



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE AGRONOMIA (EA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO (PPGAGRO)

SARAH MAGALHÃES DIAS

**Dinâmica de incremento e estoque de carbono em uma Floresta
Estacional Semidecidual**

GOIÂNIA
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Sarah Magalhães Dias

3. Título do trabalho

DINÂMICA DO INCREMENTO E ESTOQUE DE CARBONO EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Sarah Magalhães Dias, Discente**, em 27/02/2025, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sybelle Barreira, Professora do Magistério Superior**, em 27/02/2025, às 15:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5189572** e o código CRC **D8DED147**.

SARAH MAGALHÃES DIAS

**Dinâmica de incremento e estoque de carbono em uma Floresta
Estacional Semidecidual**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, da Escola de Agronomia, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de mestra em Agronegócio.

Área de concentração: Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais
Linha de pesquisa: Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sybelle Barreira

Coorientadora: Dr^ª. Márcia Thaís de Melo Carvalho

GOIÂNIA
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Dias, Sarah Magalhães

Dinâmica de incremento e estoque de carbono em uma Floresta
Estacional Semidecidual [manuscrito] / Sarah Magalhães Dias. - 2025.
79 f.

Orientador: Prof. Sybelle Barreira; co-orientador Márcia Thaís de
Melo Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronegócio,
Goiânia, 2025.

Bibliografia.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Banda dendrométrica. 2. Incremento diamétrico. 3. Serviços
ecossistêmicos. 4. Teor de carbono. I. Barreira, Sybelle, orient. II.
Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **3/2025** da sessão de Defesa de Dissertação de Sarah Magalhães Dias, que confere o título de Mestra em **Agronegócio**, na área de concentração em **Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais**.

Aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e cinco, a partir das 08h30, na sala 13 do Desenvolvimento Rural (PPGAGRO), realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "DINÂMICA DE INCREMENTO E ESTOQUE DE CARBONO NA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL". Os trabalhos foram instalados pela orientadora, Professora Doutora Sybelle Barreira (EA/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Alcido Elenor Wander (EMBRAPA), membro titular interno; e Professor Doutor Carlos de Melo e Silva Neto (IFG), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Sybelle Barreira, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e cinco.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

DINÂMICA DO INCREMENTO E ESTOQUE DE CARBONO EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL



Documento assinado eletronicamente por **Carlos de Melo e Silva Neto, Usuário Externo**, em 27/02/2025, às 10:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alcido Elenor Wander, Usuário Externo**, em 27/02/2025, às 11:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sybelle Barreira, Professora do Magistério Superior**, em 27/02/2025, às 12:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5201597** e o código CRC **0D94CED1**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família,
minha razão de viver e porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos na academia, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Em segundo, tenho muito a agradecer aos meus pais, parentes e amigos que com seu incentivo me fizeram chegar até aqui, como também a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

De igual forma, tenho muita gratidão por todos do Grupo de Pesquisa Cerrado (GPC), em especial, minha orientadora Dr.^a Sybelle Barreira e aos colegas Ana Limiro, Filipe Gonçalves, Letícia Moreira e Ryan Rodrigues.

Como também, sou muito grata ao Dr. Carlos de Melo e Silva Neto pela disponibilidade e toda a ajuda na identificação das espécies em campo. Meu agradecimento ao Dr. Matheus Peres Chagas e o técnico Macksuel Fernandes da Silva do Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia pela ajuda tanto nas coletas como auxílio nas análises de amostras de madeira.

Também ao técnico Artur Fernandes Almeida do Laboratório de Mecanização Agrícola por todo auxílio na confecção das bandas dendrométricas. E, aos colegas engenheiros florestais, Edson Augusto, Sarah Silva e Hallefy Junio, obrigada pelas reuniões e diversos conselhos que guiaram a dissertação para caminhos melhores.

Ademais, agradeço aos colegas da graduação em Engenharia Florestal que se dispuseram em diversos momentos nas idas de campo em seus momentos livres, a saber: Ana Júlia de Lima, Breno Barros, Matheus Leite, Victor Hugo e Yara Gonçalves.

Agradeço o acolhimento, a convivência e todo conhecimento que obtive com a minha coorientadora Dr.^a Márcia Thaís e todos da Embrapa Arroz e Feijão, bem como pela disposição da instituição em permitir a instalação e condução do experimento em sua propriedade.

Por fim, minha gratidão ao Programa de Pós-graduação em Agronegócios (PPGAGRO), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela oportunidade, suporte e investimento na minha formação.

EPÍGRAFE

“Pois eu sou o Senhor, o seu Deus, que o segura pela mão direita e diz a você: Não tema; eu o ajudarei. - Isaías 41:13”

Bíblia Sagrada - Nova Versão Internacional

RESUMO

No Brasil, áreas cobertas por remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual (FES) são encontradas nos biomas da Mata Atlântica, Cerrado e em áreas de transição. Essa formação florestal desempenha um importante papel na oferta de serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio ecológico de uma região. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o incremento diamétrico, o teor de carbono, o estoque de carbono e biomassa, influência dos grupos sucessionais e os anéis de crescimento de seis espécies arbóreas da FES. O estudo foi conduzido em um fragmento de vegetação nativa, localizado na Fazenda Capivara, sede da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás. As seis espécies foram estudadas: *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg., *Callisthene major* Mart., *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch., *Hirtella gracilipes* (Hook.f.) Prance, *Hymenaea courbaril* L. e *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D.Mitch. As espécies selecionadas pertencem a diferentes grupos sucessionais, e para cada uma foram escolhidas seis árvores. No fuste de cada árvore, foi instalada uma banda dendrométrica, com o objetivo de monitorar, quinzenalmente, o crescimento em diâmetro ao longo de um ano. Os anéis de crescimento foram analisados a partir de amostras de madeira coletadas com trado, permitindo a determinação da idade das árvores. O teor de carbono foi avaliado por meio de análises laboratoriais, enquanto o estoque de carbono e biomassa foi estimado a partir da densidade básica da madeira e equações alométricas específicas. Além disso, as espécies foram categorizadas em grupos sucessionais (pioneiras, secundárias e climácicas) para avaliar suas influências no crescimento e na alocação de carbono. Os resultados indicaram que o incremento médio anual foi mínimo para *C. major* (0,083 mm.ano⁻¹) e máximo para *H. courbaril* (1,309 mm.ano⁻¹). O teor de carbono variou de 42,10% (*D. morototoni*) a 44,68% (*C. major*). O estoque de carbono e a biomassa diferiram entre as espécies, mas não houve diferenças estatísticas significativas entre os grupos sucessionais. A análise dos anéis de crescimento demonstrou variação na alocação de carbono ao longo do tempo, refletindo a influência das condições ambientais na dinâmica florestal.

Palavras-chaves: Banda dendrométrica; Incremento diamétrico; Serviços ecossistêmicos; Teor de carbono.

ABSTRACT

In Brazil, areas covered by remnants of the Semideciduous Seasonal Forest (FES) are found in the Atlantic Forest, Cerrado and transition areas biomes. This forest formation plays an important role in offering ecosystem services essential for the ecological balance of a region. In this context, the objective of this study was to evaluate the diameter increment, carbon content, carbon and biomass stock, influence of successional groups and growth rings of six tree species from FES. The study was conducted in a fragment of native vegetation, located at Fazenda Capivara, headquarters of Embrapa Rice and Beans, in the municipality of Santo Antônio de Goiás, Goiás. The six species were studied: *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg., *Callisthene major* Mart., *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch., *Hirtella gracilipes* (Hook.f.) Prance, *Hymenaea courbaril* L. and *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D.Mitch. The selected species belong to different successional groups, and six trees were chosen for each one. A dendrometric band was installed on the bole of each tree, with the aim of monitoring, every fortnight, the growth in diameter for a year. Growth rings were analyzed from wood samples collected with an auger, allowing the age of the trees to be determined. The carbon content was evaluated through laboratory analyses, while the carbon and biomass stock was estimated from the basic density of the wood and specific allometric equations. Furthermore, species were categorized into successional groups (pioneer, secondary and climactic) to evaluate their influences on growth and carbon allocation. The results indicated that the average annual increase was minimum for *C. major* (0.083 mm.year⁻¹) and maximum for *H. courbaril* (1.309 mm.year⁻¹). The carbon content varied from 42.10% (*D. morototoni*) to 44.68% (*C. major*). Carbon stock and biomass differed between species, but no statistically significant differences existed between successional groups. Growth ring analysis demonstrated variation in carbon allocation over time, reflecting the influence of environmental conditions on forest dynamics.

Keywords: Dendrometric band; Diametric increment; Ecosystem services; Carbon content.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AGB	<i>Aboveground Biomass</i> - Biomassa acima do solo
ANOVA	Análise de variância
C	Carbono
°C	Grau Celsius
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
cm.ano ⁻¹	Centímetro por ano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
CNPAF	Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão
CV%	Coefficiente de Variação
DA	Densidade absoluta
DAP	Diâmetro à altura do peito
d _b	Densidade básica
DoA	Dominância absoluta
DP	Desvio Padrão
dpi	<i>Dots Per Inch</i> - Pontos por polegada
EA	Escola de Agronomia
EP	Erro Padrão
Est _C	Estoque de carbono
FED	Floresta Estacional Decidual
FES	Floresta Estacional Semidecidual
FOM	Floresta Ombrófila Mista
FUTF	Floresta Úmida de Terra Firme
g	grama
g ₁	Coefficiente de assimetria de Fisher
g ₂	Coefficiente de curtose de Fisher

g.cm ³	Grama por centímetro cúbico
grãos.mm ²	Grãos por milímetro quadrado
GPC	Grupo de Pesquisa do Cerrado
H	Altura
ha	Hectare
H ₂ O	Água
ind.ha ⁻¹	Indivíduo por hectare
IC	Intervalo de confiança
ICA	Incremento corrente anual
IMA	Incremento médio anual
kg.m ³	Quilograma por metro cúbico
Ln	Logaritmo natural
LQMBio	Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia
m	Metro
m ³	Metro cúbico
Máx	Valor máximo
M _d	Mediana
M _e	Média Aritmética
Min	Valor mínimo
mm	Milímetro
mm.ano ⁻¹	Milímetro por ano
mm.mês ⁻¹	Milímetro por mês
M _o	Moda
N	Nitrogênio
N ₂	Gás nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
PRESS	<i>Prediction residual sum of squares</i> - Soma dos erros quadráticos da previsão

P_s	Peso seco
P_u	Peso úmido
PQ	Precipitação da quinzena
r	Coefficiente de correlação de Pearson
R^2	Coefficiente de determinação
RNA	Rede neural artificial
RMSEC	<i>Root mean square error calibrated</i> - Raiz média do erro quadrático calibrado
$t.ha^{-1}$	Tonelada por hectare
UFG	Universidade Federal de Goiás
V	Variância

LISTA DE FIGURAS

Figura 01.	Mapa de localização da área de estudo na Fazenda Capivara.....	20
Figura 02.	Detalhes da Fazenda Capivara: a) Vista aérea do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual; b) Vista aérea dos talhões próximos a FES; c) Estrada de acesso do fragmento e; d) Exemplo de indivíduo com plantas epífitas.....	21
Figura 03.	Indivíduos arbóreos selecionados: a) Identificação de indivíduos em campo; b) Exemplo indivíduo demarcado e; c) Croqui da localização dos indivíduos na parcela de acordo com a identificação.....	23
Figura 04.	Exemplar e casca da espécie: a) e b) <i>A. polyneuron</i> ; c) e d) <i>C. major</i> e; e) e f) <i>D. morototoni</i>	26
Figura 05.	Exemplar e casca da espécie: a) e b) <i>H. gracilipes</i> ; c) e d) <i>H. courbaril</i> e; e) e f) <i>T. obtusa</i>	27
Figura 06.	Confecção de bandas dendrométricas: a) Fita fixa poste; b) Mola; c) Microretífica; d) Protocolo; e) Corte da janela com microretífica e; f) Exemplo de banda dendrométrica.....	28
Figura 07.	Bandas dendrométricas em campo: a) Exemplar com irregularidade no formato do fuste; b) Uso do paquímetro digital de forma padronizada; c) Medição da janela de uma banda e; d) Deslocamento da banda dendrométrica pela queda de um cipó após vento e chuva forte.....	29
Figura 08.	Campo para coleta de madeira: a) Equipamentos e acessórios utilizados; b) Obstáculos encontrados dentro da mata que dificultaram a locomoção com os materiais; c) Retirada de amostra de madeira do tronco utilizando o trado manual; d) Retirada de amostra de madeira do tronco utilizando o trado motorizado; e) Detalhe da amostra no fuste; f) Retirada de amostra de madeira do tronco utilizando o extrator de ferro e; g) Obstrução com cavilha de <i>Pinus</i> sp.	31
Figura 09.	Preparo de amostras para avaliação do teor de carbono: a) Tubetes de poliestileno esterilizados; b) Moinho a seco de facas; c) Detalhe da entrada da amostra no moinho; d) Detalhe da saída da amostra do moinho; e) Pesagem das amostras; f) Exemplos de amostras trituradas; g) Amostras no moinho de bolas; h) Amostra sendo peneirada e; i) Amostras nos microtubos tipo Eppendorf.....	33
Figura 10.	Preparo de amostras para avaliação dos anéis de crescimento: a) Amostras secando; b) Colagem no suporte; c) Fixação com fita adesiva; d) Detalhe da amostra lixada; e) Processo de lixamento; f) Equipamento utilizado no escaneamento; g) Exemplo de amostras escaneadas e; h) Entrada das amostras no programa de imagem digital.....	36
Figura 11.	Image-Pro Plus 6.0: a) Entrada de amostras escaneadas; b) Exemplar com anéis demarcados e; c) Exemplar com anéis mensurados.....	37
Figura 12.	Determinação da densidade básica: a) Saturação das amostras na água e; b) Cadinhos após a secagem.....	38

Figura 13.	Incremento diamétrico relativo das seis espécies avaliadas em mm.mês ⁻¹ : a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	39
Figura 14.	Incremento diamétrico relativo das seis espécies avaliadas em mm.mês ⁻¹ : a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	43
Figura 15.	Incremento diamétrico (mm.mês ⁻¹) de cada espécie em relação a precipitação (mm.mês ⁻¹).....	45
Figura 16.	Incremento diamétrico anual das seis espécies avaliadas em mm.ano ⁻¹	46
Figura 17.	Médias de incremento diamétrico anual para as seis espécies.....	47
Figura 18.	Teor de carbono (%) individual das seis espécies avaliadas.....	49
Figura 19.	Médias de teor de carbono das amostras compostas para as seis espécies.....	50
Figura 20.	Distribuição da quantidade de carbono em diferentes classes diamétricas.....	53
Figura 21.	Médias de incremento periódico anual (mm.ano ⁻¹) dos grupos sucessionais.....	55
Figura 22.	Médias de teor de carbono dos grupos sucessionais.....	57
Figura 23.	Estoque total de biomassa e carbono dos grupos sucessionais.....	57
Figura 24.	Detalhes dentro do fragmento: a) Presença de cipós; b) Matéria morta aglomerada no solo e; c) Falta de regeneração natural na clareira.....	59
Figura 25.	Relação do diâmetro e a idade biológica das seis espécies avaliadas: a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	61
Figura 26.	Incremento corrente anual das seis espécies avaliadas: a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	62
Figura 27.	Incremento médio anual das seis espécies avaliadas: a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	64
Figura 28.	Biomassa acumulada das seis espécies avaliadas: a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	65
Figura 29.	Estoque de carbono nos anéis das seis espécies avaliadas: a) <i>A. polyneuron</i> ; b) <i>C. major</i> ; c) <i>D. morototoni</i> ; d) <i>H. gracilipes</i> ; e) <i>H. courbaril</i> ; f) <i>T. obtusa</i>	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01.	Dados individuais de identificação, grupo sucessional, numeração, DAP e altura.	24
Tabela 02.	Estatística descritiva do incremento diamétrico (mm) das seis espécies estudadas	40
Tabela 03.	Médias de incremento diamétrico de <i>D. morotoni</i> , <i>H. courbaril</i> e <i>T. obtusa</i>	41
Tabela 04.	Médias de incremento diamétrico relativo de <i>D. morotoni</i> , <i>H. courbaril</i> e <i>T. obtusa</i>	44
Tabela 05.	Equações de incremento diamétrico (mm) para os 36 indivíduos.....	48
Tabela 06.	Estatística descritiva do teor de carbono (%) das seis espécies estudadas.....	49
Tabela 07.	Somatório do volume, biomassa e estoque de carbono das seis espécies.....	51
Tabela 08.	Densidade absoluta e extrapolação da biomassa e do estoque de carbono para as seis espécies.....	52
Tabela 09.	Estatística descritiva para volume, biomassa e estoque de carbono de todos os indivíduos.....	53
Tabela 10.	Estatística descritiva do incremento periódico anual dos grupos sucessionais.....	55
Tabela 11.	Estatística descritiva do teor de carbono dos grupos sucessionais.....	56
Tabela 12.	Descrição das características anatômicas, total de anéis e intervalo de idade das seis espécies.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
2.1	Caracterização da área de estudo.....	21
2.2	Seleção de indivíduos arbóreos.....	23
2.3	Incremento periódico em diâmetro.....	29
2.4	Teor de Carbono.....	32
2.5	Estoque de Carbono.....	35
2.6	Grupos sucessionais.....	35
2.7	Anéis de crescimento.....	36
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
3.1	Incremento periódico em diâmetro.....	40
3.2	Teor de Carbono.....	49
3.3	Estoque de Carbono.....	52
3.4	Grupos sucessionais.....	55
3.5	Anéis de crescimento.....	61
4	CONCLUSÕES.....	68
5	RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS.....	69
6	IMPACTO SOCIAL E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	71
7	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

Os fragmentos de florestas nativas desempenham um papel essencial como reservatórios de carbono, armazenando esse elemento em diferentes compartimentos, como a biomassa aérea, a biomassa subterrânea, na serapilheira, na necromassa, e no solo. No entanto, o processo de captação de carbono atmosférico pela biomassa presente nesses ecossistemas pode ser influenciado por fatores ecológicos e biológicos distintos (KATAOKA *et al.*, 2024).

Por outro lado, o carbono armazenado na biomassa e nos demais compartimentos de um ecossistema florestal pode retornar à atmosfera a partir de impactos decorrentes de mudanças do uso da terra, queimadas, além de outros distúrbios antrópicos ou naturais. Em geral, em meio a diferentes cenários, o estoque de carbono pode ser determinado pelo produto da biomassa seca contido nos diferentes compartimentos da floresta e o teor de carbono obtido para esses compartimentos (CARVALHO, 2018; RASERA, 2019; MOSSIO, 2021).

Dessa forma, compreender o estoque de carbono na biomassa de um ecossistema florestal é essencial para avaliar o potencial das espécies e da comunidade florestal no sequestro e armazenamento de carbono. Para isso, são amplamente utilizados métodos indiretos no estabelecimento de relações entre a biomassa e variáveis de fácil mensuração, como o diâmetro e a altura (MEIRA, 2018; CORDEIRO, 2019).

Em síntese, ao observar a literatura, nota-se diversidade e peculiaridades entre os diferentes métodos de quantificação e avaliação da presença de carbono tanto na parte aérea como no solo de uma vegetação nativa. Além disso, essas informações proporcionam ganhos para a atividade agrícola, para o produtor rural e para o agronegócio brasileiro, visto que possibilitam avaliar o balanço de carbono em suas atividades na perspectiva de uma economia verde com foco em baixo carbono. Por este motivo, estudos desta natureza são relevantes para nortear proprietários rurais tanto para o conhecimento da área como para tomada de decisão quanto ao uso, manejo e/ou manutenção de floresta em pé (BRUN *et al.*, 2018; DUQUE, 2018; SANTOS *et al.*, 2023; SILVA, 2023).

No Brasil, encontra-se o bioma Cerrado, dentro deste, como na Mata Atlântica, a formação florestal denominada Floresta Estacional Semidecidual (FES), classificada anteriormente como floresta subcaducifólia ou floresta tropical subcaducifólia. Faz-se importante ressaltar que esta nomenclatura é devido à perda anual simultânea de folhas de parte dos indivíduos que compõem os estratos superiores da floresta no período de estiagem,

sendo formada por espécies condicionadas ao clima, com estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes adaptados tais como *Cordia* sp., *Caesalpinia* sp. e *Tabebuia* sp. (BFG, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2022).

Atualmente, as áreas remanescentes de FES existentes, são compostas por fragmentos cercados por uma matriz agrícola ou antrópica, e, dada a complexidade das interações ecológicas estabelecidas nesta tipologia, estudos sobre a sua composição florística e estágio sucessional se desenvolveram, principalmente nos Estados de Minas Gerais e São Paulo. Em função das regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentarem a maior área contínua em extensão, no domínio do bioma Mata Atlântica, adentrando no bioma Cerrado e formando zonas de transição (ecótonos) (SILVA, 2024).

Nestes cenários, as informações precisas e consistentes sobre os estoques de carbono são de suma importância para as comunicações nacionais de emissões às Convenções-Quadros das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas e Redução de Emissões de Degradação e Desmatamento, Conservação dos estoques de carbono florestal, Manejo sustentável de florestas e Aumento dos Estoques de Carbono florestal e para o apoio ao Brasil em seus compromissos internacionais de redução de emissões de carbono. Bem como, para o auxílio na conscientização dos produtores rurais sobre a importância dos fragmentos florestais e para o fortalecimento do mercado de crédito de carbono ao diminuir as incertezas sobre os estoques de carbono presente na vegetação do Cerrado (GUIMARÃES, 2020; SEEG, 2020).

Diante destas considerações, o presente estudo se justifica pela necessidade de compreender a realidade de uma área nativa como sumidouro de carbono mediante a dinâmica florestal e em relação às diferenças entre grupos sucessionais (pioneira, secundária, climática). Para tanto, estudos na FES podem elucidar o comportamento de espécies nativas em relação ao crescimento diamétrico e contribuição na alocação de carbono para sua estocagem. Pretende-se, assim, avançar cientificamente numa análise metodológica que evidencie um retrato do estoque de carbono.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi calcular o incremento periódico anual em diâmetro e determinar o estoque de carbono na madeira em espécies de um fragmento de floresta estacional semidecidual no bioma Cerrado. Para atender e alçar o objetivo principal foram propostos alguns objetivos específicos, norteadores: a) Analisar a variabilidade intraespecífica e interespecífica do incremento periódico em diâmetro; b) Analisar a variabilidade intraespecífica e interespecífica do teor de carbono das espécies arbóreas; c) Quantificar o estoque de carbono nos indivíduos estudados; d) Avaliar os efeitos

dos grupos sucessionais nas variáveis estudadas e; e) Avaliar os anéis de crescimento quanto a alocação de carbono ao longo do tempo.

Portanto, esta pesquisa desempenha um papel crucial na compreensão dos processos que influenciam a retirada do carbono da atmosfera pelos ecossistemas florestais nativos, como FES no bioma Cerrado. A aplicação dos resultados pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas relacionadas ao manejo florestal que promovam a conservação e reposição dos estoques de carbono. Assim, ao analisar o comportamento das espécies nativas em termos de crescimento e alocação de carbono, o estudo contribui significativamente para o avanço do conhecimento sobre as capacidades e papéis vitais dessas florestas no combate à mudança climática.

