 mol L^{-1} e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O fósforo (P), o sódio (Na^+) e o potássio (K^+) foram extraídos utilizando a solução de Mehlich-1. O P foi quantificado por colorimetria, enquanto o Na^+ e o K^+ foram determinados por fotometria de chama. A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi extraída com acetato de cálcio e quantificada por titulação. Todas as análises químicas foram realizadas seguindo os procedimentos padronizados descritos por Teixeira *et al.* (2017).

A partir dos resultados obtidos foram calculados a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC), a saturação por bases (V%), a saturação por alumínio e a porcentagem de sódio trocável (PST), o que permitiu diagnosticar solos com acidez moderada a alta, teores satisfatórios de bases trocáveis e baixa disponibilidade de fósforo na camada superficial, condição que orientou a escolha da formulação e da dose de adubo NPK utilizadas na etapa de plantio (item 3.2.3).

3.2.3 Técnica de Recuperação da área degradada

Refazer ecossistemas de forma artificial representa o desafio de iniciar um processo sucessional o mais próximo possível dos processos naturais, formando comunidades com biodiversidade e estrutura capazes de se estabilizar em médio e longo prazo (Reis *et al.*, 2003).

Considerando o diagnóstico de baixa regeneração natural e alto grau de degradação na área de entorno da nascente, optou-se pela adoção de um enriquecimento florestal por plantio adensado de espécies nativas, em complemento à condução da regeneração natural já existente na ARIE Mata da Bica.

3.2.3.1 Critérios para seleção das espécies

A seleção das espécies utilizadas no adensamento foi baseada em três critérios principais:

(i) ocorrência natural no fragmento, a partir dos resultados do levantamento florístico e dos parâmetros fitossociológicos (espécies com elevado valor de importância (VI) e relevância ecológica);

(ii) adequação ecológica às condições edáficas e climáticas locais, priorizando espécies nativas de brejos de altitude e Caatinga associada, tolerantes a solos ácidos e a períodos de déficit hídrico; e

(iii) função ecológica na restauração, contemplando espécies com potencial para sombreamento rápido, oferta de frutos e néctar para a fauna e incremento da ciclagem de nutrientes.

A disponibilidade de mudas nos viveiros locais, em especial na empresa júnior Unifica Floresta (UFERSA), foi considerada como critério operacional secundário, sem, contudo, suprimir a exigência de que todas as espécies empregadas fossem nativas e recomendadas para projetos de recuperação de áreas degradadas na região.

3.2.3.2 Produção de mudas

As mudas utilizadas no plantio foram produzidas em viveiro florestal pela empresa júnior Unifica Floresta, vinculada ao curso de Engenharia Florestal da UFERSA, sob supervisão técnica dos coordenadores do projeto (Figura 4). As sementes foram obtidas de matrizes nativas da região, priorizando-se indivíduos sadios e bem formados, com coletas realizadas em diferentes árvores para aumentar a variabilidade genética do lote de mudas.



Figura 4: Produção de mudas para o plantio na ARIE da Mata da Bica em Portalegre-RN.

Após a sementeira, as plântulas foram mantidas sob sombrite com aproximadamente 50% de sombreamento, em bancadas suspensas, com três irrigações diárias, em lâmina suficiente para manter o substrato próximo à capacidade de campo e evitar lixiviação excessiva de nutrientes. À medida que as mudas atingiram cerca de 15 cm de altura, iniciou-se o processo de rustificação, com transferência gradual para condições de maior luminosidade (pleno sol) e redução da frequência de irrigação, de forma a promover o endurecimento dos tecidos e a adaptação às condições de campo.

As mudas foram consideradas aptas ao plantio quando apresentaram: (i) altura entre 20 e 40 cm, (ii) sistema radicular bem estruturado, sem enovelamento excessivo, e (iii) ausência de sintomas visíveis de deficiência nutricional, injúrias mecânicas ou ataque severo de pragas e doenças. Apenas mudas que atendiam a esses critérios morfológicos e fitossanitários foram transportadas para a área de plantio.

3.2.3.3 Arranjo espacial e adensamento do plantio

O plantio de 715 mudas¹ foi realizado em espaçamento de 2×1 m, resultando em densidade teórica de 5.000 mudas ha⁻¹ (Figura 5). A escolha desse espaçamento adensado fundamentou-se em três aspectos:

(i) a necessidade de rápido fechamento do dossel na área de entorno da nascente, reduzindo a incidência de luz direta sobre o solo, a competição com gramíneas e o risco de erosão; e

¹ *Myracrodruon urundeuva* Allemão (aroeira) - 128 mudas; *Piptadenia moniliformis* (Benth.) Luckow & R.W. Jobson (catanduva) - 40 mudas; *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (jurema-preta) - 110 mudas; *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (angico) - 140 mudas; *Acacia glomerosa* Benth. (espinheiro) - 132 mudas; *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) - 97 mudas; e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (timbaúba) - 83 mudas.

(ii) recomendações técnicas para projetos de recuperação de áreas altamente perturbadas, nas quais densidades iniciais mais elevadas favorecem a seleção natural de indivíduos mais vigorosos e a aceleração dos processos sucessionais em ambientes úmidos e serranos.

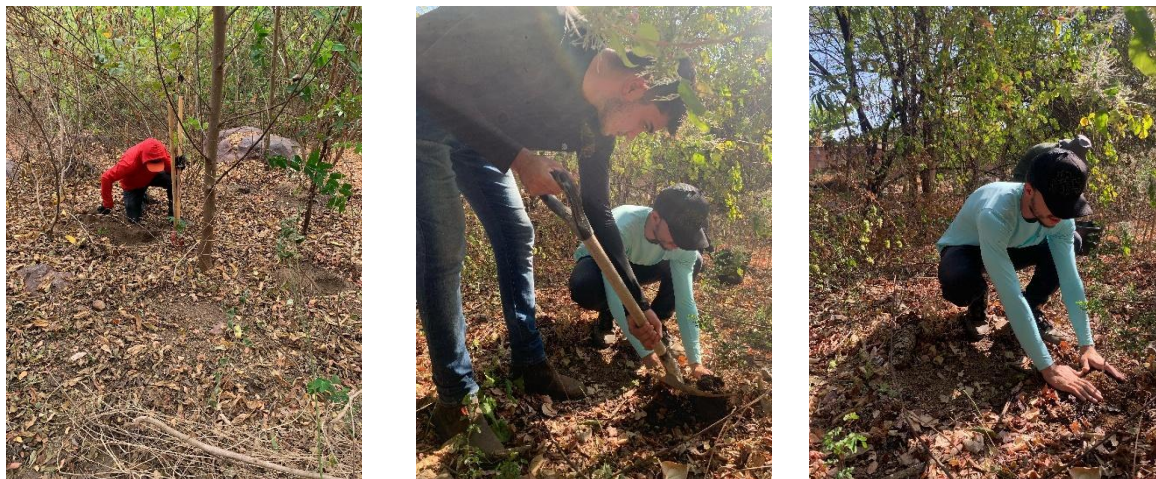


Figura 5: Abertura de covas e plantio de mudas na ARIE Mata da Bica em Portalegre-RN.

(iii) combinação de grupos ecológicos pioneiros e secundários tardios, pois essa mescla permite a criação de um microambiente propício à regeneração natural e à heterogeneização estrutural do dossel, princípio para a autossustentabilidade ecológica (Durigan; Engel, 2012).

As covas foram abertas com auxílio de coletor de solo tipo “boca de lobo”, com profundidade média de 0,30 m, dimensionadas para acomodar o sistema radicular das mudas sem dobramento de raízes. No momento do plantio, cuidou-se para posicionar o colo da muda ao nível da superfície do solo, evitando tanto o afogamento do colo quanto a adequada inserção do sistema radicular no solo.

3.2.3.4 Correção e adubação do solo

A correção química do solo nas covas de plantio foi realizada com aplicação localizada de fertilizante mineral formulado NPK 13-33-08 (Superstar®, Yara Brasil Fertilizantes S.A.), incorporado 125g à cova antes da inserção das mudas. A escolha dessa formulação foi baseada na interpretação da análise de solo, que indicou: (i) acidez moderada a alta, (ii) teores satisfatórios de bases trocáveis e potássio (K^+) e (iii) baixa disponibilidade de fósforo (P) na camada superficial.

