

**DORIS BIANCA CRISPIN DE LA CRUZ**

**IDADE RELATIVA E TEMPO DE PASSAGEM PARA *Cenostigma bracteosum* (TUL.)  
E. Gagnon & G. P. Lewis NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

**RECIFE - PE  
2024**

**DORIS BIANCA CRISPIN DE LA CRUZ**

**IDADE RELATIVA E TEMPO DE PASSAGEM PARA *Cenostigma bracteosum* (TUL.)  
E. GAGNON & G. P. LEWIS NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, Linha de Pesquisa: Manejo Florestal e Utilização de Produtos Florestais

**Orientador:** Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

**Coorientadores:** Prof. Dr. Jose Antônio Aleixo da Silva  
Prof. Dr. Fernando Henrique de Lima Gadelha

**RECIFE  
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

C932i Crispin De la cruz, Doris Bianca.  
Idade relativa e tempo de passagem para *Cenostigma Bracteosum (TUL)* e Gagnon & G. P. Lewis no semiárido de Pernambuco / Doris Bianca Crispin De la Cruz. – Recife, 2024.  
73 f.: il.

Orientador(a): Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.  
Co-orientador: Jose Antônio Aleixo da Silva, Fernando Henrique de Lima Gadelha  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2024.  
Inclui referências.

1. Catingueira 2. Crescimento 3. Incremento 4. Manejo florestal I. Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, orient. II. Silva, José Aleixo Antônio da, coorient. III. Gadelha, Fernando Henrique de Lima, coorient. IV. Título

CDD 634.9

## DEDICATÓRIA

A Deus,  
Ao meu filho, Aarón Emanuel.  
Aos meus pais, Jaime e Isabel.  
Ao Prof. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, por sua sublime dedicação ao mundo acadêmico.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho, pela coragem, sabedoria e força para chegar até aqui.

À UFRPE e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), pelo ensino e condições de trabalho;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela bolsa concedida durante esses dois anos;

Ao meu orientador, Professor Ph.D. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, pelo apoio científico, incentivo, contribuição e condução deste trabalho ao longo deste percurso. Este trabalho não teria sido possível sem a ajuda dele;

Aos meus Coorientadores, Professor Ph.D. José Antônio Aleixo da Silva e Fernando Henrique de Lima Gadelha, pelas sugestões ao trabalho;

Aos membros da banca, os professores: Dr. Emanuel Silva e Dr. Robson Borges de Lima, pelas contribuições e sugestões.

Aos professores do PPGCF, pelos conhecimentos compartilhados e convívio ao longo desse tempo, e à secretária Juliana Ferreira, por sua amizade, empatia e paciência;

À equipe do Laboratório de Manejo de Floresta Natural “José Serafim Feitosa Ferraz”, em especial aos amigos: Alex Nascimento, Beatriz Ferreira, Anderson Silva (Mago), Ricardo Lima, Tatiana, Géssyca Sena, Jhonatan Gomes, que, ao ritmo da roleta da aleatoriedade, apareceram em minha vida, tornando-se um refúgio para uma nova mãe estrangeira.

Agradeço, em geral, a todos os meus colegas pós-graduados do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE: meu compatriota Duberli, Débora, Nélio, Paulo, Mauricio, Daiza, Rodrigo, Jailson, Amanda, Érika, Lorena, por toda ajuda nessa longa jornada e por me ajudar e brincar com Aarón. Da mesma maneira, agradeço a todo o pessoal da UFRPE, obrigada aos motoristas do ônibus circular UFRPE, aos trabalhadores do restaurante universitário, em especial ao senhor Augusto, muito obrigada pelo atendimento, ao pessoal da portaria, em especial a Angélica;

No canto mais íntimo de meus afetos, agradeço a minha família: meu filho Aarón Emanuel, obrigada por me dar um tempinho para fazer minhas coisas, minha mãe Isabel De La Cruz, que, com um nó na garganta, não hesitou em entrar no avião comigo, eu te amo eternamente; a meu pai Jaime Crispin, obrigado por me entender, apoiar-me e ter orgulho de mim. Meus irmãos: Inocencio, Richard, Aydeé, Eder, Maria de Los Angeles, Jessica e Yoger, muito obrigada, espero lhes retribuir tudo o que vocês fizeram por mim;

Agradeço também aos amigos: Fernanda Galvão, Karen Suárez (a Colombiana), Fernanda Silva, Swami, Eloiza, Silmara, por me receberem como irmã, muito obrigada por tudo;

Meus agradecimentos são inextinguíveis, gratidão Brasil; e

Não esqueço dos meus amigos que, ainda longe, ajudaram-me emocionalmente: Diana Candiotti, Jean Pierre, Liset, Krisiris, Anthony, Osir, Fressia, Ernesto Chanes, e a Gaby Inga, agradeço por toda ajuda. Em especial, a meu amigão dendrocronólogo Edilson Requena Rojas, muito obrigada!

CRISPIN-DE LA CRUZ, DORIS BIANCA, **Idade relativa e tempo de passagem para *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis no semiárido de Pernambuco. 2023.** Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Coorientadores: Prof. Dr. Jose Antônio Aleixo da Silva e Prof. Dr. Fernando Henrique de Lima Gadelha.

## RESUMO

Objetiva-se determinar a idade relativa e o tempo de passagem para *Cenostigma bracteosum*, testadas nas amplitudes de 2 e 3 cm. O estudo foi realizado na fazenda Itapemirim, município de Floresta-PE. Foi utilizada uma base de dados de 1190 árvores de *C. bracteosum* (C a 1,30 m do solo  $\geq 6$  cm), com mensurações de D e H, para um período de 2011 até 2022, provenientes de 80 parcelas permanentes. Por um lado, calcularam-se os incrementos ICA e IPA em diâmetro ( $\text{cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) por classes diamétricas, e, por outro lado, o ICA e IPA em biomassa ( $\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), utilizando a equação proposta por Dalla-Lana *et al.* (2018). *C. bracteosum* apresentou um IPA médio em diâmetro de  $0,163 \pm 0,03 \text{ cm}\cdot\text{ano}^{-1}$  e o ICA médio foi de  $0,190 \pm 0,103 \text{ cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ , já o IPA médio em biomassa foi de  $0,573 \pm 0,067 \text{ kg}\cdot\text{ano}^{-1}$  e o ICA médio foi de  $0,666 \pm 0,28 \text{ kg}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Encontraram-se diferenças nos incrementos em dois períodos de análises: 2012-2016 e 2017-2022, onde baixas taxas de IPA e ICA foram encontradas para o primeiro período, em contraste, no segundo, os incrementos foram maiores, essas diferenças coincidem com período de seca prolongada no Nordeste brasileiro de 2010 até 2016 (Marengo *et al.*, 2018). Para ajustar a curva do IPA em diâmetro, ajustaram-se seis modelos: Linear, Schumacher-Hall (1933) e quatro não-lineares; os critérios de seleção da melhor equação foram: maior coeficiente de correlação (R), maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), menor erro padrão residual ( $S_{xy}$ ), menor critério de informação de Akaike (AIC) e análise gráfica de resíduos. O melhor modelo foi o Schumacher-Hall (1933) ( $R=0,546$ ,  $R^2 = 0,794$ , erro padrão = 0,0878). Em base ao IPA em diâmetro (ajustado) e em biomassa, o tempo de passagem para que os indivíduos alcancem o estoque de regeneração ( $D > 1,9\text{cm}$ ) foi maior a 20 anos. A Idade relativa inferida com o IPA em diâmetro e biomassa foi de 78 anos e 41 anos, respectivamente. Assim, sugere-se como ideal de corte de árvores de *C. bracteosum* com D entre 20 e 25 cm, em razão de: as dimensões são adequadas para seu uso, melhor crescimento obtido (maior IPA), menor tempo de passagem entre classes diamétricas, neste sentido, deve-se considerar um ciclo de corte  $> 40$  anos.

**Palavras-chave:** Catingueira; crescimento; incremento; manejo florestal

CRISPIN-DE LA CRUZ, DORIS BIANCA, **Relative age and passage time for *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis in the semi-arid region of Pernambuco. 2023.** Advisor: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Co-advisors: Prof. Dr. Jose Antônio Aleixo da Silva e Prof. Dr. Fernando Henrique de Lima Gadelha.

### ABSTRACT

The aim was to determine the relative age and passage time for *Cenostigma bracteosum*, tested at 2 and 3 cm intervals. The study was carried out on the Itapemirim farm, in the municipality of Floresta-PE. A database of 1190 *C. bracteosum* trees (C at 1.30m from the ground  $\geq 6$  cm) with D and H measurements for a period from 2011 to 2022, from 80 permanent plots, was used. On the one hand, the ICA and IPA increments in diameter ( $\text{cm year}^{-1}$ ) by diametric classes were calculated, and on the other hand, the ICA and IPA in biomass ( $\text{kg year}^{-1}$ ) using the equation proposed by Dalla-Lana *et al.* (2018). *C. bracteosum* showed an average IPA in diameter of  $0.163 \pm 0.03 \text{ cm year}^{-1}$  and the average ICA was  $0.190 \pm 0.103 \text{ cm year}^{-1}$ , and the average IPA in biomass was  $0.573 \pm 0.067 \text{ kg year}^{-1}$ , and the average ICA was  $0.666 \pm 0.28 \text{ kg year}^{-1}$ . Differences were found in the increases in two periods of analysis: 2012-2016 and 2017-2022, where low rates of IPA and ICA were found for the first period, in contrast, in the second the increases were greater, these differences coinciding with the period of prolonged drought in northeastern Brazil from 2010 to 2016 (Marengo *et al.*, 2018). To adjust the IPA curve in diameter, six models were adjusted: Linear, Schumacher-Hall (1933), and four non-linear; the criteria for selecting the best equation were: highest coefficient of correlation (R), highest coefficient of determination ( $R^2$ ), lowest residual standard error ( $S_{xy}$ ), lowest Akaike's information criterion and graphical analysis of residuals. The best model was Schumacher-Hall (1933) ( $R=0.546$ ,  $R^2 = 0.794$ ,  $S_{xy} = 0.0878$ ). Based on the IPA in diameter (adjusted) and biomass, the passage time for individuals to reach the regeneration stock ( $D > 1.9\text{cm}$ ) was greater than 20 years. The relative ages inferred from the IPA in diameter and biomass were 78 years and 41 years, respectively. We therefore suggest that *C. bracteosum* trees with a D between 20 and 25 cm should be cut ideally, because: the dimensions are suitable for their use, the best growth obtained (highest IPA), the shortest passage time between diametric classes, in this sense a cutting cycle  $> 40$  years should be considered.

**Key words:** Catingueira; growth; increment; forest management



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Florestas Tropicais Secas .....	14
3.1.2 O Domínio fitogeográfico ‘Caatinga’ .....	14
3.2. <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis .....	16
3.3. Crescimento das árvores .....	17
3.3.1 Fases do crescimento .....	18
3.3.2 Crescimento em diâmetro e altura.....	19
3.3.3 Crescimento em biomassa .....	20
3.3.4 Componentes do crescimento florestal.....	21
3.3.5 Incremento.....	22
3.4 Idade em povoamentos florestais .....	23
3.4.1 Métodos para estimar idades em florestas naturais .....	23
a) Métodos diretos.....	23
b) Métodos indiretos .....	24
• Modelos de crescimento.....	24
• Tempo de passagem.....	25
• Critérios para o Método de Tempo de Passagem .....	27
3.5 Parcelas Permanentes de amostragem (PPM).....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.1 Caracterização da área de estudo .....	30
4.2 Amostragem e Coleta de Dados .....	33
4.3 Estimação do Incremento em diâmetro de <i>C. bracteosum</i> .....	35
4.3.1 Relação entre o diâmetro e o incremento periódico anual em diâmetro .....	35
4.4 Estimação do Incremento em biomassa de <i>Cenostigma bracteosum</i> .....	37
4.5 Obtenção do tempo de passagem .....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1 Análises descritivos dos dados gerais.....	39
5.2 Estrutura das florestas estudadas .....	42
5.3 Incremento ao longo dos anos .....	45
5.4 Incremento em Diâmetro .....	48
5.6 Incremento em biomassa.....	54
5.7 Tempo de passagem e Idade Relativa .....	56
6. CONCLUSÕES.....	64
7. REFERÊNCIAS.....	65

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva de crescimento para uma árvore hipotética. Adaptado de XU <i>et al.</i> (2016). 18	
<b>Figura 2.</b> Mapa de localização geográfica da Área de estudo, e da distribuição das duas unidades amostrais: Correntão (A) e Transposição (B), Floresta-PE. .... 30	
<b>Figura 3.</b> Climograma ombrotermico de Walter e Light (A) e, variabilidade da Precipitação (mm) e Temperatura (°C) no período 2011 até 2022 (B), Poço da Cruz, PE..... 32	
<b>Figura 4.</b> Imagem das áreas de estudo: Transposição (A) e Correntão (B), Floresta, PE..... 33	
<b>Figura 5.</b> Fluxograma da metodologia de preparação de dados e cálculos dos incrementos o incremento em diâmetro..... 34	
<b>Figura 6.</b> Fluxograma da metodologia aplicada para o cálculo do tempo de passagem (TP) e a Idade relativa (IR). .... 38	
<b>Figura 7.</b> Distribuição diamétrica da comunidade de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis conforme ano e amplitude de classe (A – 2 cm; B – 3 cm), Floresta-PE. .... 43	
<b>Figura 8.</b> Incremento Periódico anual (IPA) e Incremento corrente anual (ICA) em diâmetro (A) e biomassa (B) de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis no período 2011 até 2022, Floresta-PE. .... 46	
<b>Figura 9.</b> Curva do incremento periódico anual (IPA) e corrente anual (ICA) em diâmetro por por classe diamétrica para o intervalo de 2 (A) e 3 (B) cm, das árvores de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis avaliada no período 2011 e 2022, Floresta-PE. 49	
<b>Figura 10.</b> Histograma de resíduos dos 13090 dados de incremento periódico anual (IPA) para os indivíduos de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, Floresta-PE. .... 51	
<b>Figura 11.</b> Análise dos valores preditos <i>versus</i> observados de incremento periódico anual em diâmetro (cm.ano <sup>-1</sup> ) pelas seis equações para os indivíduos de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, Floresta-PE..... 52	
<b>Figura 12.</b> Curva do IPA em diâmetro observado e ajustado com as seis equações testadas das árvores com $D \geq 1.9$ cm por classe diamétrica para o intervalo de 2 (A) e 3 (B) cm, das árvores de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis avaliada no período 2011 e 2022, Floresta-PE. .... 53	
<b>Figura 13.</b> Curva do dos incrementos periódico médio anual (IPA) e corrente anual (ICA) em biomassa das árvores com $D \geq 1.9$ cm por classe diamétrica para o intervalo de 2 (A) e 3 (B) cm, das arvores de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, avaliada no período 2011 até 2022, Floresta-PE..... 55	
<b>Figura 14.</b> Curva do Tempo de Passagem e Idade Relativa calculada com o IPA em diâmetro (cm.ano <sup>-1</sup> ) de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, por classes diamétricas com intervalo de 2 (A) e 3 (B) cm de 2011 até 2022, Floresta-PE..... 57	
<b>Figura 15.</b> Curva do tempo de passagem e idade relativa calculado por meio do IPA em biomassa (kg.ano <sup>-1</sup> ) de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis por classes diamétricas com intervalo de 2 (A) e 3 (B) cm de 2011 até 2022, Floresta-PE..... 58	

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos estatísticos utilizados para estimativas do incremento periódico médio anual em diâmetro-IPA, Floresta-PE. ....	35
Tabela 2. Descrição geral dos dados analisados dos indivíduos de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, Floresta-PE.....	39
Tabela 3. Estatísticas descritivas para a variável diâmetro “equivalente” a 1,30 m solo (De, cm) dos indivíduos de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, conforme ano e área estudada, Floresta-PE. ....	40
Tabela 4. Estatísticas descritivas para a variável altura (H, m) de indivíduos de <i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, conforme ano e área estudada, Floresta-PE. ...	41
Tabela 5. Estimativas dos parâmetros ( $\beta_n$ ) para os modelos ajustados, com respectivos coeficientes de correlação (R), Coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ), erro padrão da média (S <sub>xy</sub> ) e Critério de Akaike (AIC), Floresta-PE.....	50

## **LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
C	Circunferência a 1,30m do solo
D	Diâmetro a 1,30 m do solo
$D_p$	Diâmetro ao final do determinado período
$D_i$	Diâmetro inicial
De	Diâmetro equivalente
DMC	Diâmetro mínimo de corte
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FTSS	Floresta tropical sazonalmente seca
ICA	Incremento corrente anual
IFC	Inventário Florestal Contínuo
IMA	Incremento médio anual
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Incremento periódico anual
IUCN	International Union for Conservation of Nature
IP	Incremento periódico
IR	Idade relativa
P	Período
TP	Tempo de passagem
UC	Unidades de Conservação

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) são pontos críticos (*hotspots*) para a biodiversidade e importantes na regulação dos ciclos biogeoquímicos globais (carbono, nitrogênio, oxigênio, água, entre outros). Assim, as áreas de FTSS desempenham um papel importante, por exemplo, no Nordeste do Brasil, onde a vegetação da Caatinga contribui significativamente para o ciclo global do carbono e nitrogênio, por meio da biomassa acima do solo (Althoff *et al.*, 2018). Devido ao aquecimento global e às secas mais frequentes e severas, além das atividades antropogênicas, o futuro dessas florestas está em perigo, o que ameaça seu papel na manutenção da biodiversidade, no armazenamento de carbono e na mitigação das alterações climáticas (Bonan, 2008). Neste sentido, a gestão sustentável dos recursos florestais tropicais é um desafio global que requer uma abordagem científica rigorosa, para garantir que seus recursos sejam utilizados de forma equitativa e ecologicamente sustentável.

Estimar a produção florestal explorável nessas florestas é uma tarefa difícil, ao contrário das florestas plantadas, onde a idade das árvores é, muitas vezes, um indicador da época da colheita. Assim, em florestas naturais, para a estimação da produção florestal a ser colhida, deve-se definir um ciclo de corte, fundamentado na associação de dados sobre a estrutura e o ritmo de crescimento da floresta e das espécies-objeto de manejo, ou seja, a quantidade de produtos que possam ser obtidos, mas, muitas vezes, por falta de dados fidedignos, termina sendo definida arbitrariamente (Putz; Dykstra; Heinrich, 2000).

A definição de ciclo de corte na Caatinga, na realidade, também não é diferente, uma vez que, legalmente, é definido um intervalo mínimo permitido entre cortes, que depende de instruções normativas estaduais. Em Pernambuco, a Instrução Normativa 007/2006 (CPRH, 2006) estabelece um ciclo de corte mínimo de 15 anos, que pode ser menor, caso a regeneração natural da vegetação seja comprovada cientificamente. Assim, são impostas simplificações, muitas vezes, sem amparo técnico-científico, esquecendo-se que os intervalos de cortes devem estar vinculados, no mínimo, à estrutura das classes diamétricas, à disponibilidade das espécies que o compõem e suas taxas de crescimento (Coronel de Renolfi, 2015).

Uma das alternativas para avaliar a idade relativa de uma espécie ou florestas naturais é atribuir uma idade hipotética, a partir de dados de crescimento periódico e do número das árvores por classe diamétrica obtidos em inventários florestais. Com base nestes dados, pode-se obter uma escala de tempos correlacionada com a estrutura diamétrica, de forma a atribuir

uma idade relativa a cada classe diamétrica utilizando o método do Tempo de Passagem. Esta metodologia já foi utilizada em diversos trabalhos, por exemplo: Andrade *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2017), mas sem relatos para espécies de caatinga, refletindo de forma negativa para a sua conservação.

A *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis (catingueira), espécie endêmica do Brasil, é potencial fornecedora de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, atendendo à demanda por fonte energética, seja como lenha ou carvão, e desempenha um papel ecológico crucial e é de grande relevância para as comunidades locais. No estabelecimento de planos de manejo sustentável na Caatinga, a sua presença sempre será destacada e, sem dúvida, será uma das espécies-objeto de manejo, para garantir o respeito dos ciclos naturais da espécie e a continuidade dos benefícios a longo prazo. O conhecimento da idade relativa e do tempo de passagem do *C. bracteosum* é crucial para entender sua dinâmica populacional e contribuir para seu manejo sustentável (Ferraz *et al.*, 2012; Sá Filho, 2022).

Este estudo objetiva preencher a lacuna de conhecimento das idades, concentrando-se na estimativa da idade relativa, a partir do método do tempo de passagem de indivíduos de *Cenostigma bracteosum* presentes em uma área de floresta seca no semiárido de Pernambuco, como subsídio para a indicação de ciclo de corte para fins de manejo sustentável. Os objetivos específicos são: 1) Testar modelos para estimar o incremento periódico médio anual em diâmetro por classe diamétrica; 2) Estimar o tempo de passagem de indivíduos *Cenostigma bracteosum*, a partir do incremento periódico médio anual em diâmetro e em biomassa por classe diamétrica; e 3) Estimar a idade relativa de indivíduos de *Cenostigma bracteosum*, a partir do incremento periódico médio anual em diâmetro e em biomassa por classe diamétrica.

A pergunta que guiou esta pesquisa foi: Qual é a idade relativa dos indivíduos de *C. bracteosum* presentes em uma área de floresta seca no semiárido de Pernambuco, e como essa informação pode subsidiar a definição de um ciclo de corte adequado para fins de manejo sustentável? Considerando a importância da *C. bracteosum* (catingueira) como uma espécie endêmica do Brasil e sua relevância para as comunidades locais, considerou-se a hipótese de que a aplicação do método do tempo de passagem permitirá uma estimativa confiável da idade relativa dos indivíduos de *C. bracteosum*.

Ao fornecer uma compreensão mais profunda das fases de crescimento e desenvolvimento da espécie, espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam como um sólido subsídio para a definição de um ciclo de corte adequado para *C. bracteosum*. Esta abordagem não apenas otimizará a produção de recursos, mas também promoverá a resiliência e a regeneração do ecossistema em consonância com os princípios do manejo sustentável.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Florestas Tropicais Secas

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) são encontradas em regiões tropicais ou subtropicais, caracterizadas por uma pluviosidade sazonal acentuada (3 a 6 meses ao ano) de 500 mm a 1800 mm anuais, resultando em vários meses de seca, com temperatura média anual superior a 17°C (áreas livres de geadas) (Andrade *et al.*, 2020), e onde a relação de evapotranspiração excede a umidade. A falta de água durante determinados períodos pode limitar a capacidade das plantas de fazer fotossíntese e obter os nutrientes necessários para o crescimento (Da Silva *et al.*, 2013), por isso, as florestas secas geralmente têm crescimento mais lento, quando comparadas às ombrófilas. Logo, as florestas que se desenvolvem sob essas condições climáticas compartilham uma estrutura e fisionomia bastante semelhantes (Miles *et al.*, 2006), por exemplo, são altamente sensíveis ao estresse hídrico durante o processo de sucessão.

As maiores extensões das FTSS estão na África, seguida da América, principalmente a do Sul (22%) (Miles *et al.*, 2006). No Brasil, essas florestas ocupam aproximadamente 17% do território nacional e se encontram, principalmente, nos domínios fitogeográficos Cerrado e Caatinga, nas regiões Nordeste, incluindo parte do nordeste de Minas Gerais, e Centro-Oeste (IBGE, 2012).

##### 3.1.2 O Domínio fitogeográfico ‘Caatinga’

Caatinga é o termo atribuído ao tipo de vegetação característica da FTSS da região Nordeste do Brasil. Esta denominação vem etimologicamente do tupi-guarani, KAA = mata e TINGA= branca, significando mata aberta e branca (Alves, 2007), e é usada para designar áreas com vegetação do tipo xerófila. Esse ecossistema é considerado como a principal ecorregião tropical Semiárida da América do Sul (Moro *et al.*, 2016; Andrade, 2017). Possui extensas superfícies planas, que podem chegar a 500 m de altitude. Sua extensão longitudinal abrange, aproximadamente, desde os ~35°O aos ~45°O, e sua extensão latitudinal, desde os ~2° 45'S aos ~17° 21'S. Isto abrange uma área significativa do interior nordestino do Brasil, atravessando vários estados, como: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Piauí, Bahia e de Minas Gerais (Andrade, 2017). A Caatinga tem área aproximada de 912.529 km<sup>2</sup>, correspondendo a 11% do território brasileiro e é considerada a região Semiárida mais populosa do mundo (Andrade *et al.*, 2020), com uma população de 27

milhões de habitantes, sendo a maioria carente e dependente dos recursos dela para sobreviver (MMA, 2023). Este fato evidencia as ações antrópicas sobre a Caatinga.