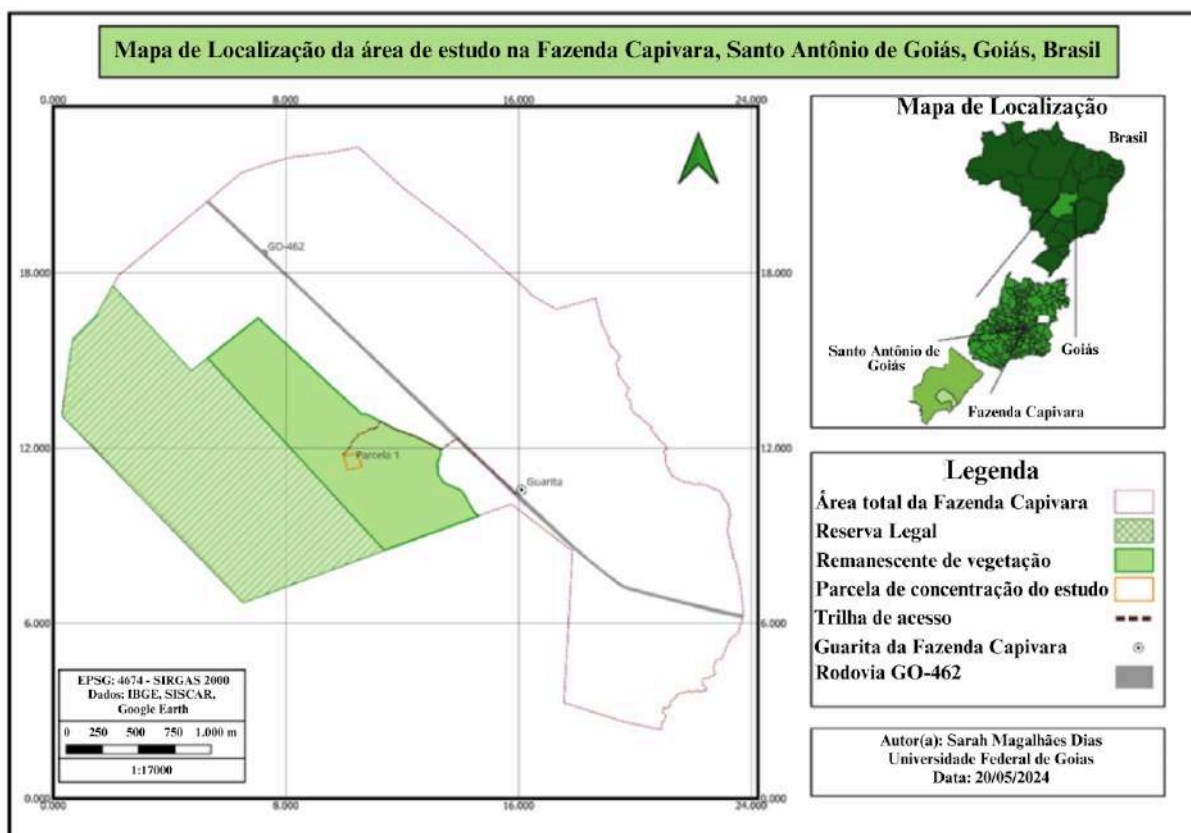
Por fim, esta monografia está organizada em diferentes seções, seguindo uma estrutura lógica e sequencial, começando com a apresentação do tema e dos principais objetivos do estudo, conforme apresentado acima. Em seguida, a apresentação de uma explicação detalhada sobre os procedimentos e metodologias adotadas para a coleta de dados, proporcionando uma compreensão clara das técnicas utilizadas na investigação. A análise dos dados foi realizada de maneira objetiva, com a discussão sobre os resultados obtidos e suas implicações. Ao final, foram redigidas as conclusões do estudo, seguidas pela discussão sobre a relevância social e ambiental da pesquisa, além das principais recomendações técnicas para o local, que foram elencadas e sintetizadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O fragmento de Floresta Estacional Semidecidual analisado neste estudo está situado na Fazenda Capivara, sede da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás (GO) (Figuras 1 e 2a). Cabe frisar que o estudo se concentrou no entorno e dentro de uma parcela permanente, a qual é uma unidade amostral monitorada via inventários contínuos, que possui 1 ha (100 m x 100 m) dos aproximadamente 335 ha de remanescente de vegetação nativa, compondo os mais de 1.005 ha do total da fazenda experimental (OLIVEIRA, 2017).

Figura 01. Mapa de localização da área de estudo na Fazenda Capivara

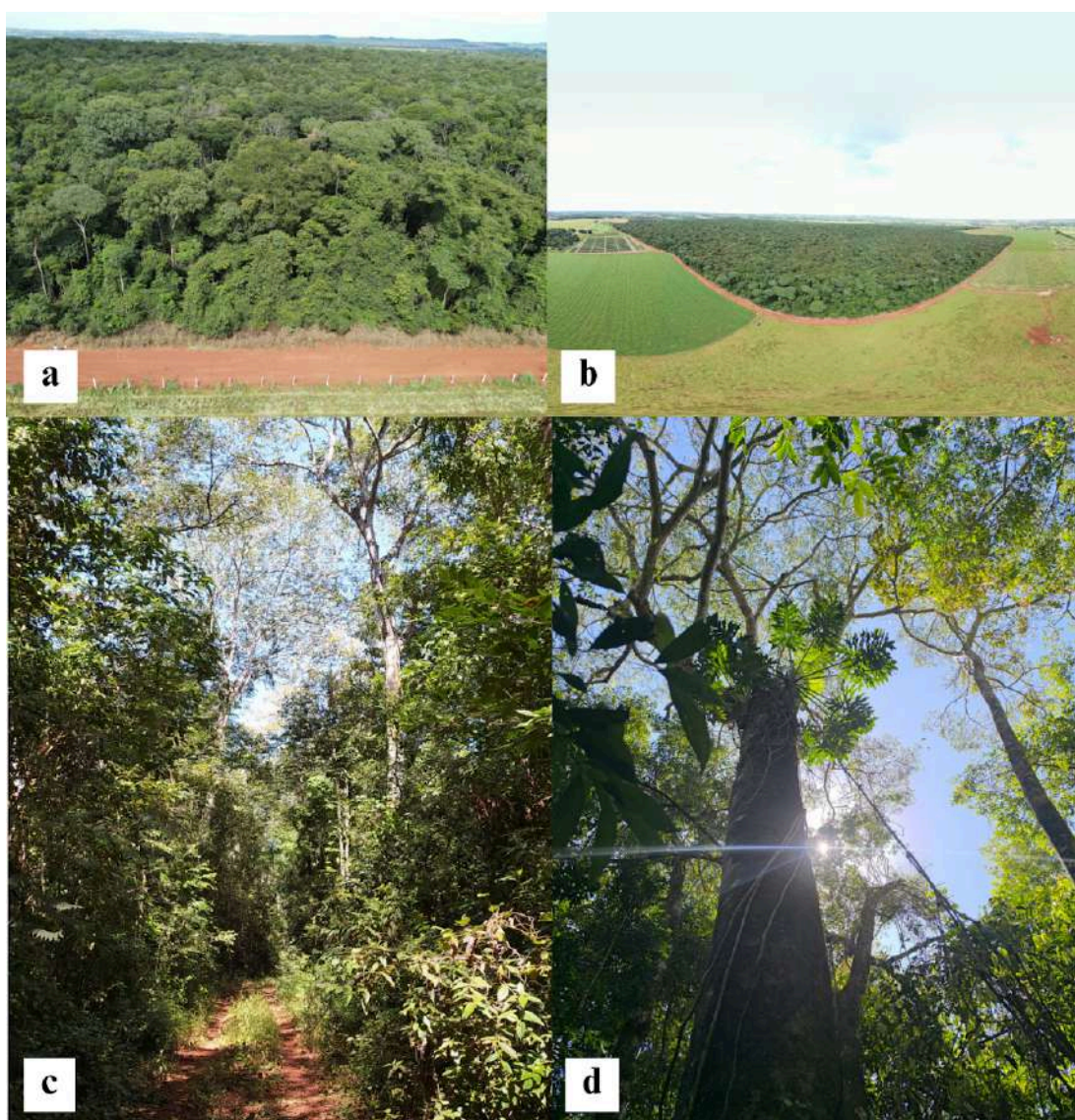


Fonte: Dados da pesquisa.

Convém observar que a propriedade está a 823 metros acima do nível do mar de altitude e entre as coordenadas geográficas de 16° 30' 06,08" de latitude sul e de 49° 17' 28,91" de longitude oeste. Segundo a classificação de Köppen, apresenta clima Aw, tropical de savana, com temperatura média anual do ar de 23,0 °C em um regime pluvial com período

chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. Além disso, apresenta uma precipitação pluvial média anual de 1.498 mm, e a umidade relativa do ar, média anual, é de 70%. O solo foi caracterizado como Latossolo vermelho ácrico típico, de textura argilosa em meio a um relevo plano, e fases de declividade de até 2,5% (OLIVEIRA, 2017).

Figura 02. Detalhes da Fazenda Capivara: a) Vista aérea do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual; b) Vista aérea dos talhões próximos a FES; c) Estrada de acesso do fragmento e; d) Exemplo de indivíduo com plantas epífitas



Fonte: 02a e 02 b - Arquivo cedido pelo LAPIG/UFG (2024) e; 02c e 02d - Dados da pesquisa.

É importante destacar que no entorno do fragmento do remanescente de FES existem talhões de cultivos experimentais da Embrapa, além de áreas destinadas à pastagem de gado de corte, como mostra a Figura 02b. Bem como, dentro do fragmento de FES existe uma trilha que foi aberta para passagem de carros e tratores da Embrapa (Figura 02c). Existem

também diversas clareiras por toda a extensão do fragmento, com a presença de grande biomassa de cipós e trepadeiras, além de epífitas (Figura 02d).

2.2 Seleção de indivíduos arbóreos

O presente estudo foi conduzido tanto no entorno quanto dentro de uma parcela permanente de 1 ha (100 m x 100 m) instalada na área do fragmento de FES. Para tanto, a parcela permanente foi demarcada com subdivisões de 20 m x 20 m, totalizando 25 subparcelas, sendo o local estudado pelo Grupo de Pesquisa do Cerrado (GPC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), no âmbito de projetos de pesquisas de discentes da Engenharia Florestal da UFG tanto da graduação como da pós-graduação.

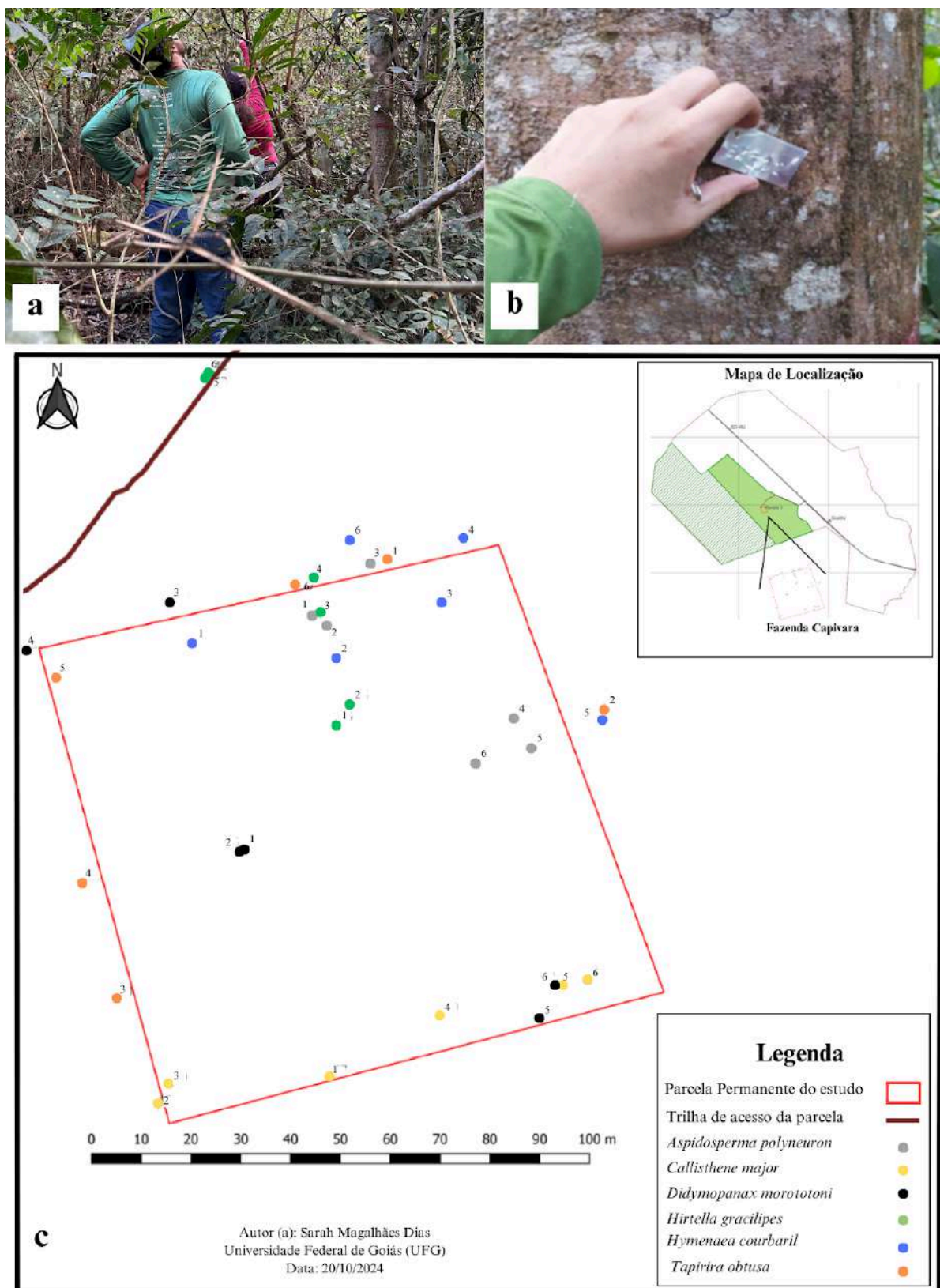
Ademais, no inventário florestal realizado por Sousa (2024), todas as árvores com diâmetro a altura do peito (DAP), medida convencionada a ser tomada a 1,30 m de altura, com valor maior ou igual a 10,0 cm foram devidamente identificadas com placas de alumínio com um código formado pela numeração das árvores e a letra correspondente a identificação da subparcela a qual pertencia. Sousa (2024) observou uma densidade absoluta (DA) estimada para o povoamento florestal de 522 árvores.ha⁻¹ com variação de diâmetro de 10,0 cm a 72,7 cm e em altura total variou de 1,9 m a 36,4 m.

Posteriormente, a partir da lista de espécies presentes na parcela de 1 ha, foram selecionadas nas imediações da parcela, duas espécies representando cada um dos três grupos sucessionais. Para realização do experimento com bandas dendrométricas, foi definido para cada espécie a seleção de 6 indivíduos representantes para haver base na análise estatística, totalizando 36 indivíduos arbóreos demarcados para as avaliações, conforme apresenta a Figura 03.

Esta etapa foi concluída em dois dias de campo devido às dificuldades de locomoção no local e gasto de tempo com abertura para adentrar ou para a limpeza para aproximação da árvore selecionada com auxílio de facões, somando-se à dificuldade a grande quantidade de cipós e árvores caídas. Desse modo, cada árvore amostrada teve o DAP registrado usando fita diamétrica KLMoon e a altura obtida com Vertex Laser Geo 402 Haglof. O local de medição do DAP foi marcado com tinta vermelha para padronização das medições posteriores (SFB, 2021).

A Tabela 01 apresenta as numerações e demarcações para identificação e acompanhamento dos indivíduos diante da lista de árvores selecionadas por espécie.

Figura 03. Indivíduos arbóreos selecionados: a) Identificação de indivíduos em campo; b) Exemplo indivíduo demarcado e; c) Croqui da localização dos indivíduos na parcela de acordo com a identificação



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 01. Dados individuais de identificação, grupo sucessional, numeração, DAP e altura

Espécie	Grupo Sucessional	Identificação	DAP (cm)	H (m)
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	Climácica	1	34,20	21,50
		2	42,40	20,50
		3	12,90	18,80
		4	32,20	23,70
		5	38,50	24,30
		6	15,30	17,60
<i>Callisthene major</i> Mart.	Secundária	1	11,60	14,10
		2	47,00	25,60
		3	12,80	19,30
		4	38,70	18,30
		5	13,50	15,10
		6	12,60	9,40
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	Pioneira	1	10,40	14,50
		2	30,80	19,20
		3	26,10	24,80
		4	41,80	21,70
		5	40,60	26,80
		6	42,50	22,30
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	Climácica	1	12,00	10,00
		2	11,80	9,80
		3	15,20	9,00
		4	17,00	12,90
		5	13,60	10,70
		6	25,40	12,30
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Secundária	1	50,50	28,40
		2	71,00	28,30
		3	15,30	12,00

Continuação da Tabela 01...

		4	35,60	25,20
		5	49,10	25,20
		6	13,00	16,90
		1	38,90	24,60
		2	31,80	22,70
		3	14,70	16,00
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	Pioneira	4	17,20	14,70
		5	12,90	8,40
		6	14,20	13,40

Fonte: Dados da pesquisa.

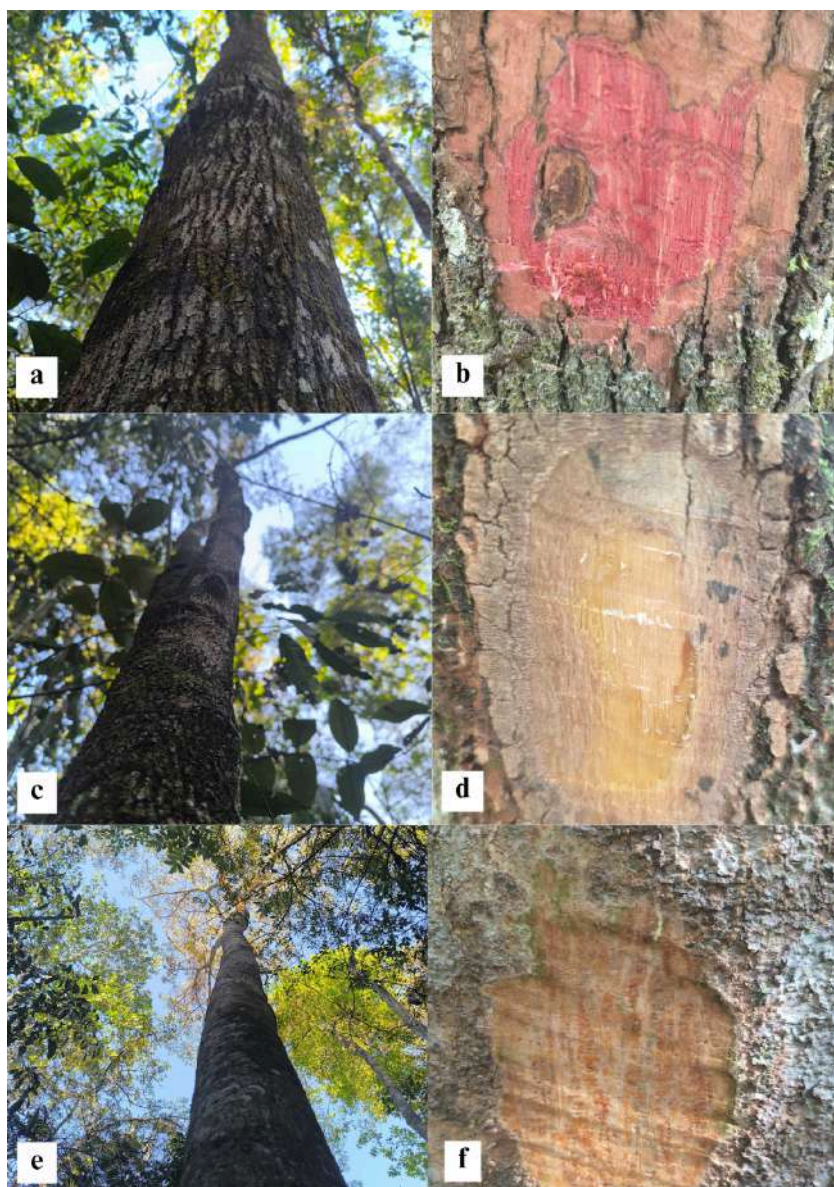
A espécie *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg. (Figura 04a e 04b) pertence à família Apocynaceae Juss., sendo classificada por Poleti *et al.* (2023) como uma espécie climácica, a qual apresenta crescimento lento e alta longevidade, sendo uma das contribuintes da flora característica de FES. Pela pesquisa de Montanher (2020), sua madeira tem densidade variando de 0,66 a 0,85 g.cm⁻³.

Callisthene major Mart. (Figura 04c e 04d) pertence à família Vochysiaceae A.St.-Hil., é considerada uma espécie secundária. Adicionalmente, Ribeiro *et al.* (2022) indicaram que se trata de uma espécie tolerante à sombra de forma parcial e resistência ao fogo. Rocha (2019) ao identificar madeiras de espécies do bioma Cerrado apontou que para esta espécie a madeira é amarelada de alta dureza e densidade média de 0,60 g.cm⁻³.

Didymopanax morototoni (Aubl.) Decne. & Planch. (Figura 04e e 04f) é uma espécie da família Araliaceae Juss., é classificada como espécie pioneira. Martins (2024) coletou amostras de madeira de 75 indivíduos de um fragmento de Floresta Estacional Decidual (FED), posteriormente, obteve o valor médio da densidade de 0,3314 g.cm⁻³, apresentando valor mínimo de 0,2201 g.cm⁻³ e máximo de 0,4626 g.cm⁻³.

Hirtella gracilipes (Hook.f.) Prance (Figura 05a e 05b) é um exemplar da família Chrysobalanaceae R.Br., sendo classificada por Ribeiro *et al.* (2022) como uma espécie climácica, a qual apresenta crescimento lento e alta longevidade, com tolerância à sombra e resistência ao fogo. Rocha (2019) determinou a densidade média da madeira de 0,664 g.cm⁻³ para uma espécie do mesmo gênero.

Figura 04. Exemplar e casca da espécie: a) e b) *A. polyneuron*; c) e d) *C. major* e; e) e f) *D. morototoni*



Fonte: Dados da pesquisa.

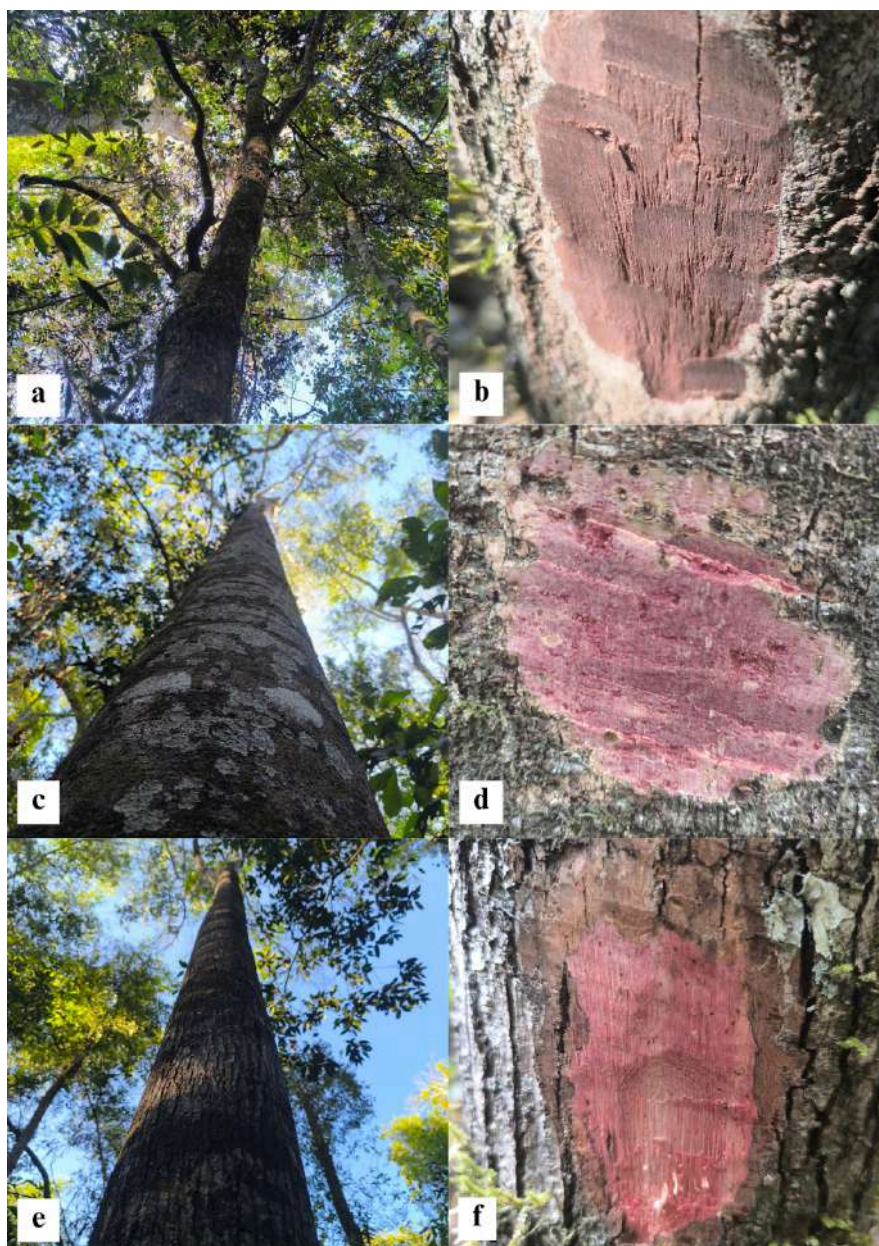
A espécie *Hymenaea courbaril* L. (Figura 05c e 05d) pertence à família Fabaceae Lindl., sendo uma espécie secundária. Ribeiro *et al.* (2022) indicaram que se trata de uma espécie com crescimento lento, tolerante à sombra, mas sem resistência ao fogo, ademais está entre as espécies características do dossel e sub-dossel da FES.