Dessa forma, optou-se por uma formulação com maior proporção de fósforo em relação ao nitrogênio e com baixo teor de potássio, visando:

- suprir o P limitado, elemento essencial para o enraizamento inicial e o crescimento das mudas;
- evitar o excesso de K, já presente em níveis adequados no solo;
- reduzir o risco de salinização e de desequilíbrios nutricionais em um ambiente de brejo de altitude.

A dose aplicada em cada cova foi definida a partir da interpretação da análise de solo e de recomendações técnicas para plantios florestais em solos ácidos com baixo teor de P, de modo a fornecer correção pontual suficiente para a fase de estabelecimento, sem caracterizar adubação intensiva de caráter agrícola.

3.2.3.5 Manejo pós-plantio e condução da regeneração natural

Após o plantio, foi implementado um sistema complementar de irrigação por capilaridade em 90 mudas, utilizando garrafas plásticas tipo PET (Figura 6), abastecidas em duas ocasiões no período seco, como medida para reduzir o estresse hídrico inicial. Paralelamente, foi realizada a condução da regeneração natural, mantendo-se plântulas nativas já estabelecidas na área e realizando o controle periódico de gramíneas e plantas competidoras por meio de coroamento manual em torno das mudas plantadas.



Figura 6: Implementação do sistema de irrigação com garrafas plásticas para o plantio das mudas na ARIE da Mata da Bica em Portalegre-RN.

A eficiência das técnicas empregadas foi avaliada com base na taxa de sobrevivência das mudas, obtida a partir de sete campanhas de monitoramento ao longo de um ano, nas quais se registrou, para cada espécie, o número de indivíduos vivos e sua condição geral de vigor.

O plantio foi realizado em áreas de maior exposição e menor sombreamento, buscando otimizar a sobrevivência das mudas diante das condições edáficas limitantes, como solos rasos e afloramentos rochosos. Foram utilizadas espécies características da Caatinga e dos brejos de altitude.

A avaliação da eficiência da técnica de enriquecimento, foi com base na taxa de sucesso do plantio de mudas (sobrevivência), para isso foram realizadas sete avaliações durante o período de um ano, onde foi realizada a identificação dos indivíduos sobreviventes de cada espécie plantada.

Os resultados obtidos foram registrados em relatórios semestrais e anuais, que incluíram dados coletados em campo, identificação de problemas e sugestões de ações corretivas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam importantes limitações associadas à implantação do adensamento florestal em áreas com histórico de degradação e forte pressão ambiental. Embora o levantamento florístico tenha permitido caracterizar a composição e a estrutura da vegetação remanescente, o desempenho das mudas implantadas foi significativamente inferior ao esperado, com taxa geral de sobrevivência de aproximadamente 18,5%. Esses resultados indicam que os fatores ambientais, operacionais e ecológicos atuaram de forma combinada, comprometendo o sucesso do plantio e reforçando a necessidade de uma análise crítica sobre a adequação das técnicas empregadas.

4.1 Composição Florística

O levantamento florístico realizado na ARIE Mata da Bica registrou 94 indivíduos arbóreos e arbustivos, distribuídos em 15 espécies e seis famílias botânicas (Tabela 1), refletindo uma comunidade vegetal estruturalmente empobrecida e com forte descontinuidade espacial. A ocorrência de quadrantes sem indivíduos, já discutida no capítulo de Material e Métodos, evidencia a baixa densidade e a fragmentação da vegetação, características comuns em áreas submetidas a histórico de perturbação antrópica e degradação ambiental. A densidade total observada na área foi de 8.386,81 indivíduos por hectare (ind/ha). Destaca-se a família Fabaceae, que apresentou a maior riqueza específica, com dez espécies, correspondendo a aproximadamente 50% das espécies amostradas.

Tabela 1. Relação das espécies arbustivo-arbóreas, encontradas na ARIE Mata da Bica, no município de Portalegre, RN.

Nome científico	Nome Comum	Família	Estágio Sucessional
<i>Acacia glomerosa</i>	Espinheiro	Fabaceae	Pi.
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico vermelho	Fabaceae	S.I.
<i>Brosimum gaudichaudii</i>	Inheré	Moraceae	S.T.
<i>Cenostigma pyramidale</i>	Catingueira	Fabaceae	Pi.
<i>Coccoloba latifolia</i>	Cuaçu	Polygonaceae	S.I.
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Copaíba	Fabaceae	S.T./Clímax
<i>Eugenia candolleana</i>	Murta	Myrtaceae	S.T.
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Timbaúba	Fabaceae	S.I.
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	Fabaceae	S.T./Clímax
<i>Inga edulis</i>	Ingazeiro	Fabaceae	Pi/S.I.
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Jurema preta	Fabaceae	Pi.
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Aroeira	Anacardiaceae	S.T./Clímax
<i>Piptadenia moniliformis</i>	Catanduva	Fabaceae	Pi.

<i>Thiloua glaucocarpa</i>	Sipaúba	Combretaceae	S.I.
<i>Ximenia americana</i>	Ameixa do mato	Fabaceae	Pi./S.I

Onde: Pi. = Pioneira, S.I. = Secundária inicial, S.T. = Secundária tardia.

A Tabela 1 apresenta a relação das espécies arbustivo-arbóreas identificadas no fragmento estudado, evidenciando a predominância da Fabaceae e a representatividade das demais famílias, cada qual composta por apenas uma espécie. Em termos de abundância, *E. candolleana*, *H. courbaril*, *A. macrocarpa* e *I. edulis* foram responsáveis por 59,57% da densidade total absoluta (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos das espécies arbustivo-arbóreas, encontradas na ARIE Mata da Bica, no município de Portalegre, RN.

Nome Científico	Ni	AB	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC (%)	VI (%)
<i>H. courbaril</i>	11	0,427	981,43	11,70	30	10,71	38,12	35,59	23,64	19,33
<i>E. candolleana</i>	30	0,028	2676,64	31,91	55	19,64	2,54	2,37	17,14	17,98
<i>I. edulis</i>	7	0,176	624,55	7,45	30	10,71	15,67	14,63	11,04	10,93
<i>A. macrocarpa</i>	8	0,045	713,77	8,51	20	7,14	4,02	3,75	6,13	6,47
<i>M. urundeuva</i>	2	0,113	178,44	2,13	10	3,57	10,06	9,39	5,76	5,03
<i>M. indica</i>	2	0,111	178,44	2,13	10	3,57	9,89	9,23	5,68	4,98
<i>C. langsdorffii</i>	4	0,062	356,89	4,26	15	5,36	5,55	5,18	4,72	4,93
<i>C. latifolia</i>	3	0,066	267,66	3,19	15	5,36	5,851	5,46	4,33	4,67
<i>X. americana</i>	7	0,007	624,55	7,45	10	3,57	0,38	0,36	3,90	3,79
<i>A. occidentale</i>	1	0,004	89,22	1,06	5	1,79	4,43	4,14	2,6	2,33
<i>M. tenuiflora</i>	1	0,026	89,22	1,06	5	1,79	4,32	4,03	2,55	2,29
<i>B. gaudichaudii</i>	4	0,05	356,89	4,26	20	7,14	0,60	0,56	2,41	3,99
<i>C. glaucocarpa</i>	4	0,014	356,89	4,26	5	1,79	0,11	0,10	2,18	2,05
<i>G. americana</i>	2	0,048	178,44	2,13	10	3,57	2,36	2,21	2,17	2,64
<i>P. moniformis</i>	2	0,013	178,44	2,13	10	3,57	1,28	1,2	1,66	2,3
<i>A. glomerosa</i>	2	0,006	178,44	2,13	10	3,57	1,12	1,05	1,59	2,25
NI	2	0,001	178,44	2,13	10	3,57	0,51	0,48	1,30	2,06
<i>P. cattleyanum</i>	1	0,003	89,22	1,06	5	1,79	0,26	0,24	0,65	1,03
<i>E. contortisiliquum</i>	1	0,001	89,22	1,06	5	1,79	0,05	0,04	0,55	0,96
Total	94	1,201	8.386,81	100	280	100	107,12	100	100	100
Índice de Diversidade de Shannon (H')						2,41				
Índice de uniformidade de Pielou (J)						0,82				
Índice de Dominância de Simpson (C)						0,87				

Ni = número de indivíduos; DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); DR = densidade relativa (%); FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa (%); DoA = dominância absoluta (m².ha⁻¹); DoR = dominância relativa (%); IVC = índice de valor de cobertura (%); IVI = índice de valor de importância (%).