Na Caatinga, o clima se caracteriza por: temperaturas médias anuais elevadas (entre 23°C e 27°C), altas taxas de insolação, elevada evapotranspiração, baixa umidade relativa do ar, precipitação estacional e reduzida (250 mm a 750 mm por ano) (Zanella, 2014). O solo da região de Caatinga se caracteriza como mineralmente rico, pedregoso e pouco profundo, e com fraca capacidade de retenção de água (Andrade, 2017). Assim, a disponibilidade hídrica constitui o fator mais limitante para a atividade celular e crescimento de plantas neste tipo de floresta tropical seca (Worbes, 2014).

A cobertura vegetal é representada por formações xerófilas e caducifólias de tipo arbórea, arbustivo e herbáceas, plenamente adaptadas às condições extremas próprias da Caatinga: plantas com pequena quantidade de folhas, galhos tortuosos, troncos retorcidos e muito resistentes, grande quantidade de espinhos, raízes profundas, entre outras (Pennington *et al.*, 2009). A vegetação é do tipo decídua (resposta fisiológica para minimizar a transpiração) e o grau da perda das folhas aumenta conforme o déficit de precipitação (IBGE, 2012). As famílias botânicas que predominam são as *Fabaceae*, *Euphorbiaceae* e *Anacardiaceae* (Andrade *et al.*, 2020). Alguns exemplos de espécies da família *Fabaceae* são as Catingueiras (*Cenostigma* spp.), as Juremas (*Mimosa* spp) e o Mororó (*Bauhinia* spp).

Em florestas naturais, as características mais sobressalientes são a multiplicidade de espécies arbóreas, diversidade de idades, diferentes taxas de crescimentos e produção, em contraste com as florestas plantadas. A floresta estudada da caatinga é um tipo de floresta natural, irregular ou inequiânea (Lima, 2014), apresenta as seguintes espécies arbustivo-arbóreas: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyriformis*, *Bauhinia cheilantha*, *Cnidocolus quercifolius*, *Croton heliotropiifolius*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa tenuiflora* e, principalmente, *Cenostigma bracteosum*, (Costa-Júnior, 2021), que é a espécie de maior densidade relativa, dominância e frequência (Ferraz *et al.*, 2014). Seguindo as recomendações do Departamento Florestal da Universidade de Queensland, para utilizar o método de TP, primeiro, deve-se classificar as espécies em grupos (Araújo-Alejandro, 1993). Nesse sentido, neste estudo, calcularam-se o TP e a IR só para a *C. bracteosum*.

É bem conhecido que muitas áreas de Caatinga estão enfrentando uma pressão antrópica constante, por exemplo, a pastagem de animais (caprinos, ovinos e bovinos), que são criados livremente, além disso, algumas áreas são desmatadas para estimular o crescimento de vegetação herbácea aceitável, da qual os animais se alimentam. Tais áreas sofrem impactos da agricultura, em que a queimada está associada ao uso de solo, dos efeitos diretos da extração de



madeira para produção de carvão vegetal, bem como as atividades relativas à expansão urbana. Apesar disso, a Caatinga é a menos protegida, em relação às outras vegetações brasileiras, com cerca de 2% do território resguardado como Unidade de Conservação Integral (MMA, 2023).

### 3.2. *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis

*Cenostigma* Tul. (do grego, *ceno* = vazio, e *estigma*, referindo-se ao estigma crateriforme), é um gênero da Fabaceae, constituído de arbustos e árvores de folha caduca do Brasil. Uma das espécies mais conhecidas é a *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G.P.Lewis. Cujas sinonímias são: *Caesalpinia bracteosa* Tul; *Caesalpinia bracteosa* f. *desertorum* (Mart. ex G.Don) Tul; *Caesalpinia desertorum* Mart. *Caesalpinia desertorum* Mart. ex G.Don; e *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P.Queiroz (Gomes-Copeland, 2015; GBIF, 2023), conhecida popularmente como Catingueira e Pau de Rato.

*C. bracteosum* é uma espécie arbustiva-arbórea, tolerante à seca que domina o dossel superior na floresta Semiárida do Brasil (Caatinga) (REFLORA, 2023), atingindo cerca de 10 metros de altura. Essa espécie tem desenvolvido algumas adaptações que permitem sua sobrevivência ao clima semiárido: durante a estação seca (maior parte do ano) perde suas folhas, mas, no curto período de chuvas, as folhas e as flores são produzidas rapidamente, apresentando, normalmente, vários fustes, que pode ser uma estratégia de sobrevivência (Ferraz, 2011; Santos, 2021);

A espécie apresenta tronco de cor cinza, ramos inermes, folhas compostas bipinadas, flores amarelas com uma pétala central, que exibe pontuações avermelhadas. O fruto é um legume seco deiscente, glabro, de cor marrom escura, polispérmico, com sementes ovaladas, comprimidas lateralmente (Maia-Silva *et al.*, 2012; Sá Filho, 2022). Segundo *Botanic Gardens Conservation International* (BGCI) e *IUCN SSC Global Tree Specialist Group* (2019), embora a espécie não esteja incluída na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas, por sua ampla distribuição, ela está sob contínua ação antrópica.

*C. bracteosum* é uma das espécies bastante explorada como forragem (alimentação de animais domésticos), construções rurais (cerca de faxina, mourão/estaca de cerca e nos telhados), tecnologia (cabos de ferramentas, artesanato, móveis), energético (lenha e carvão), terapêutica e medicinal (tratamento de tosse, bronquite, infecção respiratória, asma, gastrite, cólica, febre, azia, diarreia, diabetes, dor, entre outros) (Ferraz *et al.*, 2012; Sá Filho, 2022).

No Sertão de Itaparica, mais precisamente em Pernambuco, essa espécie foi identificada como dominante (Melo *et al.*, 2019; Barreto *et al.*, 2021; Costa-Júnior *et al.*, 2022), logo, ela é

potencial fornecedora de produtos florestais madeireiros e não madeireiros nessa região. Logo, no estabelecimento de planos de manejo sustentável, nesse local, a sua presença sempre será destacada e, sem dúvida, será uma das espécies-objeto de manejo. Assim, há a necessidade de informações de sua dinâmica, tais como idade relativa e tempo de passagem, para subsidiar estes planos de manejo sustentável neste tipo de floresta natural.

### **3.3. Crescimento das árvores**

O crescimento de um organismo, seja do ponto de vista bioquímico, fisiológico, citológico e/ou morfológico, é um fenômeno muito complexo (Melo; Ríos, 2002). O crescimento reflete em duas forças opostas: a primeira é representada pela tendência do organismo em crescer e se multiplicar, que está intimamente relacionada ao seu potencial biológico, absorção de nutrientes e metabolismo; e a segunda força, antagônica, representa um conjunto de restrições ao crescimento, tais como recursos limitados, respiração, competição e estresse.

O aumento do comprimento é produzido pela atividade fisiológica da árvore (meristema primário e secundário ou cambial). O termo “meristema” (do grego: merismos, divisão) enfatiza a atividade de divisão da célula como uma característica do tecido meristemático. Os meristemas apicais estão localizados em botões vegetativos (extremidades dos galhos e pontas das raízes) e produzem crescimento primário, onde o aumento do comprimento do broto permite que a planta absorva a luz solar de forma eficiente, além disto, a maior profundidade da raiz permite que a planta absorva água e nutrientes com eficiência (Apezzato-da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2022).

Por outro lado, os meristemas laterais estão localizados no câmbio vascular (sob a casca e o floema) e produzem crescimento secundário. As células formadas pelo câmbio vascular dão origem à madeira, que, por sua vez, diferencia-se em alburno (parte externa, de cor mais clara, menos densa e menos resistente, e fisiologicamente ativa) e cerne (parte interna, de cor mais escura, mais resistente e mais densa, e fisiologicamente inativa). O crescimento secundário ocorre somente em plantas lenhosas (Apezzato-da-Glória; Carmello-Guerreiro, 2022).

O crescimento pode ser expresso em termos absolutos, por exemplo, aumento de 1 cm no diâmetro da árvore, ou em termos relativos, por exemplo, aumento de 10% no diâmetro do tronco.

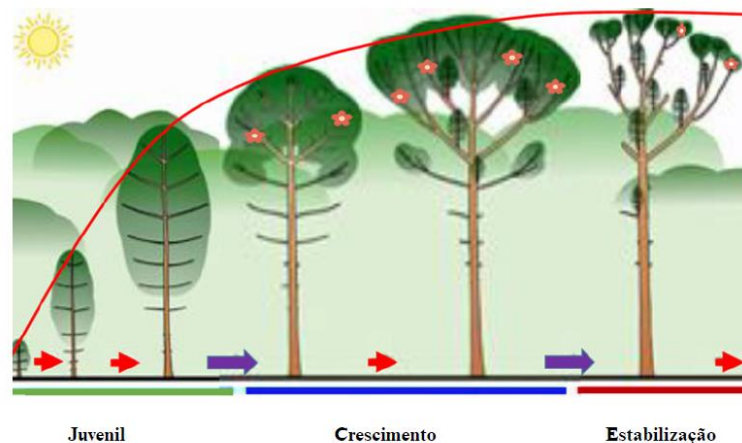
### 3.3.1 Fases do crescimento

O crescimento das árvores pode ser dividido em três fases, cada uma dessas fases desempenha um papel crucial no ciclo de vida de uma árvore e tem diferentes demandas e prioridades em termos de crescimento e desenvolvimento.

Primeira fase (Juvenil): as árvores estão na fase inicial de desenvolvimento. Nesta fase, o foco principal é o estabelecimento, isso significa que as árvores desenvolvem raízes fortes, uma estrutura básica e, geralmente, é mais sensível a fatores ambientais adversos.

Segunda Fase (Crescimento): caracterizada por um crescimento mais rápido. Durante esta fase, as árvores aumentam significativamente em altura e diâmetro, além disso, desenvolvem novos ramos e folhas, produzindo a estrutura necessária para otimizar a captação de luz solar para a fotossíntese.

Terceira Fase (Estabilização): as árvores atingem uma certa maturidade e tamanho máximo. O crescimento em altura e diâmetro desacelera consideravelmente. Nesta fase, as árvores concentram mais sua energia em manter a saúde e a estabilidade do que em crescimento. É nessa fase que as árvores podem ser mais resistentes a distúrbios ambientais, mas também podem começar a declinar gradualmente devido ao envelhecimento natural. Essas três fases, juntas, formam a curva de crescimento, que parece uma curva sigmoideal (Figura 1).



**Figura 1.** Curva de crescimento para uma árvore hipotética. Adaptado de XU *et al.* (2016).

A taxa de crescimento é afetada por fatores internos (fisiológico), externo (ecológico) e pelo tempo. Este último está sempre associado ao crescimento, e é por isso que se procura conhecer a idade da árvore. Nas árvores, o crescimento pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável (diâmetro, altura, volume, área basal, biomassa, entre outros), em um dado período e se restringindo nas suas partes (células, galhos,

folhas ou raízes), assim, pode-se expressar o crescimento pelo aumento da extensão dessas partes, por exemplo: crescimento em diâmetro, em altura etc. (Cancino, 2012; Chagas *et al.*, 2001; Coronel de Renolfi, 2015).

### 3.3.2 Crescimento em diâmetro e altura

As dimensões medidas com mais frequência são a altura e o diâmetro, pelo fato de serem mensurações mais simples e as mais utilizadas em estudos de crescimento e produção. Além de estarem, frequentemente, associadas à altura total, tamanho das copas e outras variáveis relevantes, que são desafiadoras de medir em árvores em pé (Cancino, 2012). O diâmetro (D) a 1,30 m do solo é uma variável fundamental, normalmente aliada altura, para o cálculo da área basal, volume e biomassa aérea.

Quando uma árvore possui múltiplos fustes (ou troncos), cada um com um diâmetro diferente, calcular o diâmetro médio pode não refletir adequadamente o tamanho total da árvore. Assim, o diâmetro equivalente é calculado como o diâmetro de uma árvore fictícia que teria a mesma área transversal somada de todos os fustes da árvore. Essa medida é útil para diversos fins, incluindo estimativas de biomassa, cálculo de volume, modelagem de crescimento e projeções de produção florestal. A *C. bracteosum* apresenta multiplicidade de fuste, então, utiliza-se o diâmetro equivalente ( $D_e$ ), que corresponde ao diâmetro de uma árvore com uma área transversal equivalente à soma das seções de cada fuste (Cancino, 2012), obtido conforme a Equação 1.

$$D_e = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (1)$$

Em que:  $d_i$  = diâmetro do  $i$ -ésimo fuste da árvore (cm).

Por outro lado, o crescimento em altura é o aumento vertical das árvores, isto é, à medida que as árvores desenvolvem novos brotos e galhos, sua altura aumenta. Em geral, primeiro a árvore cresce em altura e depois em diâmetro. Este tipo de crescimento é mais evidente, especialmente, na idade juvenil, em que é fácil observar a rapidez da modificação em altura.

Geralmente, nos procedimentos de coleta de dados, ocorrem erros de medição das alturas, bem como do custo e do tempo para sua obtenção. Assim, ao invés de obter todas as medidas das alturas de todas as árvores em um povoamento, normalmente, equações são utilizadas para estimar as alturas de árvores que não tiveram essa variável medida em função dos seus respectivos diâmetros (Uzoh; Oliver, 2005). Além disso, a altura a ser medida deve

estar diretamente em consonância com os objetivos em um inventário florestal. Geralmente, consideram-se dois tipos de altura: altura total (H) e comercial ( $h_m$ ), a primeira é medida da base da árvore até o topo da copa e a segunda se define como a distância desde o nível do terreno até a posição do tronco, onde ocorrem as primeiras inserções de galhos, ou ainda até um ponto onde houver limitação por algum tipo de defeito (Campos; Leite, 2017).

No caso de multiplicidade de fuste em uma árvore, utiliza-se a altura de Lorey, obtida conforme a Equação 2.

$$h_L = \frac{\sum_i^n h_i g_i}{\sum_i^n g_i} \quad (2)$$

Em que:  $h_L$  = altura de Lorey (m);  $h_i$  = altura total do i-ésimo fuste ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $g_i$  = área transversal do i-ésimo fuste ( $m^2$ ); e  $n$  = número de fuste da árvore.

### 3.3.3 Crescimento em biomassa

A biomassa florestal é a quantidade total de matéria viva (troncos, galhos, folhas, raízes etc.) em um ecossistema florestal. Ela é formada por componentes de complexidade e acessibilidade variados. Portanto, sua estimativa requer a identificação inicial desses componentes e a elaboração da estratégia adequada de medição ou estimativa. Do ponto de vista de uma comunidade florestal, a biomassa pode ser dividida espacialmente em biomassa aérea, que inclui toda a biomassa viva acima do solo (biomassa do dossel principal, biomassa do sub-bosque) e detritos lenhosos (biomassa de resíduos em pé, suspensos e acima do solo), e biomassa abaixo do solo, incluindo os componentes lenhosos vivos e mortos dos sistemas radiculares. Nas árvores, os componentes usuais para a separação da biomassa são as raízes, os galhos, a folhagem, o tronco e a casca. Naturalmente, outras subdivisões, como, por exemplo, caule, casca do caule e copa, também são possíveis (Cancino, 2012).

A quantificação da biomassa de uma espécie arbustiva-arbórea ou de um ecossistema pode ser feita por métodos diretos ou indiretos, os quais podem ser complementares entre eles. Basicamente, o método direto é determinativo e consiste em cortar e pesar todos os compartimentos (raízes, caule, galhos e folhas) dos indivíduos em uma determinada área, dependendo do nível de amostragem a ser alcançado, apresentam resultados mais robustos, mas a árvore é destruída.

Os métodos indiretos incluem métodos de cubagem de árvores, em que os volumes de madeira são somados e as amostras são coletadas e pesadas para calcular os fatores de conversão de volume para peso seco, ou seja, gravidade específica ou densidade. Outra forma

de estimar a biomassa é por meio do ajuste de modelos baseados em análise de regressão, que usam variáveis coletadas no inventário (diâmetro, altura etc.).

Outro método indireto, a estimação da biomassa utilizando sensoriamento remoto, que vem sendo mais utilizado nos últimos anos. As imagens de satélite registram o comportamento da superfície da Terra em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Isto fornece dados para responder a perguntas e incertezas sobre o ciclo dinâmico da biomassa, pois permite a avaliação frequente da mudança da cobertura florestal em grandes áreas, em comparação com os métodos *in situ*, que, muitas vezes, podem ter acessibilidade, recursos e tempo limitados (Fonseca *et al.*, 2009).

O crescimento em biomassa se refere à mudança na quantidade de biomassa que ocorre em uma floresta ao longo de um período, é expresso, geralmente, em unidades de massa por ano, como  $\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Esta medida expressa o ganho líquido de biomassa resultante do crescimento das árvores, em comparação com a perda de biomassa devido à mortalidade ou à decomposição.

O incremento em biomassa se refere à taxa de aumento anual da biomassa em uma floresta. Neste sentido, o incremento em biomassa é uma medida-chave para avaliar a produtividade e o crescimento das florestas. As informações do incremento em biomassa podem ser usadas em estudos de manejo florestal para determinar a sustentabilidade do uso dos recursos florestais.

### **3.3.4 Componentes do crescimento florestal**

Os componentes do crescimento florestal podem ser denominados como remanescentes, ingresso, mortalidade e corte (Beers, 1962). Remanescentes (sobreviventes) se referem às árvores presentes em ambos os extremos do período de crescimento. Ingressos ou recrutamento é o processo pelo qual as árvores "aparecem" na tabela do povoamento medido, crescendo nele a partir de tamanhos abaixo do limite de medição. Nesse sentido, são as árvores que "aparecem" nas classes diamétricas mensuráveis. Portanto, este processo está intimamente relacionado à regeneração, mas não são sinônimos. A palavra regeneração pode ser usada para se referir à população de árvores abaixo do limite mínimo de tamanho de medição. Regeneração é o processo pelo qual novas árvores são adicionadas à população por meio da germinação, a partir de sementes (ou talvez por crescimento vegetativo, a partir de raízes, troncos caídos etc.). Nos ecossistemas Semiáridos, o ingresso depende principalmente da disponibilidade hídrica, em que a escassez de água afeta de maneira mais severa as plântulas (Dos Santos *et al.*, 2009).

Corte se refere ao volume ou ao número de árvores vivas colhidas em um determinado período e Mortalidade se refere ao volume ou número de árvores, existentes inicialmente, mensuradas e que não foram cortadas, mas morreram durante o período de crescimento (Campos; Leite, 2017). Em florestas naturais, a mortalidade das árvores é gerada por fatores endógenos, como idade ou senilidade, competição e supressão, e distúrbios exógenos, como doenças e pragas, condições climáticas, fogo ou exploração florestal (corte ou abate da árvore).

### 3.3.5 Incremento

O incremento é a magnitude do crescimento de um organismo em um determinado período (Cancino, 2012), ou seja, quantifica o aumento em uma característica particular. Em florestas naturais, o incremento é usado para descrever o crescimento anual ou periódico em uma medida particular, como o aumento em diâmetro a 1,30 m do solo (D) ou aumento no volume de biomassa. Assim, o incremento pode ser classificado em:

a) Incremento corrente anual (ICA):

Expressa o quanto a árvore cresceu em um ano (Equação 3).

$$ICA (cm) = D_f - D_i \quad (3)$$

Em que:  $D_f$  = diâmetro ao final de um ano; e  $D_i$  = diâmetro inicial.

b) Incremento anual periódico (IPA)

É o crescimento médio da árvore em um determinado período, por exemplo, o que a árvore cresceu em um período de 5, 10 ou 15 anos, o mais utilizado em florestas naturais (Scolforo, 2006). É calculado usando os valores no início e no final do período entre o número de anos (Equação 4).

$$IPA (cm) = \frac{D_p - D_i}{P} \quad (4)$$

Em que:  $D_p$  = diâmetro ao final do determinado período;  $D_i$  = diâmetro inicial; e  $P$  = período determinado (anos).

Vale ressaltar que se define, também, o incremento médio anual (IMA), no qual o período determinado é a idade da árvore ou do povoamento. Logo, não é possível sua estimativa em povoamento natural, por serem inequidanosos, bem como para suas árvores individuais por falta de registros fidedignos.

### 3.4 Idade em povoamentos florestais

A idade de uma árvore pode ser considerada como o espaço de tempo decorrido desde suas gênesis, origem ou ocorrência até o momento em que é observado ou medido. De acordo a homogeneidade da idade das árvores em uma floresta, pode-se classificar os povoamentos florestais em equiâneos e inequiâneos. Os povoamentos inequiâneos (irregulares) são formados por árvores de distintas idades, repartidas por mais de uma classe, onde existem árvores desde as mais jovens até as mais velhas. Ao contrário, os povoamentos equiâneos (regulares) são formados por árvores de mesma idade ou próximas (Imaña; Encinas, 2008).

As florestas tropicais são formadas por diversas espécies, que, mesmo com idades indeterminadas (povoamentos inequiâneos), possuem uma ampla gama de padrões de crescimento e dimensões de fuste, ao contrário das florestas regulares, que podem ser distinguidas por classes de idades homogêneas. Além disto, em uma floresta inequiânea, pode-se encontrar árvores de todas as idades num mesmo local, reunidas em pequenos grupos de idades próximas, mas esses grupos são pequenos (Carvalho *et al.*, 1995), por conseguinte, o manejo sustentável dessas florestas tem maior grau de complexidade e difere muito do normalmente estabelecido para as formadas por povoamentos regulares.

Nessas florestas, existe um período limite ideal de corte, indicado pelo diâmetro máximo, que fixa a maturidade em dimensão com base em critérios silviculturais e tecnológicos (Araújo-Alejandro, 1993). Também pode ser estabelecida uma relação de dependência numérica entre o diâmetro e idade das árvores e, como resultado, pode-se obter uma escala de tempos correlacionada com uma escala de diâmetros, que determina uma idade hipotética para cada categoria diamétrica, através de dados provenientes de inventários florestais contínuos (Mackay, 1961; Imaña-Encinas *et al.*, 2005).

#### 3.4.1 Métodos para estimar idades em florestas naturais

##### a) Métodos diretos

A dendrocronologia se baseia na análise dos anéis de árvores, representando uma boa ferramenta para gerar conhecimento detalhado em vários campos, como Silvicultura, Ecologia, Climatologia, além de proporcionar o conhecimento da idade das árvores. A contagem de anéis de crescimento (anuais) é um método mais preciso e difundido, mas os dendrocronólogos não se limitam a apenas estimar idades (Quesada *et al.*, 2022).



Para utilizar a dendrocronologia, os anéis de crescimento devem ter limites claros, sua natureza anual deve ser verificada e a datação cruzada deve ser viável. Por outro lado, é frequente a formação de falsos anéis, produzidos, por exemplo, em consequência de períodos sucessivos de seca ou de chuva, resultando em mais de um ciclo de crescimento durante um ano (Imaña-Encinas *et al.*, 2005).

Nas florestas tropicais/subtropicais, muitas espécies arbóreas governadas pela genética e por uma clara sazonalidade no regime de chuvas e/ou temperatura formam anéis de crescimento anual, mas não facilmente discerníveis. Por exemplo, na Caatinga, Mattos *et al.* (2015) determinaram o incremento anual em diâmetro de *Mimosa tenuiflora*, onde se mostrou que as árvores apresentaram anéis anuais de crescimento bem definidos e que estão altamente correlacionados com a precipitação anual, por tanto são adequados para estudos dendrocronológicos. Da mesma forma, Pagotto *et al.* (2015) mostraram que *Poincianella pyramidalis* (*Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis) produz anéis de crescimento distintos, embora uma fina faixa contínua de parênquima marginal represente o limite da produção sazonal de xilema, e, apesar da presença de falsos anéis, a datação cruzada foi possível.

Geralmente, estudos dendrocronológicos precisam de avaliações anatômicas adicionais, que exigem esforço adicional e equipamentos laboratoriais caros (Quesada *et al.*, 2022), em comparação com o método Parcelas Permanentes de amostragem (PPM).