Morais *et al.* (2022) determinaram $0,76 \text{ g.cm}^{-3}$ de densidade média na madeira de *H. courbaril* em exemplares na Floresta Úmida de Terra Firme (FUTF). Neste mesmo tipo de vegetação, Andrade *et al.* (2019) detectaram um incremento médio do diâmetro em todos os indivíduos amostrados de $3,9 \pm 0,44 \text{ cm.ano}^{-1}$, os quais apresentaram baixas taxas de

crescimento do diâmetro na fase juvenil ($0,38 \text{ cm.ano}^{-1}$) e um aumento do incremento do diâmetro ($0,49 \text{ cm.ano}^{-1}$) ao atingirem diâmetros maiores.

Tapirira obtusa (Benth.) J.D.Mitch. (Figura 05e e 05f) é uma espécie que pertence à família Anacardiaceae R.Br., é classificada como pioneira, a qual Ribeiro *et al.* (2022) avaliaram com moderada velocidade de crescimento, tolerante à sombra, mas sem resistência ao fogo.

Figura 05. Exemplar e casca da espécie: a) e b) *H. gracilipes*; c) e d) *H. courbaril* e; e) e f) *T. obtusa*



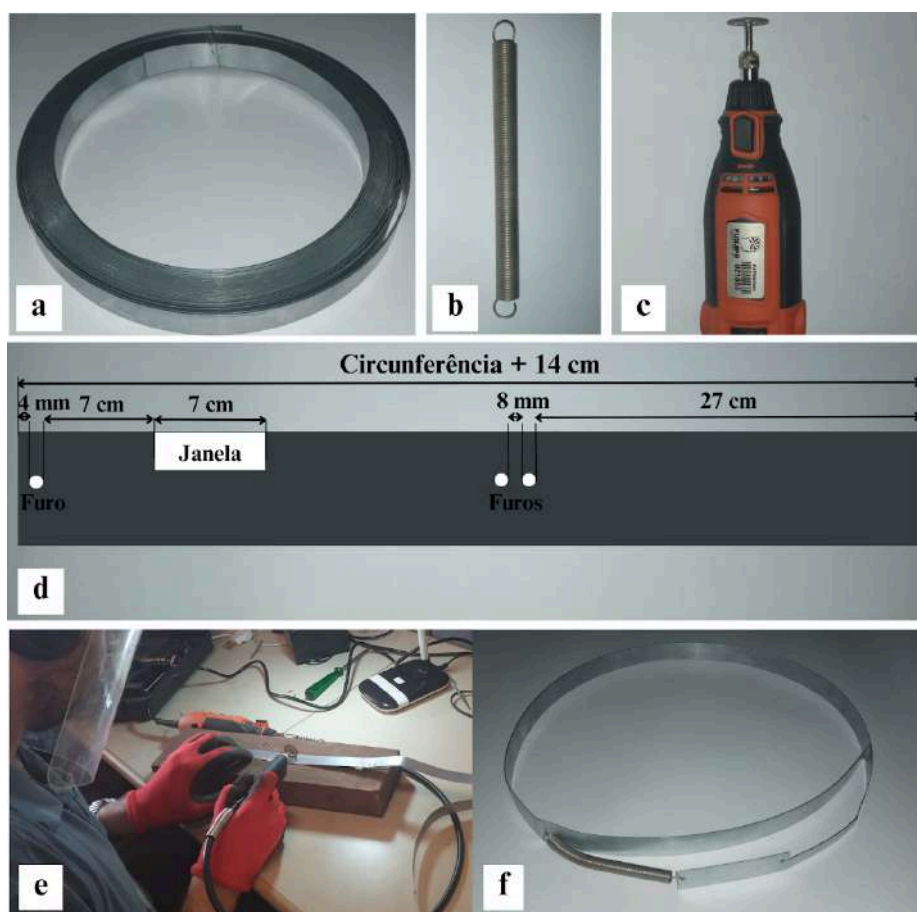
Fonte: Dados da pesquisa.

2.3 Incremento periódico em diâmetro

Para a avaliação de incremento periódico em diâmetro de cada árvore selecionada foram utilizadas bandas dendrométricas como método de monitoramento, pois estas são fitas que permitem as medições repetidas do crescimento do fuste. Foi utilizada a fita fixa poste, acoplada a uma mola de aço inoxidável, sendo utilizado o protocolo ilustrado na Figura 06. Para tanto, foi realizada a adaptação da metodologia utilizada por Ourique (2014) e Silva *et al.* (2012), baseado nas medidas de DAP de cada um dos 36 indivíduos, sem afetar o crescimento diamétrico por permitir o deslocamento entre as extremidades da fita.

Para cumprir este objetivo, foi necessário o auxílio da microretífica (Figura 06e) com disco de corte para retirada da janela e outro disco de lixa para acabamento final. A confecção de todas as bandas levou cerca de três dias no total, pois ocorreram intercorrências devido o superaquecimento do equipamento, levando a pausas nos processos e trocas constantes de discos devido o rompimento da haste ou desgaste rápido do material.

Figura 06. Confeção de bandas dendrométricas: a) Fita fixa poste; b) Mola; c) Microretífica; d) Protocolo; e) Corte da janela com microretífica e; f) Exemplo de banda dendrométrica



Fonte: Dados da pesquisa.

Na sequência, as bandas dendrométricas foram instaladas no fuste das árvores na primeira quinzena do mês de outubro de 2023, em um único dia. A instalação foi realizada acima ou abaixo do DAP, para não interferir nas futuras medições de DAP e evitarem certas protuberâncias do fuste, como ocorreu com o indivíduo da Figura 07a. Foi observado em campo que em alguns indivíduos as janelas ficaram totalmente bloqueadas pela outra extremidade da fita, sendo necessário aparar alguns milímetros para correção.

No ato da instalação, foi registrada a primeira medida da janela com um paquímetro digital em aço 8” Zaas, conforme a Figura 07b, padronizando todas as medições com as ponteiros superiores do equipamento encostadas na parte de baixo da janela, conforme as recomendações do protocolo elaborado por Ferreira (2014), como exemplifica as Figuras 07c e 7d.

Figura 07. Bandas dendrométricas em campo: a) Exemplar com irregularidade no formato do fuste; b) Uso do paquímetro digital de forma padronizada; c) Medição da janela de uma banda e; d) Deslocamento da banda dendrométrica pela queda de um cipó após vento e chuva forte



Fonte: Dados da pesquisa.

Posteriormente, foram realizadas medições quinzenais da janela de crescimento em diâmetro, mas foi respeitado o período de três meses de estabilização, isto é, para o ajuste da

banda ao fuste com descarte destes dados para os cálculos (FERREIRA, 2014). Dessa forma, foi realizado o monitoramento nos doze meses seguintes para obter as respostas individuais de incremento, o qual englobou o período chuvoso (janeiro a abril de 2023 e outubro de 2023 a janeiro de 2024) e o período seco (maio a setembro de 2023) para avaliação dos efeitos da sazonalidade com um total de 28 medições.

Diante dos dados aferidos, o incremento diamétrico foi calculado em milímetro a partir da diferença entre duas medições consecutivas dividido por π (pi). Para o cálculo de incremento relativo foi utilizado o crescimento absoluto dividido pelo diâmetro do fuste. Além disso, após completar um ano de avaliação foi calculado o incremento periódico anual ao subtrair do valor final o valor inicial e dividi-lo por 12 (FERREIRA, 2014).

É importante salientar que, no período chuvoso da avaliação ocorreram ventos e chuvas fortes que ocasionaram a queda de árvores com toda biomassa de cipós presas a estes. Algumas árvores que estavam ao redor das árvores com bandas dendrométricas, causaram danos nas árvores demarcadas. A Figura 7e mostra um dos exemplares de *T. obtusa* que teve a banda danificada pela queda de um cipó, bem como as demais danificadas também foram corrigidas.

Os dados coletados foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Office Excel® com dupla checagem para detecção de erros existentes. Para a correlação com a sazonalidade, foram consultados dados gerais da estação meteorológica mais próxima do local, a qual é identificada pelo código “GOIANIA A002”, por meio das informações fornecidas pelo INMET (2025) em sua plataforma *online*. Os dados de precipitação foram cedidos pela Embrapa, advindos da estação meteorológica mantida na Fazenda Capivara.

Foram calculadas medidas de estatística descritiva básica para avaliação da variável estudada mediante posição, dispersão e forma. Deste modo, foram calculados valor mínimo (Min) e máximo (Máx), a média aritmética (M_e), a mediana (M_d), a moda (M_o), a variância (V), o desvio padrão (DP), o coeficiente de variação (CV%), o erro padrão (EP), o intervalo de confiança (IC) com alfa de 0,05 e, os coeficientes de assimetria (g_1) e curtose (g_2) de Fisher (SOUSA, 2024).

As análises estatísticas foram realizadas no *software* RStudio® versão 4.4.2 de forma intraespecífica e interespecífica (R CORE TEAM, 2024). Assim, ocorreu a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para a avaliação entre os meses e entre os períodos seco e chuvoso, bem como os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as variáveis e regressões lineares, sendo

aplicado o teste de Duncan a 5% de probabilidade quando houve a necessidade de expor com mais detalhadamente as diferenças mínimas significativas. Por último, foram realizadas as regressões linear, não linear e mista para verificar a relação entre o incremento, o DAP e a sazonalidade.

2.4 Teor de Carbono

Para avaliação do teor de carbono foi necessário retirar amostras não destrutivas do fuste utilizando equipamentos do Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio) da Escola de Agronomia (EA) da UFG em abril e em setembro de 2024. Para realização desta etapa foram necessários 10 dias de campo, uma vez que a atividade foi dificultada pela locomoção com os equipamentos pela mata e pela necessidade de limpeza e manutenção dos equipamentos entre coletas. Ademais, foram necessários facões, luvas de tecido, óculos de proteção, martelos, escova de metal e galão de combustível, como apresentado nas Figuras 8a e 8b.

Figura 8. Campo para coleta de madeira: a) Equipamentos utilizados; b) Obstáculos encontrados na locomoção; c) Retirada de amostra de madeira do tronco com trado manual; d) Retirada de amostra de madeira do tronco com trado motorizado; e) Detalhe da amostra no fuste; f) Retirada de amostra de madeira do tronco utilizando o extrator de ferro e; g) Obstrução do local com cavilha de *Pinus* sp.



Fonte: Dados da pesquisa.

Para indivíduos de diâmetros menores, isto é, com DAP até 25 cm foi utilizado o trado manual. Posteriormente, este espaço gerado no fuste foi preenchido pela introdução de cavilhas de madeira de *Pinus* sp. de pequena espessura para evitar a entrada de patógenos, conforme demonstrado na Figura 8. O uso de cavilhas permite a recuperação da árvore ao longo do tempo e sua proteção, pois estas são tratadas previamente pela imersão em solução antibactericida e antifúngica (SETTE JUNIOR *et al.*, 2015).

Para indivíduos de diâmetros maiores, ou seja, superiores a 25,5 cm, foi utilizada uma sonda com perfurador de madeira BT 45e STIHL à gasolina. Na sequência, o espaço gerado foi preenchido por cavilhas de madeira de *Pinus* sp. na espessura adequada, conforme mostra a Figura 8, seguindo as recomendações de Sette Junior *et al.* (2015).

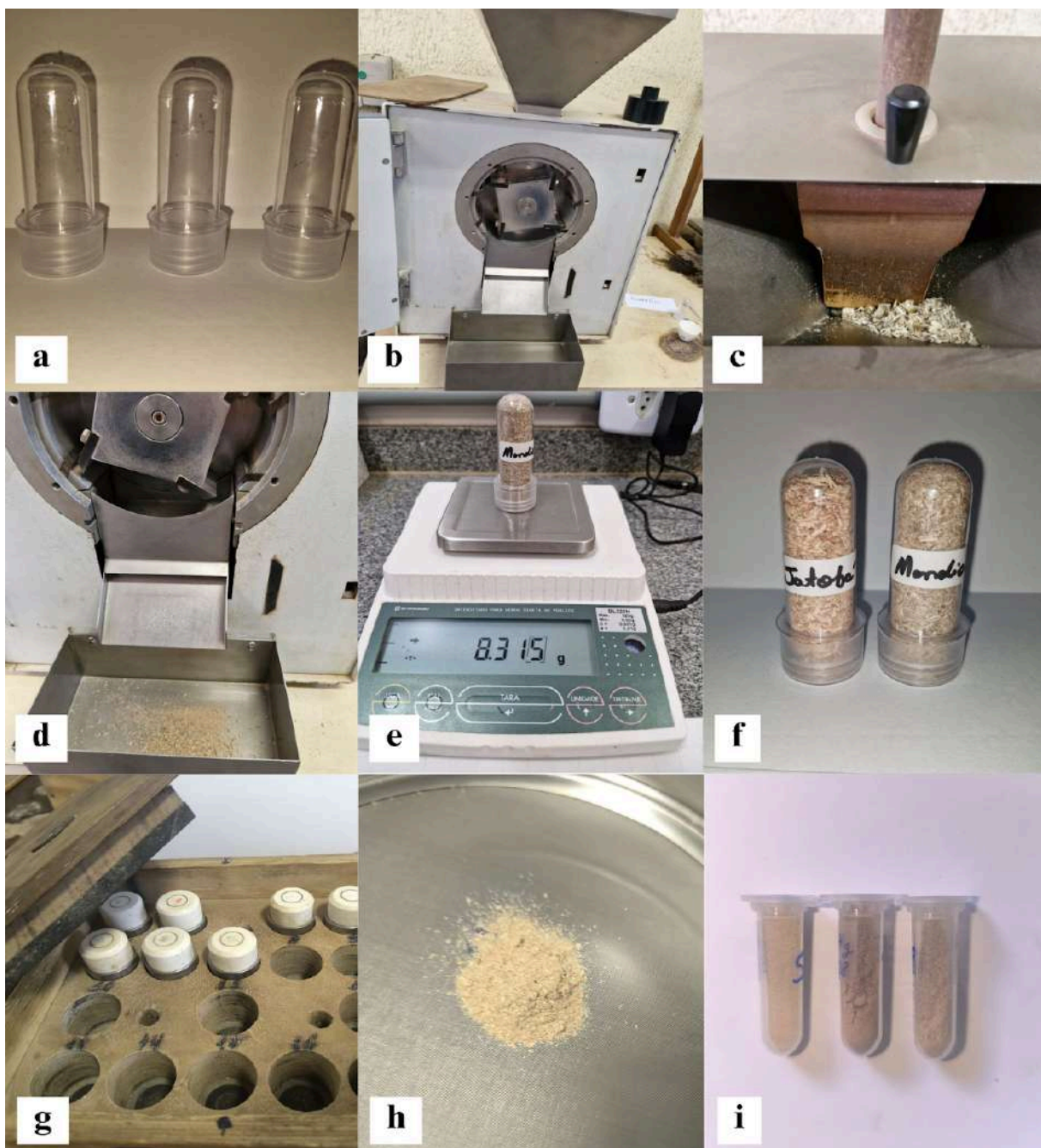
As amostras coletadas em abril foram acondicionadas em suportes de plástico e levadas para o LQMBio para o processo de moagem a seco no moinho de facas de forma conjunta por espécie, como apresentado na Figura 09. As amostras coletadas em setembro foram processadas e analisadas de forma individual.

Nesta etapa, foi realizada a limpeza do equipamento entre cada moagem para não ocorrerem contaminações. Em seguida, foram pesados 3 g de cada amostra, as quais foram acondicionadas em tubetes de polietileno esterilizados para o envio ao Laboratório de Análise Agroambiental do Centro Nacional de Pesquisa da Embrapa Arroz e Feijão (CNPAF). A fim de realizar a moagem a seco no moinho de bolas para diminuir a granulometria da amostra para 180 nm.

Houve o envio para um laboratório particular especializado das amostras peneiradas e armazenadas em microtubos tipo Eppendorf para avaliação no analisador elementar Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O, como realizado por Marinho Junior *et al.* (2021) em sua pesquisa de estoque de carbono no solo e matéria orgânica no Tocantins.

Neste equipamento, as amostras foram submetidas a condições de excesso de oxigênio e reagentes de combustão, ou seja, foram completamente queimadas e reduzidas aos gases elementares gás carbônico (CO₂), água (H₂O) e gás nitrogênio (N₂). Através de uma coluna na Zona de Separação do instrumento ocorreu a Cromatografia Frontal e, por consequência, sua quantificação pelo detector de condutividade térmica na zona de detecção do analisador (PERKINELMER, 2011).

Figura 09. Preparo de amostras para avaliação do teor de carbono: a) Tubetes de poliestileno esterilizados; b) Moinho a seco de facas; c) Detalhe da entrada da amostra no moinho; d) Detalhe da saída da amostra do moinho; e) Pesagem das amostras; f) Exemplos de amostras trituradas; g) Amostras no moinho de bolas; h) Amostra sendo peneirada e; i) Amostras nos microtubos tipo Eppendorf



Fonte: Dados da pesquisa.

Com relação ao laboratório particular, houve a liberação de resultados após dez dias da entrada das amostras. Assim, foram obtidos o teor de carbono por espécie e de forma individual para correlação com grupo sucessional e para obtenção do estoque de carbono, posteriormente. Para esta finalidade, os dados foram testados e analisados estatisticamente no

software RStudio® versão 4.4.2 de forma intraespecífica e interespecífica como ocorreu para análise de incremento diamétrico.

2.5 Estoque de Carbono

Para a obtenção do estoque de carbono de cada indivíduo foi necessário obter outras variáveis previamente. De início, estimou-se a biomassa (AGB, do inglês “*Aboveground Biomass*”) por meio da equação ajustada de forma específica para a fitofisionomia FES por Scolforo *et al.* (2008), conforme a Equação 01. Esta apresentou um coeficiente de determinação (R^2) ajustado de 95,71 e média de erros de 0,00695 no estudo realizado por estes autores em Minas Gerais.

$$\ln(AGB) = -10,9532786932 + (2,5464820134 * \ln(DAP)) + (0,4667754371 * \ln(h))$$

(Equação 01)

Em que: AGB = Biomassa em m^3 ; DAP = Diâmetro à altura do peito em cm e; H = Altura total em m.

Em seguida, conforme Santos *et al.* (2016), foi estimado o estoque de carbono (Est_C) por árvore pela multiplicação da biomassa individual e teor de carbono obtido previamente como supracitado para avaliação individual e por grupo sucessional. Por último, foi realizada a extrapolação para hectare por meio da DA calculada por Sousa (2024) para este fragmento vegetal com a análise estatística semelhante ao aplicado para o incremento periódico, anteriormente elucidado, obtendo estoque de biomassa e de carbono em $t.ha^{-1}$.

2.6 Grupos sucessionais

Os grupos sucessionais agrupam as espécies de acordo com seu padrão de crescimento, reprodução, densidade e funcionalidade, e, conseqüentemente, permitem conhecer o ciclo de vida e as diferentes estratégias de crescimento das espécies, pois esta dinâmica garante à vegetação sua capacidade de se autossustentar por muitos anos em meio ao processo denominado sucessão ecológica (RIBEIRO *et al.*, 2022).

Existem diversas classificações já propostas na literatura, por exemplo, Budowski (1965), Bazzaz (1979), Denslow (1980), Hartshorn (1980), Vázquez-Yanes e Sada (1985), Swaine e Whitmore (1988), Lamprecht (1990), Leitão Filho (1993) e Jardim *et al.* (1996), que se diferenciam quanto às denominações e às variáveis utilizadas.

Uma adaptação da proposta de Budowski (1965) seria a divisão em: pioneira (intolerância alta ao sombreamento), secundária (intolerante ao sombreamento ou tolerância em estágio juvenil) e climática (tolerante ao sombreamento), ou seja, baseada na entrada de luz na floresta. Assim, as pioneiras são aquelas espécies do início da sucessão, caracterizadas pela grande produção de sementes pequenas, rápido crescimento e ciclo de vida muito curto de aproximadamente 10 anos.

Por outro lado, as secundárias são as espécies intermediárias com sementes de tamanho médio, crescimento médio e ciclo de vida entre 10 a 100 anos. Por último, as espécies climáticas são as espécies do final de sucessão, caracterizadas pela menor produção de sementes, sementes grandes, crescimento lento e ciclo de vida muito longo com mais de 100 anos.

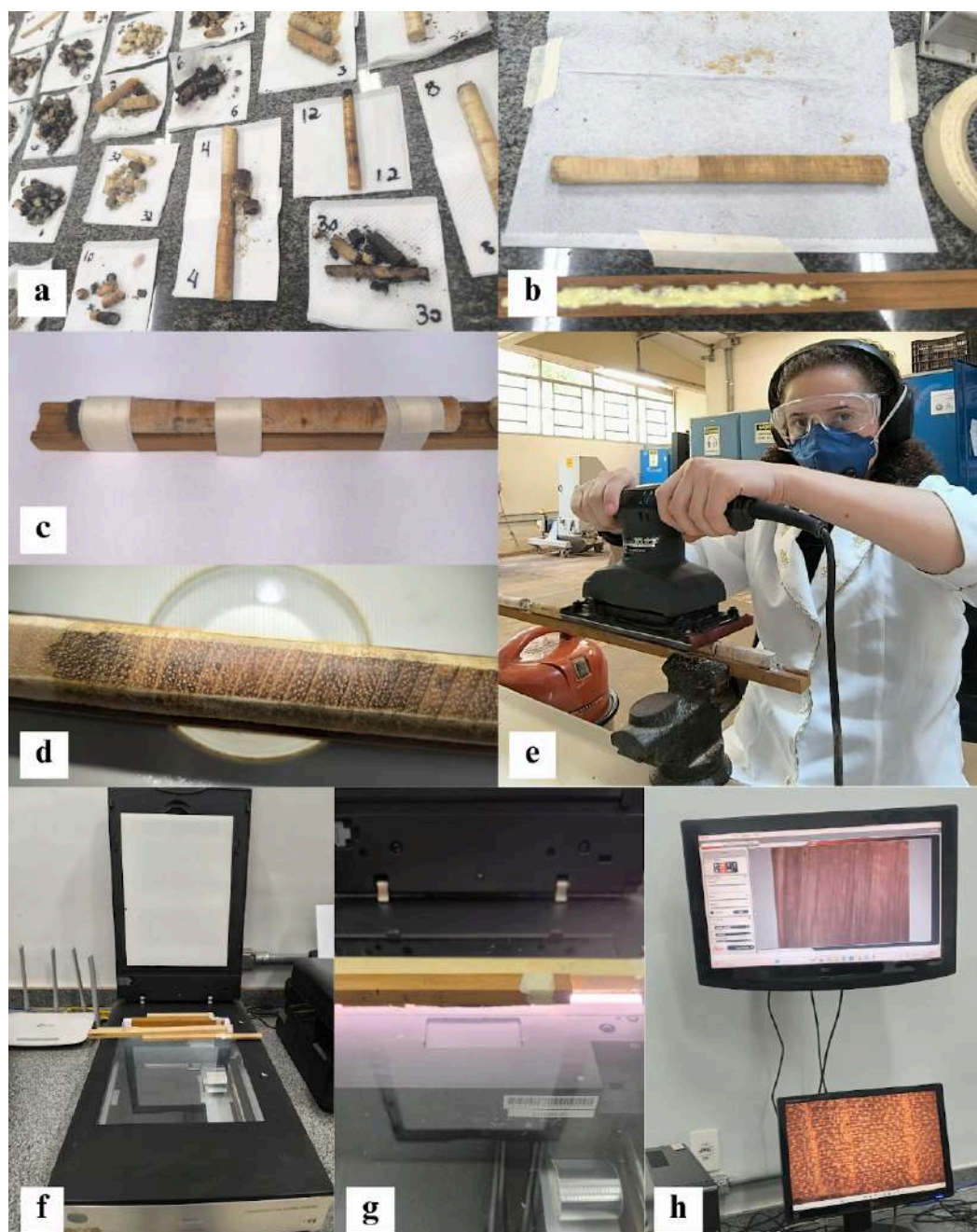
Conforme a Tabela 01 supracitada, neste estudo, foram selecionadas as espécies *A. polyneuron* e *H. gracilipes* como representantes das espécies climáticas, bem como, *C. major* e *H. courbaril* das secundárias e, *D. morotoni* e *T. obtusa* das pioneiras. A fim de que fossem avaliados tanto o incremento diamétrico como o teor de carbono quanto a interferência causada pelo grupo sucessional mediante a correlação das variáveis e desdobramento das análises estatísticas citadas anteriormente.