A composição florística foi marcada pela dominância de poucas espécies, enquanto a maioria ocorreu com baixa frequência e densidade, configurando um padrão típico de comunidades em estágio inicial a intermediário de sucessão ecológica. Espécies como *H. courbaril*, *E. candolleana* e *I. edulis* apresentaram os maiores valores de importância (IVI), resultado da combinação entre elevada densidade relativa, ampla distribuição espacial e maior dominância estrutural. Esse padrão indica que tais espécies desempenham papel central na manutenção da estrutura atual do fragmento, funcionando como espécies estruturantes do ambiente.

A concentração dos maiores valores de IVI em um número reduzido de espécies sugere um processo sucessional ainda pouco avançado, no qual espécies pioneiras ou secundárias iniciais tendem a dominar o espaço disponível. Esse comportamento já foi descrito para fragmentos florestais degradados em ambientes de Caatinga e brejos de altitude, nos quais a

regeneração natural é fortemente condicionada pela disponibilidade hídrica, pela profundidade do solo e pela pressão antrópica histórica (Rodal *et al.*, 2005; Queiroz *et al.*, 2017).

Quando comparada a levantamentos florísticos realizados em áreas mais conservadas de brejos de altitude no Nordeste brasileiro, a riqueza observada na ARIE Mata da Bica mostra-se inferior, especialmente no que se refere à presença de espécies tardias e de maior exigência ambiental. Estudos conduzidos em fragmentos menos perturbados indicam maior diversidade específica e estrutura vertical mais complexa, com distribuição mais equilibrada dos valores de importância entre as espécies (Tabarelli; Santos, 2004; Silva *et al.*, 2020). A ausência ou baixa representatividade dessas espécies no presente estudo reforça o diagnóstico de simplificação estrutural da comunidade vegetal.

Do ponto de vista sucessional, a predominância de espécies adaptadas a ambientes mais abertos e a escassez de indivíduos de estágios avançados indicam que a vegetação remanescente se encontra em um estágio inicial de regeneração, ainda fortemente dependente de fatores externos para sua evolução. A baixa densidade de indivíduos e a presença de extensos trechos sem cobertura arbórea contínua limitam a formação de microambientes sombreados, essenciais para o estabelecimento de espécies mais exigentes em termos microclimáticos.

A diversidade florística da área, avaliada pelo índice de Shannon ($H' = 2,41 \text{ nats.ind}^{-1}$), indica um nível de diversidade considerado médio quando comparado a outros estudos realizados no semiárido nordestino. Valores superiores foram registrados por Pereira *et al.* (2002), que encontraram $H' = 2,99 \text{ nats.ind}^{-1}$ em um remanescente florestal no agreste paraibano, enquanto Júnior *et al.* (2012) observaram $H' = 2,29 \text{ nats.ind}^{-1}$ em um fragmento de Caatinga no município de Monteiro, PB. O índice de equabilidade de Pielou ($J = 0,82$) evidencia uma distribuição relativamente homogênea dos indivíduos entre as espécies, corroborando os valores reportados por Machado (2011) ($J = 0,78$), na Serra do Guia, SE, e por Cordeiro *et al.* (2017) ($J = 0,80$), na Serra da Raiz, PB. Complementarmente, o índice de dominância de Simpson (0,87) reforça o padrão de diversidade intermediária observado, sendo comparável ao valor encontrado por Oliveira *et al.* (2021) (0,78) e inferior ao reportado por Souza *et al.* (2020) (0,94), indicando menor concentração de indivíduos em poucas espécies.

No que se refere à composição florística por famílias, Fabaceae e Myrtaceae destacaram-se como as mais representativas, padrão recorrente em levantamentos realizados em brejos de altitude e áreas de transição no nordeste brasileiro. Resultados semelhantes foram observados por Araújo *et al.* (2019), em estudo fitossociológico conduzido na Serra dos Cavalos, PE, onde Fabaceae apresentou o maior número de espécies (11), enquanto Myrtaceae

ocupou a terceira posição, com duas espécies. Ferraz *et al.* (1998) também registrou a predominância da família Myrtaceae em áreas situadas acima de 1.100 m de altitude no Vale do Pajeú, PE, com o registro de nove espécies arbóreas, evidenciando a afinidade dessa família com ambientes de maior umidade e altitude.

Entre as espécies amostradas, *Eugenia candolleana* destacou-se pela elevada abundância, com 30 indivíduos, correspondendo a 28,2% do total registrado, além de apresentar alta densidade absoluta e frequência relativa, o que indica seu papel central na estrutura e dinâmica do fragmento estudado. Filho (2014) também identificou *E. candolleana* como a terceira espécie mais abundante da família Myrtaceae em levantamento realizado na Caatinga do Parque Nacional do Catimbau, PE, onde *Hymenaea courbaril* estava entre as cinco espécies mais representativas da família Fabaceae. Segundo dados da UFRJ (2023), *E. candolleana* ocorre predominantemente na faixa litorânea compreendida entre o estado do Rio de Janeiro e o sul da Bahia, sendo raramente registrada em brejos de altitude no Nordeste. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a relevância do presente estudo ao contribuir com novos registros da ocorrência da espécie nesses ambientes, ampliando o conhecimento sobre sua distribuição ecológica.

Esses resultados têm implicações diretas para a escolha das estratégias de restauração adotadas. A estrutura florística observada sugere que a área apresenta baixa resiliência ecológica, o que reduz a capacidade de resposta natural a intervenções pontuais e aumenta a dependência de manejo contínuo. Nesse contexto, técnicas de enriquecimento florestal baseadas exclusivamente no plantio adensado podem apresentar limitações, especialmente quando não acompanhadas de controle efetivo da competição com gramíneas e de estratégias de proteção hídrica adequadas, aspectos que serão discutidos nas seções subsequentes.

4.2 Propriedades químicas do solo

Os valores médios das propriedades químicas para as duas trilhas amostradas na ARIE Mata da Bica, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, são exibidos na Tabela 3, enquanto a Figura 7 apresenta a variação das médias das propriedades químicas do solo, nas duas áreas da ARIE da Mata da Bica.

Verificou-se que o pH oscilou entre 5,3 e 5,7, indicando solos com alta acidez, típicos de regiões de altitude e com acúmulo de matéria orgânica pouco decomposta (Silva *et al.*, 2008). Essa acidez está relacionada a altos níveis de alumínio trocável (Al^{3+}), que tende a se tornar solúvel em pH baixo, conforme Potes *et al.* (2010) também descreveram.

Tabela 3. Propriedades químicas do solo da ARIE Mata da Bica, Portalegre, RN.

Variáveis*	Trilha 1		Trilha 2	
	Profundidade (m)		Profundidade (m)	
	0-0,20	0,20-0,40	0-0,20	0,20-0,40
pH água	5,73	5,67	5,33	5,37
CE	0,07	0,07	0,11	0,11
P	0,33	0,93	4,30	4,80
K ⁺	132,60	141,40	152,23	152,23
Na ⁺	36,27	43,03	51,87	54,57
Ca ²⁺	36,27	43,03	51,87	54,57
Mg ²⁺	1,77	1,53	1,74	1,63
Al ³⁺	0,06	0,08	0,21	0,28
H+Al	1,93	2,04	4,73	4,90
SB	4,90	4,51	4,23	4,43
t	4,96	4,59	4,45	4,71
CTC	6,82	6,55	8,96	9,32
V	71,67	68,67	46,33	46,67
m	1,33	2,00	5,00	6,67
PST	2,33	3,00	2,33	2,67

*As variáveis estão expressas nas seguintes unidades: CE = Condutividade Elétrica (dS/m); P, K⁺, Na⁺ (mg/dm³); Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al = Acidez Potencial, SB = Soma de Bases, t = CTC efetiva, CTC (cmol_c/dm³); V = Saturação por Bases, m = Saturação por Alumínio, PST = Porcentagem de Sódio Trocável (%).