## **b) Métodos indiretos**

Nos métodos indiretos para estimativa de idade de uma árvore, destacam-se os baseados no crescimento do diâmetro, altura e nas relações entre incremento.

As informações básicas são obtidas de uma amostra de árvores que representam toda a gama de tamanhos individuais encontrados na população. Para cada árvore, o diâmetro do tronco a 1,30 m do solo (D) é, geralmente, medido em um ou mais intervalos de tempo (Martínez-Ramos; Álvarez-Buylla, 1998), produzindo dados de incrementos periódicos (IP).

### **• Modelos de crescimento**

Um modelo é a descrição de um sistema físico e que pode ser usado para explicar ou prever o comportamento do sistema. Em estatística, é uma relação funcional a ser ajustada a dados de uma amostra. Em mensuração florestal, um modelo de crescimento pode ser

representado por uma ou mais equações, tabelas, gráficos, além de modelos estatísticos (Campos; Leite, 2017), que são desenvolvidos com base em relações observadas entre variáveis independentes (como diâmetro, altura, densidade, entre outras) e variáveis dependentes. Essas relações são derivadas a partir de dados coletados em inventários florestais, permitindo o ajuste e a validação dos modelos. Assim, os modelos de crescimento são utilizados como um meio preciso e confiável para estimar a idade das árvores em bosques irregulares, auxiliando na gestão sustentável dos ecossistemas. No contexto de estimativa de idade, é comum utilizar modelos que relacionem o diâmetro das árvores com a idade, uma vez que o diâmetro é uma variável facilmente mensurável e correlacionada com a idade das árvores.

Os modelos de crescimento desempenham um papel fundamental na gestão florestal, permitindo a tomada de decisões embasadas para o manejo sustentável dos recursos florestais, incluindo o planejamento de ciclos de corte, a conservação da biodiversidade e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas florestais.

A construção ou ajuste de modelos envolve os seguintes passos: (1) Definição da variável dependente (objetivo da pesquisa); (2) Revisão de literatura para encontrar modelos adequados ao objetivo; (3) Definição das variáveis independentes; (4) Definição da população de estudo e amostra; (5) Coleta dos dados; (6) Escolha do software adequado para a modelagem; (7) Criação do arquivo para processamento; (8) Tradução dos modelos selecionados para a linguagem do software; (9) Processamento dos dados; (10) Interpretação dos resultados e comparação entre os modelos; e, principalmente, (11) Escolha do melhor modelo.

- **Tempo de passagem**

O método Tempo de Passagem (TP) foi descrito pela primeira vez por Osmaton (1956), sendo, possivelmente, o método pioneiro para a avaliação do crescimento de árvores tropicais. Com base nos dados provenientes de medições sucessivas e periódicas, pôde-se obter uma escala de tempos correlacionada com a estrutura diamétrica, de forma a atribuir uma idade hipotética a cada classe diamétrica (Mackay, 1961). Em outras palavras, este método se refere ao tempo (médio) que uma árvore individual, em uma determinada classe de diâmetro, leva para crescer até a próxima classe de tamanho (Del Valle-Arango, 1979; Araújo *et al.*, 1993; Melo; Ríos, 2002).

Para outros autores, o cálculo do TP permite determinar o tempo necessário para que uma fração de árvores de uma classe diamétrica “x” passe para a próxima classe. O TP consiste em estimar o Incremento periódico médio anual por espécie e por classe diamétrica, para,

depois, determinar o crescimento das árvores ao longo das sucessivas classes diamétricas (Bragg; Henry, 1985). Por exemplo, Caballero e Malleux Orjeda (1976), baseados na correlação existente entre o incremento diamétrico e o diâmetro, estabeleceram uma relação do tipo quadrática entre o Incremento periódico médio anual e o diâmetro, a partir de dados obtidos de parcelas permanentes nas florestas de Jenaro Herrera, no Peru. A partir desses resultados, estimaram a quantidade de anos que as árvores precisavam para alcançar um diâmetro médio desejado ou o possível diâmetro de uma árvore para uma idade predeterminada.

O TP compreende as seguintes etapas (Melo; Ríos, 2002):

Primeira etapa: As árvores selecionadas para o estudo são organizadas em classes de diâmetro conforme. Recomenda-se que as classes sejam de amplitude uniforme, o que facilita o cálculo, mas, se houver uma distribuição muito irregular nas classes diamétricas, provavelmente, será melhor variar a amplitude;

Segunda etapa: Para cada classe de diâmetro, é estimado o incremento periódico anual atual (IPA-P), que é obtido pela média dos incrementos das árvores em cada classe em um período (anual);

Terceira etapa: Depois que os IPA-P são estimados, eles são dispostos em um plano cartesiano, de acordo com os pontos médios de suas classes de diâmetro, e a tendência dos pontos é suavizada pelo desenho de uma curva, em que é calculada a média dos desvios da dispersão. Nos mesmos valores que representam as classes de diâmetro, são feitas leituras dos incrementos na curva descrita, e os novos valores são chamados de incrementos médios anuais corrigidos (IPA-PC). Além disto, seguindo a tendência da curva, os valores podem ser extrapolados para as classes de tamanho mais baixas e não registradas;

Quarta etapa: Dividindo-se a amplitude de cada classe por seu IPA-PC, tem-se o tempo de passagem, ou seja, o tempo necessário para que uma árvore média passe do limite inferior para o superior da classe de diâmetro;

Quinta etapa: A adição sucessiva dos tempos de passagem fornece o tempo necessário para que uma árvore média cresça de zero até o limite superior de cada uma das classes de diâmetro que estão sendo adicionadas; e

Sexta etapa: O processo termina quando os valores de crescimento acumulados são organizados graficamente em uma curva que relaciona o D em função da idade. Essas curvas se tornam a ferramenta fundamental para a tomada de decisões, tanto para o manejo florestal quanto para a definição de cronogramas de colheita.

- **Crítérios para o Método de Tempo de Passagem**

O TP apresenta as seguintes desvantagens: assume que todas as árvores de uma determinada classe estão crescendo à mesma taxa média, as árvores estão uniformemente distribuídas dentro da classe de diâmetro e o método não considera a margem de erro na estimação do incremento médio (Bragg; Henry, 1985). Nesse sentido, na aplicação do TP, há necessidade de minimizar aqueles problemas, então, alguns critérios são apresentados:

**População de árvores:** um conjunto de dados suficientemente grande deve estar disponível, o que permite gerar uma distribuição de diâmetro sem categorias de tamanho vazias. Por fim, para a aplicação deste método, somente os indivíduos com crescimento positivo devem ser considerados, excluindo valores negativos, árvores mortas e aquelas que não apresentam crescimento (Melo; Ríos, 2002). Este critério pode minimizar a suposição de que todas as árvores de uma determinada classe crescem à mesma taxa.

**Distribuição diamétrica:** a população ativa é organizada em uma distribuição diamétrica que leva em conta seus valores extremos, além disto, se houver classes de tamanho vazias, elas podem ser unidas para dar continuidade (Melo; Ríos, 2002).

**Intervalos de classe de diâmetro:** com o objetivo de minimizar o problema da suposição de que as árvores estão distribuídas de maneira uniforme dentro de classe de diâmetro “x”, reduz-se o intervalo de classe de diâmetro.

**Intervalo de tempo:** deve ser suficientemente longo para mostrar o crescimento real dos indivíduos, recomenda-se intervalos anuais.

### 3.5 Parcelas Permanentes de amostragem (PPM)

Uma parcela permanente de amostragem (PPM) é uma área fixa de floresta estabelecida por amostragem probabilística, onde todas as árvores existentes foram identificadas, medidas e etiquetadas (Mostacedo; Fredericksen, 2000), e são periodicamente medidas para avaliar seu desenvolvimento ao longo do tempo. Elas são mantidas por, pelo menos, cinco anos e, geralmente, por muito mais tempo. Os objetivos das PPMs são fornecer dados para modelos de crescimento e rendimento, essas informações são essenciais para o manejo racional da floresta (Alder; Synnott, 1992). Vale salientar que o tamanho e o número de parcelas replicadas estão relacionados ao padrão espacial das árvores: padrões agrupados ou espacialmente heterogêneos

favorecem muitas parcelas pequenas, enquanto padrões regulares ou espacialmente homogêneos favorecem poucas parcelas grandes (Picard *et al.*, 2010).

Uma vantagem das PPMs para medir o crescimento das árvores é que o intervalo em que o crescimento foi medido é conhecido com precisão (geralmente anual), fornecendo taxas de crescimento a partir do momento em que são estabelecidos (ou seja, medições de crescimento prospectivo) (Campos; Leite, 2017). Em contraste com o método dendrocronológico, as taxas de crescimento podem ser medidas de forma confiável em árvores que não formam anéis anuais. Os PPMs são, e continuarão sendo, um dos principais pilares na compreensão das florestas tropicais. Os estudos de PPMs têm um alto custo, exigindo experiência, tempo e recursos significativos, e requerem um compromisso de longo prazo, mas pode-se argumentar que esse investimento é justificado pelos muitos aspectos da ecologia das florestas tropicais, que, com o tempo, poderão ser compreendidos. Esses estudos devem garantir que a qualidade e o valor de suas avaliações não sejam prejudicados por deficiências e falhas evitáveis (Sheil, 1995).

Os dados de longo prazo de PPMs têm muito a oferecer ao manejo e à conservação de paisagens de florestas tropicais intactas. O conhecimento das taxas de crescimento e mortalidade de espécies economicamente importantes, o balanço de carbono da floresta e o impacto das mudanças climáticas na composição da floresta são essenciais para um gerenciamento eficaz. Nos trópicos, as redes de PPMs fornecem informações únicas sobre a estrutura e a trajetória de longo prazo desses ecossistemas e atuam como uma plataforma para uma crescente amplitude da ciência (Baker *et al.*, 2021). Neste sentido, o monitoramento a longo prazo das florestas tropicais em parcelas permanentes (PPM) é uma maneira confiável de obter dados sobre a dinâmica da população de árvores. Para obter uma amostra representativa da faixa de tamanho, é necessário medir todas as árvores acima de um limite mínimo (D), conforme objetivo da pesquisa.

Da mesma forma, para avaliar de forma confiável as tendências de crescimento em uma região, é necessário amostrar muitos talhões geograficamente representativos durante longos períodos, ponderados de acordo com seu *status* sucessional. A amostragem em intervalos anuais é mais comum em estudos de PPM. Esse intervalo de tempo pode ser adequado para avaliar tendências de crescimento a longo prazo, mudanças na estrutura da floresta, dinâmica da vegetação e impactos de práticas de manejo. Esses intervalos são, geralmente, preferidos por fornecerem um equilíbrio entre detalhamento temporal e eficiência de coleta de dados. A amostragem em intervalos de tempo muito longos pode perder eventos catastróficos pouco

frequentes (incêndio, seca prolongada etc.), o que leva a estimativas positivamente distorcidas das tendências de biomassa

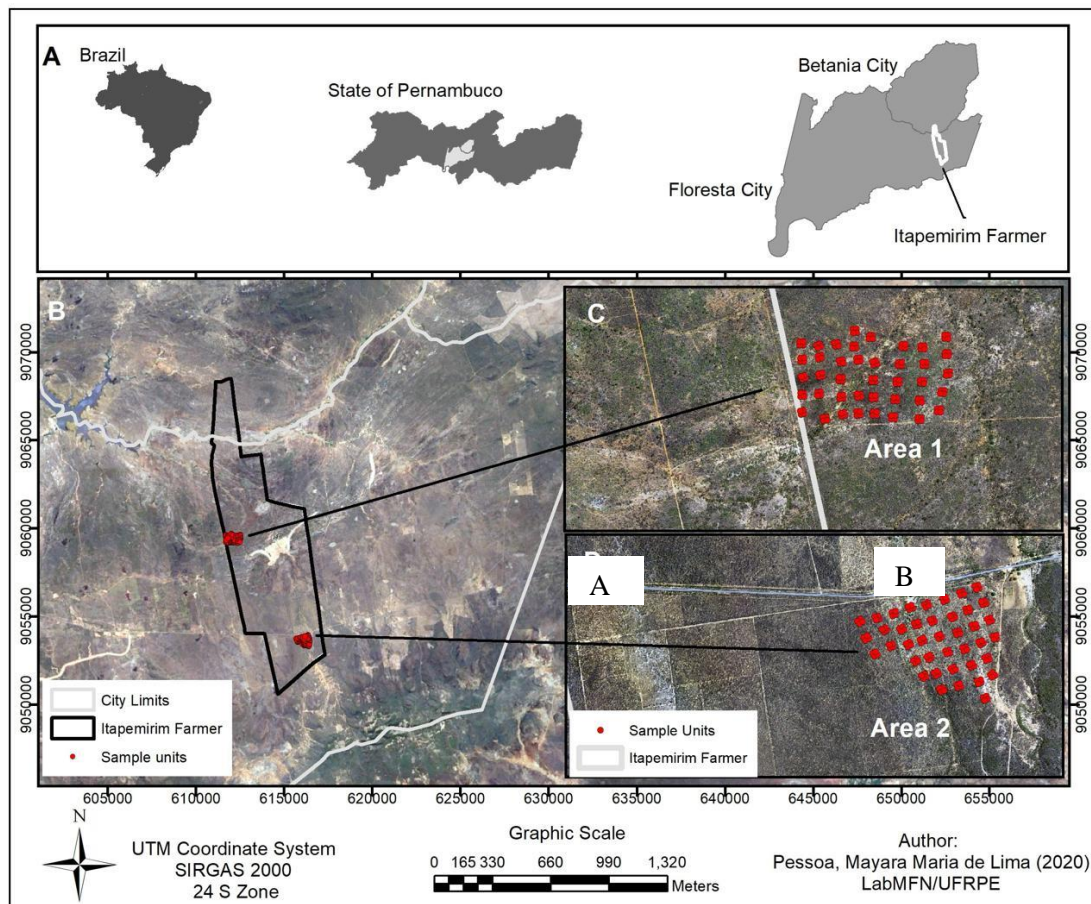
As variáveis a serem medidas dependem dos objetivos do estudo, mas sempre incluem diâmetro (D), altura, condição atual, posição do indivíduo na parcela, diâmetro da copa e algumas que se referem a diferentes atributos da árvore, como posição em relação à luz, formato da copa, entre outros (Camacho-Calvo, 2000). As medições originais de campo devem ser sempre mantidas para fornecer uma trilha de auditoria das anotações de campo às análises. Deve haver suporte adequado para treinamento e atividades críticas pós-trabalho de campo, que precedem qualquer análise, como, por exemplo, procedimentos de controle de qualidade de dados para dados de medição de árvores, entrada de dados e comunicação (Bowman *et al.*, 2013).

Nas próximas décadas, os dados provenientes de PPMs servirão para apoiar a conservação e a gestão sustentável das florestas tropicais. Por fim, as PPMs também continuarão sendo cruciais para validar e calibrar os esforços para mapear as mudanças nos serviços de ecossistema fornecidos pelas florestas tropicais em grande escala, usando a crescente variedade de tecnologias de sensoriamento remoto (Baker *et al.*, 2021).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na Fazenda Itapemirim, que possui, aproximadamente, 6.000 hectares, localizada no município de Floresta-PE, situada a 8°30'49'' Latitude Sul e 37°57'44'' Longitude Oeste. O município está inserido na mesorregião do São Francisco Pernambucano e microrregião de Itaparica, com uma área de 3675 km<sup>2</sup> (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de localização geográfica da Área de estudo e da distribuição das duas unidades amostrais: Correntão (A) e Transposição (B), em Floresta-PE.

Fonte: LabMFN/UFRPE.

Foram utilizados dados de Inventário Florestal originários de duas áreas, com distintos históricos de perturbação da vegetação, distanciadas entre si em 80 m, com 50 m da bordadura.

Área I ou Correntão, com cerca de 50 hectares, está localizada ao sul da fazenda, onde, há, aproximadamente, 36 anos, houve retirada da vegetação com o auxílio de correntões para plantio de eucalipto, com o posterior abandono, ocorrendo pastejo de caprinos e exploração esporádica de madeira até os dias atuais (Ferraz, 2011). A Área II ou de Transposição possui

cerca de 25 hectares e está localizada no interior da fazenda, a vegetação se encontra em bom estado de conservação, devido ao reduzido histórico de corte, ocorrendo apenas a retirada de madeira para eventuais manutenções das cercas que limitam o local, além de ser pastejada por animais de forma extensiva e não controlada, sobretudo por caprinos.

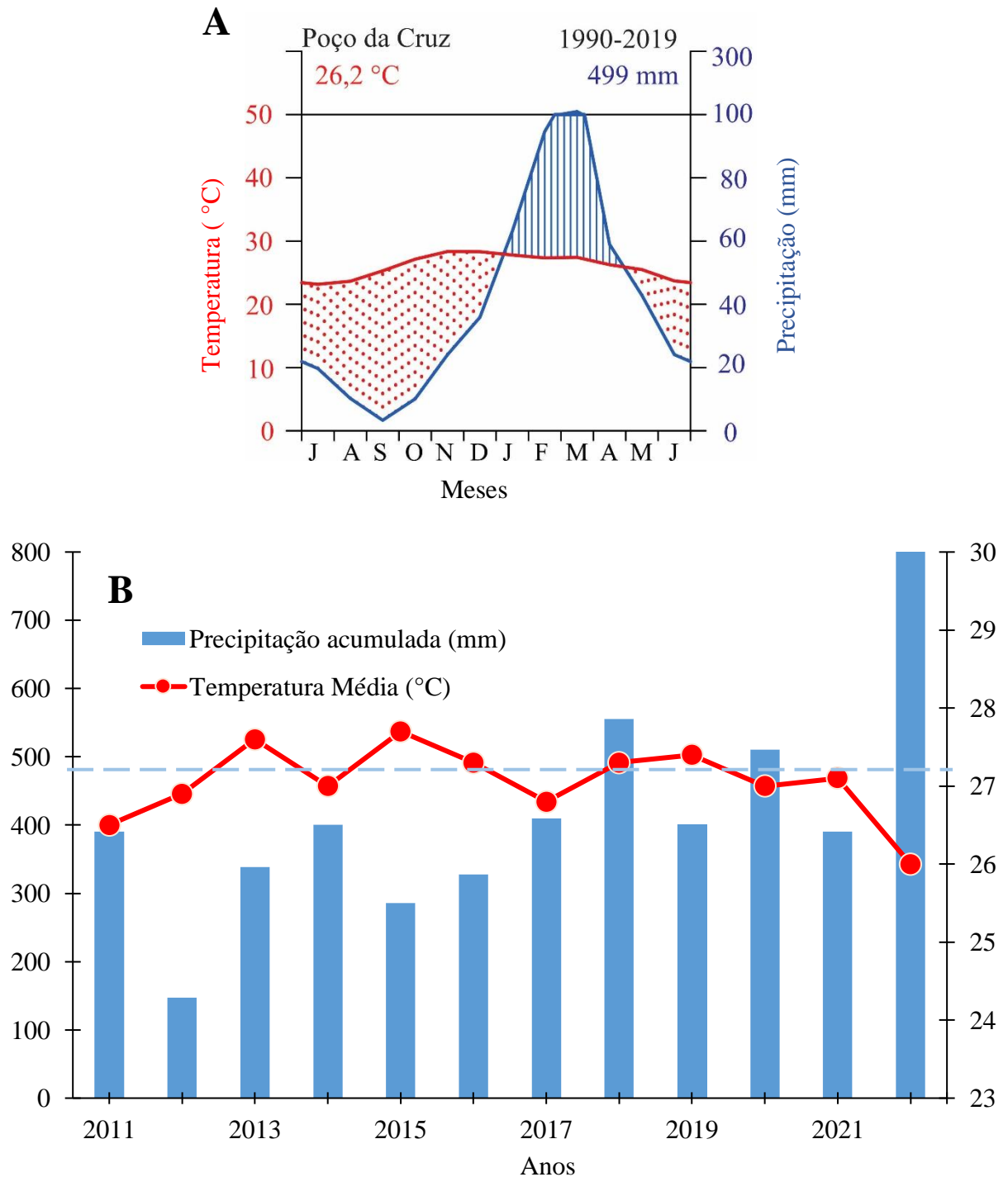
Pela classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo BS'h (Köppen, 1948), sendo o clima semiárido quente. A precipitação anual total média fica compreendida entre 200 e 800 mm, com período de chuva concentrado de janeiro a maio, sendo os meses mais chuvosos março e abril (APAC, 2023). Com dados climáticos da estação denominada Poço da Cruz, localizada a 30 km da área de estudo e com registros de 1990-2019, identificou-se temperatura média anual de 26,2°C, com temperaturas médias mínimas e máximas variando de 20,13°C a 32,34°C em julho e novembro, respectivamente, e precipitação total anual atingindo 499 mm em média, possui uma distribuição monodomal, que varia de 3,3 mm em setembro a 112,2 mm em março (Figura 3A).

A estação seca é bem definida (maio até novembro) e as poucas chuvas se concentram num espaço curto de tempo de janeiro até abril (linhas verticais azuis), sendo os meses mais chuvoso março e abril, nos quais são vivenciadas enchentes torrenciais (áreas escuras sólidas com precipitação mensal  $\geq 100$  mm). As áreas com pontos vermelhos representam a estação seca (Figura 3A). O climograma Ombrotérmico de Walter e Light foi elaborado desde julho até junho (ano hidrológico). A temperatura e a precipitação são escalonadas para uma equivalência de 100 mm de 50°C (proporção 1:2). Isto foi usado para marcar os meses com condições áridas (quadrados vermelhos pontilhados) e úmidas (quadrados azuis). Os valores mensais de precipitação acima de 100 mm são mostrados em formato compactado. A parte superior do diagrama mostra as médias anuais de temperatura e precipitação total anual para o local de estudo. Quanto à variabilidade anual da precipitação, observou-se valores abaixo da média acumulada anual no período de 2011-2016 (Figura 3B).

O solo da região é classificado como Luvissole Crônico, caracterizado por ser raso e apresentar, usualmente, mudança abrupta em sua textura (EMBRAPA, 2018). A área é composta basicamente por uma tipologia de vegetação campestre, apresentando trechos de floresta caducifolia, caracterizada por vegetação arbustivo-arborea com aspectos de estratos herbáceos e presença de cactáceas, contendo, também, em alguns locais, espécies como: macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schultes f.) e caroá (*Neoglaziovia variegata* (Arr. Cam.) Mez.) (IBGE, 2012). As espécies florestais lenhosas que predominam na região são: *Cenostigma bracteosum*, *Croton rhamnifolius*, *Manihot cartaginenses* subsp. *glaziovii*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Piptadenia stipulacea*, *Aspidosperma pyriformium*, *Myracrodruon*



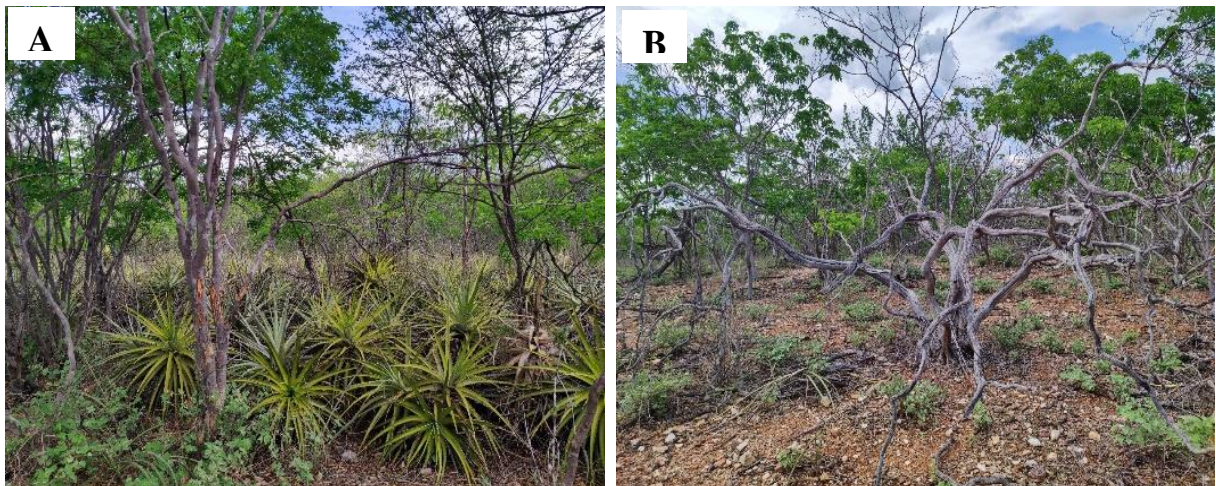
*urundeuva*, *Commiphora leptophloeos*, *Cnidocolus bahianus* e *Bauhinia cheilanta* (Marangon, 2011).