2.7 Anéis de crescimento

Para realizar a avaliação de anéis de crescimento, tal como para o teor de carbono, foi necessário a retirada de amostras não destrutivas de madeira no sentido do alburno até o cerne de forma intacta também no mês de setembro dos 36 indivíduos (Figura 10a). As amostras coletadas foram acondicionadas em suportes de plástico e levadas para o LQMBio para o processo de montagem em suportes de madeira por meio da colagem e fixação com fita adesiva até a secagem (Figuras 10b e 10c), o que demandou três dias de atividade laboratorial.

Na sequência, estas foram lixadas iniciando com a lixadeira orbital na folha de lixa abrasiva de granulometria (50-600 grãos.mm⁻²) crescente até o acabamento (Figuras 10d e 10e) no plano transversal. Este processo foi alternado com a aplicação de ar comprimido para a desobstrução dos vasos e evidência dos limites dos anéis de crescimento.

Figura 10. Preparo de amostras para avaliação dos anéis de crescimento: a) Amostras secando; b) Colagem no suporte; c) Fixação com fita adesiva; d) Detalhe da amostra lixada; e) Processo de lixamento; f) Equipamento utilizado no escaneamento; g) Exemplo de amostras escaneadas e; h) Entrada das amostras no programa de imagem digital

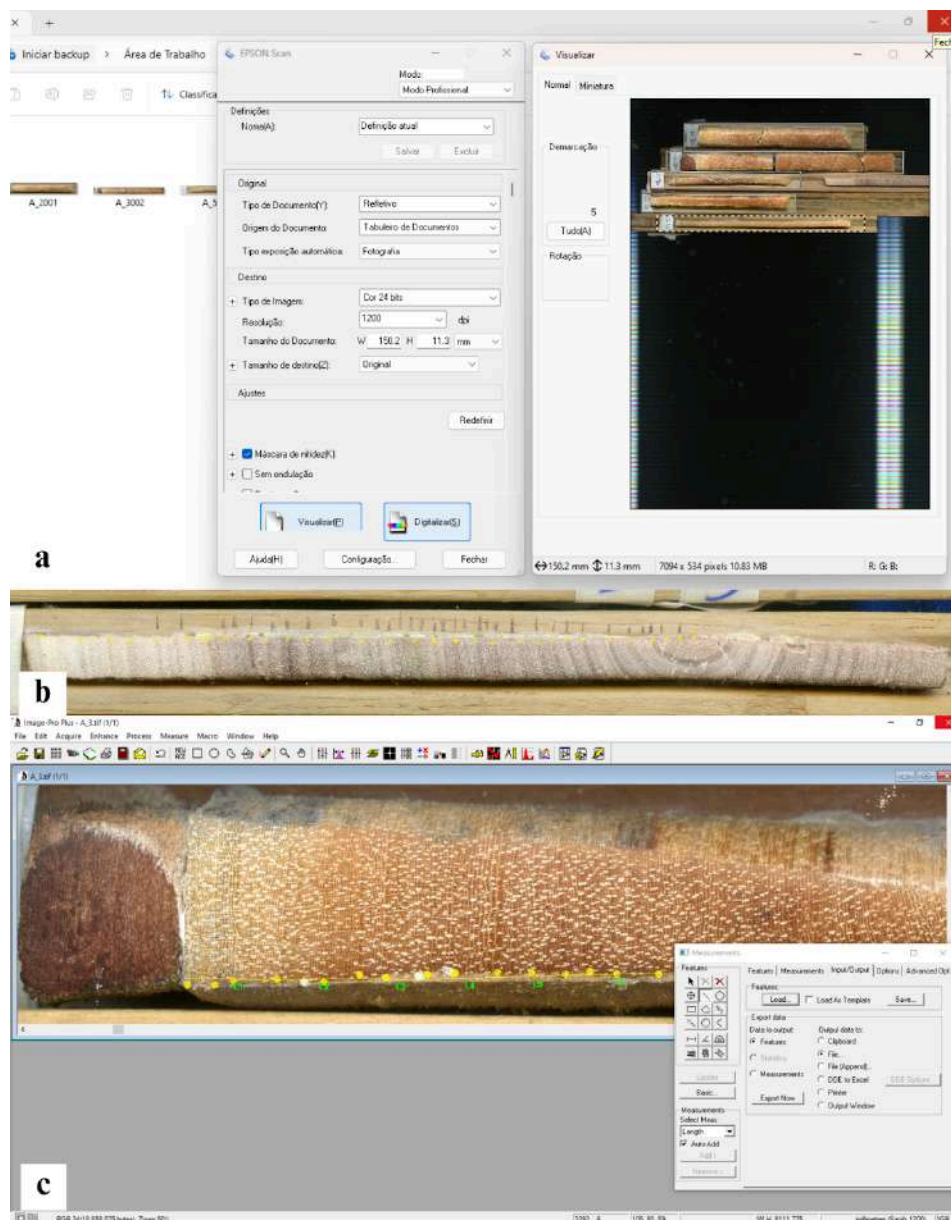


Fonte: Dados da pesquisa.

Posteriormente, cada uma foi escaneada (Figura 10f e 10g) no *driver* Epson Perfection V700 Photo em 1200 dpi (*Dots Per Inch* - Pontos por polegada) para entrada no programa Image-Pro Plus 6.0 (Figura 10h) para a mensuração da largura dos anéis de crescimento na

escala de milímetro por meio das ferramentas disponíveis para análise de imagem como evidenciado na Figura 11 (SETTE JUNIOR *et al.*, 2015), levando em torno de uma semana para cumprir estas etapas.

Figura 11. Image-Pro Plus 6.0: a) Entrada de amostras escaneadas; b) Exemplar com anéis demarcados e; c) Exemplar com anéis mensurados



Fonte: Dados da pesquisa.

Os dados de largura obtidos foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Office Excel® para o desenvolvimento dos cálculos de incremento médio anual (IMA) e de incremento corrente anual (ICA) em diâmetro e obtenção dos gráficos de variação para o crescimento radial do tronco com a devida análise estatística. Por conseguinte, foram

construídas as séries e procedeu-se à sincronização. Para tanto, houve a verificação das séries dendrocronológicas e identificação dos possíveis erros de datação (PANDEY *et al.*, 2025).

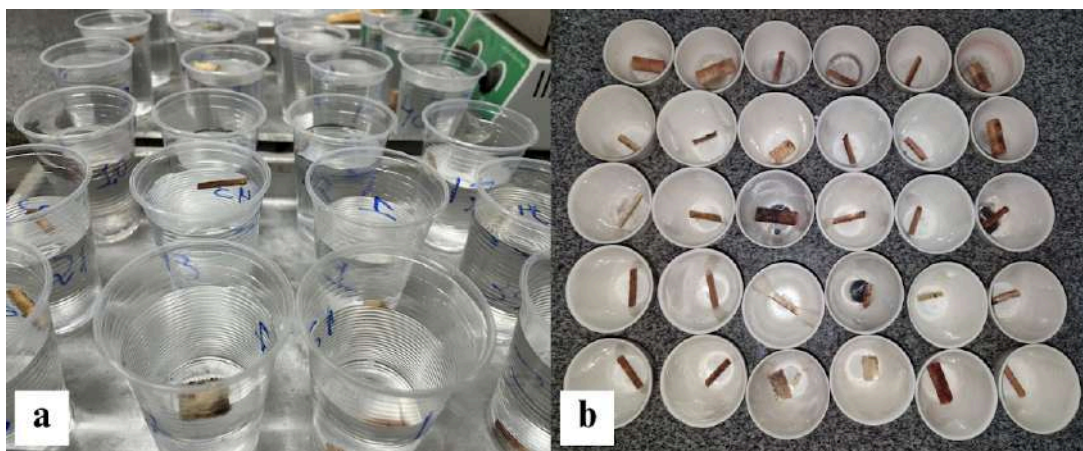
Em seguida, foi determinada a densidade básica (d_b , g.cm⁻³) da madeira de cada espécie pelo método de determinação de máximo teor de umidade de Foelkel *et al.* (1971) através da Equação 02, o qual é adequado para amostras de pequenas dimensões, como as de 1 cm de comprimento utilizadas nesta etapa.

$$d_b = \frac{1}{\frac{P_u}{P_s} - 0,346} \quad (\text{Equação 02})$$

Em que: d_b = Densidade básica; P_u = Peso úmido e; P_s = Peso seco.

Para tanto, as amostras foram mantidas na água por 3 dias, até o ponto de máxima saturação em água para depois passarem pela pesagem e, posteriormente, secagem na estufa de circulação de ar em 105 °C até que fosse obtida uma massa constante, como apresentado na Figura 12.

Figura 12. Determinação da densidade básica: a) Saturação das amostras na água e; b) Cadinhos após a secagem



Fonte: Dados da pesquisa.

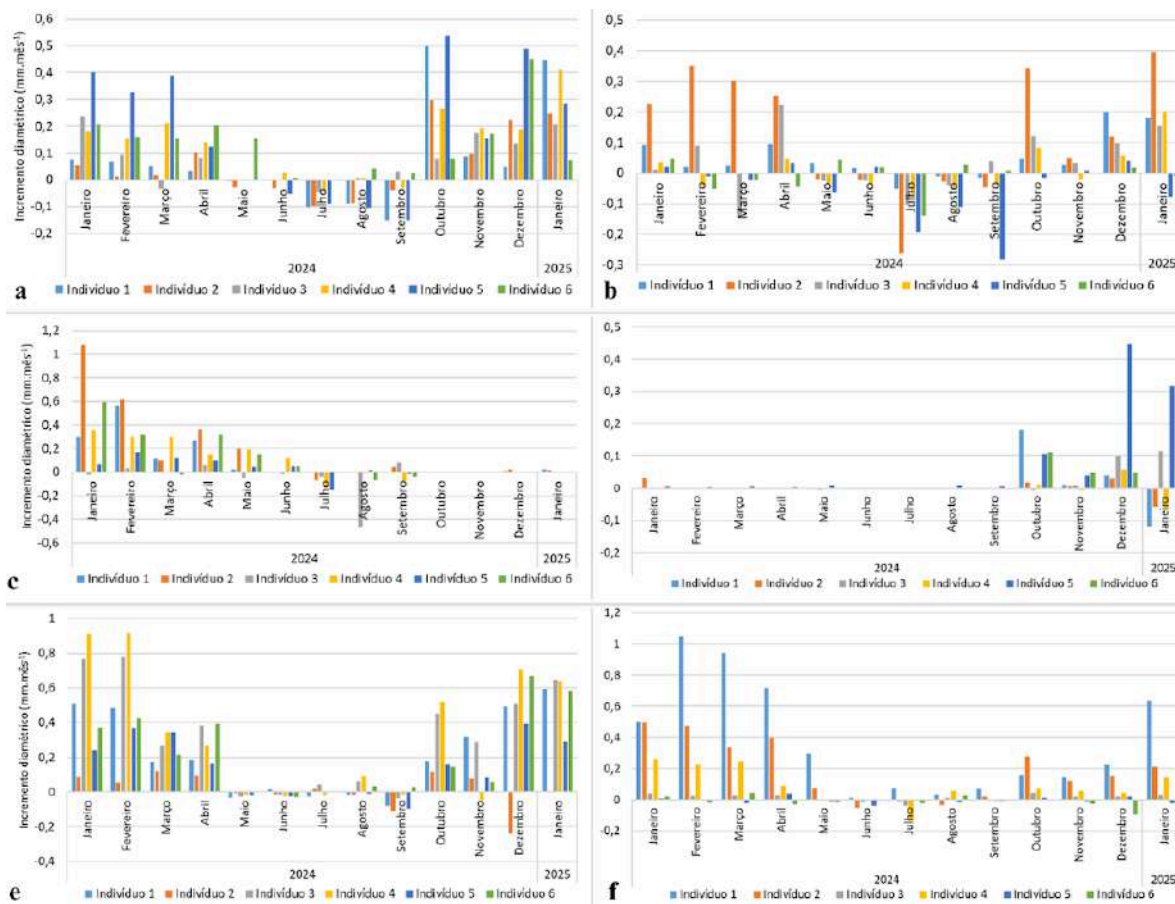
Por último, foi determinado o incremento de biomassa do lenho e o carbono fixado nos anéis de crescimento. Para tanto, foi utilizado o valor da espessura média dos anéis e determinou-se o volume (cm³) de cada anel de crescimento anual ao levar em consideração a altura da amostra de 0,55 cm no DAP. A biomassa (g) de cada anel foi determinada ao dividir o volume pela densidade calculada no LQMBio, os dados de teor de carbono foram reaproveitados da etapa anterior para o cálculo do carbono alocado (GONZÁLEZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Incremento periódico em diâmetro

Os resultados dos incrementos diamétricos foram obtidos mensalmente para cada espécie, como apresentado na Figura 13. Foram notáveis as oscilações nos meses que correspondem ao período seco (maio a setembro), o que pode ser explicado pela outrora turgência da casca dos indivíduos no período chuvoso (outubro a abril). Uma vez que para tolerarem a seca com baixo potencial hídrico, as plantas desenvolveram o ajuste osmótico em condições estressantes de baixa disponibilidade de água (FURQUIM *et al.*, 2018).

Figura 13. Incremento diamétrico das seis espécies avaliadas em mm.mês^{-1} : a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morotoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



Fonte: Dados da pesquisa.

Estudos anteriores apontam a importância de considerar a capacitância das árvores, particularmente como as variações do diâmetro do fuste em relação ao crescimento real, para não afetar as previsões de ganho de biomassa. Ressalta-se a escassez de conhecimento atual

sobre a relação entre a capacitância de diferentes espécies e suas habilidades de crescimento em remanescentes de vegetação nativa (REATEGUI-BETANCOURT *et al.*, 2025).

Gimenez *et al.* (2019) contrastaram as respostas fisiológicas de árvores tropicais durante uma estação seca normal com a estação seca extrema devido ao evento El Niño de 2015–2016. Como resultado detectaram mudanças na velocidade da seiva, na condução estomática e no fechamento estomático, isto é, as árvores estudadas na Amazônia refletiram a capacitância específica da espécie e as características hidráulicas.

Foram realizadas as medidas de posição, dispersão e forma da variável e estão dispostas na Tabela 02. Os coeficientes de variação das espécies refletiram valores muito dispersos dentro do conjunto de dados. Além disso, todas apresentaram assimetria positiva, ou seja, com a distribuição de dados deslocada para à direita. Bem como, os valores para curtose apontam para uma curva leptocúrtica com grau de achatamento baixo (FREITAS, 2022).

Tabela 02. Estatística descritiva do incremento diamétrico (mm) das seis espécies estudadas

Espécie	Min	Máx	M_e	M_d	M_o	V	DP	CV%	EP	IC*	g₁	g₂
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	-0,75	1,07	0,08	0,05	0,00	0,05	0,23	285,77	0,04	0,08	0,45	4,74
<i>Callisthene major</i> Mart.	-0,81	0,84	0,03	0,01	0,01	0,04	0,21	813,98	0,04	0,07	0,03	3,75
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	-0,77	1,58	0,12	0,08	0,16	0,08	0,27	227,99	0,05	0,10	0,91	5,61
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	-0,85	2,84	0,04	0,01	0,01	0,08	0,29	658,60	0,05	0,10	5,52	5,40
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	-0,84	1,17	0,19	0,09	-0,03	0,11	0,33	178,82	0,06	0,12	0,14	1,17
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	-0,80	1,39	0,10	0,03	0,00	0,08	0,28	275,18	0,05	0,10	1,31	5,51

* Obs.: Alfa igual a 0,05. Fonte: Dados da pesquisa.

Estes resultados apontam as principais características da distribuição dos dados, para identificar possíveis distorções devido à presença de valores extremos, bem como a variabilidade relativa entre as espécies. O CV% indicou maior variabilidade nos incrementos

diamétricos entre os indivíduos da mesma espécie. De forma semelhante, as medidas de forma sugeriram que há indivíduos com incrementos diamétricos significativamente maiores que a maioria dos outros. Assim, indicando que há diferentes taxas de crescimento ou fatores ambientais impactando o desenvolvimento ou diferentes estágios de crescimento dentro da população, sendo um passo essencial para a interpretação dos dados e a tomada de decisões para o manejo florestal (FREITAS, 2022; SANTOS *et al.*, 2024).

Conforme Silva *et al.* (2012), este estudo do crescimento individual das árvores é importante tanto para definir estratégias de conservação como de manejo florestal. Além disso, por meio deste estudo é possível saber o grau de elasticidade da espécie arbórea estudada, isto é, se ela cresce bem ou cresce pouco independentemente das condições ambientais (inelástica) ou se ela tem diferentes em diferentes condições ambientais e de competição (elástica).

A análise intraespecífica do incremento periódico diamétrico evidenciou que para *A. polyneuron*, *C. major* e *H. gracilipes* não houve diferença estatística significativa entre as médias. Todavia, *D. morototoni*, *H. courbaril* e *T. obtusa* apresentaram *p*-valor de 0,020, 0,030 e 0,022, respectivamente, indicando que pelo menos um dos indivíduos obteve média de incremento estatisticamente diferente dos demais. Para tanto, foi realizado o teste de Duncan para cada uma destas três espécies, como evidenciado na Tabela 03, identificando os exemplares superiores em incremento.

Tabela 03. Médias de incremento diamétrico de *D. morototoni*, *H. courbaril* e *T. obtusa*

Espécie	Indivíduo	Média (mm)*
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	1	0,120 ab
	2	0,255 a
	3	-0,003 b
	4	0,138 ab
	5	0,074 b
	6	0,136 ab
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1	0,196 ab
	2	0,020 b
	3	0,276 a
	4	0,290 a
	5	0,134 ab

Continuação da Tabela 03...

	6	0,192 ab
	1	0,008 a
	2	0,005 ab
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	3	0,0008 b
	4	0,004 ab
	5	0,0003 b
	6	-0,0005 b

*Obs.: Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

Este resultado da Tabela 03, em relação aos indivíduos, pode ser explicado em parte pela diferença de diâmetros dos exemplares, ao serem observados os resultados das correlações de Pearson, notou-se baixa correlação para as espécies *A. polyneuron* ($r=0,040$), *D. morototoni* ($r=0,005$) e *H. gracilipes* ($r=0,005$), como também no geral das espécies ($r=0,268$). Entretanto, foram identificados valores medianos para *C. major* ($r=0,609$) e *H. courbaril* ($r=-0,774$) e, alta correlação do diâmetro com o incremento de *T. obtusa* ($r=0,976$).

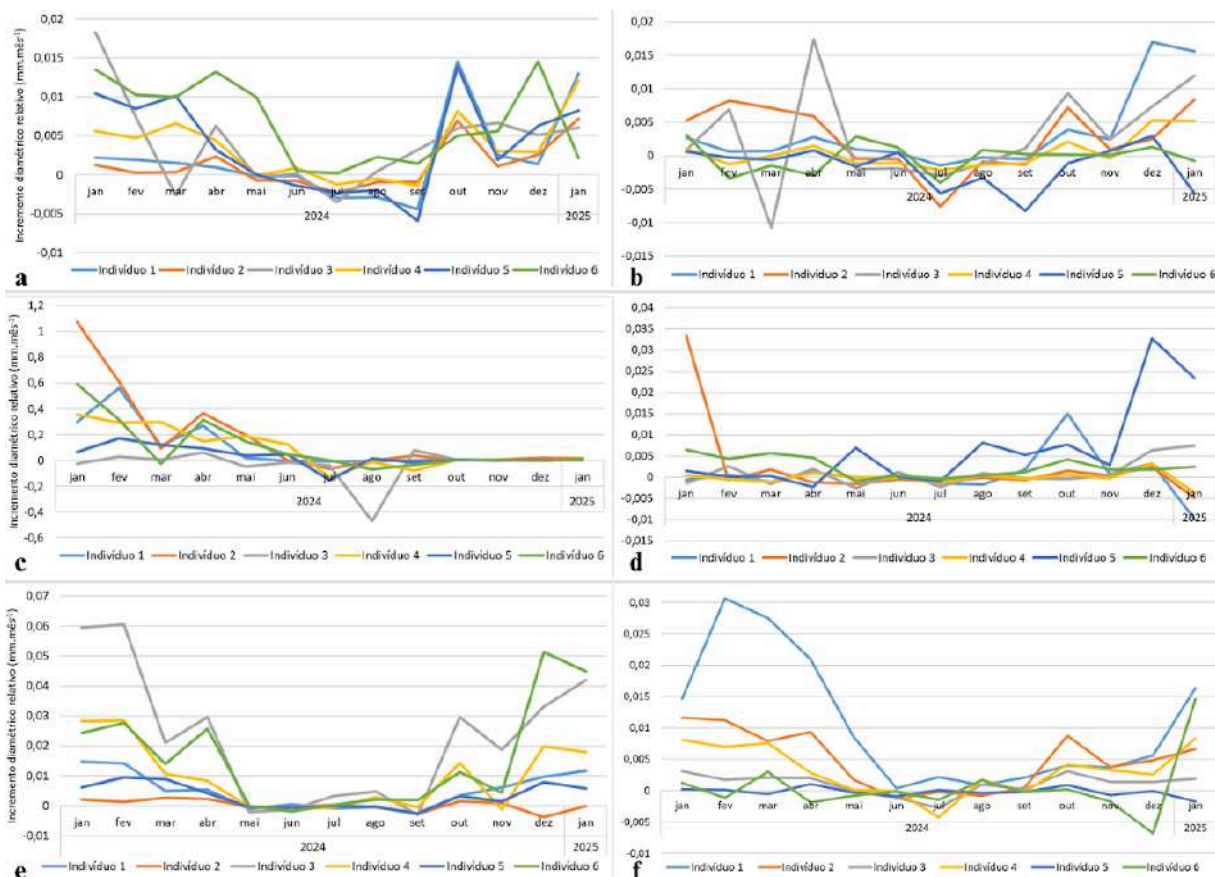
De forma semelhante ao encontrado na Figura 13, supracitada, foi o comportamento das curvas de incremento diamétrico relativo, apresentadas mensalmente na Figura 14. Em especial, *D. morototoni* apresentou disparidades de incremento em relação às outras espécies nos últimos meses de avaliação, como observado anteriormente na Figura 13c. Esse comportamento distinto pode estar ligado a fatores específicos terem influenciado seu crescimento, tais como, a competição com outros indivíduos por luz por serem intolerantes à sombra ou a proximidade da senescência com um ritmo de desenvolvimento mais lento (USDA, 2025).

Por outro lado, por ser calculado com base no valor de DAP, os indivíduos com menores diâmetros se sobressaíram em relação aos demais, sendo uma correlação negativa para *A. polyneuron* ($r=-0,747$), *D. morototoni* ($r=-0,649$), *H. gracilipes* ($r=-0,357$), *H. courbaril* ($r=-0,960$) e no geral entre as espécies ($r=-0,167$). Todavia, foram identificados valores positivos para *C. major* ($r=0,180$) e *T. obtusa* ($r=0,927$).