Analisar as propriedades químicas do solo é um passo fundamental para entender a qualidade do solo e sua habilidade de sustentar processos ecológicos e produtivos (Doran; Parkin, 1994; Lal, 2015). A qualidade do solo pode ser caracterizada pela sua capacidade de executar funções em um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, preservando a qualidade ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais (Karlen *et al.*, 1997; Doran *et al.*, 1996).

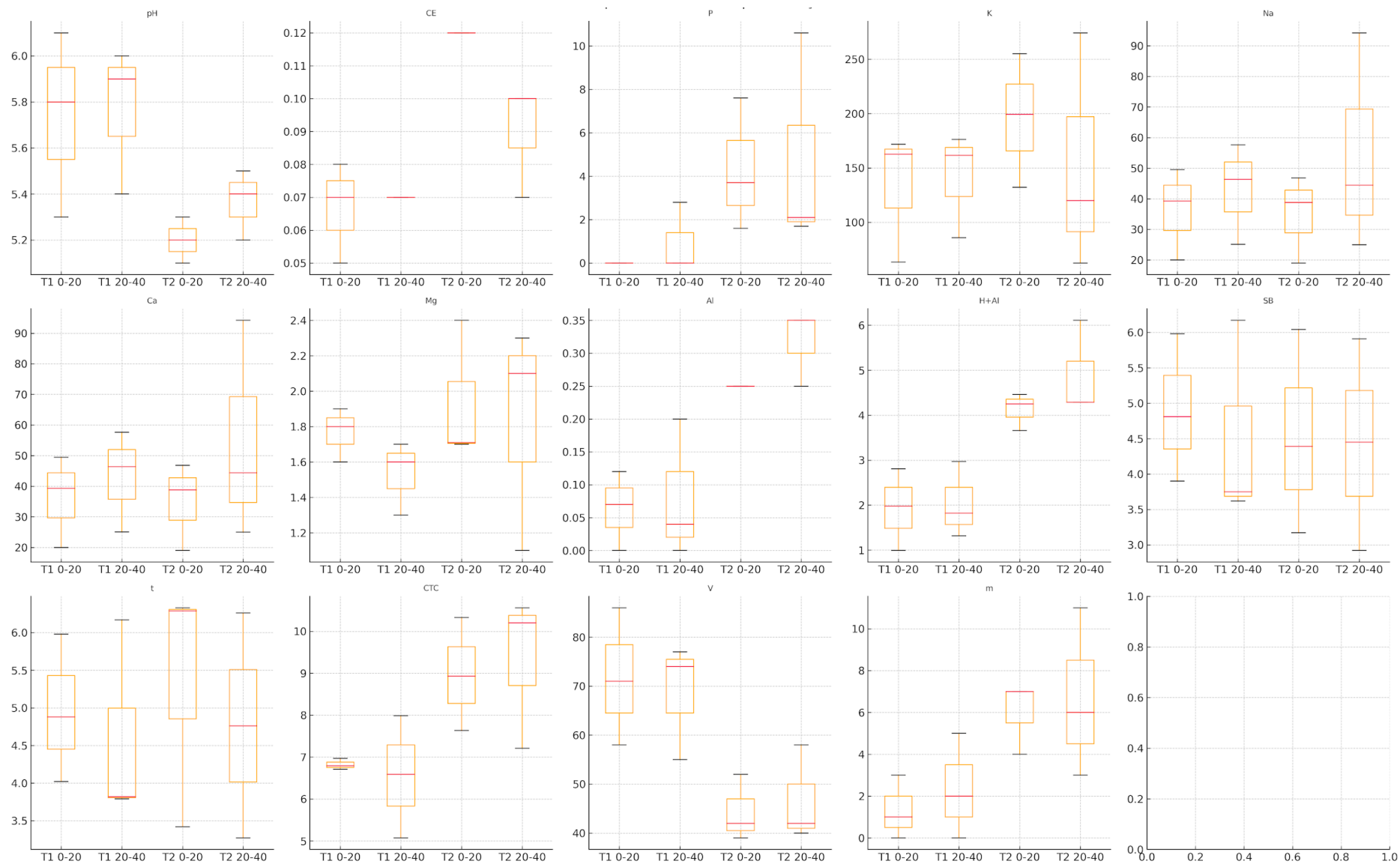


Figura 7: Boxplots contendo a variação das médias das propriedades químicas do solo, na ARIE da Mata da Bica em Portalegre -RN.

O pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%) e os teores de macro e micronutrientes disponíveis, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), fósforo (P) e alumínio trocável (Al^{3+}), são alguns dos principais indicadores químicos usados para determinar o nível de fertilidade (Brady; Weil, 2013). Esses parâmetros possibilitam a avaliação da disponibilidade de nutrientes, da acidez potencial e da dinâmica dos íons no complexo de troca do solo.

Os valores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} sugerem uma boa fertilidade potencial, com níveis mais elevados na Trilha 2 e praticamente constantes entre as diferentes profundidades. Essa estabilidade pode ser atribuída à mineralização de restos vegetais e à adsorção desses cátions às cargas negativas da matéria orgânica e da fração argilosa, o que diminui a lixiviação (Bissani; Tedesco, 1995; Bayer; Bertol, 1999). Esses nutrientes são essenciais para a formação do solo e para o crescimento das raízes das plantas (Dechen; Nachtigall, 2007).

Sendo assim, os solos da ARIE Mata da Bica apresentam acidez moderada a alta, teores satisfatórios de bases trocáveis e baixa disponibilidade de fósforo, cenário típico de ecossistemas tropicais úmidos e com intensa atividade biogeoquímica. Esses resultados reforçam a importância do manejo orgânico e da manutenção da serrapilheira como estratégias para a estabilidade química e funcional do ecossistema.

A disponibilidade de potássio (K^+) foi alta e uniforme em todas as áreas, o que é típico de solos com boa drenagem e baixa lixiviação. A competição com Ca^{2+} e Mg^{2+} , que ocupam os mesmos locais de adsorção na planta, pode interferir em sua absorção (Duarte, 2019).

Os níveis de fósforo (P) foram reduzidos em ambas as trilhas, com um leve incremento na Trilha 2. Esse comportamento é frequente em Latossolos e Cambissolos, que são predominantes na região, em razão da intensa retenção de P por óxidos de ferro e alumínio (Dechen; Nachtigall, 2007). No entanto, as florestas nativas geralmente mantêm o equilíbrio nutricional por meio da ciclagem biogeoquímica (Brady; Weil, 2013).

A condutividade elétrica (CE) apresentou valores baixos ($<0,15$ dS/m), caracterizando solos não salinos e compatíveis com ambientes de brejo de altitude. Essa condição indica baixa concentração de sais solúveis e ausência de restrições iônicas ao desenvolvimento vegetal (Dantas, 2020).

4.3 Avaliação do plantio realizado

4.3.1 Visão geral do desempenho do adensamento florestal nas três campanhas de plantio

A técnica de adensamento florestal adotada na ARIE da Mata da Bica constituiu a principal estratégia ativa de recuperação ecológica, escolhida com base no diagnóstico prévio que indicou baixo potencial de regeneração natural e perturbação antrópica acentuada na área. O plantio ativo de espécies nativas foi planejado para recompor a cobertura vegetal, aumentar a diversidade florística e acelerar os processos sucessionais, conforme preconizado por Rodrigues e Gandolfi (2007) e pela Instrução Normativa nº 14/2024 do IBAMA (Brasil, 2024).

O adensamento florestal implantado na ARIE Mata da Bica foi executado em três campanhas de plantio, realizadas em momentos distintos, sob diferentes condições ambientais e operacionais. De forma geral, os resultados mostraram baixa eficiência do plantio, com taxa global de sobrevivência de aproximadamente 18,5%, indicando que a técnica adotada não foi capaz de superar as limitações ecológicas impostas pelo ambiente degradado.