**Figura 3.** Climograma ombrotermico de Walter e Light (A) e variabilidade da Precipitação (mm) e Temperatura (°C), no período de 2011 até 2022 (B), em Poço da Cruz, PE. Fonte: Adaptado de Costa-Júnior (2021)

## 4.2 Amostragem e Coleta de Dados

O banco de dados foi obtido por meio de inventários florestais contínuos (IFC), contendo 80 parcelas permanentes, instaladas no ano de 2008 por Ferraz (2011), onde se realizou uma amostragem sistemática dentro dos limites da Fazenda Itapemirim, sendo 40 na Área I (Correntão ou Menos Preservada) e, as outras 40 na Área II (Transposição ou Preservada), todas georreferenciadas nos quatro vértices, com o auxílio de uma antena GPS Catalyst e precisão de 0,5 cm. Cada parcela possui 400 m<sup>2</sup> e estão distanciadas 80 m entre cada unidade, e 50 m das bordas, visando evitar o seu efeito (Figura 4). No período 2011- 2022, foram realizadas as remeidições anuais, seguindo os critérios da primeira medição, totalizando, assim, 11 anos de monitoramento da dinâmica da floresta. Nessas ocasiões, foram computadas as árvores/fustes mortas e as que ingressaram no sistema.

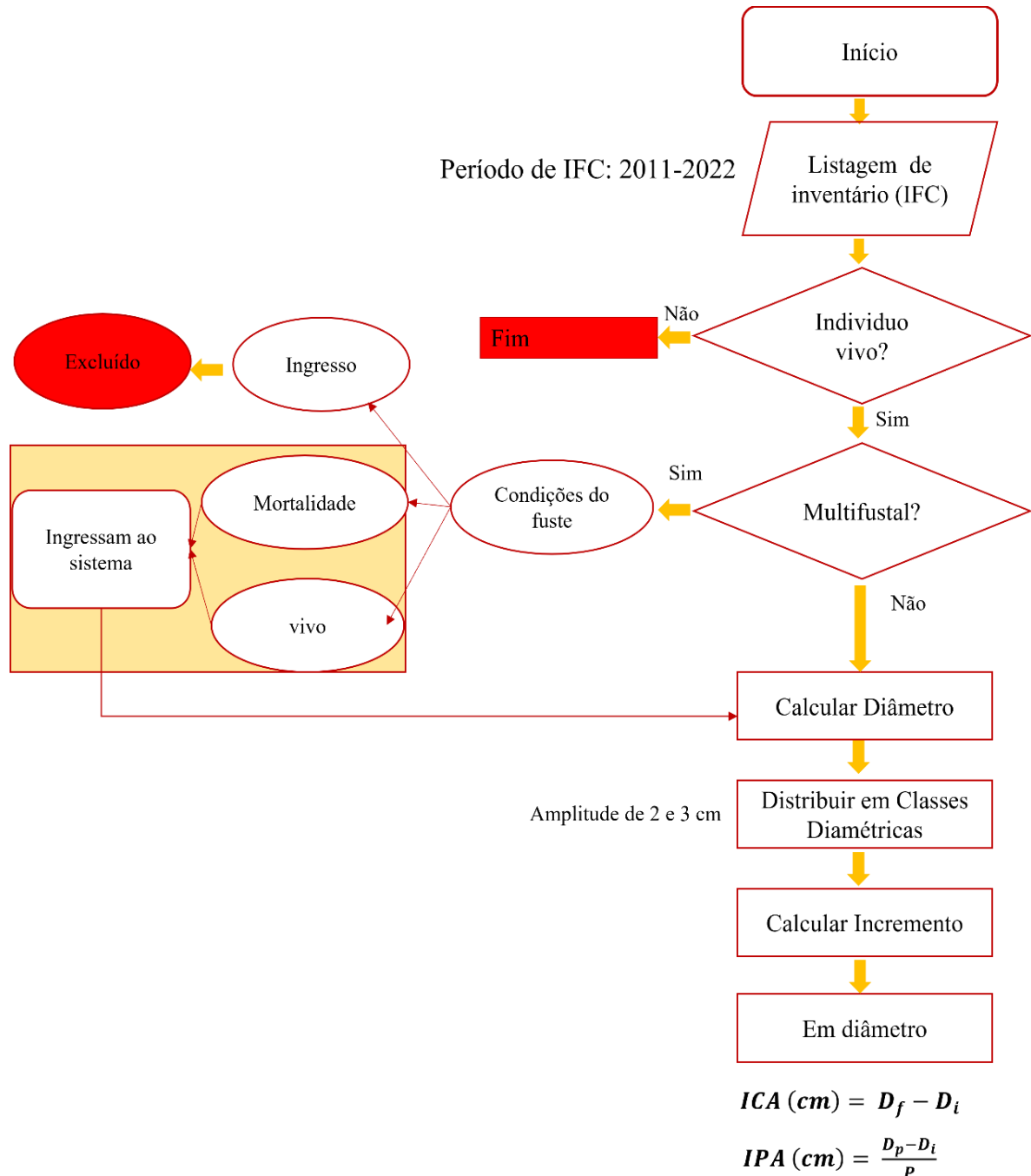


**Figura 4.** Imagem das áreas de estudo: Transposição (A) e Correntão (B), em Floresta, PE.  
Fonte: A autora (2023)

Todos os indivíduos que apresentaram circunferência a 1,30 m do solo (C), maior ou igual a 6 cm, foram medidos, identificados cientificamente conforme o APG IV (2016) e etiquetados na posição da C, visando padronizar o local da medição. As amostras botânicas foram depositadas no Herbário Sérgio Tavares (HST), do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Entre as 24 espécies registradas na área de estudo, apenas foi selecionada a *Cenostigma bracteosum*, por ser a espécie de maior densidade relativa, dominância e frequência nas áreas estudadas (Figura 3). Assim, nesta pesquisa, estimou-se a idade relativa (IR) e o tempo de passagem (TP) só para *C. bracteosum*, pelo fato do seu destaque nas duas áreas de estudo (Correntão e Transposição), em que Marangon (2011) sugeriu que *C. bracteosum* merecia uma melhor atenção. Para evitar superestimar o crescimento, excluíram-se todos os fustes de

Ingresso (a partir do 2012) (Figura 5), além disso, examinou-se manualmente todas as mensurações (ano a ano, árvore por árvore, fuste por fuste), em que, depois de identificar as árvores/fustes cujos atributos mostraram um crescimento negativo/atípico, foram eliminadas ou corrigidas por meio de comparação entre as mensurações anteriores e posteriores de um determinado indivíduo, corrigiram-se aqueles valores que foram  $< 1\%$ .



**Figura 5.** Fluxograma da metodologia de preparação de dados e cálculos dos incrementos em diâmetro.

Fonte: A autora.

Finalmente, com base dos diâmetros e altura dos fustes, foram calculados o diâmetro “equivalente” (De) e altura de Lorey (H) para cada árvore sobrevivente, utilizando as Equações 1 e 2, respectivamente.

### **4.3 Estimação do Incremento em diâmetro de *C. bracteosum***

Calcularam-se os incrementos corrente (ICA) e periódico (IPA) em diâmetro (cm.ano<sup>-1</sup>), considerando o número de indivíduos, por classes diamétricas, utilizando-se como limite inferior 1,9 cm (D min) e como superior 33,7 cm (D máx). Os intervalos de classes testados foram de 2 e 3 cm (amplitude), para um total de 13 e 9 classes diamétricas, respectivamente (Figura 5). O ICA foi calculado usando a Equação 3, e, para calcular o IPA, utilizou-se o diâmetro inicial do ano 2011: IPA<sub>1</sub>=2011 a 2012; IPA<sub>2</sub>= 2011 a 2013; IPA<sub>3</sub>=2011 a 2014; e assim sucessivamente, até chegar ao 2011 a 2022, usando a Equação 4.

#### **4.3.1 Relação entre o diâmetro e o incremento periódico anual em diâmetro**

Pelo emprego de técnicas de análise de regressão múltipla linear e não linear (Tabela 1), foram relacionados os valores de incremento periódico médio anual (IPA) em diâmetro, como variável dependente e como variáveis independentes: diâmetro e tempo (anos) das árvores individuais, utilizando a função lm() para o modelo linear e a função nls() para os modelos não lineares, no software R Development Core Team (2023), e os parâmetros foram estimados pelo método de mínimos quadrados.

Para a seleção da equação que mais eficientemente relaciona o incremento periódico médio anual em diâmetro com o D e T, foram utilizados os seguintes critérios: coeficiente de correlação (R), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro padrão residual, análise gráfica de resíduos e critério de informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1974). O coeficiente de correlação (R) é útil para entender a força e direção da relação entre variáveis, mas não indica, necessariamente, a qualidade do ajuste do modelo. Enquanto, o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) é útil para avaliar o quão bem o modelo explica a variabilidade na variável dependente, fornecendo uma medida da qualidade de ajuste do modelo.

**Tabela 1.** Modelos estatísticos utilizados para estimativas do incremento periódico médio anual em diâmetro-IPA, em Floresta-PE.

N	Modelo	Tipo
1	$IPA_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 T_i + \varepsilon_i$	Linear
2	$IPA_i = \beta_0 D_i^{\beta_1} T_i^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Schumacher -Hall
3	$IPA_i = \beta_0 + \beta_1 (D_i^2 T_i) + \varepsilon_i$	Spurr
4	$IPA_i = \beta_0 * (D_i^2 T_i)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Potência
5	$IPA_i = \beta_0 * (D_i)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Potência
6	$IPA_i = \beta_0 + \beta_1 D_i^2 + \beta_2 T_i + \varepsilon_i$	Quadrática

Em que:  $IPA_i$  = incremento periódico médio anual da  $i$ -ésima classe diamétrica;  $D_i$  =  $i$ -ésimo diâmetro;  $\beta_j$  =  $j$ -ésimo parâmetro a ser estimado ( $j = 0, 1, 2, 3$ );  $T_i$  = tempo determinado (ano); e  $\varepsilon_i$  =  $i$ -ésimo-erro aleatório ( $i = 1, 2, \dots$ )  $i$ -ésima classe diamétrica.

O critério de informação de Akaike (AIC) é uma ferramenta usada na seleção de modelos estatísticos, se dois ou mais modelos couberem relativamente iguais às informações existentes, este critério conduzirá a seleção do modelo mais simples (Cancino, 2012), sendo obtido por meio da Equação 5.

$$AIC = n \cdot \ln \left\{ \frac{SQR}{n} \right\} + 2p, \quad AIC = \ln \left[ \left\{ \frac{SQR}{n} \right\}^n e^{2p} \right] \quad (5)$$

Em que: SQR = soma de quadrados dos resíduos; e = base dos logaritmos naturais; p = número dos parâmetros no modelo; e n = tamanho da amostra.

O AIC é baseado no princípio da teoria da informação, buscando equilibrar a complexidade do modelo com sua capacidade de ajustar os dados. Em essência, o AIC penaliza modelos mais complexos, adicionando uma penalidade à função de verossimilhança do modelo, levando em consideração o número de parâmetros estimados. O objetivo é minimizar o valor do AIC. Portanto, entre modelos candidatos, aquele com o menor valor de AIC é considerado o melhor ajuste aos dados. O AIC é, particularmente, útil quando se trabalha com diferentes tipos de modelos, incluindo modelos lineares, não lineares e de diferentes complexidades. Ele oferece uma maneira objetiva de comparar modelos e ajuda a evitar o superajuste dos dados, selecionando o modelo que fornece um bom ajuste com o menor número possível de parâmetros.

#### 4.4 Estimação do Incremento em biomassa de *Cenostigma bracteosum*

Pelo emprego da equação sugerida por Dalla-Lana *et al.* (2018), estimou-se a biomassa aérea para *C. bracteosum*, em que o diâmetro “equivalente” (D) e altura de Lorey (H) foram variáveis independentes, e, como variável dependente, a Biomassa em kg (Equação 6).

$$W_{S_i} = 6,6205 + 0,0341 (D_i^2 H_i) \quad (6)$$

Em que:  $W_{S_i}$  = Biomassa aérea da i-ésima árvore (kg);  $D_i$  = diâmetro a 1,30m do solo da i-ésima árvore (cm); e  $H_i$  = altura da i-ésima árvore (m).

Depois, calcularam-se os incremento corrente anual – ICA (kg.ano<sup>-1</sup>) e incremento periódico anual – IPA (kg.ano<sup>-1</sup>), utilizando as equações 1 e 2, respectivamente.

#### 4.5 Obtenção do tempo de passagem

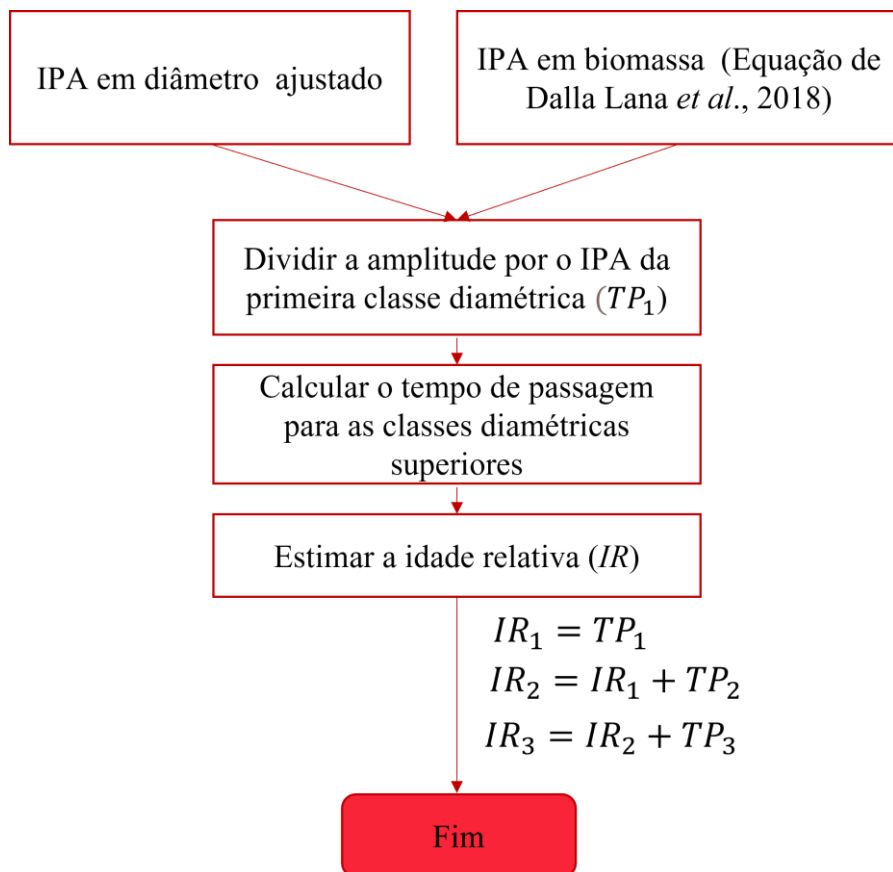
O TP é um método para estimar a taxa de movimentação da árvore entre as classes de diâmetro (Araújo-Alejandro, 1993; Vanclay, 1994). O departamento Florestal da Universidade de Queensland recomenda que, para utilizar o método de TP, primeiro, deve-se calcular o número de árvores de uma classe diamétrica que passa para a próxima classe em função do incremento médio (Araújo-Alejandro, 1993). Por outro lado, segundo Lamprecht (1990), os resultados obtidos pelo método de TP dependem de: a) homogeneidade do sítio, b) grau de precisão das medições de incremento, c) volume total da população estudada, d) distribuição em cada categoria diamétrica e e) número de repetições e duração total das pesquisas.

A respeito às considerações mencionadas, neste estudo, foram usadas 1190 árvores de *Cenostigma bracteosum*, em que as árvores foram classificadas em classes diamétricas com amplitudes de 2 e 3 cm, o limite inferior da primeira classe foi de 1,9 cm e o limite superior foi de 33,73 cm, sendo que a última classe abrangeu entre 25,9 cm <  $D_e \leq 33,73$  cm (amplitude de 8 cm), devido ao fato de ter poucos dados dentro dessa classe diamétrica. A respeito do intervalo de tempo das medições, o estudo contou com um monitoramento anual (2011-2022), os quais foram suficientemente satisfatórios.

Para calcular o tempo médio exigido para a passagem das árvores de uma classe diamétrica inferior para a classe diamétrica superior, avaliou-se o incremento periódico médio anual em diâmetro (cm. ano<sup>-1</sup>) e em biomassa (kg.ano<sup>-1</sup>) (Figura 6), testados por classe diamétrica, com intervalos de 2 e 3 cm.

Inicialmente, foi calculado o primeiro tempo de passagem -TP<sub>1</sub>, com base na premissa de que o incremento, nos primeiros anos, é de uma magnitude média igual à do menor diâmetro

medido (1,9 cm). Foi estabelecida a idade correspondente ao D de 1,9 cm como aquela necessária para que uma árvore alcance a primeira classe de diâmetro (ou seja o tempo de passagem que é a  $IR_1$ ). Essa idade inicial foi somada ao primeiro tempo de passagem para estimar a idade “relativa” da segunda classe diamétrica, e, assim, para as demais classes diamétricas (Figura 6). Essa idade inicial serviu de base para a estimação da idade das árvores com maior diâmetro, que é chamada de idade relativa por não corresponder à idade absoluta, dessa forma, estima-se o número de anos que uma espécie precisa para atingir seu diâmetro de corte ou o número de anos em que todas as árvores passam de classe de reserva para a classe de explorabilidade (Araújo *et al.*, 1993).



**Figura 6.** Fluxograma da metodologia aplicada para o cálculo do tempo de passagem (TP) e para a estimativa da Idade relativa (IR).

Fonte: A autora.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises descritivos dos dados gerais

O tamanho da amostra e a frequência de indivíduos por classe de tamanho da variável dependente têm influência direta na qualidade do modelo a ajustar ou construir. Eles devem ser suficientes para permitir o ajuste ou construção do modelo e sua análise. Assim, foram analisados 3861 fustes, correspondentes a 1190 árvores de *C. bracteosum* (Tabela 2), na área Transposição, na qual observou-se que a quantidade de árvores foi maior (719), mais do dobro se comparado a Correntão (471). Esta quantidade de árvores (1190) usada para os cálculos é suficiente, comparado a Santos *et al.* (2017), que usaram até 364 indivíduos para calcular a idade relativa e o tempo de passagem de *Eremanthus incanus* (Less.), popularmente conhecida como candeia. No presente estudo, a quantidade de 1190 árvores pode ter fornecido uma base mais abrangente e representativa para as análises e cálculos na estimação da idade relativa, a partir do tempo de passagem.

**Tabela 2.** Descrição geral dos dados analisados dos indivíduos de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, em Floresta-PE.

Área	Total de fustes	Eliminados	Fustes analisados	Árvores
Correntão	2193	668 (478 - Ingresso e 190 - Morto)	1525	471
Transposição	3643	1307 (278 - Ingresso e 1029 - Morto)	2336	719
Total	5836	1975	3861	1190

Pelo fato de as duas áreas pesquisadas apresentarem diferentes históricos de uso, onde uma das áreas é considerada preservada (Transposição), sem intervenção intensificada pelas ações do homem, enquanto a outra área (Correntão) possui paisagem bastante alterada no passado, devido à supressão vegetal ocorrida por meio de tratores e correntes, há mais de três décadas (Lucena, 2019; Costa-Júnior, 2021), as estatísticas descritivas para as variáveis de Diâmetro equivalente (De) e altura de *C. bracteosum* foram analisadas de maneira separada. Constatou-se que, para as duas áreas estudadas, há uma forte variação no De que, frequentemente, excedem 47%, indicando heterogeneidade no tamanho das árvores.

O De mínimo registrado (1,9 cm) indicou a presença de indivíduos jovens e/ou regeneração. O De máximo observado na área Correntão foi de 21,15 cm (no ano 2011) e de 24,67 cm (no ano 2022); na área Transposição, foi de 26,34 cm (no ano 2011) e de 33,73 cm (no ano 2022), sugerindo a presença de árvores maduras e maiores (Tabela 3). Mas é importante ressaltar que uma árvore de *C. bracteosum* não apresenta um caule com D de 33 cm, na



realidade, trata-se de um indivíduo com múltiplos fustes, o que representa produtos de menores diâmetros. Na caatinga, considerar aquela característica dos fustes se torna importante em razão de que o manejo direcionado para as espécies arbórea-arbustivas consideram todos os fustes de uma planta como um único indivíduo (Santos, 2021).

Lima (2016) afirmou que a *C. bracteosum* apresenta boa capacidade de rebrota, além disso, é boa colonizadora de áreas degradadas, já que, com poucos anos de rebrota, os indivíduos já conseguiam frutificar e dispersar sementes, dando origem a novas mudas, convertendo-se, assim, a espécie dominante, ainda em áreas de intensa degradação, como é o caso da área chamada Correntão. Com base nisso, o estudo sobre o crescimento de *C. bracteosum* (uma espécie arbórea multifustal) é representado pelo cálculo do diâmetro equivalente ( $D_e$ ), que representa a área basal da árvore de um único indivíduo e a altura de Loren.

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas para a variável diâmetro “equivalente” a 1,30 m solo ( $D_e$ , cm) dos indivíduos de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, conforme ano e área estudada, em Floresta-PE.

Área	Ano	Média	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Amplitude (cm)	Coefficiente de Variação (%)
<i>Transposição</i>	2011	5,85	1,91	26,34	24,43	60,96
	2012	5,98	1,91	26,55	24,64	60,80
	2013	6,16	1,91	27,12	25,22	60,34
	2014	6,34	1,91	27,74	25,83	60,17
	2015	6,51	1,91	28,30	26,39	59,96
	2016	6,67	1,97	28,82	26,85	59,80
	2017	6,85	1,97	29,45	27,48	59,79
	2018	7,24	2,16	31,12	28,95	58,87
	2019	7,56	2,23	31,39	29,16	58,63
	2020	7,78	2,23	32,05	29,82	58,46
	2021	8,04	2,23	32,49	30,26	57,88
	2022	8,36	2,23	33,73	31,50	57,67
<i>Correntão</i>	2011	6,32	1,91	21,15	19,24	54,83
	2012	6,46	1,91	21,40	19,49	54,38
	2013	6,61	1,91	21,68	19,77	53,76
	2014	6,74	1,91	21,95	20,04	53,23
	2015	6,87	1,91	22,14	20,23	52,74
	2016	6,98	2,01	22,44	20,43	52,20
	2017	7,14	2,07	22,96	20,89	51,56
	2018	7,38	2,07	23,53	21,46	50,27
	2019	7,64	2,13	23,73	21,60	49,15
	2020	7,80	2,23	24,38	22,15	48,65
	2021	7,91	2,23	24,56	22,33	48,16
	2022	8,13	2,36	24,67	22,31	47,48

Em relação à altura (H), a variação supera o 20%, o que mostra uma diversidade na estrutura vertical da floresta (Tabela 4). Na área Correntão, a H máxima varia de 6,5 m (no ano 2011) a 7,5 m (no ano 2022), na área Transposição, 6 m (no ano 2011) até 7 m (no ano 2022).

A H média no ano 2011 foi de 3,31 m e, no ano 2022, alcançou os 4,3 m, valores próximos aos encontrados por Ferraz *et al.* (2014) na mesma área. Estas diferenças nas H e nos De nas duas áreas podem indicar diferentes estágios de regeneração e maturidade, por exemplo, a área Correntão (em regeneração) é caracterizada por árvores mais jovens e menor presença de árvores de maior porte, em contraste, a área Transposição (a mais preservada) aparenta ter uma maior proporção de árvores mais “velhas, maduras e maiores”. Isso sugere a importância de estratégias diferenciadas de conservação e manejo, considerando as necessidades específicas de cada área para preservar e promover a biodiversidade e a estabilidade do ecossistema. Embora seja importante para considerar nos planos de manejo florestal, decidiu-se juntar os dados das duas áreas, pela necessidade de garantir uma quantidade adequada de indivíduos em todas as classes diamétricas, uma condição essencial para a aplicação do método do tempo de passagem.