Esse padrão já foi descrito por Blagitz *et al.* (2016), que evidenciou, em uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil, o diâmetro do tronco correlacionando-se negativamente com o incremento acumulado em circunferência para 11 espécies arbóreas ao longo de 18 meses. Dessa forma, indicando que árvores com diâmetros menores apresentaram

incrementos proporcionais maiores. Estes autores ressaltaram em sua investigação as características dos indivíduos, tais como, posição sociológica, altura da árvore, grau de ocupação por lianas, deciduidade e diâmetro à altura do peito influenciando no incremento.

Figura 14. Incremento diamétrico relativo das seis espécies avaliadas em mm.mês^{-1} : a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morototoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



Fonte: Dados da pesquisa.

A análise intraespecífica do incremento periódico diamétrico relativo expôs que para *A. polyneuron*, *C. major* e *H. gracilipes* não houve diferença estatística significativa entre as médias. Porém, *D. morototoni*, *H. courbaril* e *T. obtusa* apresentaram *p*-valor de 0,001, 0,000017 e 0,022, respectivamente. Deste modo, indicando que pelo menos um dos indivíduos obteve média de incremento estatisticamente diferente dos demais. Foi realizado o teste de Duncan para cada uma destas três espécies, como evidenciado na Tabela 04, identificando os exemplares superiores em incremento, conforme foi realizado, anteriormente, na Tabela 03 para as mesmas espécies em relação ao incremento absoluto.

Tabela 04. Médias de incremento diamétrico relativo de *D. morototoni*, *H. courbaril* e *T. obtusa*

Espécie	Indivíduo	Média (mm)*
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	1	0,008 a
	2	0,005 ab
	3	0,0008 b
	4	0,004 ab
	5	0,0003 b
	6	-0,0005 b
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1	0,011 a
	2	0,008 ab
	3	-0,0001 c
	4	0,003 bc
	5	0,001 c
	6	0,003 bc
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	1	0,008 a
	2	0,005 ab
	3	0,0008 b
	4	0,004 ab
	5	0,0003 b
	6	-0,0005 b

*Obs.: Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

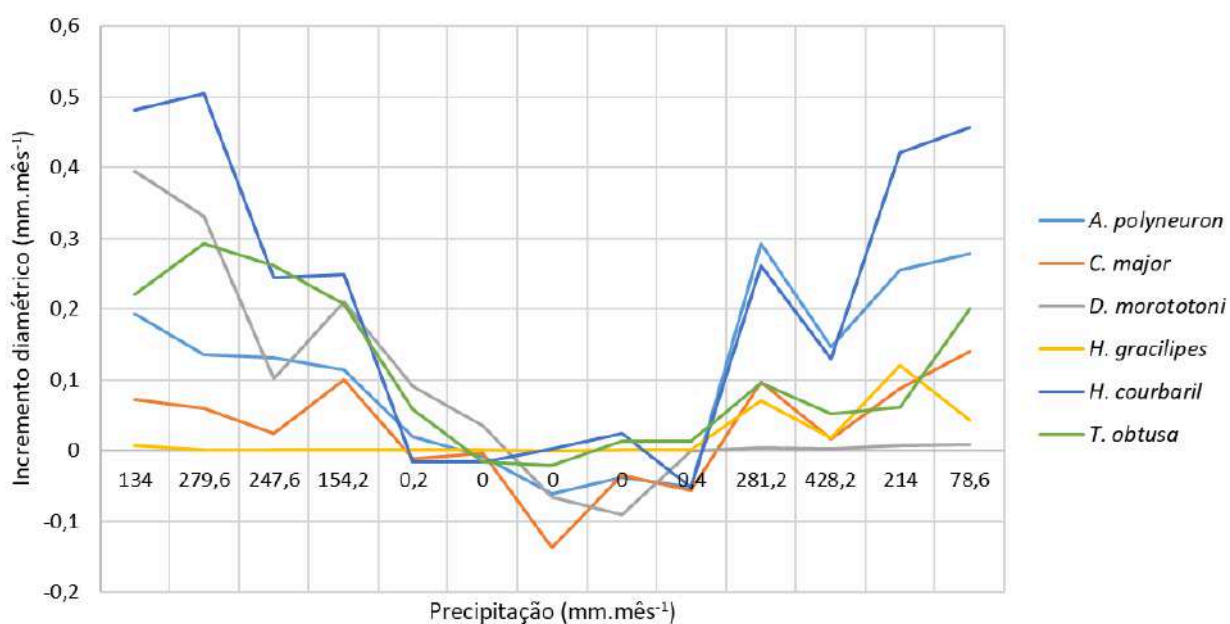
Em relação à sazonalidade, foram observadas diferenças estatísticas no incremento diamétrico das espécies de *A. polyneuron*, *D. morototoni* e *T. obtusa*, respectivamente, com *p*-valor de 0,003, 0,021 e 0,007, sendo superiores médias de incremento na presença de precipitação. O coeficiente de correlação de Pearson identificou uma relação moderada entre a precipitação e os incrementos de *A. polyneuron* ($r=0,645$), *C. major* ($r=0,479$), *H. courbaril* ($r=0,514$) e *T. obtusa* ($r=0,450$), como também, apontou uma correlação fraca para *D. morototoni* ($r=0,254$) e *H. gracilipes* ($r=0,339$).

Este padrão observado para *D. morototoni* e *H. gracilipes* sugere que essas espécies são menos dependentes das variações de precipitação para o seu crescimento ou que outros fatores ambientais, como a temperatura média e o fotoperíodo influenciaram as fenofases.

Para tanto, estas devem possuir uma estratégia de crescimento adaptativa como outras espécies dos mesmos gêneros, as quais os mecanismos fisiológicos permitem uma resposta mais estável ao longo do ano, o que as torna menos dependentes da sazonalidade (PINTO *et al.*, 2021; REIS, 2021).

A Figura 15 evidencia o comportamento das curvas de incremento diamétrico mensal de cada espécie diante da precipitação. Os resultados indicam que as espécies estudadas exibiram taxas distintas de incremento diamétrico ao longo do período monitorado, refletindo a influência da sazonalidade, exceto para *D. morototoni* e *H. gracilipes*, como observado acima quanto à correlação de Pearson.

Figura 15. Incremento diamétrico (mm.mês^{-1}) de cada espécie em relação a precipitação (mm.mês^{-1})



Fonte: Dados da pesquisa.

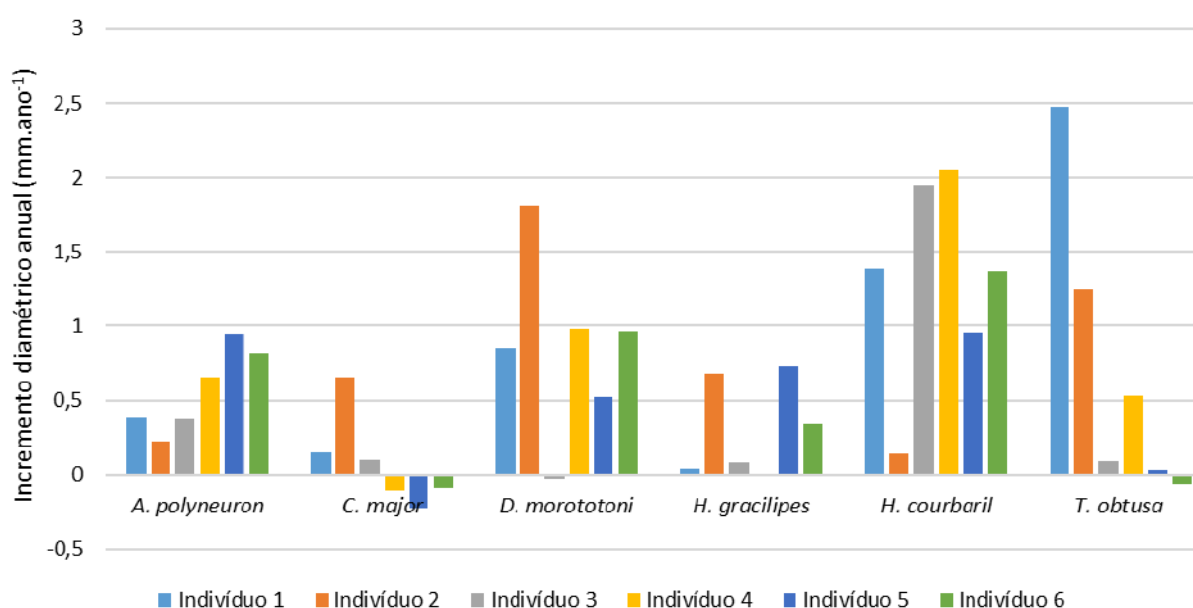
É preciso ressaltar que o desenvolvimento do experimento coincidiu com o fenômeno *El Niño*, caracterizado pelo aquecimento anormal e persistente da superfície do Oceano Pacífico, gerando chuvas intensas em certas regiões e em outros aumenta-se os riscos de seca ou estiagem. Em dezembro de 2023, foi registrado o maior valor de aumento da temperatura do fenômeno com 2,0 °C acima da média, consequentemente sua maior intensidade (INMET, 2024).

Diante do exposto, eram esperadas estratégias diferentes das espécies na tentativa de se adaptarem e conseguirem sobreviver a todo estresse gerado por essa perturbação no tempo e na precipitação local. Uma vez que as florestas, em geral, estão sendo afetadas como relatado por Blackman (2020), desde o nível genético até o ecossistema, causando alterações

no crescimento das plantas e no sequestro de carbono, mortalidade de árvores, extinções e interações de espécies, diversidade genética e, por fim, a morte de muitos indivíduos.

Ademais, a Figura 16 ilustra o resultado do incremento diamétrico anual para cada um dos indivíduos. Em geral, o incremento diamétrico anual para o conjunto dos 36 indivíduos foi de 0,640 mm.ano⁻¹. Embora, este valor tenha sido intermediário ao encontrado no estudo na FES da Estação da Ecológica dos Caetetus (SP) de Chagas *et al.* (2004), o qual variaram de 0,47 mm.ano⁻¹ para *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. ao máximo de 2,82 mm.ano⁻¹ para *Savia dictyocarpa* Müll.Arg, sendo também utilizadas bandas dendrométricas ao longo de seis anos de avaliação.

Figura 16. Incremento diamétrico anual das seis espécies avaliadas em mm.ano⁻¹



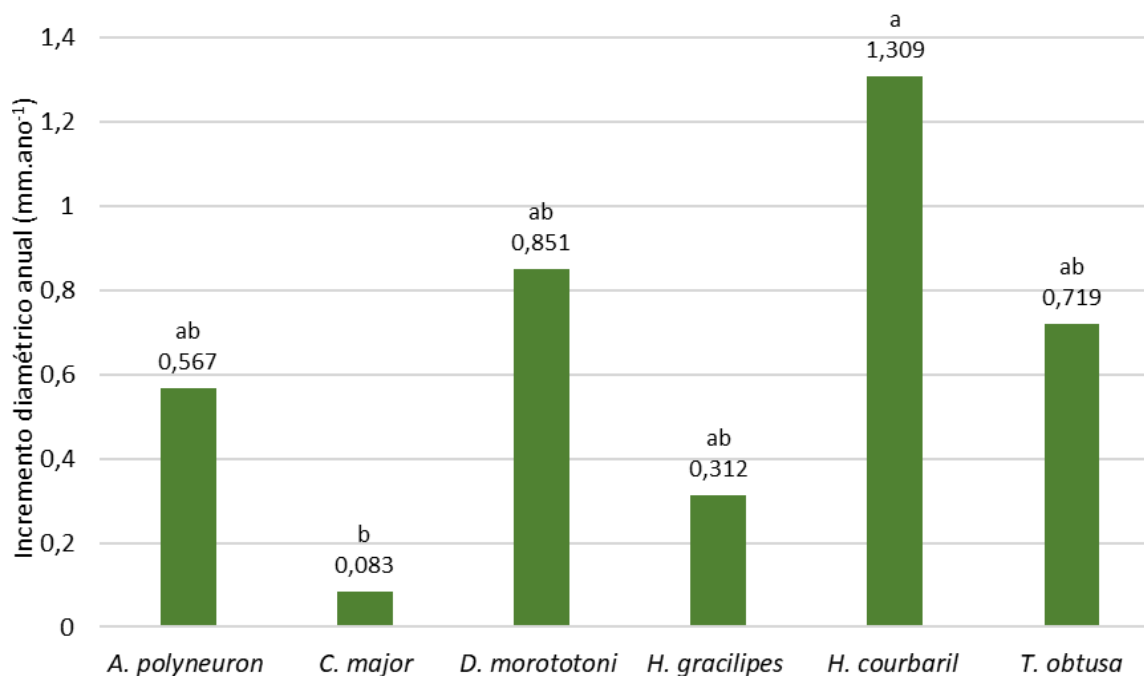
Fonte: Dados da pesquisa.

Lisboa *et al.* (2019) observaram na FES e na Floresta Ombrófila Mista (FOM) de São José das Palmeiras (PR) um incremento periódico anual de 2,8 mm.ano⁻¹, e o intervalo de classe diamétrica entre 35 e 50 cm foi o que apresentou os maiores incrementos. Os autores indicaram que este resultado foi em decorrência das árvores maiores estarem estabelecidas a mais tempo na floresta em uma posição privilegiada no dossel, ou seja, que lhes garante maior aporte de energia, maiores incrementos diamétricos e menor variabilidade ao longo do tempo.

Um dado relevante a ser destacado é que, este valor geral foi inferior ao encontrado por Ourique (2014) aos 36 meses de avaliação na Floresta de Terra Firme na Amazônia Central com 1,43 mm.ano⁻¹, ou dos demais trabalhos citados por ele, por exemplo, Dias (2009) com 1,99 mm.ano⁻¹ e Higuchi *et al.* (2011) com 1,5 mm.ano⁻¹.

Ao realizar a análise interespecífica, foram apontadas diferenças estatísticas na ANOVA com *p*-valor de 0,022. Na sequência, o teste de Tukey disposto na Figura 17 apresenta a média de incremento anual de cada espécie.

Figura 17. Médias de incremento diamétrico anual para as seis espécies



*Obs.: Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

Ao final, foram aplicados diferentes modelos de regressão para estimar o incremento diamétrico de árvores em relação ao diâmetro e a sazonalidade como evidenciado na Tabela 05, sendo notável o reflexo da baixa correlação, em geral, entre as variáveis. O modelo polinomial apresentou a melhor performance geral, com maior R^2 , menor PRESS (*prediction residual sum of squares* - soma dos erros quadráticos da previsão) e RMSEC (*root mean square erro calibreted* - erro médio quadrático) reduzido.

Assim, sugerindo que a abordagem não linear capturou melhor a variabilidade do incremento, mas que existem outras variáveis influenciando significativamente no crescimento em diâmetro. Concomitantemente, indicando a necessidade de um maior número de observações para capturar estes e novos preditores. Uma vez que o incremento diamétrico é uma variável de complexa estimativa em florestas naturais, sendo influenciado pela composição de espécies e ritmo de crescimento das árvores (ORSO *et al.*, 2024).

Tabela 05. Equações de incremento diamétrico (mm) para os 36 indivíduos

Modelo	Equação	R ²	PRESS	RMSEC	Bias
Linear	Inc = 0,047 + 0,001* DAP	0,008	73,41	0,27	<0,00001
	Inc = 0,059 + 0,0007* PQ	0,020	72,53	0,27	<0,00001
	Inc = 0,014 + 0,001 * DAP+ 0,0007 * PQ	0,028	71,90	0,27	<0,00001
Linear Misto	Inc = 0,078 + 0,001* DAP	0,032	71,44	0,27	<0,00001
	Inc = 0,059 + 0,001* PQ	0,057	69,92	0,26	<0,00001
	Inc = 0,058 + 0,00005 * DAP+ 0,0004 * PQ + 0,00001 * DAP*PQ	0,054	69,84	0,26	<0,00001
Polinomial no Tempo	Inc = 0,093 + 0,796 * DAP + -0,898 * DAP ²	0,019	72,61	0,27	<0,00001
	Inc = 0,093 + 1,230 * PQ + -1,197 * PQ ²	0,039	71,10	0,27	<0,00001
	Inc = 0,093 + 0,796 * DAP + -0,898 * DAP ² + 1,230 * PQ + -1,197 * PQ ²	0,058	69,66	0,26	<0,00001

*Obs.: Onde PQ é a precipitação da quinzena. Fonte: Dados da pesquisa.

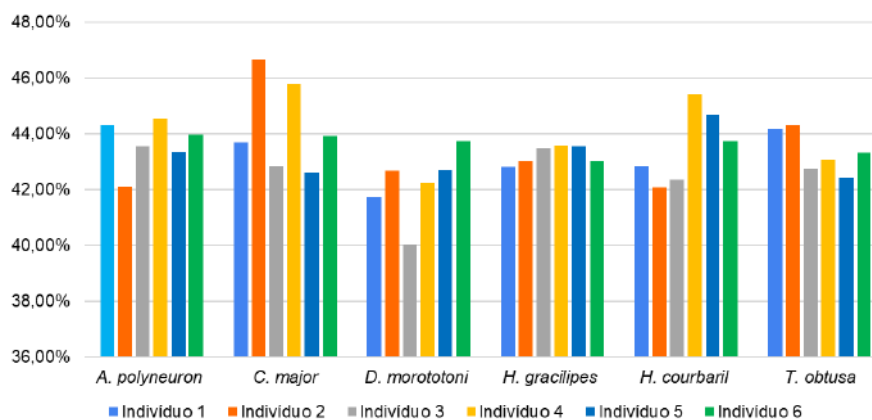
Tavares Júnior *et al.* (2020) também observaram que esta modelagem tem baixo desempenho em floresta nativa devido à variação entre os incrementos de diferentes árvores ou espécies e até mesmo dentro da mesma espécie. Dessa forma, o ideal seria substituir por previsões utilizando técnicas de aprendizado de máquina. Estes autores encontraram resultados satisfatórios com a rede neural artificial (RNA), pois foi possível inserir índices de competição e variáveis ambientais obtendo baixo erro quadrático médio na validação cruzada em fragmentos de Mata Atlântica.

Em suma, tornando factível a análise da variabilidade do incremento diamétrico de forma intraespecífica e interespecífica para um conjunto de dados de avaliações tomadas ao longo do tempo. Logo, permitindo o acompanhamento do crescimento dentre as mudanças demográficas florestais que impulsionam a dinâmica florestal (TAVARES JÚNIOR *et al.*, 2020).

3.2 Teor de carbono

Os resultados individuais de teor de carbono apresentados na Figura 18 evidenciam uma concentração dos dados entre 40% e 47% de C, sendo o menor valor encontrado para *D. morototoni* e o maior para *C. major*, respectivamente, 40,03% e 46,66%.

Figura 18. Teor de carbono (%) individual das seis espécies avaliadas



Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 06 apresenta os resultados da análise estatística descritiva. Na qual, os coeficientes de variação das espécies refletiram valores pouco dispersos dentro do conjunto de dados. Além disso, em geral, apresentaram assimetria positiva, ou seja, com a distribuição de dados deslocada para a direita (FREITAS, 2022).

Tabela 06. Estatística descritiva do teor de carbono (%) das seis espécies estudadas

Espécie	Min	Máx	M _e	M _d	M _o	V	DP	CV%	EP	IC*	g ₁	g ₂
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	42,11	44,5 3	43,63	43,75	-	0,75	0,87	1,99	0,15	0,91	-1,14	1,42
<i>Callisthene major</i> Mart.	42,61	46,6 6	44,24	43,79	-	2,66	1,63	3,68	0,28	1,71	0,72	-1,21
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	40,03	43,7 5	42,19	42,46	-	1,56	1,25	2,96	0,22	1,31	-0,95	1,78
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	42,80	43,5 7	43,24	43,25	-	0,11	0,34	0,78	0,06	0,35	-0,19	-2,59
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	42,09	45,4 1	43,52	43,30	-	1,76	1,33	3,05	0,23	1,39	0,44	-1,56
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	42,42	44,2 9	43,33	43,19	-	0,56	0,75	1,73	0,13	0,79	0,32	-1,63

* Obs.: Alfa igual a 0,05. Fonte: Dados da pesquisa.

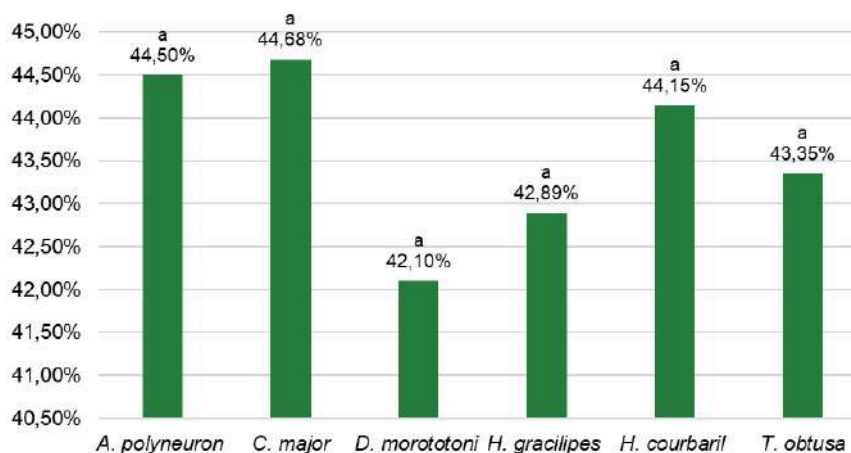
Bem como, os valores para curtose apontam para uma curva leptocúrtica com grau de achatamento baixo. É importante ressaltar que não foi identificada nenhuma moda no conjunto dos dados analisados. Ademais, ao correlacionar o teor de carbono com diâmetro dos indivíduos foi verificada, em geral, uma relação bem fraca ($r=0,190$) (FREITAS, 2022).

Diante deste resultado, se faz necessário lembrar que as propriedades da madeira estão intimamente relacionadas com as características expressadas, sendo um material heterogêneo. Desse modo, espera-se que as propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas variassem entre espécies, dentro da espécie e até mesmo dentro da própria árvore. Em especial, o teor de carbono está diretamente ligado com a presença de lignina. Normalmente, madeiras com um maior teor de carbono tendem a ser mais densas, o que pode afetar sua resistência e durabilidade (LIMA *et al.*, 2021; CIRILO *et al.*, 2023).

Outro fator que altera a quantidade de carbono são as condições ambientais do ecossistema florestal estudado, pois alteram-se os fluxos de CO_2 diante da complexidade de processos envolvidos. Portanto, as ameaças às florestas tropicais afetam este processo, como também a dinâmica do elemento carbono como um todo diante da mudança climática e pressões antropogênicas (FU *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2024).

A Figura 19 apresenta os resultados obtidos das análises de amostras compostas, sendo a média geral de 43,61%. O teste de médias não identificou diferença estatística ($p\text{-valor}= 0,057$).

Figura 19. Médias de teor de carbono das amostras compostas para as seis espécies



*Obs.: Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados encontrados no presente estudo foram superiores aos valores de teor de carbono encontrados por Vieira *et al.* (2009) na análise de 30 espécies do Cerrado através de combustão seca com foco no compartimento arbóreo fuste, no qual obtiveram uma média de

41,1%. Estes se aproximaram dos teores de 43,66% a 45,36 % de Watzlawick *et al.* (2014) na avaliação dos compartimentos das árvores de 12 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista.

Em contrapartida, os presentes teores foram menores do que 47,91 a 48,29% encontrados por Siqueira *et al.* (2020), ao quantificar em relação à massa seca da madeira de *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima, *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão e *Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm. em Jataí (GO). Silva *et al.* (2018) obtiveram uma variação entre 41,85% (*Casearia decandra* Jacq.) e 46,57% (*Nectandra oppositifolia* Nees & Mart.) em seu levantamento em Itutinga (MG) com 50 espécies arbóreas de 26 famílias botânicas distintas.