A análise integrada das três campanhas demonstra que o insucesso do plantio não pode ser atribuído a um único fator isolado, mas sim à interação entre estresse hídrico, competição com gramíneas e herbáceas daninhas (Figura 8), limitações no manejo pós-plantio e inadequação parcial da escolha das espécies às condições locais. Esse padrão é amplamente descrito em projetos de restauração em ambientes tropicais secos e subúmidos, nos quais o simples plantio de mudas, sem manejo contínuo, tende a apresentar elevadas taxas de mortalidade (Rodrigues *et al.*, 2011; Sampaio *et al.*, 2015).



Figura 8: Mudas suprimidas pela competição com plantas daninhas, ARIE da Mata da Bica, Portalegre-RN.

De modo geral, observou-se que as três campanhas foram realizadas em um contexto de regime hídrico irregular, com chuvas mal distribuídas ao longo do período de monitoramento. A limitação hídrica afetou principalmente as mudas recém-implantadas, reduzindo o estabelecimento do sistema radicular e aumentando a suscetibilidade ao estresse fisiológico. Embora tenha sido adotado um sistema complementar de irrigação por capilaridade em parte das mudas, falhas operacionais, associadas à retirada ou dano dos dispositivos de irrigação e à impossibilidade de reposição contínua, comprometeram a eficácia dessa estratégia.

Outro fator determinante para o baixo desempenho foi a competição intensa com gramíneas e plantas herbáceas, especialmente nas áreas mais abertas do fragmento, mesmo sendo realizado o coroamento das mudas (Figura 9). A ausência de sombreamento inicial e a elevada incidência luminosa favoreceram o crescimento rápido dessas espécies competidoras, que disputaram água, luz e nutrientes com as mudas plantadas. Em projetos de restauração florestal, a competição com gramíneas é reconhecida como uma das principais causas de mortalidade inicial, sobretudo quando o controle é pontual e não sistemático (Holl; Aide, 2011; Brancalion *et al.*, 2015).



Figura 9: Coroamento realizado nas mudas de *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), e *Enterolobium contortisiliquum* (Timbaúba).

Além disso, a avaliação conjunta das campanhas indica que nem todas as espécies utilizadas apresentaram desempenho compatível com as condições ambientais da área, mesmo sendo nativas da região. Espécies de crescimento mais lento ou com maior exigência hídrica mostraram-se particularmente sensíveis ao estresse imposto pelo solo raso, pela exposição solar e pela irregularidade das chuvas. Esse resultado reforça que a escolha de espécies para adensamento florestal deve considerar não apenas a origem nativa, mas também o estágio sucessional, a plasticidade ecológica e a tolerância a condições limitantes, sobretudo em áreas com baixa resiliência ecológica.

A comparação entre as três campanhas evidencia ainda que os plantios realizados em períodos menos favoráveis do ponto de vista climático apresentaram mortalidade mais acentuada, enquanto aqueles implantados em momentos ligeiramente mais próximos ao período chuvoso apresentaram melhor desempenho relativo, ainda que insuficiente para garantir o sucesso do projeto. Esse padrão corrobora estudos que destacam a importância do sincronismo entre plantio e regime pluviométrico em ações de restauração, especialmente em ambientes de transição entre Caatinga e formações úmidas serranas (Sampaio *et al.*, 2015; Brancalion *et al.*, 2017).

De forma geral, os resultados das três campanhas indicam que o plantio adensado de mudas, aplicado isoladamente, não foi suficiente para promover a recuperação efetiva da área estudada. A elevada mortalidade observada reforça a necessidade de estratégias integradas, que combinem o plantio com manejo intensivo da vegetação competidora, proteção hídrica contínua

e valorização da regeneração natural, especialmente em unidades de conservação sujeitas a uso público e interferências externas.

4.3.2 Campanha 1 - Implantação inicial do adensamento florestal

A primeira campanha de plantio correspondeu à fase inicial de implantação do adensamento florestal (Tabela 4) e foi realizada em um contexto de vegetação aberta, baixa cobertura do solo e alta incidência luminosa. Nesse momento, a área apresentava reduzida proteção microclimática, com solo exposto em diversos trechos e forte presença de gramíneas competidoras.

Os resultados dessa campanha indicaram baixa taxa de sobrevivência das mudas logo nos primeiros meses após o plantio, evidenciando dificuldades no estabelecimento inicial. A limitação hídrica, associada à irregularidade das chuvas e à elevada evapotranspiração, comprometeu o desenvolvimento do sistema radicular das mudas recém-implantadas. Estudos em ambientes tropicais secos e subúmidos demonstram que essa fase inicial é crítica e que o insucesso no enraizamento resulta em mortalidade elevada ainda no primeiro ciclo seco (Holl; Aide, 2011).

Tabela 4. Sucesso de sobrevivência das mudas plantadas na ARIE da Mata da Bica em Portalegre -RN.

	Campanhas				Percentual de Sobrevivência por campanha (%)			
	03 ago. 24	09 set. 24	09 ago. 25		07 set.	05 mar.	09 ago.	Geral
Espécies	1 ^a	2 ^a	3 ^a	Total*	2024	-----2025-----		
Angico	30	65	40	135	50	40	38,8	20
Aroeira	40	48	30	118	22,5	24,6	29,5	11,9
Catanduva	30	10	-	40	30	5,3	0	0
Espinheiro	30	72	30	132	60	47,7	54,8	30
Jatobá	20	37	40	97	35	4,5	59,5	25,8
Jurema Preta	30	50	30	110	53,3	37,9	16,4	8,2
Timbaúba	20	33	30	83	85	50	29,0	19,3
Total	200	315	200	715	45,5¹	35,0²	38,6³	18,5

*Total referente a quantidade de mudas plantadas por espécie; **Total referente a quantidade de mudas sobreviventes por espécie; ¹referente as 91 mudas sobreviventes; ²referente as 142 mudas sobreviventes; ³referente as 131 mudas sobreviventes.xzzs

A primeira avaliação de sobrevivência refere-se exclusivamente às mudas implantadas na primeira campanha de plantio (91 indivíduos). Nessa avaliação inicial, o percentual médio de sobrevivência foi de 45,5%, com destaque para as espécies Timbaúba (85,0%), Espinheiro

(60,0%) e Jurema Preta (53,3%), enquanto Aroeira e Catanduva apresentaram os menores percentuais.

A segunda avaliação considerou o conjunto formado pelas mudas sobreviventes da primeira campanha de plantio (91 indivíduos) somadas às mudas implantadas na segunda campanha (315 indivíduos). Nesse período, observou-se uma redução no percentual médio de sobrevivência para 35,0%, evidenciando perdas significativas, especialmente para as espécies Catanduva e Jatobá, que apresentaram valores inferiores a 6%. Esse resultado pode estar associado às condições ambientais adversas e ao estresse hídrico característico do período.

A terceira avaliação, realizada em 09 de ago. de 2025, corresponde às mudas sobreviventes da segunda campanha de plantio (142 indivíduos) acrescidas às mudas implantadas na terceira campanha (200 indivíduos). Nessa etapa, o percentual médio de sobrevivência foi de 38,6%, indicando uma leve elevação da avaliação anterior. Destacaram-se positivamente as espécies Jatobá (25,8%) e Timbaúba (19,3%), enquanto Catanduva não apresentou nenhum indivíduo sobrevivente (0,0%).

A partir da última avaliação, realizou-se a avaliação geral de sobrevivência onde obteve-se 131 indivíduos vivos, representando 18,32% de sobrevivência total, resultados que demonstram variações significativas na sobrevivência das mudas entre campanhas e espécies, refletindo a influência do período de plantio, das condições climáticas e das características ecológicas de cada espécie. Esses dados reforçam a importância do monitoramento contínuo e do ajuste das estratégias de restauração para aumentar a eficiência do estabelecimento das mudas em campo.