**Tabela 4.** Estatísticas descritivas para a variável altura (H, m) de indivíduos de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, conforme ano e área estudada, em Floresta-PE.

Área	Ano	Média	Mínimo (m)	Máximo (m)	Amplitude (m)	Coefficiente de Variação (%)
<i>Transposição</i>	2011	3,67	1,6	6,0	4,4	22,01
	2012	3,70	1,6	6,0	4,4	21,84
	2013	3,77	1,7	6,2	4,5	21,76
	2014	3,86	1,7	6,3	4,6	21,37
	2015	3,97	1,7	6,5	4,8	21,36
	2016	4,02	1,8	6,5	4,7	21,23
	2017	4,06	1,8	6,5	4,7	21,09
	2018	4,10	1,8	6,5	4,7	20,44
	2019	4,19	2,0	6,5	4,5	19,65
	2020	4,22	2,0	6,5	4,5	19,71
	2021	4,27	2,0	7,0	5,0	20,20
	2022	4,35	2,0	7,0	5,0	19,61
<i>Correntão</i>	2011	3,11	2,0	6,5	4,5	26,12
	2012	3,30	2,0	6,5	4,5	26,16
	2013	3,49	2,0	7,0	5,0	25,26
	2014	3,61	2,0	7,0	5,0	24,99
	2015	3,68	2,0	7,0	5,0	24,14
	2016	3,73	2,0	7,0	5,0	23,32
	2017	3,82	2,0	7,0	5,0	22,41
	2018	3,89	2,0	7,0	5,0	21,72
	2019	4,06	2,2	7,5	5,3	22,63
	2020	4,09	2,2	7,5	5,3	22,24
	2021	4,17	2,5	7,5	5,0	22,01
	2022	4,27	2,5	7,5	5,0	22,67

## 5.2 Estrutura das florestas estudadas

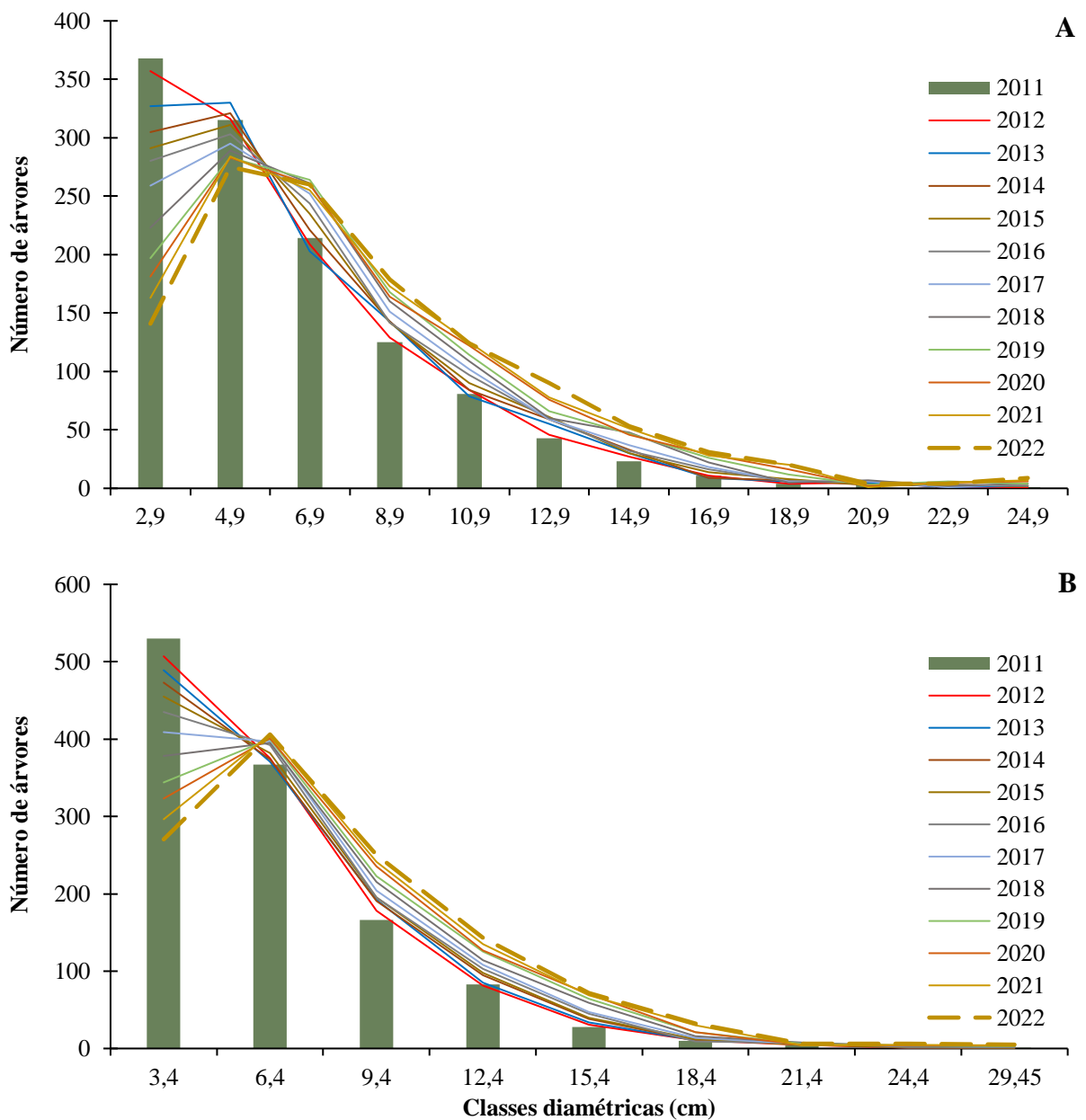
A estrutura do povoamento define a distribuição e a representação das classes de tamanho das árvores em uma floresta. Ela é o resultado dos hábitos de crescimento das espécies que constituem o povoamento, dos fatores locais e, acima de tudo, das práticas de manejo sob as quais ele se originou e se desenvolveu, e continua a mudar com o tempo ou com a idade, e em um determinado período de sua vida. A estrutura do um povoamento florestal pode ser classificada em dois grupos: de idade regular (florestas plantadas) e de idade irregular (florestas naturais). O povoamento de idade uniforme é um povoamento composto por árvores com aproximadamente a mesma idade. Contrariamente, o povoamento de idade irregular é um povoamento no qual os indivíduos variam amplamente em idade. A distinção entre povoamentos de idade regular e irregular é fundamental para compreender a dinâmica da floresta e influenciar decisões de manejo.

As florestas naturais são originadas da regeneração natural, de maneira contínua, onde são encontradas árvores com idades diferentes. Quando a floresta está em equilíbrio dinâmico, ocorre regeneração, crescimento e mortalidade, em consequência, a estrutura diamétrica apresenta-se na forma exponencial negativa (Floriano, 2021), comumente chamada de J-invertido, indicando que uma grande quantidade de indivíduos jovens ocorre nas classes de diâmetro menores, e vai diminuindo esta frequência com o aumento de classes de tamanho (Campos; Leite, 2017), assim, com base na relação entre o tamanho (D e H), é possível estimar a idade “hipotética” das árvores.

O monitoramento contínuo da estrutura florestal, através de técnicas como a análise da distribuição diamétricas ao longo do tempo, oferece uma visão detalhada das mudanças na composição e densidade das árvores. Na fazenda Itapemirim, o sistema de monitoramento contínuo estabelecido nas áreas de estudo, desde 2011, de maneira anual, até o 2022, permitiu conhecer a evolução da distribuição diamétrica, ao longo do tempo, de 1190 indivíduos de *C. bracteosum*. Na Figura 7, está ilustrada as distribuições, por classes diamétrica, dos indivíduos de *C. bracteosum*, conforme amplitude de 2 cm (Figura 7A) e 3 cm (Figura 7B) da comunidade da espécie nos anos de monitoramento (2011-2022).

No ano 2011, constatou-se a existência de grande concentração de indivíduos nas duas primeiras classes diamétricas (57% e 75%, na amplitude de 2 cm e 3cm, respectivamente). Em um estudo feito no Município de Bom Sucesso, em Minas Gerais, Carvalho *et al.* (1995), analisaram a estrutura diamétrica de 20 espécies com maior índice de valor de importância de uma floresta ripária. Os autores classificaram arbitrariamente as distribuições em quatro tipos:

Tipo I – espécies de pequeno porte, cujos indivíduos estão, em quase totalidade, na menor classe diamétrica; Tipo II – mais conhecido como J invertido, onde os indivíduos estão, na maioria, na menor classe diamétrica, caindo drasticamente seu número nas classes subsequentes; Tipo III – espécies que têm maior número de indivíduos nas menores classes diamétricas e decréscimo gradual nas classes maiores; e tipo IV – em que a quantidade de indivíduos é alta nas classes diamétricas menores, caindo bruscamente nas classes intermediárias, indicando que as espécies apresentam boa reprodução, mas com recrutamento descontínuo.



Neste estudo, na distribuição diamétrica de *C. bracteosum* no primeiro ano de análise (2011), observou-se um decréscimo gradual na direção das classes diamétricas maiores (Figura 7), mas não apresentou uma redução brusca. Em base, na classificação arbitrária de Carvalho *et al.*, (1995), a distribuição diamétrica de *C. bracteosum* no semiárido de Pernambuco estaria dentro do tipo III, uma vez que a espécie têm maior número de indivíduos nas duas primeiras classes diamétricas e apresenta um decréscimo gradual nas classes diamétricas superiores, indicando uma reprodução e um contínuo recrutamento, conservando uma densidade que lhe permite ter dinâmica de regeneração contínua e mortalidade natural (Lima, 2014; Silva, 2018). Em geral, a *C. bracteosum* apresenta um comportamento de uma floresta irregular e descontínua, concluindo que é uma espécie com boa capacidade para manejo florestal. Assim, a espécie evidencia potencial constante de regeneração, que é um indício de tendência de perpetuação da espécie. Porém, a continuidade da vegetação é suscetível às mudanças climáticas, disponibilidade de nutrientes, atividades antrópicas etc.

Para o último ano de monitoramento (2022), nas duas primeiras classes diamétricas, encontrou-se um decréscimo da quantidade de indivíduos (35% e 57% na amplitude de 2 cm e 3 cm, respectivamente), isto pelo fato de que se excluíram os ingressos, indicando que eles passaram para as categorias mais altas. Na caracterização realizada por Santos (2021) no mesmo local durante o período de 2011 até 2019, a maior porcentagem dos indivíduos de *C. bracteosum* está presente nas menores classes, além disso, a quantidade de fuste diminui quando a árvore se torna adulta (Silva, 2018). A floresta da fazenda Itapemirim está composta preponderantemente por árvores de *C. bracteosum* multifustal de caules muito finos (Lima, 2014).

A estrutura da floresta, definida pelas diferentes classificações estruturais, desempenha um papel crucial na eficácia das práticas de manejo florestal. Por exemplo, os povoamentos de idade regular, compostos por árvores com aproximadamente a mesma idade, podem ser mais facilmente geridos por práticas de colheita seletiva ou corte raso, mantendo uma estrutura homogênea. No entanto, povoamentos de idade irregular, onde os indivíduos variam amplamente em idade, demandam estratégias de manejo mais adaptativas e sensíveis à heterogeneidade da floresta. Assim, a eficácia das práticas de manejo está diretamente ligada à compreensão da estrutura diamétrica, então, é possível inferir a eficiência das estratégias de regeneração e colheita. Em florestas inequidêneas, a implementação de práticas de manejo que promovam a diversidade estrutural é crucial para a sustentabilidade do ecossistema. Mas, no caso de espécies com indivíduos multifustes, ao adaptar as estratégias de manejo à

complexidade da estrutura da floresta, é possível garantir não apenas a sustentabilidade da produção madeireira, mas, também a, preservação da saúde de um indivíduo.

### 5.3 Incremento ao longo dos anos

A área de estudo, localizada em um ambiente desafiador da caatinga, expõe plantas adaptadas a condições climáticas extremas, onde a precipitação anual média é de ~499 mm e a temperatura média de ~26,2°C, as árvores e arbustos (caducifólias) estão distribuídos esparsamente, portanto, sua paisagem é aberta, logo, a disponibilidade de luz não poderia ser o fator limitante para o crescimento das árvores de *C. bracteosum*, então, a competição por recursos hídricos se sobressai como um fator determinante para o crescimento delas (Cabral *et al.*, 2013). Essas condições desfavoráveis são agravadas por secas prolongadas e intensas, e poderiam afetar a fotossíntese e o crescimento das árvores, que, na caatinga, já estão sob estresse hídrico significativo.

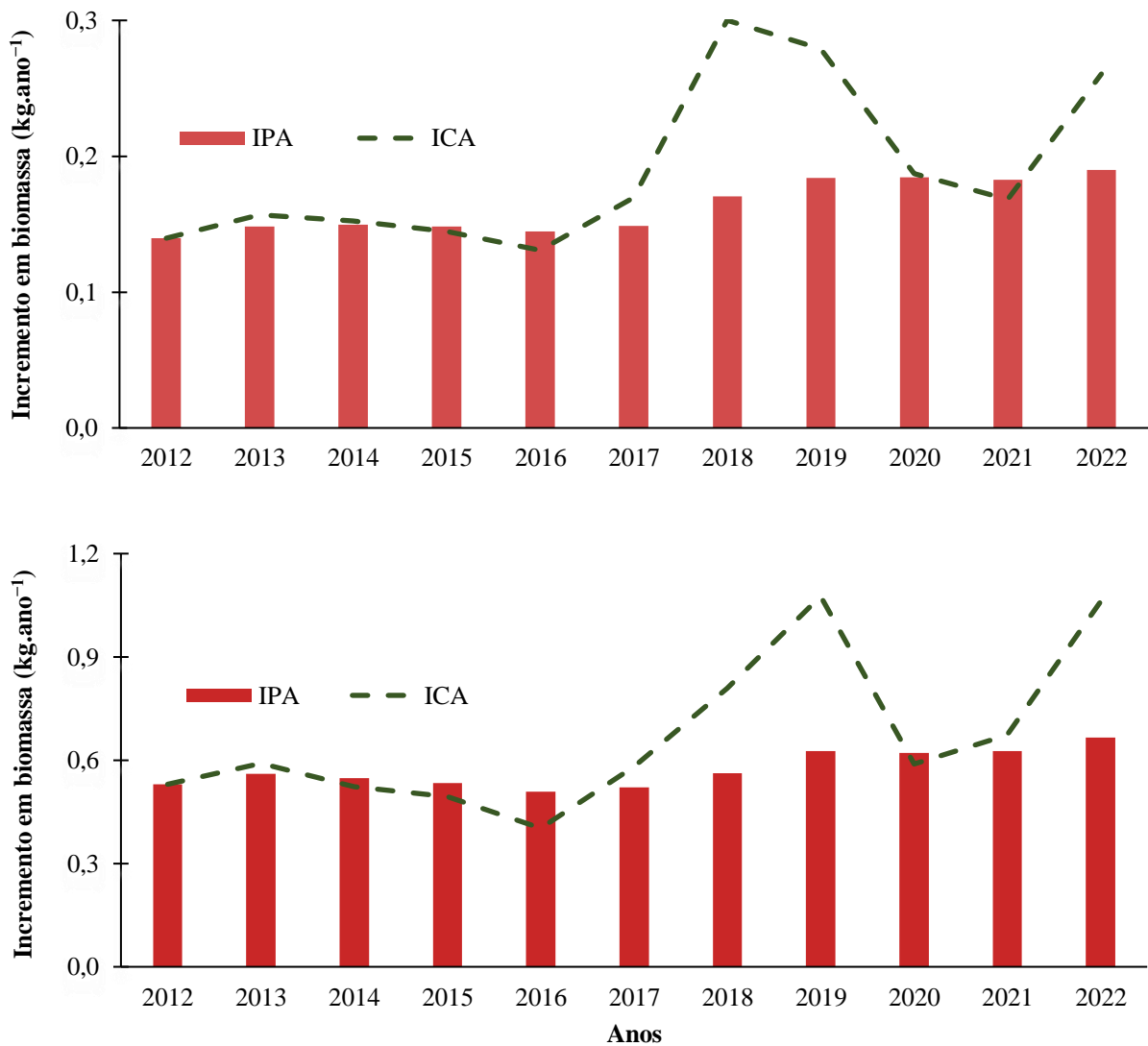
O acompanhamento frequente e anual permitiu uma compreensão mais detalhada das dinâmicas de crescimento da espécie em estudo. A análise dos incrementos indicou uma variabilidade no padrão de crescimento de um ano para outro (Figura 8). Durante os anos de monitoramento (2011 até 2022) do fragmento, *C. bracteosum* apresentou um IPA médio em diâmetro de  $0,163 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$ . Na mesma área, Lucena (2019) mostrou que o Incremento periódico médio para *C. bracteosum* foi de  $0,13 \text{ cm.ano}^{-1}$  para o período de 2008 até 2015 e Barreto *et al.* (2021), na mesma área de estudo, calculou um IPA médio de  $0,107 \text{ cm.ano}^{-1}$  de *C. bracteosum* para um período de 2008 até 2012. É possível que as diferenças encontradas entre essas pesquisas desses outros autores e deste atual estudo se deva ao curto período de análise que utilizaram, em que a primeira mensuração foi em 2008, a segunda em 2011, a terceira em 2012 e assim por diante. Em contraponto, neste estudo, as mensurações foram anuais, de 2011 até 2022.

Outros estudos (dendrocronológicos) , utilizando *Poincianella pyramidalis*, em Sergipe, mostraram a largura de anéis de crescimento médio de  $0,189 \text{ cm}$  (Pagotto *et al.*, 2017), e de *Cenostigma pluviosum* de  $0,174 \text{ cm}$  (Garcia-Cervigón, 2021) , na Bolívia, inferindo que os desafios enfrentados pelas plantas nesses ambientes podem impactar seus padrões de crescimento.

Quanto a incrementos iguais a zero encontrados, pode indicar a dificuldade de crescimento dos indivíduos no período avaliado ou que algumas árvores não tiveram crescimento durante os períodos considerados (2011 até 2022). Isto se deve a condições

ambientais desfavoráveis, como os períodos de secas severas (2010 até 2016) no Nordeste Brasileiro (Marengo *et al.*, 2018), ou a doenças, danos ou, simplesmente, ao fato de o crescimento de algumas árvores ser naturalmente mais lento ou estacionário.

Na análise do incremento em diâmetro ( $\text{cm.ano}^{-1}$ ) ao longo do tempo (2011 até 2022) (Figura 8A), encontraram-se diferenças no crescimento em dois períodos de avaliação, baixas taxas de IPA (0,146) e ICA (0,145) de *C. bracteosum* para o período 2012 até 2016, isso, possivelmente, devido ao longo período de seca (Figura 3B), já reportados em outros estudos (por exemplo, Marengo *et al.*, 2018), o que aumentou a evapotranspiração, logo, a diminuição da disponibilidade hídrica para as plantas. Em contraste, no período de 2018-2022, houve aumento das precipitações (Figura 3B) e das taxas do incremento, o IPA médio foi de 0,177  $\text{cm.ano}^{-1}$  e o ICA de 0,227  $\text{cm.ano}^{-1}$ .



**Figura 8.** Incremento periódico anual (IPA) e Incremento corrente anual (ICA) em diâmetro (A) e biomassa (B) de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, no período 2011 até 2022, em Floresta-PE.

A floresta estudada é um tipo de FTSS e, diferente das florestas ombrófilas, apresenta um crescimento muito lento, então, para estudos de crescimento, pode ser necessário realizar medições anuais para capturar variações no crescimento ao longo do tempo. Nesse sentido, este estudo fica mais importante pelo curto lapso de tempo transcorrido entre as mensurações, que foram anuais (desde 2011 até 2022). No caso de *C. bracteosum*, cujo crescimento é muito lento, esse período seria satisfatório.

O ecossistema florestal desempenha um papel muito importante no ciclo global do carbono (FAO, 2020). Durante a estação produtiva, o CO<sub>2</sub> da atmosfera é absorvido pela vegetação e armazenado como biomassa vegetal (Phat *et al.*, 2004). Mas, quando a vegetação se decompõe, ela libera carbono de volta para a atmosfera. Portanto, estratégias de manejo sustentável são necessárias para tornar a floresta um armazenamento de carbono em vez de torná-la uma fonte (FAO, 2020). A biomassa é definida como “material orgânico acima e abaixo do solo, vivo e morto”. Dessa maneira, o IPA em biomassa (kg.ano<sup>-1</sup>) médio também foi estimado, utilizando a equação local sugerida por Dalla-Lana (2018) para *C. bracteosum*, na área estudada (Figura 8B), em que o IPA médio foi de  $0,573 \pm 0,067$  kg.ano<sup>-1</sup>, e o ICA médio foi de  $0,666 \pm 0,28$  kg.ano<sup>-1</sup> para o período 2011- 2022. No primeiro período (2012 até 2016), o IPA foi de  $0,536$  kg.ano<sup>-1</sup> e o ICA  $0,508$  kg.ano<sup>-1</sup>, notou-se uma diferença no período posterior (2017 até 2022), no qual o IPA foi de  $0,604$  kg.ano<sup>-1</sup> e o ICA foi  $0,728$  kg.ano<sup>-1</sup>.

Sabe-se que um dos principais fatores ambientais associados ao crescimento das plantas em fragmentos de Floresta Tropical Seca (FTS) é a disponibilidade hídrica (Pereira *et al.*, 2018), sendo esse um aspecto crucial, onde predominam solos rasos e arenosos. Esses solos têm uma capacidade menor de retenção de água se comparados aos solos mais profundos e argilosos, sugerindo que os incrementos em diâmetro e biomassa durante o período de monitoramento de 2011 a 2016 podem ter sido afetados pela redução da disponibilidade de água. Durante a seca, as árvores reduzem a evapotranspiração por meio de mecanismos de tolerância ao déficit hídrico, como o fechamento dos estômatos e a perda da pressão de turgência (limitação de fonte e sumidouro) (Anderegg *et al.*, 2012). Esses mecanismos podem impactar negativamente o crescimento, especialmente durante longos períodos de escassez de água, afetando a capacidade de recuperação das plantas em anos subsequentes (Feitosa, 2017).

Em Pernambuco, no ano 2008, foram coletados discos da base do caule de árvores de *Mimosa tenuiflora*, uma árvore pioneira, nativa da Caatinga, utilizada comercialmente como lenha devido ao seu alto poder calorífico. *M. tenuiflora* é caducifólia, como a maioria das árvores da Caatinga, seu tronco não atinge grandes diâmetros e possui boa capacidade de rebrota. Este estudo objetivou determinar o incremento anual no diâmetro de *M. tenuiflora* e



sua correlação com a precipitação. As árvores apresentaram anéis de crescimento anual definidos, altamente correlacionados com a precipitação anual. Os autores sugeriram que a alta correlação de crescimento com as chuvas do ano anterior em regiões, onde as chuvas iniciam após estimulação fotoperiódica, indica a necessidade de compreender a dinâmica de crescimento da espécie em condições de floresta seca através de estudos adicionais de Ecofisiologia (Mattos *et al.*, 2015).

A análise do crescimento ao longo dos anos, tanto em diâmetro quanto em biomassa, revela uma clara influência dessas condições climáticas. Os anos de seca prolongada coincidem com anos onde o incremento foi menor, enquanto, em anos subsequentes a essas secas, o incremento foi maior (Figura 8).