Também, foram inferiores ao valor referencial recomendado pelo IPCC (2006) de 47% para estimativa do carbono alocado na biomassa das árvores de florestas tropicais, ou seja, seu uso geraria superestimativas, principalmente, para aquelas de menor teor de carbono, tais como *D. morototoni* e *H. gracilipes*. Estas diferenças nos resultados reforçam os apontamentos feitos por Silva *et al.* (2018) sobre determinar o teor de carbono para cada espécie, para obter estimativas mais confiáveis em relação às possíveis estimativas de estoque de carbono representando valores reais da floresta avaliada.

3.3 Estoque de Carbono

Os resultados obtidos estão organizados na Tabela 7 para cada uma das seis espécies. O teste de médias aplicado não identificou diferença estatística entre as espécies em relação à biomassa (p -valor= 0,065) ou ao estoque de carbono (p -valor= 0,064).

Tabela 7. Somatório do volume, biomassa e estoque de carbono das seis espécies

Espécie	V (m ³)	AGB (t)	Est _c (t)
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	4,81	3,08	1,33
<i>Callisthene major</i> Mart.	3,35	2,34	1,08
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	5,86	3,81	1,63
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	0,67	0,44	0,19
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	10,86	8,53	3,67
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	2,75	1,60	0,70

Total	28,30	19,80	8,60
--------------	--------------	--------------	-------------

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 8 expõe os resultados da extrapolação para hectare realizada pela média da espécie e sua densidade absoluta em indivíduo por hectare (ind.ha⁻¹), sendo encontrado alto valor para *A. polyneuron* Müll.Arg. Em conformidade com os resultados encontrados por Caraminan e Gasparetto (2023) na FES em Santa Fé (PR) e por Sousa (2024) como a espécie mais importante dessa área nas fitossociológicas realizadas.

Tabela 8. Densidade absoluta e extrapolação da biomassa e do estoque de carbono para as seis espécies

Espécie	DA (ind.ha ⁻¹)	AGB (t.ha ⁻¹)	Est _C (t.ha ⁻¹)
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	57,5	29,52	6,57
<i>Callisthene major</i> Mart.	11	5,65	1,26
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	10	5,13	1,14
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	3,5	1,80	0,40
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	12	6,16	1,37
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	2,5	1,28	0,28
Total	28,30	19,80	8,60

Fonte: Dados da pesquisa.

O fato da *A. polyneuron* Müll.Arg. apresentar maior estoque pode ser explicado pela distribuição florística desbalanceada. Uma vez que Sousa (2024) detectou um distúrbio na distribuição florística da área da Embrapa Arroz e Feijão, encontrando tanto densidade como índice de importância diferentes do encontrado na literatura para a FES de outros sítios. Em geral, esta alteração pode ser causada por diversos fatores, como, as relações complexas entre flora, fauna e fatores abióticos no ecossistema.

Ademais, foi detectado um desbalanço entre o recrutamento e a mortalidade de árvores na estrutura diamétrica deste povoamento. O autor relatou a presença de diversas clareiras, de espécies invasoras, uma quantidade elevada de árvores mortas ou doentes e pressões antrópicas na circunvizinhança estariam alterando a dinâmica florestal deste fragmento (SOUSA, 2024).

A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva da análise dos indivíduos no geral e reforça que o estoque de carbono é altamente variável de entre indivíduos e espécies, bem como entre locais, estágios de sucessão, zonas ecológicas e entre continentes. Espera-se que estes valores aumentem no compartimento arbóreo acima do solo à medida que o processo de

sucessão ecológica avance se não houver grandes perturbações. Deste modo, reforçando a importância da conservação dos remanescentes desses biomas como sumidouros de carbono atmosférico (ROZENDAAL *et al.*, 2022).

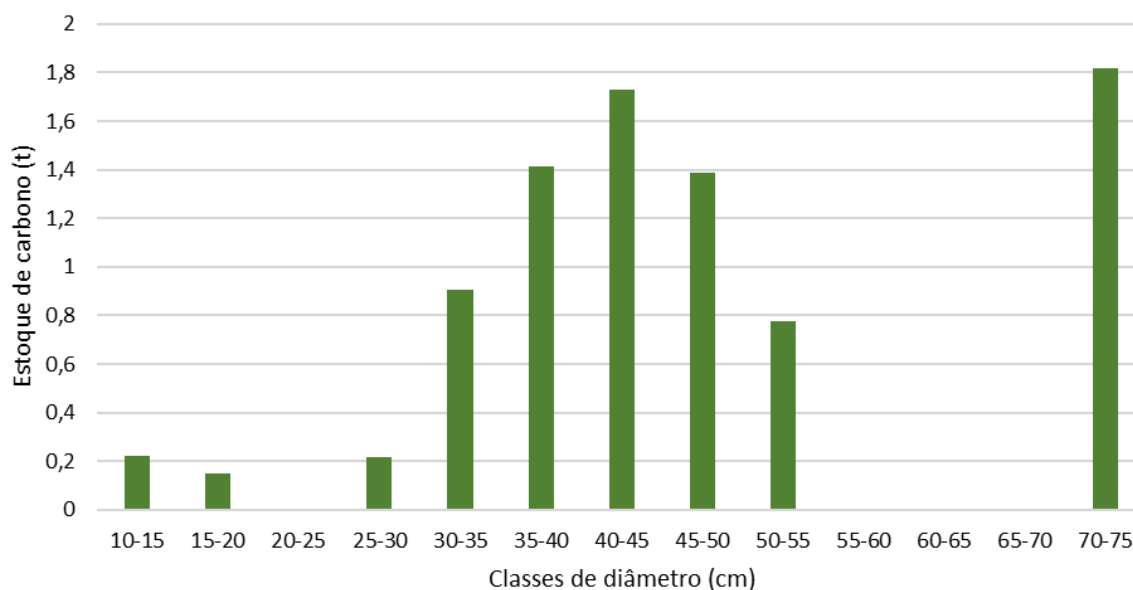
Tabela 9. Estatística descritiva para volume, biomassa e estoque de carbono de todos os indivíduos

	Min	Máx	M _e	M _d	V	DP	CV%	EP	IC*	g ₁	g ₂
V (m ³)	0,05	4,65	0,79	0,22	0,94	0,97	123,17	0,16	0,33	2,13	6,19
AGB (t)	0,02	4,31	0,55	0,15	0,67	0,82	148,85	0,14	0,28	3,04	12,24
Est _C (t)	0,01	1,82	0,24	0,06	0,12	0,35	146,40	0,06	0,12	2,89	11,14

* Obs.: Alfa igual a 0,05. Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 20 apresenta a distribuição do estoque de carbono por classe de diâmetro dos indivíduos. Entretanto, como relatado por Villanova *et al.* (2019) diversos tipos de intervenções podem alterar este estoque, sendo essenciais os inventários florestais contínuos em parcelas permanentes para fornecerem informações sobre a dinâmica do crescimento florestal e identificar mortalidades, bem como transformações nas estruturas e na composição florística.

Figura 20. Distribuição da quantidade de carbono em diferentes classes diamétricas



Fonte: Dados da pesquisa.

Sabe-se pelo estudo de Sousa (2024), na mesma área do presente estudo, com duas parcelas permanentes de 1 hectare, que o carbono estimado médio foi de $68,3 \pm 10,7 \text{ ton.ha}^{-1}$

para árvores vivas e $10,2 \pm 3,7 \text{ ton.ha}^{-1}$ para árvores mortas, sendo sua extrapolação para a floresta toda de 15,42 Gg de carbono, o que correspondeu a 56,54 Gg de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).

O balanço apontou que a quantidade alocada correspondeu a 1,5 vezes o total de CO_2e emitido apenas pelo setor de Agropecuária em 2022 em Santo Antônio de Goiás, sendo este o município de localização da Fazenda Capivara. Assim, o autor concluiu que o remanescente contribui no serviço ecossistêmico de regulação local, permitindo a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, por exemplo, a alocação de carbono (sumidouro), a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos (SOUSA, 2024).

Resultados maiores foram encontrados por Silva *et al.* (2018) em seu levantamento em um remanescente de FES na Mata Atlântica mineira. Uma vez que os autores estimaram um estoque de biomassa de $126,92 \pm 0,09 \text{ ton.ha}^{-1}$, correspondente a $55,91 \pm 0,05 \text{ ton.ha}^{-1}$ de carbono e um incremento periódico de carbono de $3,07 \text{ ton.ha}^{-1}$ por ano.

Dessa forma, somando com os estudos que objetivaram estimar o estoque de carbono na tentativa de avaliar o balanço de carbono e indicar se a floresta está agindo como sumidouro ou fonte de carbono. Também corroboram para a importância dos inventários florestais contínuos para fornecerem informações sobre a dinâmica e seus reflexos no estoque de biomassa e carbono (VILLANOVA *et al.*, 2019).

Portanto, a geração de dados de biomassa confiável e estimativas de estoque de carbono em diferentes fisionomias florestais naturais são de fundamental importância. Essas estimativas podem aumentar a qualidade dos bancos de dados e possibilitar a geração de estimativas e rendimentos, além de permitir uma comparação entre diferentes estudos e diferentes metodologias. Por fim, apoiando a implementação de políticas de baixo carbono e permitindo prever a quantidade de CO_2 emitido para a atmosfera por florestas naturais em casos de desmatamentos ou incêndios (SILVA *et al.*, 2018).

3.4 Grupos sucessionais

Os resultados obtidos para as análises estatísticas dos grupos sucessionais em relação ao incremento diamétrico anual estão dispostos na Tabela 10, a seguir.

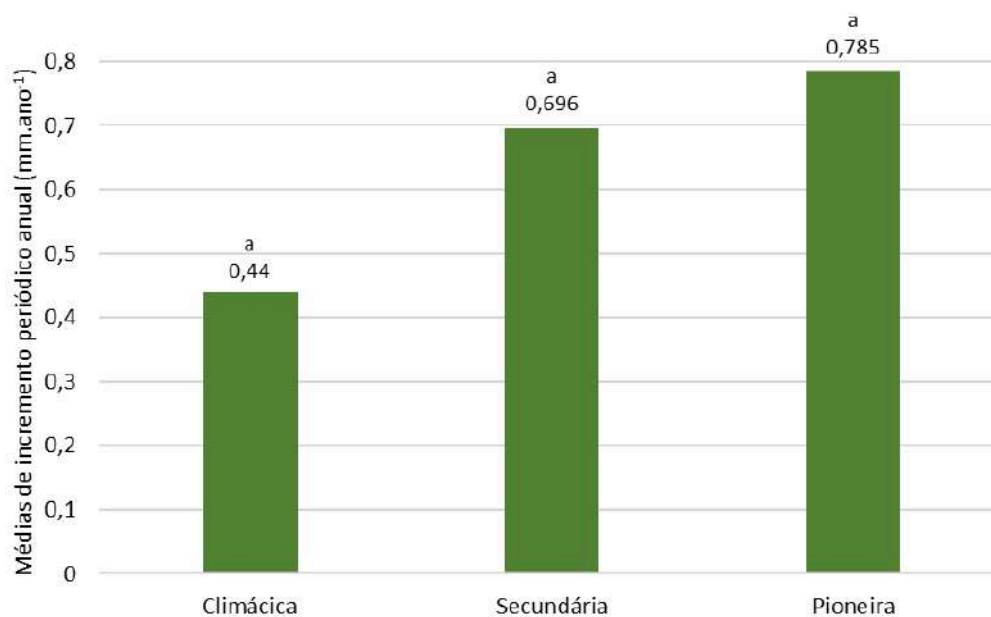
Tabela 10. Estatística descritiva do incremento periódico anual dos grupos sucessionais

Grupo	Min	Máx	M _e	M _d	M _o	V	DP	CV%	EP	IC*	g ₁	g ₂
Climácica	-0,01	0,95	0,44	0,38	-	0,10	0,32	73,43	0,06	0,21	0,06	-1,34
Secundária	-0,22	2,06	0,70	0,40	-	0,68	0,82	118,28	0,14	0,52	0,55	-1,25
Pioneira	-0,06	2,47	0,79	0,69	-	0,61	0,78	99,71	0,14	0,50	0,92	0,48

* Obs.: Alfa igual a 0,05. Fonte: Dados da pesquisa.

Os coeficientes de variação apontaram valores muito dispersos dentro do conjunto de dados. Além disso, em geral, apresentaram assimetria positiva, ou seja, com a distribuição de dados deslocada para à direita. Assim como, os valores para curtose apontam para uma curva platicúrtica com grau de achatamento alto (FREITAS, 2022).

O teste de médias não identificou diferença estatística (p -valor= 0,44) entre os grupos sucessionais conforme a Figura 22. As espécies climácicas obtiveram a menor média, as secundárias foram intermediárias e as pioneiras conseguiram a maior média. Embora haja a falta de um padrão de comportamento das espécies para o incremento diamétrico como visto, anteriormente.

Figura 21. Médias de incremento periódico anual (mm.ano⁻¹) dos grupos sucessionais

*Obs.: Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

Vale ressaltar que os valores obtidos para incremento foram inferiores aos encontrados por Reategui-Betancourt *et al.* (2025) para um fragmento na Amazônia, no qual as espécies pioneiras obtiveram crescimento de $0,85 \pm 0,19$ cm.ano⁻¹, espécies arbóreas exigentes em luz

com $0,72 \pm 0,23 \text{ cm.ano}^{-1}$ e tolerantes à sombra com $0,25 \pm 0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$. Entretanto, foi notável a semelhança em relação a posição de cada grupo quanto ao ranqueamento de incremento.

Estes autores ressaltam que as diferentes dinâmicas das árvores no sub-bosque (DAP mínimo) e no dossel (DAP máximo) desempenham um papel crucial na configuração e no funcionamento das florestas tropicais. Todavia, esses dois grupos representam diferentes estratos dentro do ecossistema florestal e exibem comportamentos distintos relacionados à ecologia, crescimento, competição e sobrevivência (REATEGUI-BETANCOURT *et al.*, 2025).

Além disso, o crescimento das árvores aumenta até um certo DAP e então estagna, o que se repete quando as clareiras são abertas. Esse crescimento está relacionado à interação complexa entre características específicas da espécie e fatores ambientais, enfatizando a necessidade de considerar essas interações em estratégias de conservação e manejo florestal (REATEGUI-BETANCOURT *et al.*, 2025).

Os resultados obtidos para as análises estatística dos grupos sucessionais em relação ao teor de carbono estão dispostos na Tabela 11, abaixo.

Tabela 11. Estatística descritiva do teor de carbono dos grupos sucessionais

Grupo	Min	Máx	M _c	M _d	M _o	V	DP	CV%	EP	IC*	g ₁	g ₂
Climácica	42,11	44,53	43,43	43,52	-	0,44	0,66	1,52	0,11	0,42	-0,23	0,42
Secundária	42,09	46,66	43,88	43,71	-	2,15	1,47	3,34	0,26	0,93	0,65	-0,66
Pioneira	40,03	44,29	42,76	42,73	-	1,32	1,15	2,69	0,20	0,73	-1,02	2,03

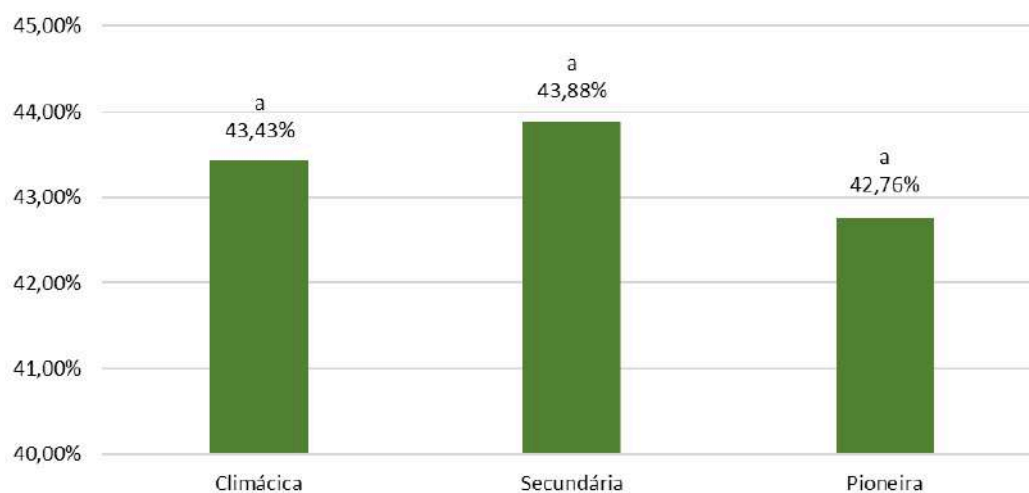
* Obs.: Alfa igual a 0,05. Fonte: Dados da pesquisa.

Os coeficientes de variação refletiram valores pouco dispersos dentro do conjunto de dados. Ademais, em geral, apresentaram assimetria negativa, ou seja, com a distribuição de dados deslocada para a esquerda. Bem como, os valores para curtose apontam para uma curva leptocúrtica com grau de achatamento baixo. Por último, não foi identificada nenhuma moda no conjunto dos dados analisados (FREITAS, 2022).

Esta dispersão dos dados maior nas secundárias, como evidenciado pelo desvio padrão maior (1,47) e coeficiente de variação mais alto (3,34%), indica que dentro do grupo houve uma maior diversidade em relação ao teor de carbono, provavelmente devido a diferentes idades ou características fisiológicas das espécies. Por outro lado, as climácicas apresentaram a menor variabilidade, refletindo que um crescimento mais homogêneo.

Não foi possível detectar diferença estatística (p -valor= 0,07) para a análise de teor de carbono por grupo, como apresentado na Figura 22. As espécies climácicas obtiveram média intermediária, as secundárias a maior e as pioneiras a menor. Todavia, não foi identificado um padrão de comportamento para esta variável como visto, acima.

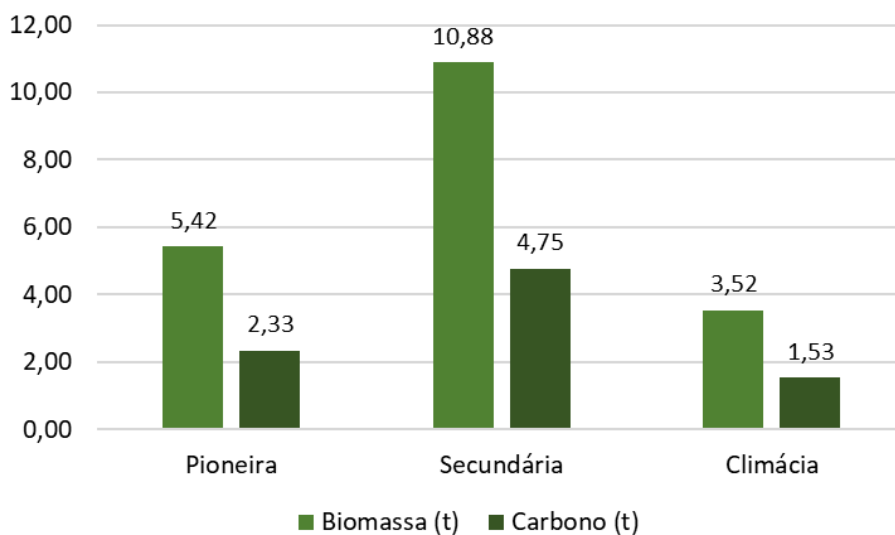
Figura 22. Médias de teor de carbono dos grupos sucessionais



*Obs.: Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 23, ao observar o estoque total dos grupos sucessionais, foi notável a diferença de comportamento com destaque para o acúmulo das espécies secundárias. Todavia, não houve diferença estatística entre as espécies na avaliação dos grupos para as duas variáveis testadas (p -valor > 0,47).

Figura 23. Estoque total de biomassa e carbono dos grupos sucessionais



Fonte: Dados da pesquisa.

Esses achados corroboram com os resultados obtidos por Villanova *et al.* (2019), que também identificaram um estoque de carbono maior nas espécies secundárias iniciais. Estas acumularam $5,77 \text{ t.ha}^{-1}$, enquanto para as espécies pioneiras, não classificadas e secundárias tardias foi de $2,86 \text{ t.ha}^{-1}$, $0,53 \text{ t.ha}^{-1}$ e $0,85 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente.

Na medida em que era esperado um padrão de incremento maior no início da vida das pioneiras por ser uma estratégia adaptativa que visa maximizar a absorção de luz e recursos nos primeiros estágios da sucessão preenchendo a área perturbada. Posteriormente, as espécies pioneiras declinam e o espaço passa a ser dominado por secundárias e climácicas, as quais são mais competitivas ao longo do tempo (FIGUEIREDO *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2022).

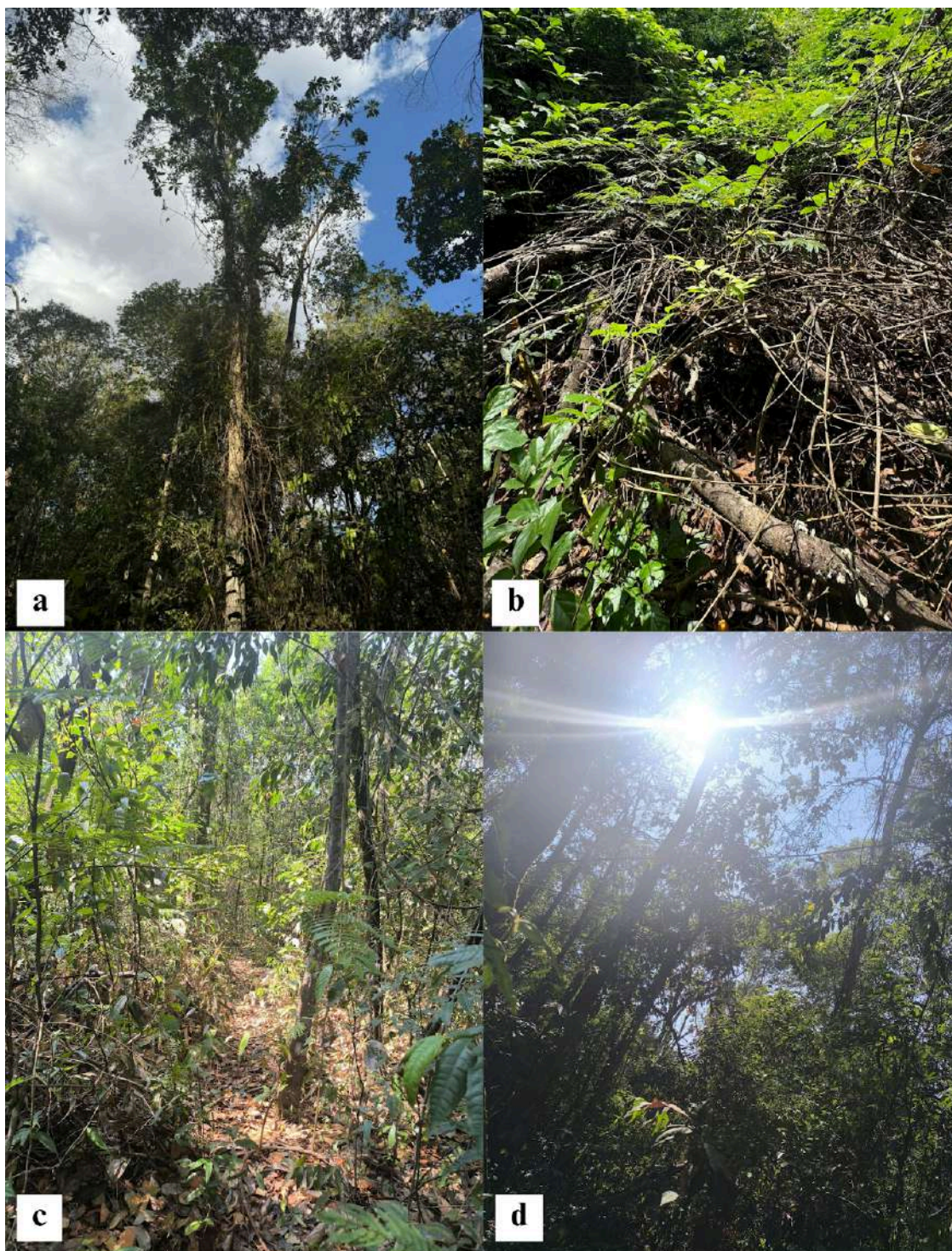
Em suma, os resultados do presente estudo são consistentes com o que se espera em termos de dinâmica de crescimento das espécies secundárias. Uma vez que o ritmo de crescimento permite o aumento na biomassa das secundárias ao compasso que suas propriedades madeireiras não percam o desempenho como ocorre com as pioneiras. O cálculo de estoque de carbono depende tanto do volume como da densidade e do teor de carbono da madeira, ou seja, demanda uma capacidade de crescer de maneira constante e eficiente.