Além do estresse hídrico, a competição com gramíneas foi particularmente intensa nessa campanha. A ausência de sombreamento favoreceu o crescimento rápido dessas espécies, que competiram diretamente por água e nutrientes, reduzindo o desempenho das mudas florestais. A literatura aponta que, quando o controle da vegetação competidora não é contínuo, o plantio tende a apresentar baixo rendimento, independentemente da densidade adotada (Brançalion *et al.*, 2015).

4.3.3 Campanha 2 - Reposição e ajustes no plantio

A segunda campanha foi caracterizada por ações de reposição e ajustes no plantio, realizadas após a identificação das primeiras falhas na campanha inicial (Tabela 4). Embora parte das mudas tenha sido implantada em período relativamente mais favorável do ponto de

vista climático, os resultados indicaram que as condições estruturais da área permaneceram limitantes para o sucesso do processo.

Observou-se que a sobrevivência das mudas nessa campanha foi ligeiramente superior à da campanha inicial, porém ainda insuficiente para garantir a efetividade do plantio. A persistência da competição com gramíneas e a ineficiência do sistema de irrigação complementar, afetado por falhas operacionais e impossibilidade de manutenção contínua, limitaram os ganhos esperados.

Adicionalmente, tornou-se evidente que a simples reposição de mudas não foi capaz de compensar os fatores ambientais adversos. Esse resultado corrobora estudos que indicam que, em áreas com baixa resiliência ecológica, intervenções pontuais tendem a falhar quando não acompanhadas de mudanças estruturais no manejo, como o sombreamento inicial, o controle sistemático da vegetação competidora e a proteção hídrica contínua (Rodrigues *et al.*, 2011).

4.3.4 Campanha 3 - Plantio tardio e limitações acumuladas

A terceira campanha de plantio ocorreu em um contexto marcado pelo acúmulo de limitações ambientais e operacionais observadas nas campanhas anteriores (Tabela 4). Nesse momento, a área já apresentava elevado grau de competição vegetal, falhas no sistema de irrigação e manutenção reduzida, fatores que intensificaram o estresse imposto às mudas implantadas.

Os resultados indicaram que essa campanha apresentou os piores índices de sobrevivência, evidenciando que o plantio tardio, realizado fora de uma janela climática favorável, possui baixa probabilidade de sucesso em ambientes com regime hídrico irregular. A literatura destaca que o atraso no plantio em regiões sujeitas a déficit hídrico prolongado aumenta significativamente a mortalidade, independentemente da espécie utilizada (Sampaio *et al.*, 2015).

Além disso, a repetição do plantio em áreas que não apresentaram melhoria estrutural significativa reforçou a limitação do método adotado. A ausência de um dossel funcional e a baixa retenção de umidade no solo continuaram a restringir o estabelecimento das mudas, confirmando que o plantio adensado, isoladamente, não foi capaz de desencadear um processo sucessional eficiente.

4.4 Implicações ecológicas e recomendações para projetos de restauração

A combinação de adensamento florestal com manejo adaptativo e monitoramento contínuo apresenta implicações ecológicas relevantes para a restauração de áreas de nascente em brejos de altitude. Os resultados obtidos indicam que a integração dessas estratégias favorece o restabelecimento dos processos ecológicos iniciais e da estabilidade estrutural da vegetação, sobretudo quando associada à proteção das nascentes e à mitigação de distúrbios antrópicos. Esse arranjo configura um modelo de restauração híbrida, capaz de conciliar eficiência ecológica e viabilidade operacional em ambientes serranos e hidricamente sensíveis.

Durante a implementação das atividades, foram identificadas limitações operacionais e ambientais que influenciaram diretamente o desempenho das mudas implantadas. Fatores como sombreamento excessivo por indivíduos arbóreos preexistentes, presença de afloramentos rochosos e compactação superficial do solo restringiram a penetração radicular e a disponibilidade hídrica no período seco, resultando em variações expressivas na taxa de sobrevivência entre os setores da área.

Em trechos com melhor drenagem e maior incidência solar, observou-se maior sobrevivência das espécies pioneiras, enquanto as espécies secundárias apresentaram menor vigor inicial, comportamento também descrito por Rodrigues e Gandolfi (2007) e Silveira *et al.* (2015). A mortalidade precoce em áreas mais expostas esteve associada principalmente à restrição hídrica e ao estresse térmico durante o período crítico de estabelecimento. Ainda assim, a ocorrência de rebrota de cepas e o surgimento de plântulas espontâneas, especialmente de *Croton blanchetianus* e *Combretum leprosum*, indicam a presença de mecanismos de regeneração autóctone e resiliência parcial do ecossistema.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a restauração florestal em ambientes degradados e com baixa resiliência ecológica, como a ARIE Mata da Bica, exige abordagens mais integradas e adaptativas do que aquelas baseadas exclusivamente no plantio de mudas. A elevada mortalidade observada nas três campanhas demonstra que o enriquecimento florestal, quando aplicado sem manejo contínuo e sem adequação rigorosa às condições locais, apresenta alto risco de insucesso.

Do ponto de vista ecológico, os resultados reforçam a importância de valorizar a regeneração natural preexistente, utilizando estratégias que favoreçam a proteção e o crescimento de indivíduos já estabelecidos. Técnicas como nucleação, isolamento de áreas sensíveis, controle sistemático de gramíneas e uso de espécies facilitadoras podem representar

alternativas mais eficientes para promover a sucessão ecológica em áreas com vegetação empobrecida.

Adicionalmente, a escolha das espécies deve considerar não apenas a origem nativa, mas também o grupo sucessional, a tolerância ao estresse hídrico e a capacidade de competir em ambientes abertos. Espécies pioneiras e secundárias iniciais, com crescimento rápido e maior plasticidade ecológica, tendem a apresentar melhor desempenho nas fases iniciais da restauração, criando condições favoráveis para a introdução posterior de espécies mais exigentes.

Por fim, este estudo demonstra que projetos de restauração florestal em unidades de conservação de uso público requerem planejamento de longo prazo, com monitoramento contínuo, manutenção regular e flexibilidade metodológica. O reconhecimento explícito das limitações observadas contribui para o aprimoramento das práticas de restauração ecológica, evitando a aplicação indiscriminada de técnicas pouco eficientes e promovendo intervenções mais alinhadas às condições ambientais locais. Nesse contexto, a ausência de um plano de manejo para a ARIE Mata da Bica favorece a intensificação de pressões antrópicas, uma vez que permite a ocorrência de ações recorrentes de degradação ambiental, como a retirada de madeira para uso doméstico ou comercialização ilegal, evidenciada pelos registros de campo (Figura 10).



Figura 10: Retirada ilegal de madeira observada durante a execução das atividades do projeto dentro da ARIE da Mata da Bica, Portalegre-RN.

Do ponto de vista institucional e socioambiental, a ocorrência de intervenções externas não planejadas evidenciou fragilidades na gestão da unidade de conservação, especialmente em áreas de uso público desprovidas de plano de manejo efetivo. A retirada não supervisionada do sistema complementar de irrigação por voluntários locais resultou no encerramento abrupto do

suprimento hídrico em período de estiagem prolongada, comprometendo a sobrevivência das mudas em áreas mais expostas e de solo raso. Esse episódio reforça a necessidade de articulação entre equipes técnicas, gestores públicos e a comunidade local, de modo a evitar ações que, embora bem-intencionadas, possam gerar impactos negativos sobre os processos de restauração em andamento.

Diante desse contexto, recomenda-se que projetos de restauração florestal em áreas de nascente priorizem estratégias adaptativas de baixa intervenção, com manejo diferenciado conforme os microambientes, planejamento das reposições para o início do período chuvoso e monitoramento contínuo da regeneração natural. A adoção de técnicas que favoreçam a autossustentabilidade ecológica, como o coroamento, a manutenção da serrapilheira e a seleção criteriosa de espécies com maior plasticidade ecológica, reduz a dependência de sistemas artificiais de irrigação e amplia a resiliência do sistema restaurado frente às variações climáticas, conforme preconizado por Rodrigues e Gandolfi (2007), Durigan e Engel (2012) e Aronson *et al.* (2011).