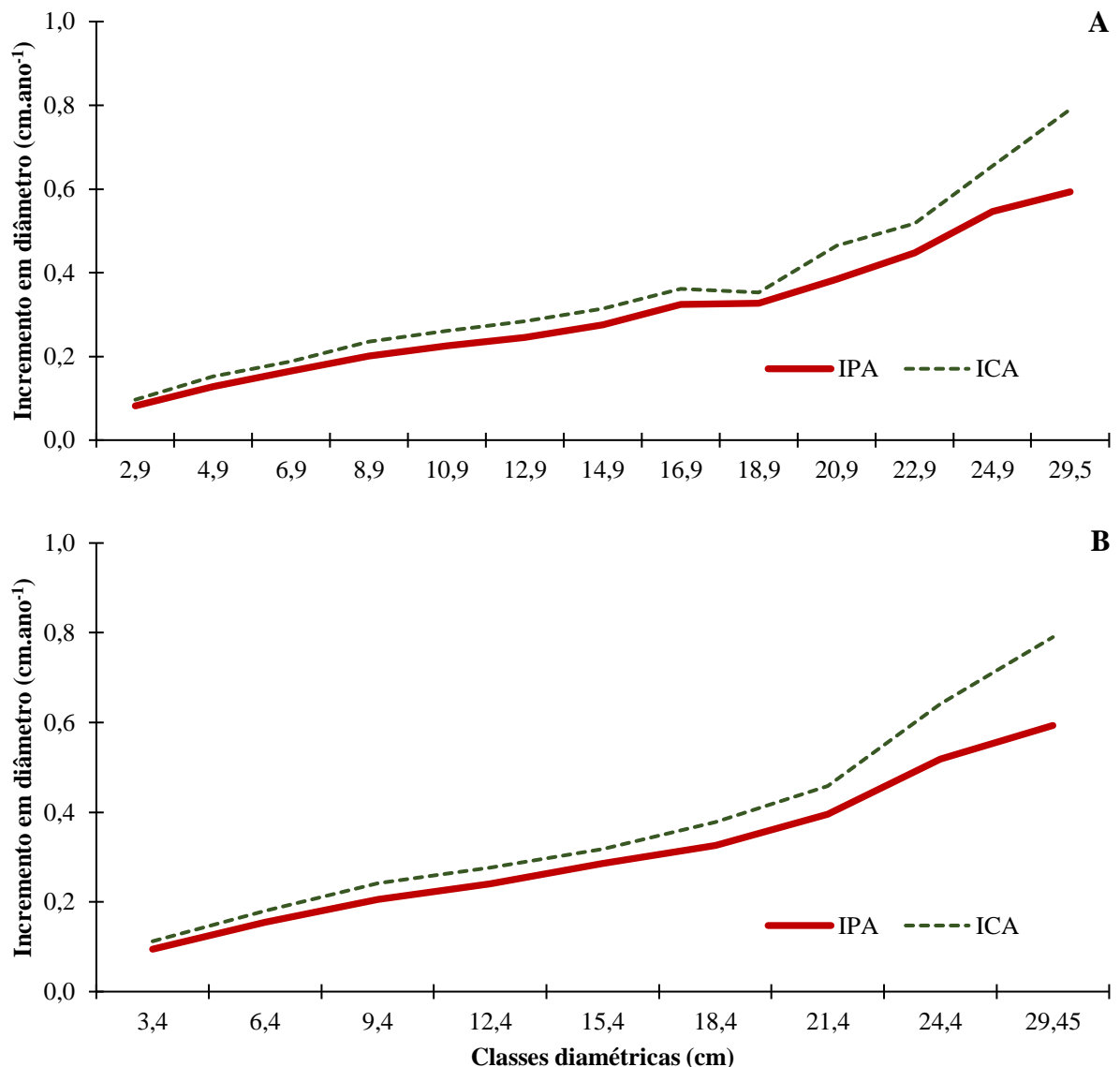
As características dos padrões de precipitação além de afetar o crescimento secundário, também estariam influenciando na fenologia, pois as árvores de *C. bracteosum*, como as outras da Caatinga, começam a perder suas folhas na época seca. Usando métodos dendrocronológicos, verificou-se que quanto mais chuvas maior o crescimento radial de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (hoje *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis), na estação seca, seu crescimento estaria sendo retido, quando as árvores ficam totalmente desfolhadas, a atividade do câmbio estaria inibida (Pagotto *et al.*, 2015). Depois de um longo período de seca, a *C. pyramidale* responde rapidamente com a produção de biomassa, o que evidencia que a atividade cambial dessa espécie decídua começa logo após o início das chuvas. O mesmo caso pode estar acontecendo com a *C. bracteosum*, onde o IPA e ICA (em De e biomassa) mostraram uma leve queda nos anos intermediários (2015 e 2016), seguida por um crescimento mais expressivo nos anos subsequentes (2017 e 2018) (Figura 8).

Utilizando o método indireto (parcelas permanentes), não foram constatadas altas correlações do ICA (em área basal) com variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, no período de 2008 a 2019 (Costa-Júnior, 2021). Assim, seria interessante a continuidade do monitoramento, considerando condições específicas do local, como: tipo de solo, precipitação, temperatura, evapotranspiração e outros fatores ambientais. Dessa forma, pode-se explorar, de forma mais abrangente as correlações com o crescimento da espécie, proporcionando informações valiosas para um manejo florestal mais adaptativo e sustentável.

#### 5.4 Incremento em Diâmetro

Os valores de incrementos periódicos médios anuais (IPA) em diâmetro ( $\text{cm. ano}^{-1}$ ) por classe diamétrica, para os períodos de 2011 a 2012, 2011 a 2013, 2011 a 2014, até 2011 a 2022,

e o incremento corrente anual (ICA) em diâmetro ( $\text{cm.ano}^{-1}$ ) revelam que os maiores incrementos de diâmetro são, geralmente, alcançados por árvores com  $D$  superiores a 16 cm (Figura 9). As maiores taxas médias de crescimento registradas, principalmente nas classes de diâmetro mais altas ( $D > 20,9$  cm), não é constante, isso poderia ser devido ao fato de que a floresta estudada apresentou um maior número de indivíduos nas classes diamétricas inferiores e menor nas classes superiores, como qualquer floresta inequiânea (Figura 7) (Lima, 2014), ao contrário, no segmento entre 1,9 cm e 16 cm, observou-se uma distribuição com tendência a sigmoide (Figura 9).



**Figura 9.** Curva do incremento periódico anual (IPA) e corrente anual (ICA) em diâmetro, por classe diamétrica, para o intervalo de 2 (A) e 3 cm (B), das árvores de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis avaliadas no período 2011 e 2022, em Floresta-PE.

## 5.5 Modelagem do crescimento em Diâmetro

Na caatinga, os modelos mais utilizados para estimativas de volume e biomassa são os seguintes: Schumacher e Hall, Spurr (na forma linearizada e não linear), Chapman-Richards, Power e Meyer, com bons ajustes (Dalla-Lana *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2020; Silva, 2021). Assim, pelo emprego destes modelos locais, os valores de incremento periódico médio anual ( $IPA_i$ ) e do respectivo diâmetro equivalente ( $D_e$ ) no tempo T (em anos) das árvores foram ajustados, em que as estimativas dos parâmetros e as estatísticas de avaliação estão apresentadas nas Tabela 5.

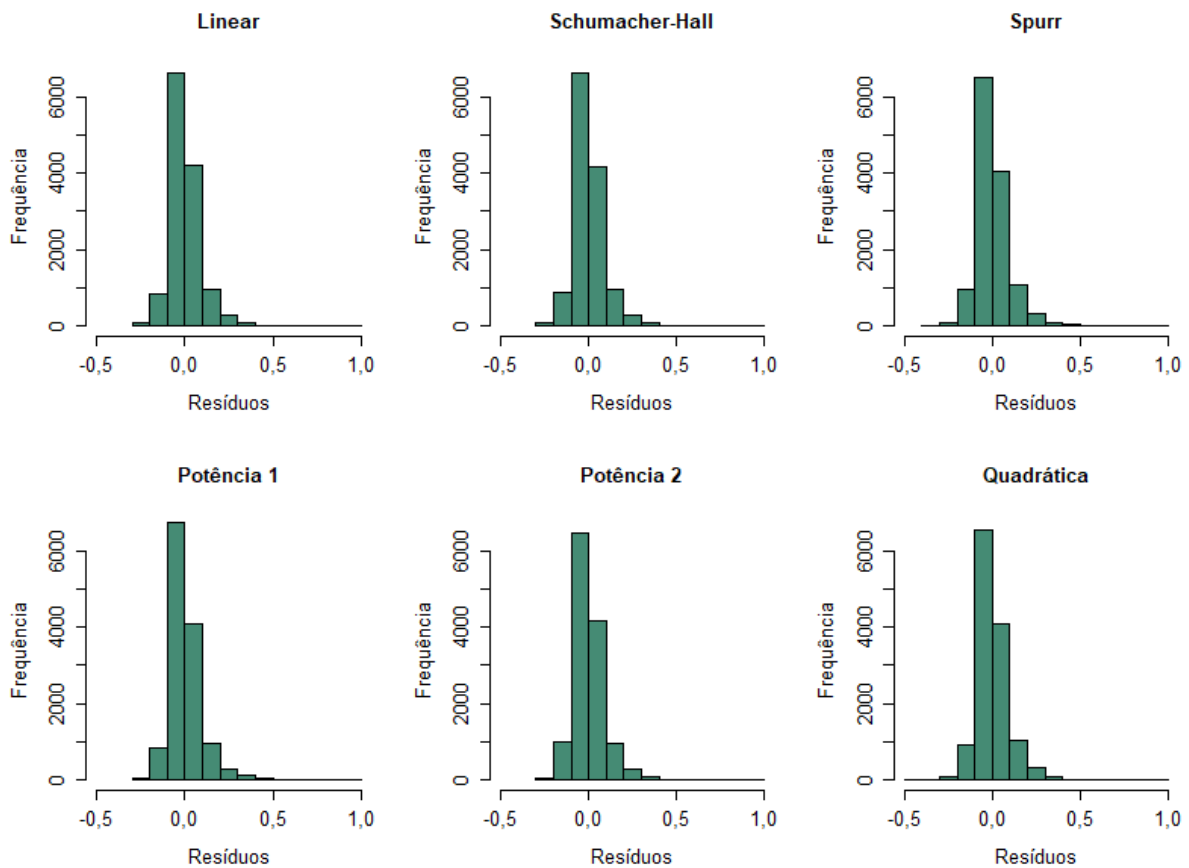
A escolha do melhor modelo se deu com base nos resultados dos seguintes modelos estatísticos: maior coeficiente de correlação (R), maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj), menor erro padrão da estimativa ( $S_{xy}$ ) e menor critério de Akaike (AIC) (Tabela 5), os quais estão numerados do melhor (1) ao pior (6) para cada critério estatístico. Da mesma maneira, utilizou-se a análise gráfica dos resíduos em histogramas (Figura 10), valores reais e os valores estimados (Figuras 11). A equação de Schumacher e Hall (1933) apresentou: o melhor coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,794$ ); o segundo maior coeficiente de correlação ( $R = 0,546$ ); o segundo menor erro médio quadrático ( $S_{xy} = 0,087$ ); e o segundo menor critério de Akaike ( $AIC = -26523,64$ ) (Tabela 5). Embora a equação linear atenda aos critérios de seleção estatística, foi observada uma dispersão nos pontos do gráfico Q-Q plot, o que sugere que ele pode não ser a melhor representação do crescimento das árvores, assim, foi selecionada a equação de Schumacher e Hall.

**Tabela 5.** Estimativas dos parâmetros ( $\beta_n$ ) para os modelos ajustados, com respectivos coeficientes de correlação (R), Coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro padrão da média ( $S_{xy}$ ) e Critério de Akaike (AIC), em Floresta-PE

N	Equação	$S_{xy}$	R	$R^2$	AIC
1	$IPA_i = 0,0347034 + 0,0156224D_i + 0,00538512T_i$	0,0877 (1)	0,548 (1)	-	-26560,16 (1)
2	$IPA_i = 0,0457679 D_i^{0,6036096} T_i^{0,1296755}$	<b>0,0878 (2)</b>	<b>0,546 (2)</b>	<b>0,794 (1)</b>	<b>-26523,64(2)</b>
3	$IPA_i = 0,1312 + 0,00001055(D_i^2 T_i)$	0,09297 (6)	0,462 (6)	0,769 (5)	-25037,19 (6)
4	$IPA_i = 0,0426261 * (D_i^2 T_i)^{0,2607503}$	0,08916 (4)	0,526 (4)	0,788(2)	-26133,69 (4)
5	$IPA_i = 0,055985 + D_i^{0,608138}$	0,08908 (3)	0,527 (3)	0,788 (3)	-26158,08 (3)
6	$IPA_i = 0,009067 + 0,0000798D_i^2 + 0,0005385T_i$	0,09015 (5)	0,511 (5)	0,783 (4)	-25844,62 (5)

Em que:  $IPA_i$  = incremento periódico médio anual da i-ésima classe diamétrica ( $cm \cdot ano^{-1}$ );  $D_i$  = i-ésimo diâmetro (cm); e  $T_i$  = tempo determinado (ano).

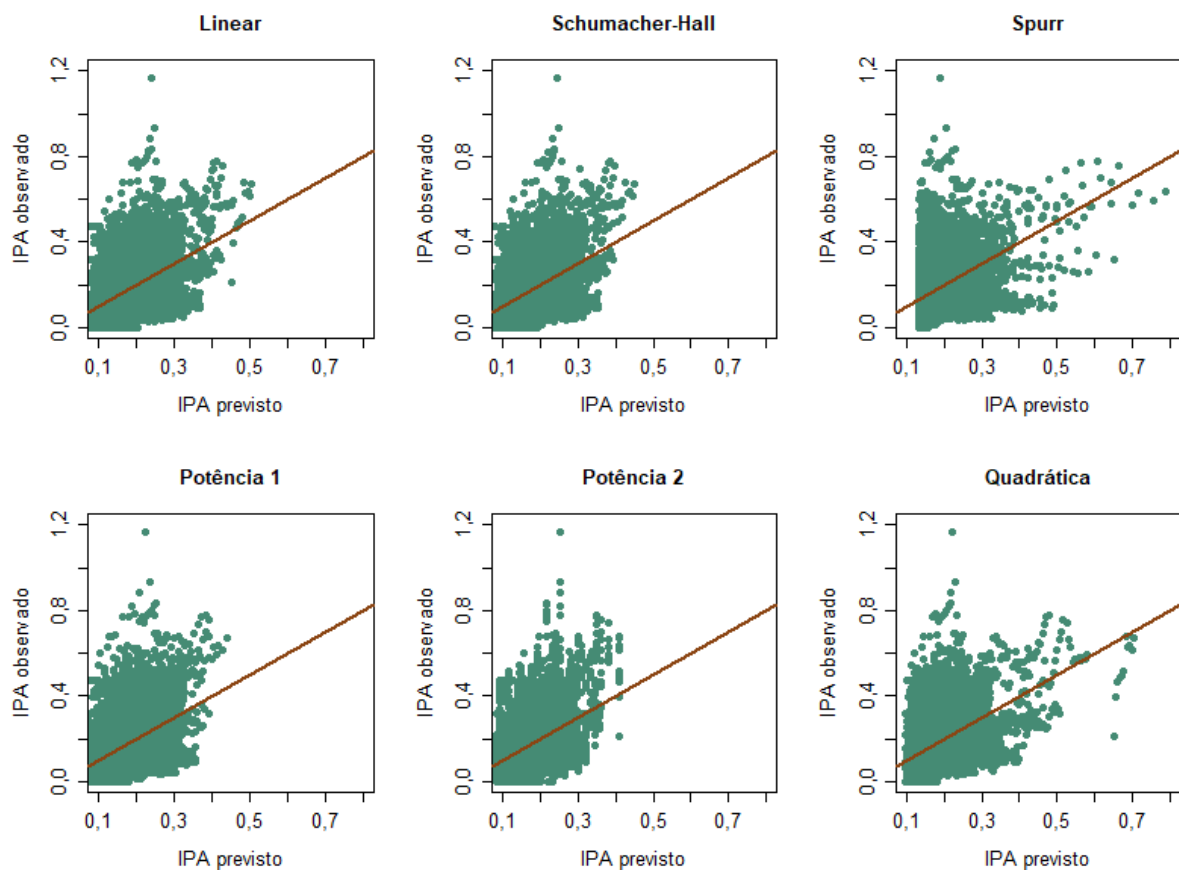
Observou-se que a distribuição dos resíduos, que está apresentada nos histogramas dos resíduos (Figura 10), mostrou uma distribuição normal aproximada dos resíduos. Assim, pode-se estabelecer que as informações simuladas do IPA de tamanho 13090 dados têm resíduos com média quase zero. Essa distribuição simétrica sugere que as equações propostas têm a capacidade de explicar e prever o crescimento em diâmetro das árvores de *Cenostigma bracteosum* com relativa precisão, considerando os dados disponíveis. No entanto, verificou-se uma pequena assimetria em alguns pontos dos histogramas, sugerindo possíveis áreas de melhoria ou refinamento nos modelos para alcançar uma melhor adequação (Figura 10). Essa análise da distribuição dos resíduos é crucial para a validação das equações propostas e fornece uma base sólida para sua utilização na previsão do crescimento futuro da espécie estudada.



**Figura 10.** Histograma de resíduos dos 13090 dados de incremento periódico anual (IPA) em diâmetro para os indivíduos de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, em Floresta-PE.

Por outro lado, ao observar os gráficos gerados dos IPA observados vs IPA estimados (Figura 11), percebeu-se que as linhas de tendência não obtiveram resultado muito discrepante. Essa consistência entre os valores observados e os previstos sugere que as equações de regressão utilizadas têm uma precisão aceitável na previsão do crescimento em diâmetro das

árvores de *C. bracteosum* nos IPAs menores. Contudo, é importante ressaltar a presença de alguns pontos atípicos (outliers), indicando uma variação inesperada entre os valores reais e estimados em IPAs maiores. É relevante considerar que a existência de outliers pode ser atribuída a diversos fatores, como a característica da espécie, que pode apresentar múltiplos fustes, então, o diâmetro “maior”, na verdade, é um diâmetro equivalente, o que representa a área basal, além disso, fatores como influências ambientais não mensuradas, variações individuais das árvores ou mesmo erros de medição. Esses pontos fora do padrão podem impactar a precisão das equações de crescimento, sugerindo a necessidade de uma investigação mais aprofundada para identificar as causas subjacentes dessas discrepâncias e, possivelmente, refinar os modelos propostos.

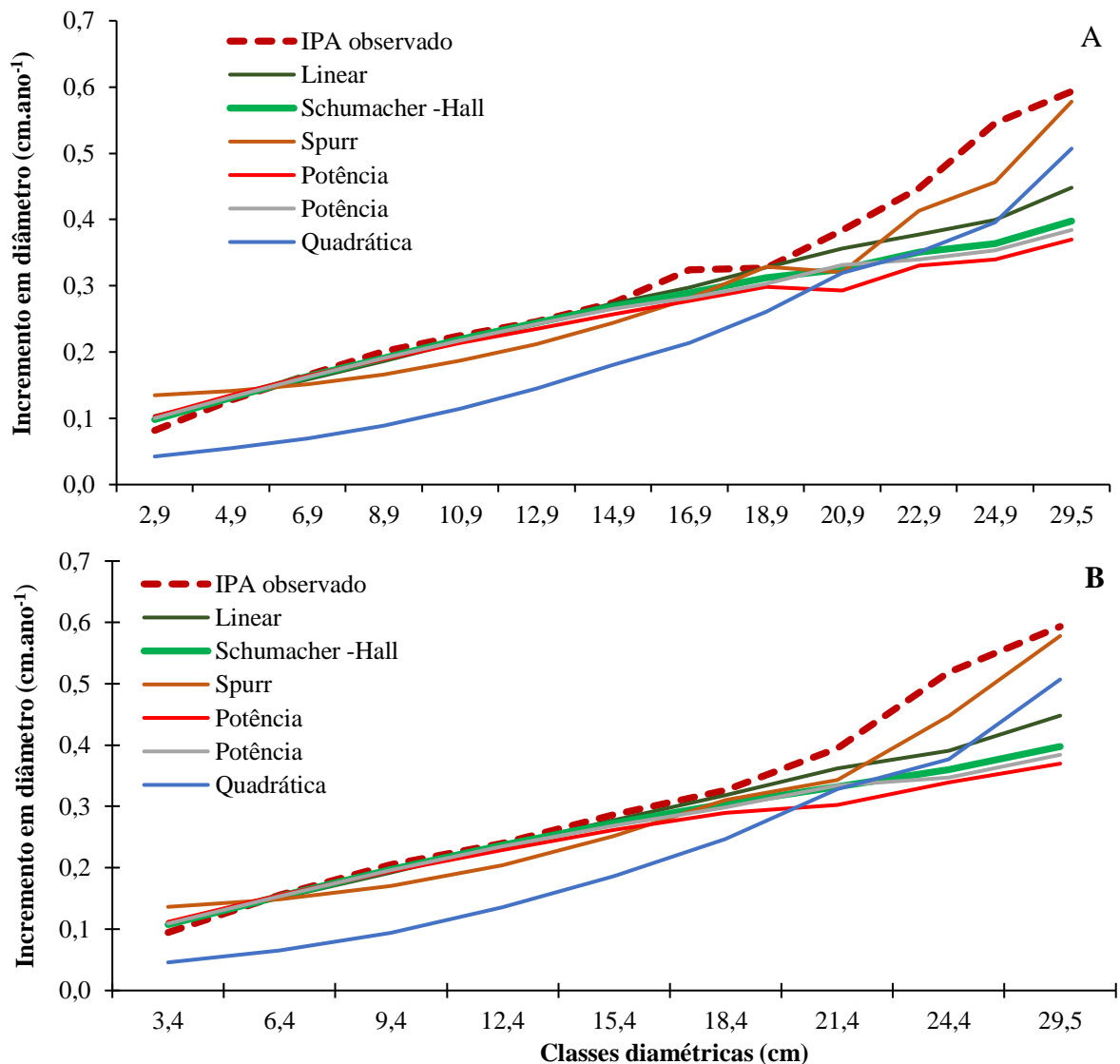


**Figura 11.** Análise dos valores preditos *versus* observados de incremento periódico anual em diâmetro ( $\text{cm.ano}^{-1}$ ), pelas seis equações, para os indivíduos de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, em Floresta-PE.

É importante salientar que a acurácia das equações não deve ser considerada isoladamente, mas sim em conjunto com a validação estatística dos modelos, como o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj), o erro padrão da média ( $S_{xy}$ ) e o critério de Akaike (AIC), como discutido anteriormente (Tabela 5). O conjunto de métricas avaliativas fornece

uma visão abrangente sobre a eficácia dos modelos propostos na previsão do crescimento das árvores de *C. bracteosum* ao longo do tempo. A curva do IPA em diâmetro ( $\text{cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) mostra os ajustes de cada equação testada, constatou-se que, de maneira geral, a equação de Schumacher-Hall poderia ajustar melhor o IPA em De da espécie selecionada (Figura 12), já que a curva do IPA estimado (cor verde) fica mais perto do IPA observado (curva tracejada).

A equação escolhida foi estatisticamente satisfatória até a classe de diâmetro de 20 cm, onde ocorre a maior homogeneidade dos dados. A partir dessa classe diamétrica, foi observada uma diferença entre os valores de IPA observados e estimados para todas as equações, onde ela muda abruptamente em ambos os intervalos de análise de 2 e 3 cm (Figura 12), isso pela quantidade de dados disponíveis para as análises.



**Figura 12.** Curva do IPA em diâmetro observado e ajustado com as seis equações testadas das árvores com  $De \geq 1.9$  cm, por classe diamétrica, para o intervalo de 2 (A) e 3 cm (B), das árvores de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis avaliadas no período 2011 e 2022, em Floresta-PE.