Entretanto, não era esperado que as pioneiras obtivessem resultados superiores aos encontrados para as climácicas, ou seja, é contraintuitivo dado o padrão citado anteriormente. O resultado observado pode ser explicado por estas serem menos competitivas e com dificuldades em incrementarem nas condições em que estão inseridas, embora tenham as maiores densidades e teores de carbono.

Neste contexto, é fundamental observar a regeneração natural *in loco*, pelo levantamento de Silva (2024), na Embrapa Arroz e Feijão, a FES é afetada pelo adensamento do sub-bosque, promovido pelo componente herbáceo-arbustivo e pela presença de cipós (Figura 24a) em alta quantidade que competem com as árvores. Além disso, existem baixas taxas de mineralização da matéria orgânica e luz, o que dificulta o desenvolvimento dos indivíduos arbóreos que ocupam os estratos inferiores da floresta.

Bem como, diversas árvores mortas (Figura 24b) resultam em um grande acúmulo de biomassa sobre o solo, dificultando a entrada de luz, e agindo como barreira física para a regeneração natural (Figura 24c e 24d) (SILVA, 2024). Todos estes fatores fazem parte do processo complexo dinâmica florestal, a qual demanda uma análise conjunta para abarcar diferentes componentes e variáveis que influenciam diretamente a taxa de crescimento das diferentes espécies e, conseqüentemente, o estoque de carbono na floresta ao longo do tempo.

Figura 24. Detalhes dentro do fragmento: a) Presença de cipós; b) Matéria morta aglomerada no solo e; c) Falta de regeneração natural na clareira



Fonte: Dados da pesquisa.

3.5 Anéis de crescimento

A análise de cada espécie revelou características anatômicas distintas, conforme descrito na Tabela 12, sendo um reflexo da visibilidade dos anéis de crescimento. Deste modo, a idade das árvores foi determinada pela contagem dos anéis com as técnicas de dendrocronologia como disposto na Tabela 12 com o indivíduo mais jovem e o mais velho das espécies avaliadas.

Tabela 12. Descrição das características anatômicas, total de anéis e intervalo de idade das seis espécies

Espécie	Características do parênquima	Características dos Anéis	Total de anéis contabilizados	Intervalo de idade (anos)
<i>A. polyneuron</i> Müll.Arg.	Apresenta zona fibrosa confluyente e associado com distanciamento das linhas de parênquima	Distintos com estruturas menores	223	13-46
<i>C. major</i> Mart.	Apresenta zona fibrosa e parênquima marginal	Pouco distintos e estreitos	138	12-27
<i>D. morotoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	Apresenta zona fibrosa,	Pouco distintos e semiporoso	133	14-22
<i>H. gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	Parênquima reticulado com zona fibrosa	Distintos com estruturas menores	168	20-23
<i>H. courbaril</i> L.	Parênquima marginal com diminuição dos vasos de acordo com o anel	Distintos e com presença de falsos anéis	208	17-39
<i>T. obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	Apresenta zona fibrosa e anéis de cresci	Distintos e com presença de falsos anéis	150	16-26

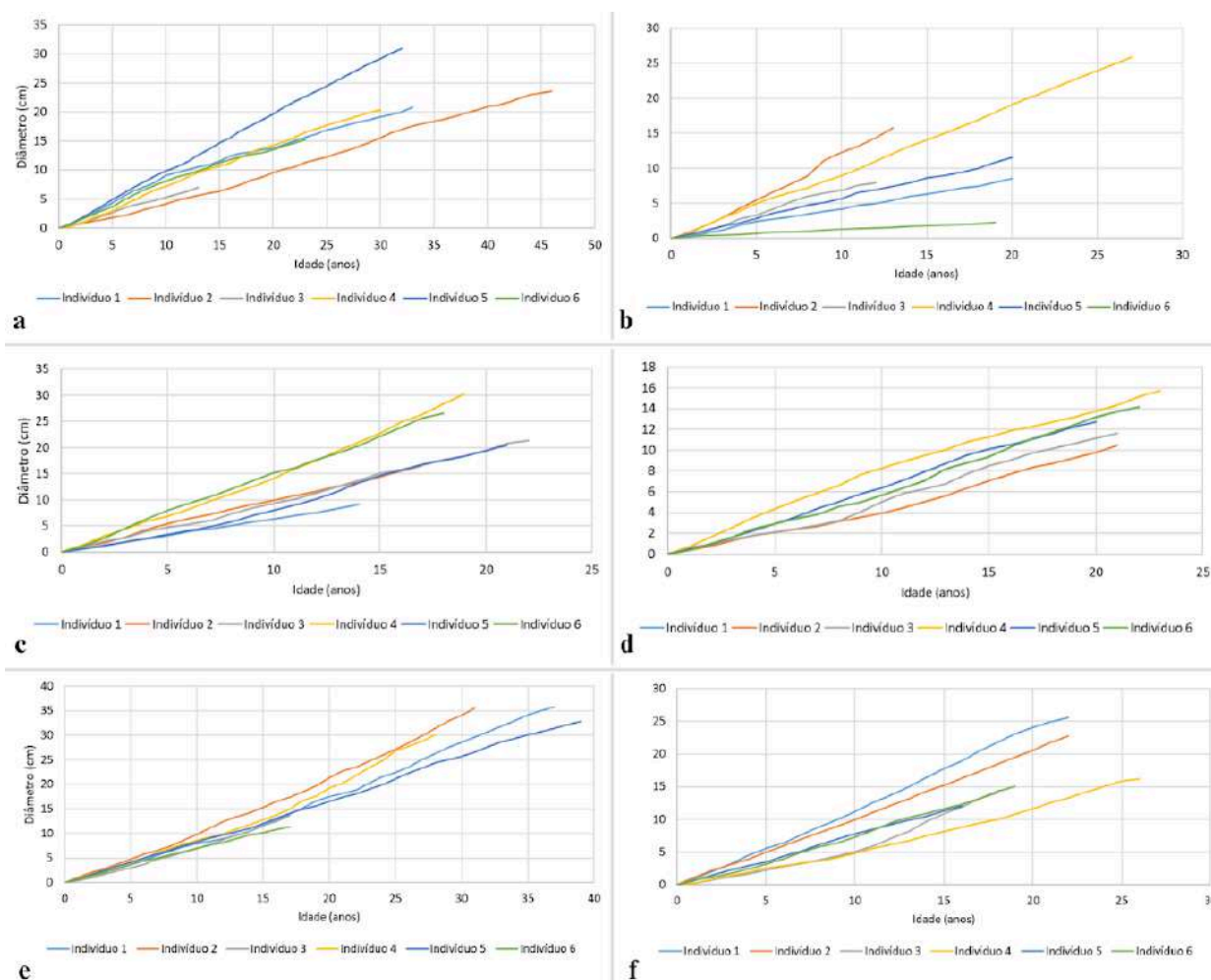
Fonte: Dados da pesquisa.

Como observado na tabela acima, *A. polyneuron* Müll.Arg. e *H. courbaril* L. apresentaram os indivíduos mais velhos, sendo as demais espécies encontradas numa faixa etária mais restrita, mas, em geral, indivíduos jovens. Estes estudos são essenciais para identificar características de crescimento e idade das árvores com a dendrocronologia, como também para compreender a dinâmica das populações florestais, determinar perturbações recorrentes em um ecossistema ao longo do tempo e identificar o ciclo do carbono da floresta.

O método por contagem de anéis de crescimento é o método mais utilizado para espécies de clima temperado (SILVA *et al.*, 2012).

A Figura 25 ilustra a relação entre o diâmetro e a idade biológica das seis espécies avaliadas. A heterogeneidade observada é comum em florestas nativas, refletindo diferentes estratégias ecológicas e respostas a condições ambientais.

Figura 25. Relação do diâmetro e a idade biológica das seis espécies avaliadas: a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morotoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



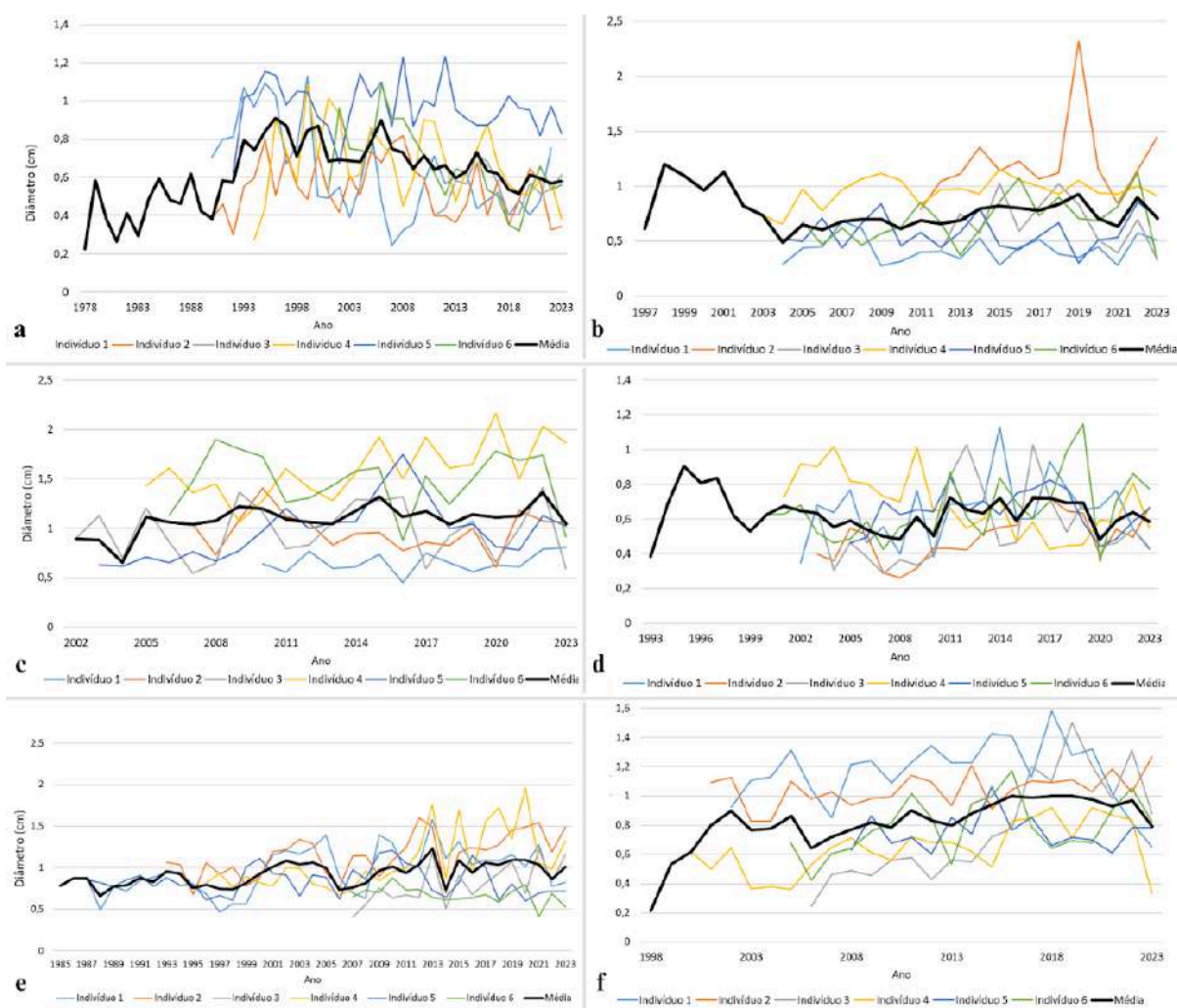
Fonte: Dados da pesquisa.

É importante salientar que foi identificada a contagem até o anel formado no ano de 2023 devido estar ocorrendo a formação até agosto de 2025 do anel correspondente ao ano de 2024. Uma vez que na primavera e no verão as células são maiores, pois há intensas atividades metabólicas, mas no outono e no inverno estas tendem a diminuir e as células produzidas passam a ser menores ou a produção de novas células simplesmente cessa e não ocorre de um ano para o outro (SILVA *et al.*, 2012).

As árvores apresentaram heterogeneidade na idade e diferentes tamanhos em relação ao diâmetro, o que é um padrão esperado para florestas nativas em meio a dinâmica do fragmento. Esses achados corroboram os resultados obtidos por Chagas (2013), que também identificou a presença de padrões de crescimento semelhantes entre as árvores da mesma espécie, crescendo em um mesmo sítio em seu estudo em Paulínia (SP) com *Caesalpinia pluviosa* DC. e *Tabebuia pentaphylla* (Linn.) Hemsl.

A Figura 26 ilustra os resultados obtidos para o ICA radial do tronco. Vale ressaltar que os valores obtidos de forma oscilante foram também encontrados por Montanher (2020) devido a sazonalidade com condições que favoreceram ou desfavoreceram o incremento das espécies. O autor destacou que dentre as variáveis ecológicas, a porcentagem de exposição da copa influenciou quanto mais expostos estavam os indivíduos.

Figura 26. Incremento corrente anual das seis espécies avaliadas: a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morototoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de variância detectou diferença estatística ($p\text{-valor}<0,001$) e o teste de Tukey evidenciou que *D. morotoni* (Aubl.) Decne. & Planch. se destacou dentre as demais médias das espécies (ICA= 1,09 cm), bem como agrupou *C. major* Mart. (ICA= 0,77 cm), *H. courbaril* L. (ICA= 0,91 cm) e *T. obtusa* (Benth.) J.D.Mitch. (ICA= 0,81 cm) e separou-se em um terceiro grupo *A. polyneuron* Müll.Arg. (ICA= 0,62 cm) e *H. gracilipes* (Hook.f.) Prance (ICA= 0,63 cm).

Assim, indicando que *D. morotoni* (Aubl.) Decne. & Planch. obteve uma alta taxa de crescimento em comparação com as outras espécies analisadas. Estas estiveram ao longo dos anos mais adaptadas às condições perturbadas e à rápida colonização de áreas abertas, característica comum entre as espécies que se destacam no início da sucessão ecológica. Enquanto, as duas espécies climácicas apresentaram os menores ICA como esperado pela estratégia de crescimento mais lento ao priorizar a longevidade e a resistência a variações ambientais (USDA, 2025).

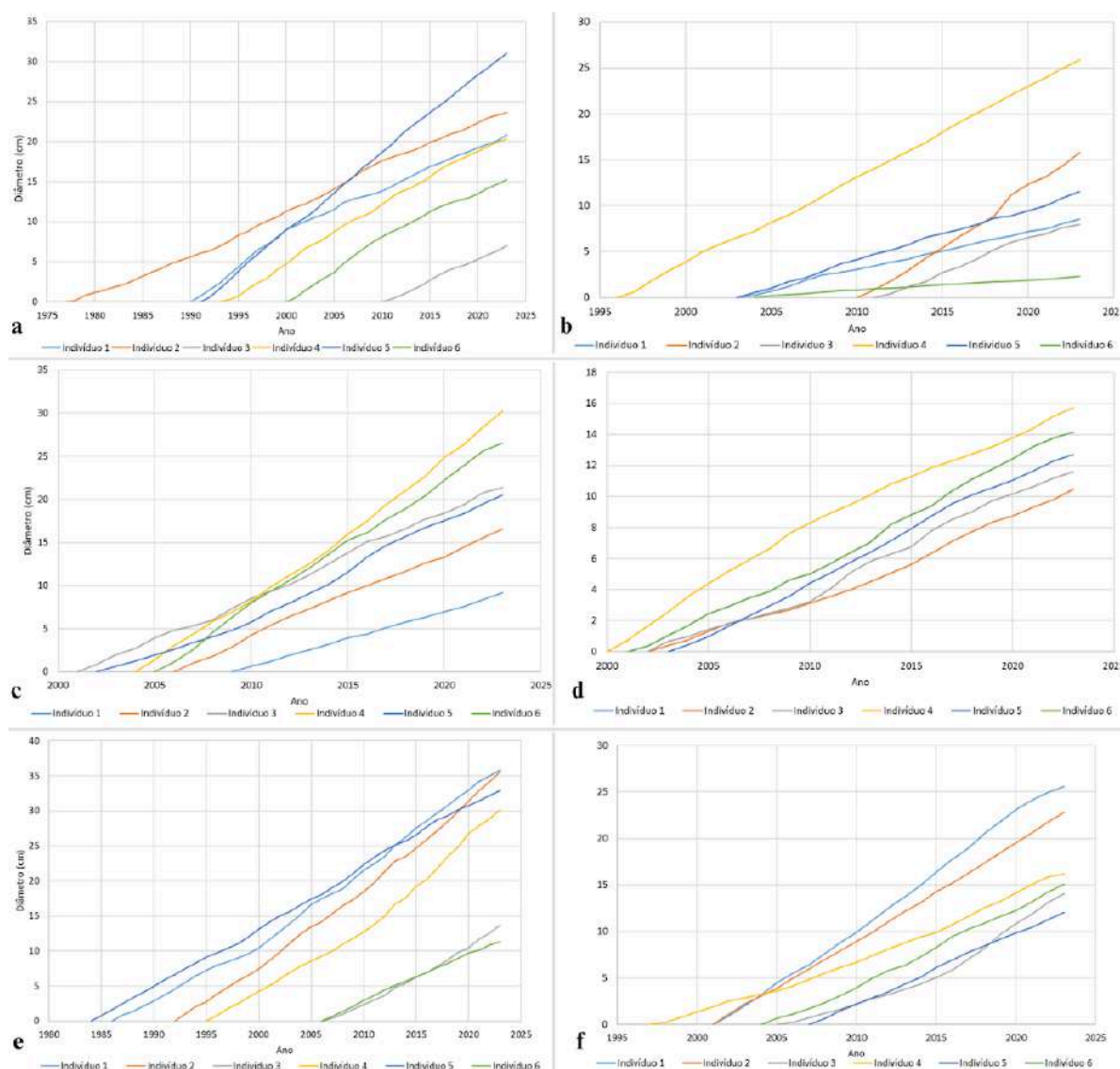
Esses resultados reforçam que embora exista similaridade no padrão das curvas de incremento, os valores individuais dos anéis podem variar consideravelmente. Além disso, estas variações de incremento ocorrem em distintas porções do tronco, em resposta às variações temporais da disponibilidade de luz ou variações na inclinação da árvore. Bem como, a gradativa transição do formato dos caules de menor idade para um formato lobado nos caules maior idade, podem estar relacionados com esta variação na largura do anel. Os demais casos de dessincronização demandam investigações mais aprofundadas sobre suas causas (MONTANHER, 2020).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 27 para o IMA radial do tronco foi possível acompanhar o crescimento em diâmetro de forma acumulada para cada indivíduo de cada uma das seis espécies. Nota-se uma diferença entre as curvas quanto a mudança de inclinação da trajetória do IMA, em especial, com a entrada de indivíduos mais novos. Esse comportamento indica padrões distintos entre as espécies analisadas e taxas de crescimento radial diferentes ao longo do tempo. Embora, já fosse esperado que as espécies com indivíduos mais velhos, consequentemente, com maiores diâmetros se sobressaíssem nos resultados encontrados.

De forma semelhante ao ICA, a análise de variância de IMA detectou diferença estatística ($p\text{-valor}=0,025$) e o teste de Tukey evidenciou dois agrupamentos de médias formados por *H. courbaril* L. (IMA= 26,56 cm), *D. morotoni* (Aubl.) Decne. & Planch. (IMA= 20,74 cm) e *A. polyneuron* Müll.Arg. (IMA= 19,68 cm). Já o segundo grupo abrigou:

T. obtusa (Benth.) J.D.Mitch. (IMA= 17,61 cm), *H. gracilipes* (Hook.f.) Prance (IMA= 13,13 cm) e *C. major* Mart. (IMA= 11,99 cm).

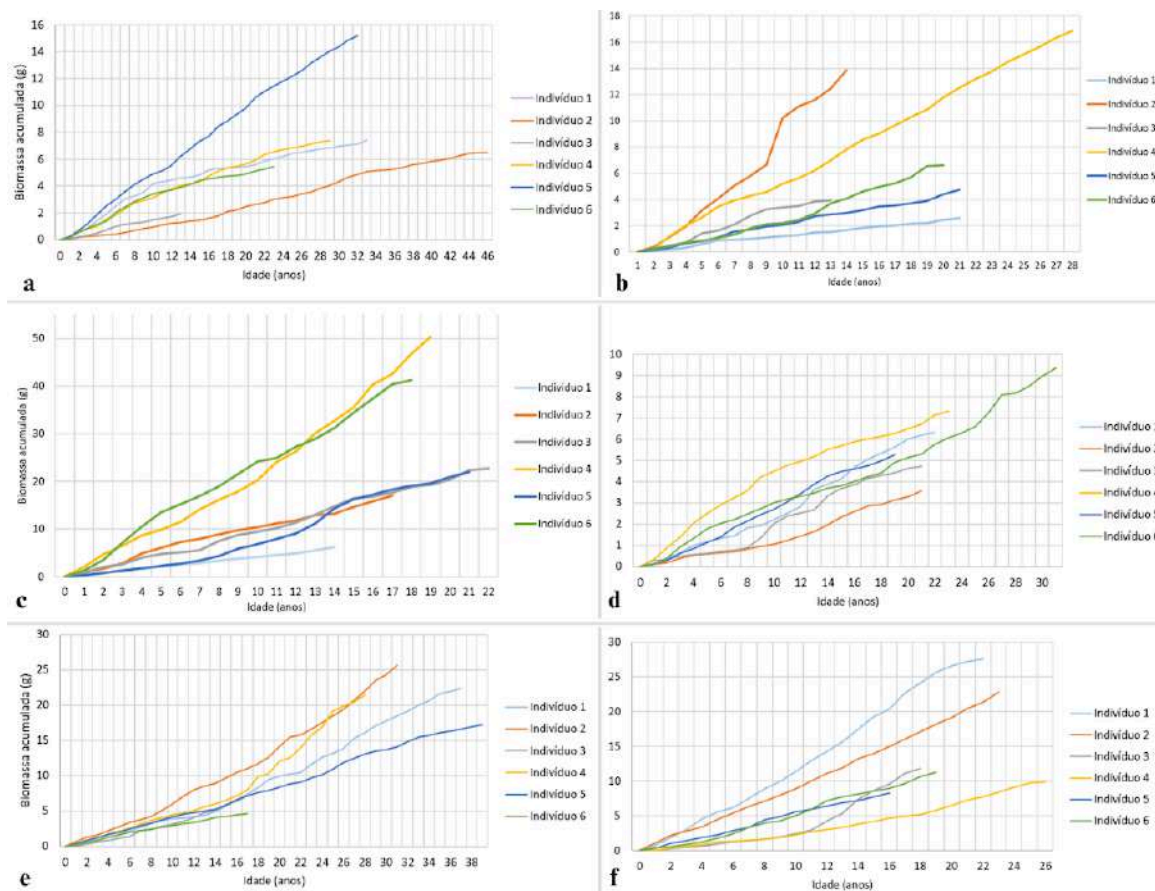
Figura 27 Incremento médio anual das seis espécies avaliadas: a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morototoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme ilustrado na Figura 28, a biomassa incrementada anualmente apresenta diferenças de inclinação entre indivíduos da mesma espécie, o que sugere diferentes taxas de crescimento com indivíduos mais acelerados e outros mais estáveis com maior resiliência quanto a variações ambientais e interações ecológicas. Nesse sentido, estas árvores podem estar utilizando diferentes estratégias ecológicas de forma que umas investem no crescimento rápido, enquanto outras em uma madeira mais densa e longevidade (MONTANHER, 2020).

Figura 28. Biomassa acumulada das seis espécies avaliadas: a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morototoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



Fonte: Dados da pesquisa.