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que a técnica de enriquecimento florestal por meio do plantio adensado de mudas nativas não foi eficaz para promover a recuperação da área degradada no entorno da nascente da ARIE Mata da Bica, nas condições ambientais e operacionais em que foi aplicado. A taxa global de sobrevivência das mudas, estimada em aproximadamente 18,4%, indica que o método adotado não conseguiu garantir o estabelecimento das espécies plantadas nem desencadear um processo sucessional consistente.

Dessa forma, a hipótese de que o plantio adensado contribuiria de forma efetiva para a recuperação ecológica da área foi rejeitada. A elevada mortalidade observada nas três campanhas de plantio evidencia que fatores como a competição intensa com gramíneas, o regime hídrico irregular, as falhas no manejo pós-plantio e a adequação parcial das espécies selecionadas limitaram significativamente o sucesso da intervenção.

A análise da vegetação remanescente revelou uma comunidade com baixa densidade, dominância de poucas espécies e estágio sucessional inicial, indicando reduzida resiliência ecológica. Esse contexto estrutural mostrou-se desfavorável à aplicação isolada de técnicas de restauração ativa baseadas exclusivamente no plantio de mudas, reforçando que a simples introdução de indivíduos não é suficiente para superar limitações ambientais severas.

Apesar do baixo desempenho do plantio, o estudo gerou informações relevantes para o planejamento de futuras ações de restauração. Os resultados indicam que, em áreas com características semelhantes às da ARIE Mata da Bica, estratégias baseadas na valorização da regeneração natural, associadas ao controle sistemático da vegetação competitiva, à proteção hídrica contínua e ao uso de espécies com maior tolerância ao estresse ambiental, tendem a apresentar maior potencial de sucesso.

Assim, este trabalho contribui ao demonstrar, os limites do enriquecimento florestal por plantio adensado em ambientes degradados, destacando a importância de abordagens adaptativas, integradas e de longo prazo para a recuperação de ecossistemas florestais em unidades de conservação.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AGUILAR, J. M. R. **Diversidade da avifauna da Serra da Guia, Sergipe e Bahia**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/4440>. Acesso em: 23 dez. 2025.
- ALMEIDA, D. S. **9 Modelos de recuperação ambiental**. In: ALMEIDA, D. S. Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3. ed. Ilhéus: Editus, 2016. p. 100–137. Disponível em: <https://books.scielo.org>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDRADE-LIMA, D. **Estudos fitogeográficos de Pernambuco**. Recife: Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco, 1957.
- ANDRADE-LIMA, D. **A flora dos brejos nordestinos**. Boletim Técnico do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Nordeste, Recife, v. 41, p. 1–37, 1970.
- APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1–20, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
- ARAÚJO, T. G.; QUEIROZ, A. B.; LOPES, S. F. Fitossociologia de um brejo de altitude no semiárido brasileiro: variação das espécies dominantes ao longo do gradiente altitudinal. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 779–794, 2019.
- ARONSON, J., *et al.* What role should government regulation play in ecological restoration? Ongoing debate in São Paulo State, Brazil. **Restoration Ecology**, v. 19, p. 690–695, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00815.x>
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 687–694, 1999.
- BARROS, L. S. C.; LEUZINGER, M. D. Planos de manejo: panorama, desafios e perspectivas. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito – UFRGS**, v. 13, n. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/2317-8558.81895>.
- BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. Enxofre, cálcio e magnésio. In: GIANELLO, C. *et al.* **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 135–148.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRANCALION, P. H. S. *et al.* Ecological restoration of tropical forests: principles, practices and challenges. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 6, p. 664–673, 2015. <https://doi.org/10.1111/rec.12215>

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Improving planting quality to restore tropical forests. **Biological Conservation**, v. 203, p. 134–141, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.013>

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 abr. 1999.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRASIL. **Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 ago. 2002.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa nº 14, de 1º de julho de 2024**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 jul. 2024a.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Instrução Normativa nº 11, de 13 de abril de 2014**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 abr. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Florestas e Sustentabilidade. **IFN-RN: principais resultados**. Brasília, DF: MAPA/Secretaria de Florestas e Sustentabilidade, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/florestal/pt-br/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field and laboratory methods for general ecology**. 2. ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1984. 226 p.

CARVALHO, R. G. **Rio Apodi-Mossoró: meio ambiente e planejamento**. Mossoró: Eduern, 2021.

COSTA, A. C. *et al.* Estoque de nutrientes na serrapilheira sob diferentes métodos de restauração em pastagens abandonadas na Amazônia Oriental. **Peer Review**, v. 6, n. 3, p. 109-123, 2024.

COSTA, D. P. *et al.* Revealing Unproductive Areas in the Caatinga Biome: A Remote Sensing Approach to Monitoring Land Degradation in Drylands. **Earth**, v. 6, n. 3, p. 96, 2025. <https://doi.org/10.3390/earth6030096>

CORDEIRO, J. M. P.; SOUZA, B. I.; FELIX, L. P. Florística e fitossociologia em floresta estacional decidual na Paraíba, nordeste do Brasil. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 1, p. 1-16, 2017.

COTARELLI, V. *et al.* Taxonomic diversity of green plants (Viridiplantae) in the Caatinga Phytogeographic Domain: a study supported by environmental licensing. **Biodiversity Data Journal**, v. 13, e159621. <https://doi.org/10.3897/BDJ.13.e159621>

COTTAN, G.; CURTIS, J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, v. 37, n. 3, p. 451-460, 1956. <https://doi.org/10.2307/1930167>

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Portalegre, RN**. In: MASCARENHAS *et al.* (org.). Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DANTAS, A. Análises de Solos: **Coleta de amostras, determinações e interpretação de resultados**. Parnamirim, EMPARN: 2020.

DANTAS, N. B. L.; DIODATO, M. A. **Encraves florestais em Portalegre e Martins, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. 1. ed. Mossoró: Edufersa, 2024. v. 1. 105p.

DURIGAN, G.; ENGEL, V. L. **Restauração de Ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir?** In: Martins, S.V. (org.). Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Editora UFV, Viçosa, p.1-23, 2012.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.91-132.

DIAS, C. R.; UMETSU, F.; BREIER, T. B. Contribuição dos poleiros artificiais na dispersão de sementes e sua aplicação na restauração florestal. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 501–507, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509814590>

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v. 56, n. 1, p. 1-54, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60178-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60178-9)

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. *et al.* (org.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSA, 1994. p. 3–22. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

DUARTE, G. R. B. Potássio nas plantas: importância, funções e sintomas de deficiência. **Aegro Blog**, Porto Alegre, 26 jul. 2019. Disponível em: <<https://aegro.com.br/blog/potassio-nas-plantas/>>. Acesso em: 7 nov. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agência de Informação Tecnológica – Bioma Caatinga: Clima. Temperatura e umidade relativa**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/clima/temperatura-e-umidade-relativa>>. Acesso em: 18 dez. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento. 2013. 230 p.

FERRAZ, E. M. N. *et al.* Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, p.7-15, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041998000100002>

FILHO, G. L. S. **Composição florística e fitossociologia de duas áreas de caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5430>>. Acesso em: 23 out. 2025

GÊ, D. R. F. **Unidades de conservação e expansão de usinas eólicas no Rio Grande do Norte: o caso da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2018. Disponível em: <<https://www.uern.br/controladepaginas/>>. Acesso em: 23 out. 2025

GOIS, L. S. S.; CORRÊA, A. C. B.; MONTEIRO, K. A. Análise Integrada dos Brejos de Altitude do Nordeste do Brasil a partir de Atributos Fisiográficos. **Espaço Aberto**, v. 9, n. 2, p. 77-98, 2019. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2019.28357>

HELLER, H. S. W.; POLLNOW, G. E. **Restauração de Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal na Agricultura Familiar com Sistemas Agroflorestais: uma potencial opção.** Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 - Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - v. 19, n. 1, 2024.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>

HOLL, K. D. **Fundamentos da restauração ecológica.** CopIt ArXives, 2023. Disponível em: <<https://copitarxives.fisica.unam.mx/>>. Acesso em: 21 nov. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás brasileiros.** 2025. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomass-brasileiros.html>>. Acesso em: 16 dez. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações Completas de Portalegre-RN.** 2014. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/portalegre.html>>. Acesso em: 27 abr. 2024.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Relatório técnico: Serra de Portalegre e Brejos de Altitude.** Natal: IDEMA, 2002.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município – Portalegre.** Natal, v. 10, p. 01-22, 2008. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000013907.PDF>>. Acesso em: 27 abr. 2024.