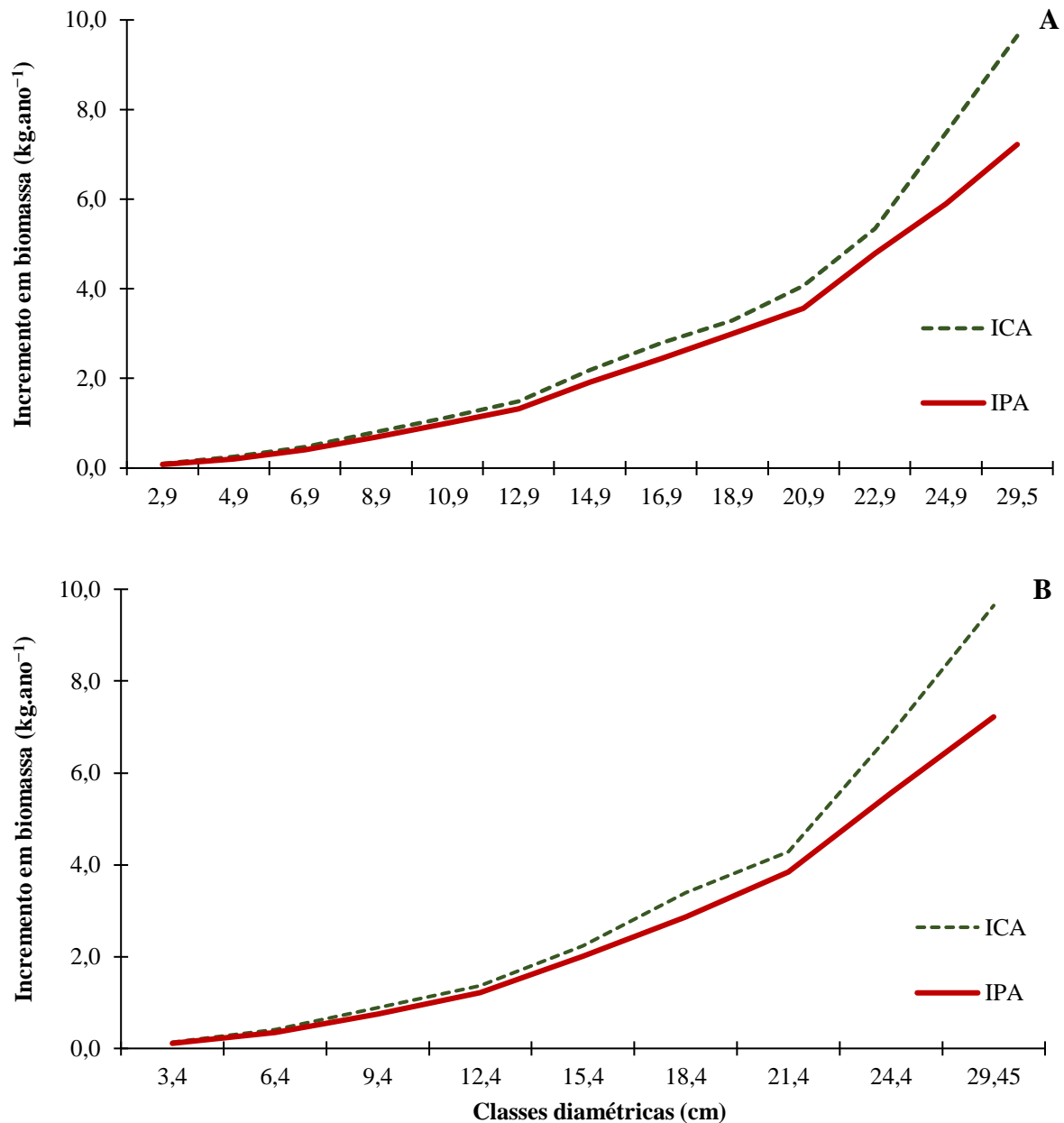
No Brasil, o modelo de Schumacher e Hall (1933), graças a seus atributos estatísticos é o mais difundido no setor florestal, uma vez que resulta em estimativas quase sempre não tendenciosas (Campos; Leite, 2017). Andrade *et al.* (2017) encontraram o incremento periódico anual médio com centro de classe de 5 a 75 cm nos diferentes tratamentos: T1: tratamento controle, floresta sem intervenção (IPA = 0,14 cm.ano<sup>-1</sup>), T1: exploração de espécies comerciais, sem intervenção posterior (IPA = 0,21 cm.ano<sup>-1</sup>), T2,T3 e T4: Exploração de árvores comerciais com desbaste de espécies não comerciais para reduzir a área basal em 20%, 30% e 50% da original, respectivamente, onde os incrementos do T2 foram de 0,24 cm.ano<sup>-1</sup>, do T3 foram de 0,23 cm.ano<sup>-1</sup> e do T4 foram de 0,22 cm.ano<sup>-1</sup>. Esse incremento do *Minquartia guianensis*, em classes maiores, foi ascendente até a classe diamétrica de 50 cm, depois teve uma tendência a decrescer, à medida que as classes passavam, indicando que os indivíduos de *M. guianensis* podem estar em fase de senescência. Ao contrário de nossos resultados, parece que os indivíduos de *C. bracteosum* está em uma fase juvenil.

## 5.6 Incremento em biomassa

Nos estudos de biomassa florestal, são utilizadas duas unidades de biomassa: peso fresco e peso seco. Para a aplicação do sequestro de carbono, o peso seco é mais relevante porque 50% dele é carbono e muitos estudos se concentram na biomassa florestal acima do solo (Losi *et al.*, 2003), pois ela representa a maior parte da biomassa total acumulada no ecossistema florestal. Dalla-Lana *et al.* (2018), trabalhando com dados de árvores que representam 91,6% da densidade total da área em estudo, estimaram a biomassa aérea seca de: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyriformis*, *Bauhinia cheilantha*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Croton heliotropiifolius*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa tenuiflora* e *Cenostigma bracteosum*, onde ajustaram os seguintes modelos: Schumacher e Hall, Chapman-Richards, Spurr, Power, Meyer, com bons ajustes. Para *C. bracteosum*, o modelo que melhor ajustou foi o Spurr (não linear), em comparação com os outros modelos, que apresentou o maior coeficiente de determinação e resíduos mais homogêneos.

Nesta pesquisa, a partir da equação local que Dalla-Lana *et al.* (2018) ajustaram para *C. bracteosum*, foram calculados os valores de incrementos periódicos médios anuais (IPA) em biomassa (kg.ano<sup>-1</sup>), para os períodos de 2011 a 2012, 2011 a 2013, 2011 a 2014, até 2011 a 2022, e o incremento corrente anual (ICA) de 2011 até 2022, por classe diamétrica em intervalos de 2 cm e 3 cm. O IPA e ICA (kg.ano<sup>-1</sup>) mostraram uma curva de crescimento esperado, onde os maiores incrementos tendem a ser alcançados por árvores com diâmetros

maiores a 22 cm (Figura 13). Geralmente, as taxas de crescimento tornam-se constantes, à medida que as árvores crescem, e diminuem com a idade, uma vez atingido o crescimento máximo ("crescimento potencial máximo") (Xu *et al.*, 2016). Neste estudo, não se observou aquele crescimento constante, isto pode ocorrer porque a área de estudo parece ter uma população jovem em processo de evolução (Silva, 2018).



**Figura 13.** Curva dos incrementos periódico médio anual (IPA) e corrente anual (ICA) em biomassa das árvores com  $D \geq 1.9$  cm, por classe diamétrica, para o intervalo de 2 (A) e 3 cm (B) das árvores de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis avaliadas no período 2011 até 2022, em Floresta-PE.



## 5.7 Tempo de Passagem e Idade Relativa

A possibilidade de conhecer ou estimar a idade das árvores em FTSS fornece uma base sólida para determinar o ciclo de corte correto, desbaste e outras atividades silviculturais, de modo a realizar um uso sustentável dos recursos florestais, e, assim, conhecer a idade enquanto parâmetro mensurável, tornando-se, então, uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões. Na Caatinga, a necessidade de calcular a idade das árvores é suficientemente justificada, especialmente quando o ciclo de corte para o manejo da espécie arbórea que predomina, “*Cenostigma bracteosum*”, não é conhecido cientificamente, até agora, sua exploração é efetuada de forma clandestina, sem que sejam observados os parâmetros necessários para a sua recuperação, nem obedecida a Instrução Normativa 007/2006 (CPRH, 2006), que estabelece um ciclo de corte mínimo de 15 anos.

Após a determinação do IPA em diâmetro ( $\text{cm.ano}^{-1}$ ) e em biomassa ( $\text{kg.ano}^{-1}$ ), o próximo passo consistiu em determinar o primeiro tempo de passagem (TP) e a primeira idade relativa (IR) de *C. bracteosum*, assim, neste estudo, utilizaram-se os dois enfoques: o IPA em diâmetro ( $\text{cm. ano}^{-1}$ ) (Figura 14) e o IPA em biomassa ( $\text{kg.ano}^{-1}$ ) (Figura 15), por classe diamétrica, testados para os intervalos de 2 cm (Figuras 14 e 15A) e 3 cm (Figuras 14 e 15B). Vale ressaltar que o IPA em diâmetro ( $\text{cm.ano}^{-1}$ ) utilizado foi aquele ajustado por meio da equação de Schumacher-Hall.

As estimativas do TP e a IR calculadas pelo IPA em diâmetro para a primeira classe diamétrica sugerem que seriam necessários mais de 20 anos para que as árvores de *C. bracteosum* do estoque de regeneração ingressassem no nível de inclusão mínimo estabelecido de 1,9 cm (Figura 14). Observou-se que o *C. bracteosum* tem os valores mais altos de tempo de passagem ( $> 20$  anos) na primeira classe diamétrica, e que, depois, tende a diminuir nas classes diamétricas mais altas. Na última classe ( $24,4 < 34,95$  cm), o tempo de passagem foi menor que 5 anos (no intervalo de 2 cm) e 8 anos (no intervalo de 3 cm). No entanto, nessas últimas classes diamétricas, os resultados podem ter sido influenciados pela pouca quantidade de indivíduos. Com base nestes resultados, a idade relativa dos indivíduos de *C. bracteosum* são de 78 e 82 anos, calculados com a amplitude de 2,0 cm e 3,0 cm, respectivamente.

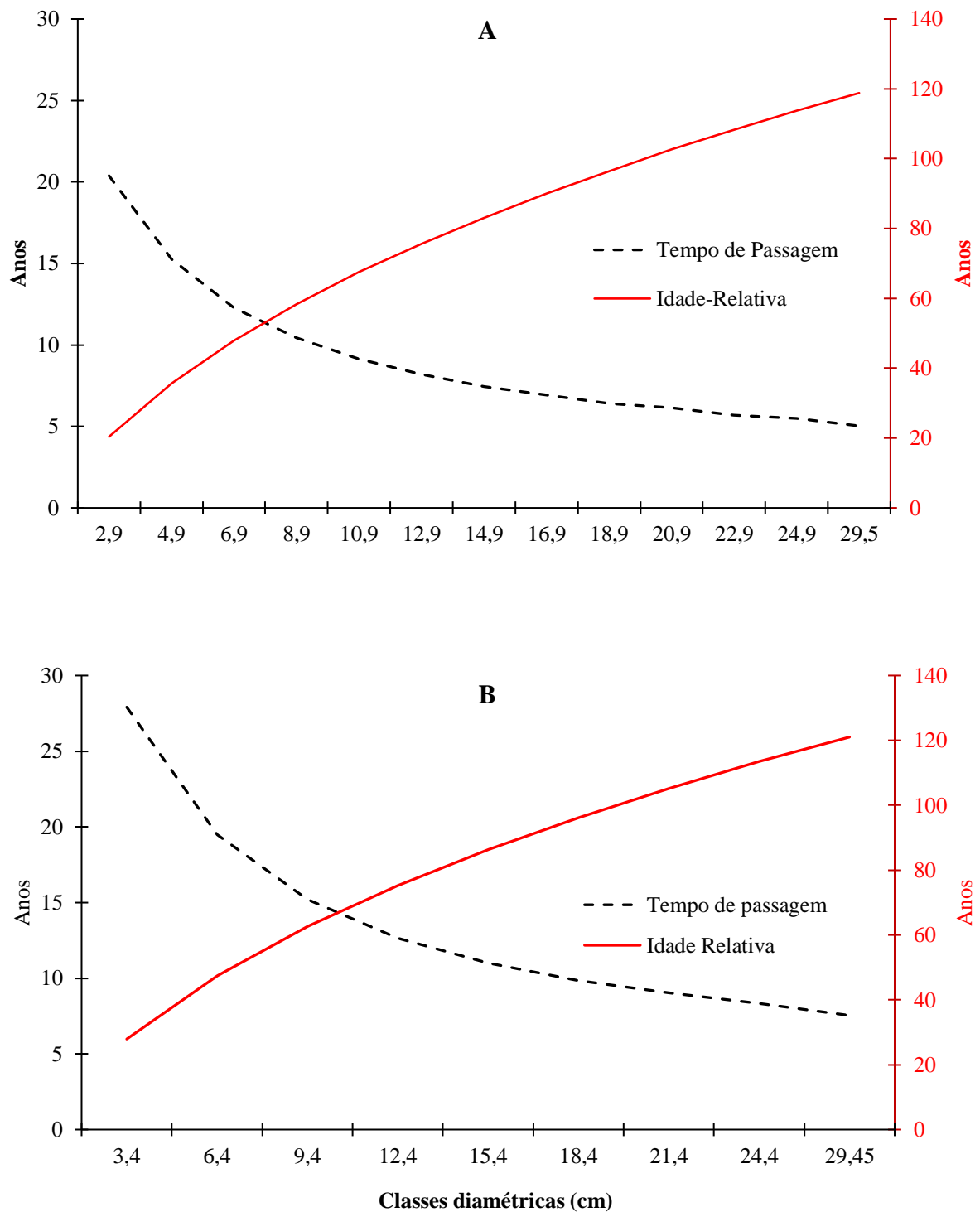
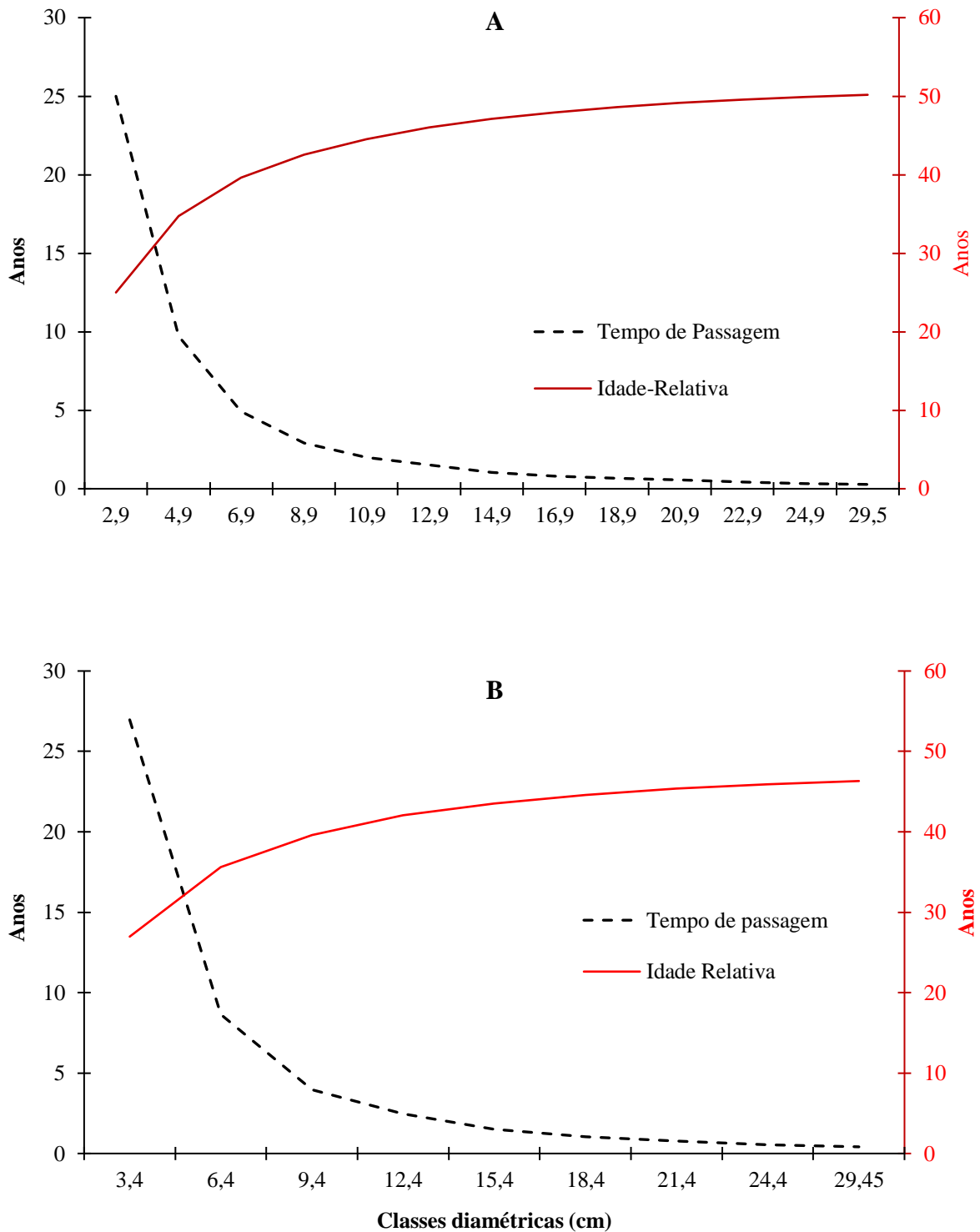


Figura 14. Curva do Tempo de Passagem e Idade Relativa calculada com o IPA em diâmetro ( $\text{cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, por classes diamétricas, com intervalo de 2 (A) e 3 cm (B), de 2011 até 2022, Floresta-PE.



**Figura 15.** Curva do tempo de passagem e idade relativa calculado por meio do IPA em biomassa ( $\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) de *Cenostigma bracteosum* (Tul.) E. Gagnon & G. P. Lewis, por classes diamétricas, com intervalo de 2 (A) e 3 cm (B), de 2011 até 2022, em Floresta-PE.

Em estudo do incremento periódico médio mensal (IPM) em diâmetro por centro de classe diamétrica para a espécie *Eremanthus incanus*, Santos *et al.* (2017) utilizaram amplitudes de classe de diâmetro de 3 cm e 5cm e períodos de intervalo de medição de 12, 8 e 4 meses, em uma área de Diamantina, em Mato Grosso, determinando-se as seguintes idades relativas (IR): 5, 4 e 3 anos, com TP de 32, 25 e 18 meses, respectivamente. Essas IRs encontradas para cada intervalo de medição representam o número de anos para que os indivíduos de *E. incanus* ingressos no nível de inclusão mínimo de 5 cm. Esta grande diferença de anos demonstrou os períodos necessários para que *C. bracteosum* (> 20 anos) e *E. incanus* (<5 anos) ingressassem no nível de inclusão estabelecido, que foram 1,9 cm e 5,0 cm, respectivamente, poderia ser pelas características próprias das espécies, uma vez que a *C. bracteosum* cresce em condições xerofíticas (precipitação total anual de 499 mm e temperatura média anual de 26,2°C) e a *E. incanus* cresce em condições de maior precipitação, entre 1250 a 1550 mm, e temperaturas na faixa de 18°C a 19°C.

Já em estudo utilizando o diâmetro e a densidade do povoamento, Scolforo *et al.* (2017) ajustaram o modelo exponencial para 6 espécies arbóreas: *Amaioua guianensis* Aubl.; *Inga vera* Willd.; *Sebastiania brasiliensis* Spreng.; *Siparuna guianensis* Aubl.; *Triplaris gardneriana* Weddell; e *Xylopia brasiliensis* Spreng, do bioma de Mata Atlântica. O objetivo desta análise foi prever o tempo para que cada espécie de árvore atingisse um D predeterminado (10 e 30 cm) em uma variedade de cenários de densidade de povoamento (1.600, 2.000 e 2.400 árvores por hectare). Em que o inventário florestal, para avaliar o crescimento florestal, foi realizado pela primeira vez em 2003, enquanto a nova medição foi realizada em 2008. Um modelo exponencial não linear, contendo um parâmetro assíntota em função da densidade do povoamento, foi adequado para estimar a taxa de crescimento do diâmetro das espécies arbóreas para cada uma das seis espécies de árvores no estudo.

Os modelos ajustados exibiram alta variabilidade entre as seis espécies de árvores, mas tiveram um bom desempenho no que diz respeito ao comportamento de crescimento das árvores. Como o modelo levou em conta a densidade do povoamento, foi possível prever como as diferentes densidades do povoamento afetariam o crescimento de cada espécie de árvore ao longo do tempo. As espécies arbóreas *Triplaris gardneriana* Weddell, *Inga vera* Willd. e *Xylopia brasiliensis* Spreng apresentaram boas taxas de crescimento independente da densidade de povoamento simulada (1.600, 2.000 e 2.400 ha<sup>-1</sup>) e foram recomendadas como espécies arbóreas com potencial de rápido crescimento, em que, para atingir um D de 10 cm, as espécies precisavam de um determinado tempo, sendo: *Xylopia brasiliensis* Spreng – 16 anos, 17 anos

e 18 anos; *Triplaris gardneriana* Weddell – 15, 17 e 21 anos; e *Inga vera* Willd. – 25, 25,5 e 26 anos.

Os resultados anteriores sugerem que a determinação do ciclo de corte também deve ser determinada com base na produtividade, e não apenas no crescimento em diâmetro. Assim, nesse contexto, a utilização do crescimento em biomassa é uma medida mais abrangente do que o  $D_e$ , pois inclui o crescimento em altura, embora sua determinação seja consideravelmente mais complexa, pode ser mais adequada para orientar o manejo florestal.

Na Figura 15, as estimativas da IR por meio do Método do TP utilizando o IPA em biomassa ( $\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) revelam que são necessários mais de 26 anos para que as árvores do estoque de regeneração ingressem no tamanho mínimo de D (1,9 cm). Observou-se que *C. bracteosum* apresentou crescimento inicial lento e que resulta em um TP mais longo, caindo bruscamente na segunda classe diamétrica (~9 anos) e diminuindo nas classes de diâmetro maiores. Pelo contrário, a IR aumentou rapidamente na segunda classe diamétrica (de 25 a 32 anos, de 27 a 36 anos, na amplitude de 2 cm e 3 cm, respectivamente) e, na última classe diamétrica, as IRs são de 50 anos (2cm) e 46 anos (3cm). Resultados corroborados por Santos *et al.* (2017), os quais encontraram que, para as classes diamétricas menores, o tempo de passagem é maior, nesse sentido, os indivíduos de *Eramanthus incana* precisam de mais tempo para mudar de classe nas menores classes diamétricas.

O primeiro TP utilizando o IPA em biomassa foi de 25 e 27 anos, na amplitude de 2 cm e 3 cm, respectivamente. Esse TP é a primeira IR (ou idade de ingresso), que representa a idade necessária para uma árvore ingressar na primeira classe diamétrica. As classes diamétricas menores crescem mais lentamente que as classes maiores, o IPA (em diâmetro e biomassa) aumentou com o aumento das classes diamétricas, o que demonstra a relação do IPA com o TP, ou seja, quanto maior o IPA menor será o TP (Figuras 13, 14 e 15). O TP para essas primeiras classes diamétricas foi maior do que o das classes superiores (chegando a TP de zero, na última classe diamétrica).

Por outro lado, O IPA (em diâmetro e biomassa) dos indivíduos de *C. bracteosum* aumentou com o avanço das idades encontradas, árvores com diâmetro equivalente ( $D_e$ ) maiores que 24 cm estariam com uma idade relativa de 100 e 50 anos, calculada com o IPA em diâmetro e biomassa, respectivamente. Assim, as Idades relativas de *Cenostigma bracteosum* na fazenda Itapemirim, inferido com o Incremento Periódico Anual em diâmetro e biomassa, foram de 78 anos e 41 anos, respectivamente, sugerindo que os indivíduos analisados são indivíduos jovens, uma vez que não atingiram o valor de IPA máximo.

O crescimento inicial mais lento (que se traduz em um TP mais alto) em *C. bracteosum* pode estar associado ao maior número de indivíduos presentes nas primeiras classes diamétricas, indicando maior competição por água e nutrientes. Em contraste a isso, os indivíduos de idade mais avançada, que apresentam um TP cada vez mais curto, pode estar relacionado ao fato de que as árvores mais maduras tendem a ter sistemas radiculares mais robustos, e sua capacidade de resistir e se adaptar às condições de seca e escassez de recursos está mais desenvolvida.

As duas amplitudes testadas (2 cm e 3 cm) ressaltam a importância de escolher a amplitude adequada para as análises, considerando as características específicas da vegetação da Caatinga e as metas do estudo. Quanto ao uso de duas amplitudes nas análises, 2 cm e 3 cm, permitiu observar uma pequena variação no TP e na IR do estoque de regeneração, como, por exemplo, na estimativa do TP utilizando o IPA em diâmetro, que foi de 20 e 28 anos, na amplitude de 2 cm e 3 cm, respectivamente. Santos *et al.* (2017) também testaram duas amplitudes (3 cm e 5 cm) para estimar o TP e a IR em uma floresta ombrófila mista, em que a amplitude de 3 cm foi a que apresentou resultados melhores, comparativamente à amplitude de 5 cm.

De forma contrária, Andrade *et al.* (2017), para estimar o TP e a IR em uma Floresta Ombrófila Densa, na Floresta Nacional do Tapajós (Flona do Tapajós), no Município de Belterra-PA, utilizaram uma amplitude de 10 cm, isso por conta do domínio de árvores de grande porte. Na área de trabalho, muitos trabalhos utilizaram amplitude de classe de diâmetro de 3 cm para avaliar a distribuição do número de árvores por classe diamétrica, por exemplo: Lima, 2014; Costa-Júnior (2021), entre outros, e, de acordo com os resultados deste trabalho, tanto amplitude de classe diamétrica de 2 cm quanto a de 3 cm podem ser usadas, mas também é possível testar a amplitude de 1 cm, pois o crescimento na Caatinga é lento, em comparação ao de florestas úmidas.

Vale ressaltar que uma limitante na estimação da idade relativa a partir do tempo de passagem na caatinga é precisamente aquela multiplicidade do fuste, o que poderia sobrestimar/subestimar o crescimento, então, é necessária uma avaliação cuidadosa de cada árvore e de seus fustes. Uma árvore de *C. bracteosum* pode ter até 20 fustes, assim, se todos os fustes mensurados estão vivos, o incremento vai ser “maior”, interpretando-se que a *C. bracteosum* cresce muito rápido, ou, caso contrário, quando uma árvore de dois ou três fustes estivesse com um só fuste vivo, teria um crescimento “menor”, comparado aos outros.

Então, o manejo de árvores multifustes requer uma abordagem individualizada, considerando-se alguns critérios: (A) Avaliar a saúde e o vigor de cada fuste, por meio de

inspeções visuais, para detectar sinais de doenças, danos ou debilidades em cada tronco. Em que, as árvores com fustes doentes e/ou danificados podem precisar ser removidas mais cedo para evitar a propagação de doenças ou o risco de queda, mas, árvores saudáveis e vigorosas podem ser deixadas para continuar seu crescimento e contribuir para a sustentabilidade do ecossistema; (B) A intensidade da colheita, refere-se à quantidade de fustes que serão removidos de uma árvore durante o processo de manejo; e (C) Após a colheita, é importante realizar um monitoramento pós-colheita para avaliar o impacto da intervenção de manejo na saúde e na dinâmica da floresta.

Considerando os ciclos de corte estabelecidos por Lei ( $\geq 15$  anos), uma árvore da espécie *C. bracteosum* atinge 1.9 cm de De em um período maior a 20 anos, portanto, usar um tempo de corte e um DMC (diâmetro mínimo de corte) sem suporte científico para esta espécie pode levar a decisões incorretas. Segundo Dalla-Lana (2018), para que as árvores da Caatinga recuperem o seu estoque inicial em 15 anos, a taxa de crescimento dessa área deveria ser de 16,2%.

A idade é uma importante informação que auxilia o manejo florestal sustentável, pois, por meio dela, é possível determinar o ciclo de corte, o volume, e planejar as intervenções silviculturais (Andrade *et al.*, 2019). Logo, com base nos resultados desta pesquisa, 15 anos não seriam suficientes, já que é preciso mais de 20 anos para que a *C. bracteosum* alcance um Diâmetro equivalente (De) de 1,9 cm. Isso demonstra que não há justificativas ecológicas para a derrubadas de árvores com De menor ou igual a 20 cm. Então, pode-se considerar como ideal de corte as árvores com De entre 20 cm e 25 cm, em razão de: as dimensões são adequadas para seu uso, melhor crescimento obtido (maior IPA), menor TP entre classes diamétricas, assim, deve-se considerar um ciclo de corte maior que 40 anos. Mas o corte dos indivíduos adultos e/ou vigorosos devem ser feitos de forma criteriosa e seletiva, já que estas podem ser importantes fontes de sementes.

A exploração dos recursos da Caatinga sem o devido manejo florestal pode resultar em desmatamento descontrolado e ser altamente prejudicial para a biodiversidade (Kill, 2011), que já enfrenta desafios significativos devido às secas recorrentes e às condições ambientais adversas. Atualmente, a grande demanda energética de lenha e carvão vegetal tem colocado grande parte da sua flora e fauna local em risco de extinção (Santos *et al.*, 2020). Principalmente em cenários de mudanças climáticas, a Caatinga pode ser a região mais vulnerável a secas (IPCC, 2014), além disso, existem, ainda, outros fatores, como altas taxas de analfabetismo, níveis de baixa renda, exclusão social, entre outras problemas socioambientais (Vieira *et al.*, 2015), que, em períodos de secas, poderiam ameaçar, de maneira direta, os recursos florestais

madeireiros e não madeireiros. Então, é importante que cada estágio do ciclo de vida das árvores seja bem conhecido, para que um plano de manejo florestal coerente possa ser desenvolvido e, assim, manter a sustentabilidade dos recursos florestais.

*Cenostigma bracteosum* a espécie arbórea caducifólia, que cresce nas FTSS do Brasil, parece estar muito adaptada às condições ambientais extremas da Caatinga, ela mostrou potencialidade para ser utilizada em projetos de reflorestamento. Mas sua exploração deve ser motivo de grande preocupação para os planejadores florestais e formuladores de políticas encarregados de manter a resiliência desse importante ecossistema florestal para apoiar e beneficiar as atividades sertanejas. A implementação de estratégias de gerenciamento adequadas, como a proteção de áreas prioritárias e a promoção da regeneração natural do habitat, é essencial para garantir a sobrevivência a longo prazo da espécie. Para um manejo sustentável de *C. bracteosum*, precisa-se de mais pesquisas ecofisiológicas, por exemplo, seus mecanismos de fonte (adaptações para maximizar a captação de recursos) e sumidouro (adaptações para minimizar perdas de água), que lhe permitem sobreviver e até prosperar em condições de seca.

Finalmente, sugere-se que se aplique o método de TP e IR para as outras espécies arbóreas na Caatinga, já que cada espécie apresenta diversidade nas taxas de crescimento, rasgos funcionais e respostas às secas, ou seja, cada espécie pode ter diferentes estratégias para crescer nas diferentes condições de disponibilidade hídrica. Ao estudar indivíduos da Caatinga, a possibilidade de utilizar a amplitude de 1 cm, e não apenas de 2 e 3 cm, deve ser levada em consideração. Isso pelo fato de que o crescimento nas FTSS é mais lento em comparação às outras florestas tropicais.



## 6. CONCLUSÕES

O modelo de Schumacher e Hall, em sua forma não linear, é o modelo que melhor ajusta o Incremento Periódico Médio anual em diâmetro (IPA) para *Cenostigma bracteosum*.

O tempo de Passagem para que os indivíduos de *Cenostigma bracteosum* alcancem o estoque de regeneração ( $D > 1,9\text{cm}$ ) é maior ou igual a 20 anos. Esta espécie apresenta um crescimento inicial lento, refletido por um Tempo de passagem mais longo nas primeiras classes diamétricas, no entanto, à medida que os indivíduos amadurecem, o tempo de passagem diminui.

A Idade relativa de *Cenostigma bracteosum* na área de estudo, inferido com o Incremento Periódico Anual em diâmetro e biomassa, é de 78 anos e 41 anos, respectivamente.

O ciclo de corte para a *Cenostigma bracteosum* é maior ou igual a 40 anos, onde se pode derrubar árvores com diâmetros equivalentes a 20 cm e 25 cm.

## 7. REFERÊNCIAS

- APAC-Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Meteorologia**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia>. Acesso em: 02 ago. 2023.
- AKAIKE, H. **A new look at the statistical model identification**. IEEE Transactions on automatic control, Tokyo, v.19, n.6, 716-723 p, 1974. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>.
- ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Oxford: University of Oxford, 1992. 124p. (Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers, 25). Disponível em: <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:44f3db1e-6bb9-477c-8ab4-8d723a15550f>. Acesso em: 05 nov. 2024.
- ALTHOFF, T. D. *et al.* Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 254, n.1, p.26-34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.016>.
- ALVES, J.J.A. Geocologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro-SP, v. 2, n. 1, p.58-71, 2007. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/266>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- ANDEREGG, W.; KANE, J.; ANDEREGG, L. Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. **Nature Climate Change**, London, v. 3, p.30–36, 2013. <https://doi.org/10.1038/nclimate1635>.
- ANDRADE, C. G. C. *et al.* Crescimento diamétrico e tempo de passagem de *Minuartia guianensis* após manejo na Floresta Nacional do Tapajós. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v.37, n.91, p.299-309, 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1406>.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Amsterdam, v. 27, e100649, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100649>.
- ANDRADE, E. M. A floresta tropical seca, caatinga: as certezas e incertezas das águas. **TRIM**, Fortaleza-CE, n. 12, p.11-20, 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5922951.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- ANDRADE, H. F. *et al.* Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 438, p. 215–223, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.030>
- The Angiosperm Phylogeny Group. *et al.* An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Oxford, v. 181, n.1, p 1-20, 2016. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2022. 422p.

ARAÚJO- ALEJANDRO, PUBLIO. **Idade relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG,1993.

ARAÚJO, P. A. *et al.* Idade relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 17, n. 1, p.100-116,1993.

BAKER, T. R. *et al.* From plots to policy: How to ensure long-term forest plot data supports environmental management in intact tropical forest landscapes. **Plants, People, Planet**, Lancaster, v. 3, n. 3, p. 229-237, 2021. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10154>.

BARRETO, T. N. A. *et al.* Dynamics of woody species in dry tropical forest (caatinga), Brazil. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 51, n.1, p. 154-163, 2021. <https://doi.org/10.5380/ufpr.v51n1a1.67604>.

BEERS, T. W. Components of forest growth. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 60, n. 4, p. 245-248, 1962. <https://doi.org/10.1093/jof/60.4.245>.

BOTANIC GARDENS CONSERVATION INTERNATIONAL (BGCI); IUCN SSC GLOBAL TREE SPECIALIST GROUP. *Cenostigma bracteosum*. **The IUCN Red List of Threatened Species**, e.T148756204A148756206, 2019. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T148756204A148756206.en>.

BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, Washington, v. 320, n. 5882, p.1444-1449, 2008. <https://doi.org/10.1126/Science.1155121>.

BOWMAN, D. M. *et al.* Detecting trends in tree growth: not so simple. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 18, n.1, p. 11-17, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.005>.

BRAGG, C.; HENRY, N. B. Modelling stand development for prediction and control in tropical forest management. In: SHEPHERD, K. R.; RICHTER, H. V. (Eds.). **Managing the tropical forest**. Canberra: Australian National University, 1985. p.281-297.

CABALLERO, J. D.; ORJEDA, J. M. Estudio de una metodología para la determinación de edades en Bosques Naturales. **Revista Forestal del Perú**, v. 6, n. 1-2, p. 1-8, 1976. Disponível em: [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol06\\_no1-2\\_75-76\\_\(09\)/vol6\\_art4.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol06_no1-2_75-76_(09)/vol6_art4.pdf). Acesso em: 15 mai. 2023.

CABRAL, G.; SAMPAIO, E.V.D.S.B.; SILVA, J. Estrutura espacial e biomassa da parte aérea em diferentes estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, n.3, p. 566-574, 2013. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20130057>.

CAMACHO-CALVO, M. **Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical**; guía para el establecimiento y medición. Turrialba: CATIE, 2000. 52p. (CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico, 42). Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3290?locale-attribute=es>. Acesso em: 13 mai. 2023.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 5.ed. Viçosa, MG: UFV, 2017. 636 p.

CANCINO, J. **Dendrometria básica**. Concepción: Universidad de Concepción, 2012. 163p. Disponível em: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/407>. Acesso em: 14 mai. 2023.

CARVALHO, D. A. *et al.* Estrutura diamétrica e vertical de uma floresta ripária no Alto Rio Grande (Bom Sucesso-Estado de Minas Gerais). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 19, n 4, p. 572-586, 1995.

CHAGAS, R. K. *et al.* Dinâmica de populações arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em Lavras, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 39-57, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000300004>.

CORONEL-DE-RENOLFI, M. **Determinación del turno forestal: bases teóricas y aplicaciones prácticas**. 1.ed. Santiago del Estero: EDUNSE, 2015. 112p. (Cátedras, 1).

COSTA-JÚNIOR, D. S. D. *et al.* Dinâmica de crescimento de uma floresta tropical sazonalmente seca no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.32, n.3, p.1594-1616, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509867697>.

COSTA-JÚNIOR, Djailson Silva da. **Padrões de crescimento em floresta tropical sazonalmente seca em relação à variabilidade ambiental no semiárido pernambucano**. 2021. 171p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/9419>. Acesso em: 02 ago. 2023.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa n. 007, de 29 de dezembro de 2006**. Disciplina os procedimentos da CPRH referentes à aprovação da localização da Reserva Legal em propriedades e posses rurais; à autorização para supressão de vegetação e intervenção em Áreas de Preservação Permanente e à autorização para o desenvolvimento das atividades florestais no Estado de Pernambuco. Disponível em: [http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/IN%20007%202006;140606;20100420.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/IN%20007%202006;140606;20100420.pdf). Acesso em: 06 Fev. 2021.

DA SILVA, E. C. *et al.* Drought and its consequences to plants from individual to ecosystem. In: AKINCI, Sener (Ed.). **Responses of organisms to water stress**. London: Intechopen, 2013. Chap. 2, p.18-47. <https://doi.org/10.5772/53833>.

DALLA-LANA, M. *et al.* Biomass equations for caatinga species. **Nativa**, Sinop-MT, v. 6, n. 5, p. 517-525, 2018. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5361>.

DEL VALLE-ARANGO, J.I. Curva preliminar de crecimiento del cativo (*Prioria copaifera*) en bosque virgen empleando el método de los tiempos de paso. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, Medellín, v. 32, n. 2, p. 19-26, 1979. Disponível em: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/39566>. Acesso em: 23 jul. 2023.

DOS SANTOS, J. *et al.* Polarimetric responses and scattering mechanisms of tropical forests in the Brazilian Amazon. In: JEDLOVEC, Gary (Ed.). **Advances on geoscience and remote sensing**. Vukovar, 2009. Chap. 8, p.183-206. <https://doi.org/10.5772/8340>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2018, 213 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094003/2/SiBCS2018ISBN9788570358004.pdf>. Acesso em: 17 Fev. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Global forest resources assessment 2020: main report**. Roma: FAO, 2020. 164p. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.

FERRAZ, J. S.F. *et al.* Uses of the woody species of the caatinga in Floresta, Pernambuco, Brazil: Indigenous knowledge in the Village Travessão do Ouro. **Bosque**, Valdivia, v. 33, n. 2, p. 183–190, 2012. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200008>.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no Nordeste do Brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 99p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/28686>. Acesso em: 28 jul. 2023.

FERRAZ, José Serafim Feitosa. **Análise da vegetação da caatinga Arbustivo-Arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 131p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7120>. Acesso em: 02 ago. 2023.

FERRAZ, J. S. F. *et al.* Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, Recife, Pernambuco, v. 38, n. 6, p. 1055-1064, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600010>

FLORIANO, Eduardo Pagel. **Dendrometria**. Rio Largo: O autor, 2021. 170p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/353902923\\_DENDROMETRIA](https://www.researchgate.net/publication/353902923_DENDROMETRIA). Acesso em: 18 ago. 2023.

FONSECA, W., ALICE, F.; REY, J. M. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. **Bosque**, Valdivia, v. 30, n. 1, p. 36-47, 2009. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002009000100006>.

REFLORA. Flora do Brasil 2020. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 05 set. 2023

GARCÍA-CERVIGÓN, A. I. *et al.* Adjusting xylem anatomy and growth to inter-annual climate variability in two Fabaceae species (*Centrolobium microchaete*, *Cenostigma pluviosum*) from Bolivian dry tropical forests. **Dendrochronologia**, v. 67, p. 125840, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125840>.

GBIF - Global Biodiversity Information Facility. Occurrence Download. Disponível em: <https://www.gbif.org/>. Acesso em: 7 Jan. 2023.

GOMES-COPELAND, Kícia Karinne Pereira. **Calogênese e uso de fatores abióticos e bióticos na produção de metabólitos secundários da Catingueira (*Poincianella pyramidalis* Tul.)**. 2015. 80p. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal da Bahia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/23927>. Acesso em: 10 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272p. (IBGE. Manuais técnicos em

geociências, 1). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em> 17 fev. 2023.

IMAÑA,E, J.; ENCINAS, O. **Epidometria forestal**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal; Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 2008. 72p. <https://doi.org/10.26512/9788587599315>.

IMANÃ ENCINAS, J.; SILVA, G.F.; PINTO, J.R.R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: UnB, 2005. 40p. (UNB. Comunicações Técnicas Florestais, v.7, n.1). Disponível em: [http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10018/1/LIVRO\\_IdadeCrescimentodasArvores.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10018/1/LIVRO_IdadeCrescimentodasArvores.pdf). Acesso em: 20 dez. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Central and South America**. In: BARROS, V. R. *et al.* (Eds.). **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part B: regional aspects. New York: Cambridge University Press, 2014. Chap. 27, p. 1499-1566. (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf). Acesso em: 25 ago. 2023.

KILL, L. H. P. **Caatinga: patrimônio brasileiro ameaçado**. 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/899060>. Acesso em: 15 dez. 2023.

KÖPPEN, W., 1948. Climatología. México, Fondo de Cultura Economica, pp. 213.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: GTZ,1990. 343p.

LIMA, R. B. *et al.* Estimating tree volume of dry tropical forest in the Brazilian Semi-Arid Region: a comparison between regression and artificial neural networks. **Journal of Sustainable Forestry**, Boca Raton, v. 40, n. 3, p. 281-299, 2021. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1754241>.

LIMA, Robson Borges de. **Distribuição diamétrica e volumetria em vegetação de caatinga arbustiva-arbórea, Floresta – PE**. 2014. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=1790610](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=1790610). Acesso em: 15 dez. 2023.

LIMA, Tamires Leal. **Reconstituição da composição, estrutura e biomassa arbustiva-arbórea a partir de cepas em caatinga sob manejo florestal**. 2016. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7407>. Acesso em: 12 jun. 2023.

LOSI, C. J. *et al.* Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, v.184, n. 1-3, p. 355-368, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00160-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00160-9).

LUCENA, Josias Divino Silva de. **Competição e dinâmica em floresta tropical seca no semiárido pernambucano**. 2019. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –

Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8481>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MACKAY, E. **Fundamentos y métodos de la ordenación de montes**. 2.ed. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, 1961. 768 p.

MAIA-SILVA, C. *et al.* **Guia de plantas: visitadas por abelhas na caatinga**. 1. ed. Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. 190p. Disponível em: [https://www.semabelhasalimenta.com.br/wp-content/uploads/2015/02/livro\\_203.pdf](https://www.semabelhasalimenta.com.br/wp-content/uploads/2015/02/livro_203.pdf). Acesso em: 12 nov. 2023.

MARANGON, Gabriel Paes. **Estrutura e padrão espacial em vegetação de caatinga**. 2011. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5479>. Acesso em: 07 dez. 2023.

MARENCO, J.A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, São Paulo-SP, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARTÍNEZ-RAMOS, M.; ÁLVAREZ-BUYLLA, E. R. How old are tropical rain forest trees? **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 3, n. 10, p. 400-405, 1998. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(98\)01313-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01313-2).

MATTOS, P. P. *et al.* Climate-tree growth relationships of *Mimosa tenuiflora* in seasonally dry tropical forest, Brazil. **Cernea**, Lavras-MG, v. 21, n. 1, p. 141-149, 2015. <https://doi.org/10.1590/01047760201521011460>

MELO CRUZ, O.A.; RÍOS VARGAS, R. **Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos**. 1.ed. Cortolima: Universidad de Tolima, 2002. 222p.

MELO, C. L. S. M. S. D. *et al.* Dynamics of dry tropical forest after three decades of vegetation suppression. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 26, n.3, e20171163, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.116317>.

MILES, L. *et al.* A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, New York, v. 33, n. 3, p. 491-505, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caatinga**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MORO, M. F. *et al.* A Phytogeographical metaanalysis of the semiarid caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, New York, v.82, p.91–148, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9164-z>.

MOSTACEDO, B.; FREDERICKSEN, T. **Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal**. Santa Cruz de La Sierra: BOLFOR, 2000. 87p. Disponível em: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>. Acesso em: 17 Fev. 2023.

- OSMATON, H. A. Determination of age/girth and similar relationships in tropical forestry. **Empire Forestry Review**, New York, v. 35, n.2, p.193-197, 1956. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/42602825>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- PAGOTTO, M. A. *et al.* Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v.35, p. 14-23, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.05.007>.
- PAGOTTO, M. A. *et al.* Evaluation of X-ray densitometry to identify tree-ring boundaries of two deciduous species from semi-arid forests in Brazil. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 42, p. 94-103, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.01.007>.
- PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v.40, p.437-457, 2009. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>.
- PEREIRA, G. D. A. *et al.* The climate response of *Cedrela fissilis* annual ring width in the Rio São Francisco basin, Brazil. **Tree-Ring Research**, Loveland, v. 74, n. 2, p. 162-171, 2018. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-74.2.162>.
- PEREIRA, J. E. S. *et al.* Form Quotient in Estimating Caatinga Tree Volume. **Journal of Sustainable Forestry**, Boca Raton, v. 40, n. 5, p. 508-517, 2020. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1779090>.
- PHAT, N.K.; KNORR, W.; KIM, S. Appropriate measures for conservation of terrestrial carbon stocks--Analysis of trends of forest management in Southeast Asia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 191, n. 1-3, p. 283-299, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.12.019>.
- PICARD, N. *et al.* Permanent sample plots for natural tropical forests: a rationale with special emphasis on Central Africa. **Environmental Monitoring and Assessment**, New York, v. 164, p. 279-295, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0892-y>.
- PUTZ, F. E.; DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. Why poor logging practices persist in the tropics. **Conservation Biology**, Malden, v. 14, n. 4, p. 951-956, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99137.x>.
- QUESADA, R. A. *et al.* Tropical and subtropical dendrochronology: Approaches, applications, and prospects. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 144, p. 109506, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109506>.
- TEAM, R. D. C. **R**: a language and environment for statistical computing. Ver. 4.3.0. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 07 Jan. 2024.
- SÁ-FILHO, G. F. **Avaliação da indução da neuroplasticidade e do potencial antimicrobiano dos extratos metanólicos da catingueira (*Cenostigma bracteosum*) e da canafístula (*Senna trachypus*) plantas naturais da caatinga.** 2022. 145p. Tese (Doutorado m Psicobiologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/47032>. Acesso em: 07 dez. 2023.



SANTOS, C. P. D. S. *et al.* Estoque de energia da madeira em áreas sob manejo florestal no Rio Grande do Norte. **Scientia Forestalis**. Piracicaba-SP, v. 48, n. 126, e3080, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.06>.

SANTOS, L. *et al.* Idade relativa e tempo de passagem para *Eremanthus incanus* (Less.) Less em uma área em recuperação no município de Diamantina, MG. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v.24, e20150262, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.0262>.

SANTOS, N. Á. T. **Dinâmica da floresta seca sob diferentes históricos de uso: distribuição diamétrica de indivíduos e fustes**. 2021. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/nattan\\_adler\\_tavares\\_dos\\_santos.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/nattan_adler_tavares_dos_santos.pdf). Acesso em: 20 nov. 2023.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393p.

SCOLFORO, H. F. *et al.* A new model of tropical tree diameter growth rate and its application to identify fast-growing native tree species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 400, p. 578-586, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.048>.

SHEIL, Douglas. A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 77, n 1-3, p. 11-34, 1995. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03583-V](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03583-V).

SILVA, Anderson Francisco da. **Estrutura e dinâmica de uma floresta tropical seca em Pernambuco, Brasil**. 2018. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7373>. Acesso em: 05 nov. 2023.

UZOH, F. C. C.; OLIVER, W. W. Individual tree height increment model for managed even-aged stands of ponderosa pine throughout the western United States using linear mixed effects models. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 221, n. 1-3, p. 147–154, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.012>.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312p.

VIEIRA, R. D. S. P. *et al.* Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, Göttingen, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015. <https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015>.

WORBES, Martin. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. **IAWA Journal**, Leiden, v. 16, n. 4, p.337-351, 1995. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001424>.

XU, M. *et al.* computational framework for mapping the timing of vegetative phase change. **New Phytologist**, New York, v. 211, n. 2, p. 750-76, 2016. <https://doi.org/10.1111/nph.13907>.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente-SP, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176>. Acesso em: 22 jun. 2023.