JÚNIOR, L. R. P; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. Composição florística e fitossociologia de um fragmento de caatinga em Monteiro, Paraíba. **Holos**, v. 6, p. 73-87, 2012. <https://doi.org/10.15628/holos.2012.1188>

KARLEN, D. L. *et al.* Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, v. 61, p. 4–10, 1997. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015. <https://doi.org/10.3390/su7055875>.

LEÓN-PELÁEZ, J. D.; CAICEDO-RUIZ, W.; CASTELLANOS-BARLIZA, J. Reactivation of nutrient cycling in an urban tropical dry forest for restoration of degraded lands. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 92, n. 3, 2021. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.11.068>

LIMA, M. M.; SANTOS, L. A.; MOURA, F. B. P.; NOGUEIRA, E. M. S. Sobrevivência inicial de seis espécies usadas na recuperação de uma área degradada na Caatinga. **Revista Ouricuri**, v. 5, n. 2, p. 132-137, 2015. <https://doi.org/10.59360/ouricuri.vol5.i2.a1489>

MACEDO, R. *et al.* Efeitos da degradação nos atributos de solos sob caatinga no semiárido brasileiro. **Revista Árvore**, v. 47, e4702, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-9088202300000002>

MACHADO, W. J. **Composição florística e estrutura da vegetação em área de Caatinga e Brejo de altitude na Serra da Guia, Poço Redondo, Sergipe, Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 2011. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/handle/riufs/4481>>. 10 nov. 2025.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1988. 179 p.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2023** – Coleção 9. São Paulo: MapBiomias, 2024. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/>>. Acesso em: 24 nov. 2025.

MAPBIOMAS. **Pouco mais da metade da Caatinga mantém vegetação nativa, aponta novo factsheet do MapBiomias**. 2025. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/2025/07/01/>>. Acesso em: 24 nov. 2025.

MARTINS F. R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. 2ª ed. Campinas: Ed. UNICAMP, 1991. 246 p.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Sucessão ecológica e restauração florestal. **Biodiversidade Brasileira**, v. 9, p. 25-46, 2019.

MEDEIROS, J. F.; CESTARO, L. A. As diferentes abordagens utilizadas para definir Brejos de Altitude, áreas de exceção do Nordeste brasileiro. **Sociedade e Território**, v. 31, n. 2, p. 97-119, 2019.

MEDEIROS, J. L. B. **Avaliação de técnicas de restauração de áreas degradadas em prática no semiárido potiguar**. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2014. Disponível em: <<https://www.uern.br/controledepaginas/>>. Acesso em: 01 nov. 2025.

MEDEIROS, S. R. M. *et al.* Uso público da Área de Relevante Interesse Ecológico Mata da Bica/Portalegre (RN): potencialidades e limitações. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 11, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2018.v11.6673>

MIN. Ministério da Integração Nacional. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Disponível em: < <https://web.archive.org/web/20100326182339/>>. Acesso em: 25 out. 2025.

MONTANEZ-S., A.; AVELLA-M., A.; LOPEZ-CAMACHO, R. Litterfall and nutrient transfer dynamics in a successional gradient of tropical dry forest in Colombia. **Revista de Biologia Tropical**, v. 71, n. 1, e52278, 2023. <https://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.52278>

MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547 p.

OLIVEIRA, R. E. **O estado da arte da ecologia da restauração e sua relação com a restauração de ecossistemas florestais no bioma Mata Atlântica**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/106664>>. Acesso em: 07 nov. 2025

OLIVEIRA, C. D. L.; SILVA, A. P. A.; MOURA, P. A. G. Distribuição e Importância das Unidades de Conservação no Domínio Caatinga. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p.425-429, 2019. https://doi.org/10.11137/2019_1_425_429

OLIVEIRA, I. P.; CRUZ, M. L. B.; SOUSA, L. O. F. Riqueza e diversidade da caatinga em área de transição entre sertões semiáridos e brejos de altitude no Ceará. **Revista GeoNordeste**, n. 1, p. 27-43, 2021. <https://doi.org/10.33360/10.33360/RGN.2318-2695.2021.i1.p.27-43>

OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A. J. Evolução do uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental nos núcleos de desertificação do bioma Caatinga. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 74, p. 910-938, 2023. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n74p910>

PEREIRA, F. C. *et al.* Comparação dos métodos de parcelas e pontos-quadrantes para descrever uma comunidade lenhosa de Cerrado Típico. **Biotemas**, v. 28, n. 2, p. 61-72, 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n2p61>

PEREIRA, I. M. *et al.* Composição florística e análise fitossociológica do componente arbustivo-arbóreo de um remanescente florestal no agreste paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, p. 357-369, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000300009>

PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 389-399, 2013. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr99/cap10.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2025.

PIRES, A. S.; FERNANDEZ, F. A. S.; BARROS, C. S. Vivendo em um mundo em pedaços: Efeitos da fragmentação florestal sobre comunidades e populações animais. In: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S. (org.). **Biologia da Conservação: Essências**. São Carlos: RiMa, p231-260, 2006.

POTES, M. L. *et al.* Matéria orgânica em Neossolos de altitude: influência da queima da pastagem e do tipo de vegetação na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 23-32, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100003>

QUEIROZ, L. P. *et al.* Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, p. 43–67, 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022829>

REIS A.; BECHARA, F. C.; ESPÍNDOLA M. B.; VIEIRA, N. K. Restauração de Áreas Degradadas: A Nucleação como base para os processos sucessionais. **Revista Natureza & Conservação**, v. 1, n. 1. 2003. Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao>>. Acesso em: 27 nov. 2025.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico – ecossistema Caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 2005.

RODRIGUES, B. D.; MARTINS, S. V.; LEITE, H. G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, v. 34, p. 65-73, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000100008>

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas tropicais**. São Paulo: EDUSP, 2007.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1605–1613, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.005>

SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* Vegetation types of the Caatinga. In: SILVA, J. M. C., LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (org.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America** (Ecological Studies, 222), Springer, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>

SER. Society for Ecological Restoration International. **International Principles & Standards for the Practice of Ecological Restoration**. Disponível em: <<https://www.ser.org/page/serstandards/>>. Acesso em: 07 nov. 2025.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer, 2020.

SILVA, L. B.; DICK, D. P.; INDA JUNIOR, A. V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1167-1171, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400044>

SILVA, N. R. S.; MARTINS, S. V.; MEIRA NETO, J. A. A.; SOUZA, A. L. D. Composição florística e estrutura de uma floresta estacional semidecidual montana em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p.397-405, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000300011>

SILVEIRA, I. M. M.; CARVALHO, R. G. Microclima e conforto térmico na área da Mata da Bica, no município de Portalegre / RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 62-78, 2016. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160004>

SILVEIRA, L. P. *et al.* Poleiros artificiais e enleiramento de galhada na restauração de área degradada no semiárido da Paraíba, Brasil. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 3, p. 165-170, 2015. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n03a03>

SOUZA, M. R. *et al.* Caracterização florística e fitossociológica do componente lenhoso de um fragmento florestal de Caatinga em Serra do Mel, Rio Grande do Norte, Brasil. **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 329-335, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.9136>

SOUZA, S. D. G.; SOUZA, A. C. N.; SOUSA, M. L. M. Diretrizes para gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista científica evoluir**, v. 1, n. 1, p. 33-47, 2024. Disponível em: <<https://zenodo.org/records/14555262>>. Acesso em: 28 dez. 2025.

TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. In: PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (org.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba**. Brasília: MMA, 2004. p. 17–24.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. [S. l.]: Embrapa, 2017.

UFRJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Museu Nacional – Horto botânico. **Eugenia candolleana**. Disponível em: <<https://www.museunacional.ufrj.br/hortobotanico/>>. Acesso em: 03 dez. 2025

VITAL, A. R. T. *et al.* Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, p. 793-800, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000600004>