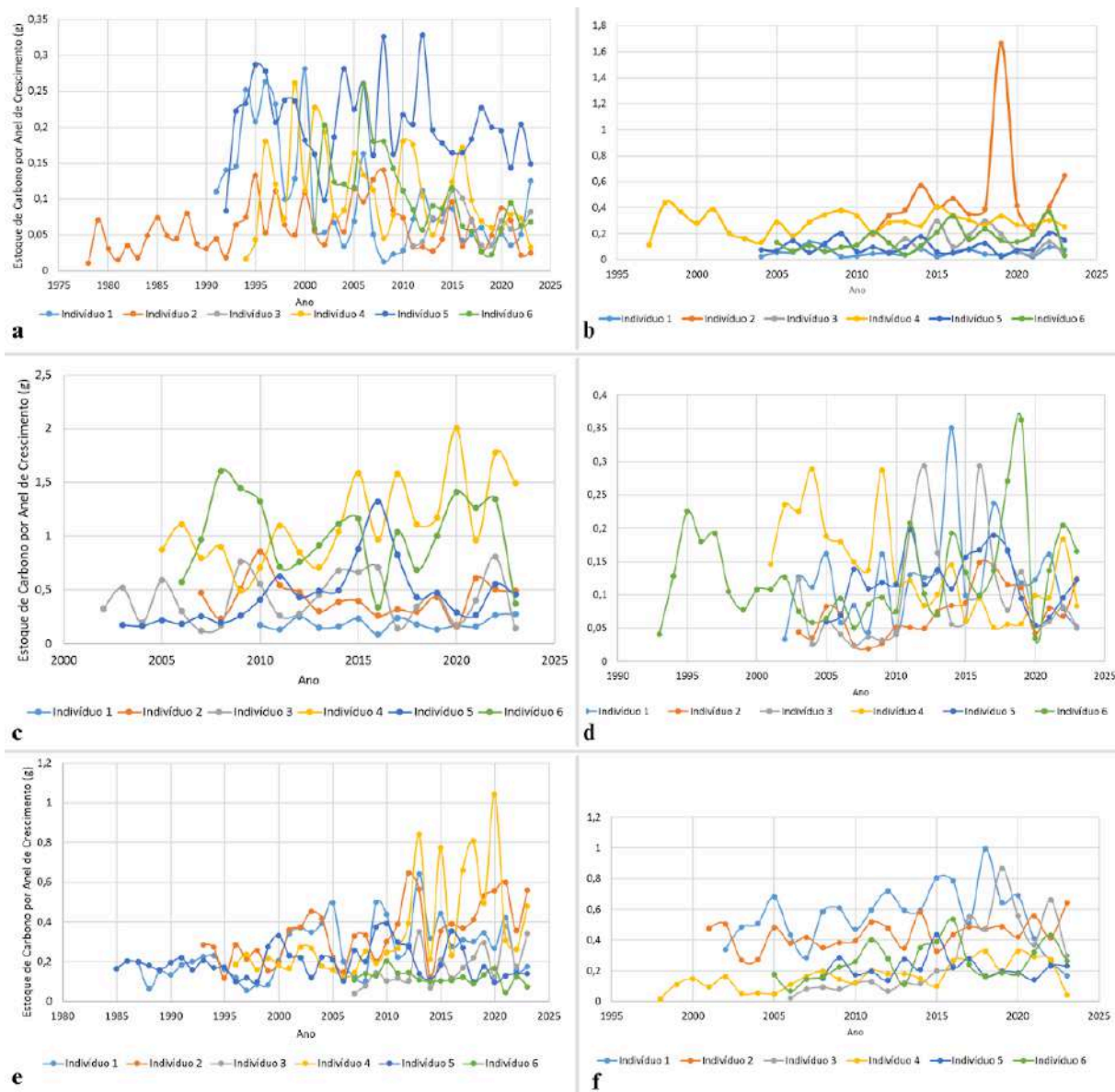
Estudos como o de Roquette *et al.* (2019) apontam como este crescimento ocorre devido a influência da densidade da madeira e da largura dos anéis de crescimento. Bem como, é essencial para a reconstrução do passado da árvore avaliada na tentativa de preencher as lacunas de conhecimento das florestas tropicais.

Como pode ser observado na Figura 29 o carbono alocado por anel de crescimento aponta para oscilação devido este depender do teor de carbono, largura dos anéis e densidade da madeira de forma individual, sem considerar a variação climática. Em suma, espécies com maior densidade tendem a armazenar mais carbono por volume ainda que seus anéis sejam estreitos. Por outro lado, anos em que houve um crescimento mais rápido espera-se maior acúmulo de biomassa e de carbono (GONZÁLEZ, 2013).

Este comportamento está intimamente ligado às características anatômicas da madeira em relação à capacidade de acumular carbono em seus tecidos. Posteriormente, como estes dados podem quantificar o carbono estocado pelas espécies ao longo dos processos de sucessão, a fim de que estes estudos servem de base para o manejo e conservação desses

remanescentes florestais nativos tanto individualmente como na floresta como um todo (FIGUEIREDO *et al.*, 2015; MONTANHER, 2020).

Figura 29. Estoque de carbono nos anéis das seis espécies avaliadas: a) *A. polyneuron*; b) *C. major*; c) *D. morotoni*; d) *H. gracilipes*; e) *H. courbaril*; f) *T. obtusa*



Fonte: Dados da pesquisa.

Outros estudos em FES indicam que a dinâmica de crescimento arbóreo está muito ligada a disponibilidade hídrica e nutricional, como também ocorrência de distúrbios naturais ou antrópicos. Diante disso, destaca-se a importância da compreensão dessas dinâmicas para o conhecimento da floresta e para o desenvolvimento de técnicas de projeção do crescimento considerando as influências do local e as alterações das variáveis dendrométricas (LUSTOSA JUNIOR, 2021).

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que a avaliação dos incrementos diamétricos obteve-se a média das espécies com mínimo de 0,083 mm.ano⁻¹ para *Callisthene major* Mart., máximo de 1,309 mm.ano⁻¹ para *Hymenaea courbaril* L. A média geral das seis espécies foi de 0,640 mm.ano⁻¹.

Quanto ao teor de carbono, foram encontrados valores de 42,10 % para *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch. e de 44,68 % para *Callisthene major* Mart., A média geral das seis espécies foi de 43,61 %.

O estoque de biomassa e carbono foi maior para *Hymenaea courbaril* L. (AGB= 8,53 t e Est_c= 3,67 t) e o menor valor em *Hirtella gracilipes* (Hook.f.) Prance (AGB= 0,44 t e Est_c= 0,19 t). Posteriormente, na extrapolação por hectare, ao considerar a densidade de indivíduos foram identificados maiores estoques em *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg. (AGB= 29,52 t e Est_c= 6,57 t) e menores em *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D.Mitch. (AGB= 1,28 t e Est_c= 0,28 t).

Destaca-se que a avaliação do efeito dos grupos sucessionais forneceu uma visão detalhada sobre a dinâmica de crescimento e o estoque de carbono para pioneiras, secundárias e climácicas. As espécies secundárias, por sua vez, demonstraram um crescimento mais constante ao longo do tempo, o qual se refletiu em maiores estoques de biomassa (10,88 t) e carbono (4,75 t) para este grupo.

Por fim, destaca-se que a avaliação dos anéis de crescimento identificou idade mínima de 12 anos e máxima de 46 anos dentre as 36 árvores. Em geral, as curvas de crescimento em diâmetro apontaram como o processo de incremento ocorreu a cada ano e como foi o processo de acúmulo de biomassa e de alocação do carbono.

5 RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

O estudo realizado aponta para a necessidade urgente de um manejo florestal eficaz e adaptado às características ecológicas da área, visando a promoção de sua dinâmica natural equilibrada ao longo do tempo. Para isso, propõe-se um planejamento estratégico que contemple não apenas os aspectos técnicos, mas também a integração com políticas públicas, práticas de gestão comunitária e monitoramento constante. As seguintes recomendações foram elaboradas com base em um manejo integrado, sustentado e alinhado às políticas públicas ambientais:

1. Controle de cipós - Realizar um levantamento detalhado da distribuição e abundância de cipós na área, para implementar estratégias de manejo como cortes seletivos e controle manual de espécies invasoras, priorizando as áreas mais impactadas e monitorando constantemente a evolução da vegetação;
2. Favorecimento da regeneração natural - Identificar e proteger áreas de regeneração natural, priorizando práticas de manejo que incentivem a sucessão ecológica, recomenda-se o uso de técnicas de monitoramento e controle contínuo das espécies exóticas invasoras, pois a remoção dessas espécies é essencial para permitir a regeneração da flora nativa e garantir a sucessão ecológica tendo em vista o favorecimento da diversidade de espécies nativas;
3. Gestão de árvores mortas - Avaliar o papel das árvores mortas na dinâmica do ecossistema, realizando a remoção seletiva das que possam representar riscos de incêndios ou prejudicar a regeneração natural;
4. Gestão de clareiras - Avaliar o impacto das clareiras na dinâmica da vegetação e promover a ocupação gradual dessas áreas, permitindo a regeneração de espécies nativas e minimizando a perda de biodiversidade;
5. Monitoramento e gestão da flora - Realizar levantamentos fitossociológicos periódicos para monitoramento da flora, com o objetivo de tomar decisões fundamentadas sobre a remoção ou preservação de espécies conforme os índices de dominância, densidade e índice de importância, tendo em vista alcançar os padrões de áreas de referência de FES. Além disso, recomenda-se o estabelecimento de parcerias com o Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr), para integrar os dados de monitoramento florestal ao sistema nacional de gestão da biodiversidade;

6. Estudar a fenologia das espécies inventariadas para avaliação das modificações nas etapas do crescimento e desenvolvimento dos indivíduos, tanto vegetativa como reprodutiva, identificando as épocas de ocorrência. Bem como, buscar o alinhamento com políticas voltadas para a conservação da biodiversidade e estabelecimento de parcerias com instituições de pesquisa para fomentar o estudo, como o Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora);
7. Parcelas permanentes - Instalar novas parcelas permanentes e manter inventários contínuos, além de expandir a instalação de câmaras de monitoramento do solo para coleta de dados ambientais no fragmento estudado. A ampliação das parcelas permanentes pode ser integrada a programas de pesquisa científica, com incentivo do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ou de Fundações de amparo à pesquisa. Para garantir a consistência, a transparência e a integridade dos dados ao longo do tempo, essas parcelas permanentes devem ser integradas à plataforma *ForestPlots.NET*. Assim, será obtida uma visualização mais detalhada da vegetação e das condições ambientais, aumentando a eficácia do monitoramento e da tomada de decisões mais assertivas a longo prazo e;
8. Realizar estudos contínuos sobre as condições meteorológicas locais e o impacto das variações climáticas nas emissões de carbono, com o monitoramento da evapotranspiração por meio de torres de observação de fluxos. Ademais, o acompanhamento das variáveis climáticas, como temperatura, precipitação e umidade, permite uma avaliação mais precisa da contribuição da floresta para o ciclo do carbono e sua capacidade de mitigação. Dessa forma, haverá apoio às políticas estaduais da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD/GO), assim como às políticas nacionais, como o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e aos programas internacionais, como o Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF).

6 IMPACTO SOCIAL E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Conforme a Instrução Normativa EA 3/2021, de 01 de dezembro de 2021, a presente dissertação vai de encontro, primeiramente, com a demanda socioambiental. Uma vez que esta pesquisa desempenhou um papel crucial na compreensão dos processos ecológicos que influenciam a alocação de carbono em ecossistemas florestais nativos, como a Floresta Estacional Semidecidual (FES) no bioma Cerrado.

Visto que o estudo contribuiu significativamente para o avanço do conhecimento sobre as capacidades e o papel vital destes fragmentos no combate à mudança climática. Ademais, foi possível contribuir *in loco* ao serem geradas recomendações técnicas para a instituição que abrigou o experimento.

A relevância social desta pesquisa é inegável, uma vez que os resultados podem ser aplicados tanto para o desenvolvimento de políticas públicas relacionadas ao uso sustentável da terra quanto para o fortalecimento de práticas de manejo florestal que promovam a conservação e recuperação dos estoques de carbono.

Além disso, com o crescimento do mercado de créditos de carbono, este estudo pode ajudar a reduzir as incertezas sobre os estoques de carbono do Cerrado, favorecendo a implementação de ações de mitigação e compensação de emissões de gases de efeito estufa, principalmente, para o Agronegócio brasileiro. Portanto, pode promover um impacto direto na sociedade, pois impulsiona a economia verde, gera oportunidades de desenvolvimento sustentável para as comunidades rurais e apoia o Brasil em seus compromissos internacionais de redução de emissões de carbono.

Por outro lado, o estudo pode servir de base para ações de educação ambiental e para conscientizar produtores rurais sobre a importância da preservação de fragmentos florestais como estratégia não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para o equilíbrio climático e o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Bem como, para o cumprimento do Código Florestal vigente em relação à manutenção dos remanescentes de vegetação nativa.

7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. H. F.; MACHADO, S. A.; FILHO FIGUEIREDO, A.; BOTOSSO, P. C.; MIRANDA, B. P.; SCHÖNGART, J. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 438, n. 1, p. 215–223, 2019.
- BAZZAZ, F. A. The physiological ecology of plant succession. **Annual Review of Ecology and Systematics**, San Mateo, v. 10, p. 351-371, 1979.
- BFG, The Brazil Flora Group. **Flora do Brasil 2020**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2021.
- BLACKMAN, A. (Ed.). **Florestas da América Latina e Caribe na década de 2020: Tendências, desafios e oportunidades**. São Paulo: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2020.
- BLAGITZ, M.; BOTOSSO, P. C.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E. Periodicidade do crescimento de espécies arbóreas da Floresta Estacional Semidecidual no Sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 163-173, 2016.
- BRUN, E. J.; BERSCH, A. P.; PEREIRA, F. A.; SILVA, D. A.; BARBA, Y. R.; DORINI JUNIOR, J. R. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 87-92, 2018.
- BUDOWSKI G. N. Distribution of tropical American rain forest species in the light of succession processes. **Turrialba**, Costa Rica, v. 15, n. 1, p. 40-45, 1965.
- CARAMINAN, L. M.; GASPARETTO, N. V. L. Parâmetros fitossociológicos, florísticos e fitogeográficos de um remanescente da floresta estacional semidecidual no município de Santa fé, estado do Paraná. **Revista Geoconexões**, Natal, v. 1, n. 15, p. 231-252, 2023.
- CARVALHO, A. L. **Efeito da substituição de espécies florestais no armazenamento de carbono em áreas de montanha da Região Mediterrânea**. 2018. 62 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2018.
- CHAGAS, M.P. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo**. 2013. 160 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agrícola Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- CHAGAS, R. K.; DURIGAN, G.; CONTIERI, W. A.; SAITO, M. Crescimento diametral de espécies arbóreas em floresta estacional semidecidual ao longo de seis anos. *In*: VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas e Letras, 2004.
- CIRILO, N. R. M.; CUPERTINO, G. F. M.; MEDEIROS, N. C. G.; SANTOS, V. B. D. S.; SILVARES, P. H. D. S.; NUNES, S. M. V.; ARAÚJO, B. D. L.; MEDEIROS NETO, P. N. D. Lenha ou carvão vegetal? Avaliando o potencial energético da espécie *Prosopis juliflora* para

indústria de cerâmica vermelha. *In:* _____. **Open Science Research XI**. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2023.

CORDEIRO, N. G. **Variações espaço-temporais em áreas de Cerrado em Minas Gerais**. 2019. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

DENSLOW, J. S. Gap partitioning among tropical rain forest trees. **Biotropica**, [S. l.], v. 12, [S. n.], p. 47-55, 1980.

DIAS, D. P. **Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na Amazônia central**. 2009. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) - Programa Integrado de Pós-graduação do INPA, Manaus, 2009.

DUQUE, C. C. **Determinação de carbono em amostras de solos do estado de são por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2018. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Pós-Graduação Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2018.

FERREIRA, M. L. **Incremento diamétrico arbóreo em diferentes grupos funcionais e produção de serapilheira em duas florestas tropicais brasileiras**. 2014. 201 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

FIGUEIREDO, L. T. M.; SOARES, C. P. B.; SOUSA, A. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Dinâmica do estoque de carbono em fuste de árvores de uma floresta estacional semidecidual. **Revista Cerne**, v. 21, n. 1, p. 161–167, 2015.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.

FREITAS, A. R. **Estatística experimental na agropecuária**. Brasília: Embrapa, 2022.

FU, Z.; GERKEN, T.; BROMLEY, G.; ARAÚJO, ALESSANDRO; BONAL, D.; BURBAN, B.; FICKLIN, D.; FUENTES, J. D.; GOULDEN, M. L.; HIRANO, T.; KOSUGI, Y.; LIDDELL, M.; NICOLINI, G.; NIU, S.; ROUPSARD, O.; STEFANI, P.; MI, C.; TOFTE, Z.; XIAO, J.; VALENTINI, R.; WOLF, S.; STOY, P. C. The surface-atmosphere exchange of carbon dioxide in tropical rainforests: Sensitivity to environmental drivers and flux measurement methodology. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 263, [S. n.], p. 292–307, 2018.

FURQUIM, L. C.; SANTOS, M. P.; ANDRADE, C. A. O.; OLIVEIRA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 146–156, 2018.

GIMENEZ, B. O.; JARDINE, K. J.; HIGUCHI, N.; NEGRÓN-JUÁREZ, R. I.; SAMPAIO FILHO, I. D. J.; COBELLO, L. O.; ... ; CHAMBERS, J. Q. Species-specific shifts in diurnal sap velocity dynamics and hysteretic behavior of ecophysiological variables during the

2015–2016 El Niño event in the Amazon forest. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 10, [s.n.], p. 1-16, 2019.

GONZÁLEZ, A. D. V. **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP.** 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

GUIMARÃES, L. E. **Biomassa da vegetação arbórea, rasteira e necromassa em formações florestais e savânicas em Goiás.** 2020. 116 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2020.

HARTSHORN, G. S. Neotropical forest dynamics. **Biotropica**, [S.l.], v. 12, [S.n.], p. 23-30, 1980.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. D.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, F. G.; CHAMBERS, J. Q. A floresta Amazônica e a água da chuva. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 427-434, 2011.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. El Niño 2024: boletim de março. **INMET**, Brasília, 2024. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-2024-boletim-de-mar%C3%A7o>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas. **INMET**, Brasília, 2025. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2025.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

JARDIM, F. C. S.; SOUZA, A. L.; SILVA, A. F. Dinâmica da vegetação arbórea com DAP maior ou igual a 5,0 cm: comparação entre grupos funcionais e ecofisiológicos na estação experimental de silvicultura tropical do INPA, Manaus – AM. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 267-278, 1996.

KATAOKA, A. M.; MOSER, A. S.; SEREIA, D. A. O.; ANTONIO, J. M. (Org.). **O campo da Educação Ambiental no Brasil: reflexões e alternativas ante ao contexto de emergência climática global.** Curitiba: Universidade Tuiuti do Paraná, 2024.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** Eschborn: Instituto de Silvicultura da Universidade de Göttingen, 1990.

LEITÃO FILHO, H. F. **Ecologia da mata atlântica em Cubatão.** São Paulo: UNESP/UNICAMP, 1993.

LIMA, P.A.F.; DIAS, V.S.; JESUS, A.N.M.; SANTOS, A.M.; VIEIRA, T. S.; MELO, J.A.S.; LIMA, L.F.; ALVES, T.S.; SOUSA, K.G.A.; SILVA, V.M. Características anatômicas e suas influências nas propriedades da madeira: um referencial teórico. *In*: EVANGELISTA, W.V.

(Ed.). **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisa e atualidades**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2021.

LISBOA, G. S.; VERES, Q. J.; WATZLAWICK, L. F.; FRANÇA, L. C. J.; CERQUEIRA, C. L.; MIRANDAS, D. L.; STEPKA, T. F.; LONGHI, R. V. Fitossociologia e dinâmica de crescimento em um fragmento de floresta estacional semidecidual. **Revista Nativa**, Sinop, v. 7, n. 4, p. 452-459, 2019.

LUSTOSA JUNIOR, I. M.; CASTRO, R. V. O.; GASPAR, R. O.; ARAÚJO, J. B. C. N.; AQUINO, F. G.; RODRIGUES, M. I.; COSTA, L. S.; MURTA JÚNIOR, L. S.; AMARAL, G. C. Projeção do crescimento arbóreo em floresta estacional semidecidual submontana. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, [S.l.], v.12, n.5, p.14-28, 2021.

MACHADO, G. O.; BRANCALION, P. H. S.; FERNANDES, A. A. Estimativa de biomassa e estoque de carbono da floresta amazônica do Estado do Pará. **Revista de Gestão e Secretariado**, São José dos Pinhais, v. 15, n. 8, p. 1-10, 2024.

MARINHO JUNIOR, J. L.; ARAÚJO FILHO, R. N.; CUNHA FILHO, M.; GOMES FILHO, R. R.; FERNANDES, M. M.; PISCOYA, V. C. Soil carbon stocks and labile organic matter fractions under different vegetation covers in Gurupi – TO. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 51, n. 3, p. 767-775, 2021.

MARTINS, T. K. **Determinação da densidade básica da madeira e estimativa de biomassa acima do solo de *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch., em floresta estacional decidual no RS**. 2024. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2024.

MEIRA, A. C. S. **Análise estrutural da vegetação e estimativa do sequestro de carbono em área de reflorestamento misto, Laranjeiras, Sergipe**. 2018. 43f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias Aplicadas, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2018.

MONTANHER, D. R. **Dendroecologia de seis espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual no norte do Paraná, Sul do Brasil**. 2020. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Londrina, 2020.

MORAIS, I. L. L.; RIBEIRO, S. C.; AMARO, M. A.; LOPES, R. B. C.; PIZARROSO, S. L. C.; ROMERO, F. M. B. Modelagem alométrica para dez espécies florestais comerciais no sudoeste da Amazônia Brasileira. In: ROMERO, F. M. B.; CASTRO, R. B.; TELLO, J. C. R.; SCHMIDT, F. A.; CARVALHO, A. C. (Org.). **Conservação e biodiversidade amazônica: potencialidade e incertezas**. Guarujá: Científica Digital, 2022.

MOSSIO, L. S. M. **Estoque de carbono em fragmento florestal na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco**. 2021. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

OLIVEIRA, T. M. **Relação vegetação-variáveis edáficas, fitossociologia e diversidade em formação florestal do cerrado**. 2017. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ORSO, G. A.; MADI, J. P. S.; BEHLING, A.; PELISSARI, A. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. D. A. Estimativa do incremento diamétrico anual em remanescente natural de Floresta Ombrófila Mista. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 11, n. 2, p. 2208-2220, 2024.

OURIQUE, L. K. **Produção de serapilheira e incremento diamétrico em uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2014.

PANDEY, U.; WANWEY, S.; GANDHI, N.; RAM, S.; BORGAONKAR, H. Tree growth responses to the climate variability within the Pir Panjal Range evidenced by tree-rings of *Abies pindrow* (Royle ex D. Don) Royle. **Theoretical and Applied Climatology**, [S.l.], v. 156, n. 91, p. 1-16, 2025.

PERKINELMER. Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O Elemental Analysis - Organic Elemental Analysis. **PerkinElmer, Inc.**, Waltham (USA): [s. n.], 2011. Disponível em: <https://resources.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/bro_2400_seriesii_chnso_elemental_analysis.pdf>. Acesso em 25 ago. 2024.

PINTO, M. B.; Velazco, S. J. E.; Barbosa, F. M.; Chagas, K. P. T. D.; Blum, C. T. Phenological patterns of *Oreopanax fulvum* (Araliaceae) in remnants of Araucaria Rainforest in Paraná, Brazil. **Rodriguésia**, [s. l.], v. 72, [s. n.], p. 1-12, 2021.

POLETI, P. L.; MARIANO, G. T.; SANTOS, M. T. D.; CORRÊA, G. C.; CARDOSOLEITE, E. Composição florística de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual em Boituva, SP, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 1-21, 2023.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 6 nov. 2024.

RASERA, S. **Biomassa e Carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica**. 2019. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

REATEGUI-BETANCOURT, J. L.; FREITAS, L. J. M.; NASCIMENTO, R. G. M.; BRICEÑO, G.; FIGUEIREDO, A. E. S.; REZENDE, A. V.; ALDER, D. Species grouping and diameter growth of trees in the Eastern Amazon: Influence of environmental factors after reduced-impact logging. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 578, [S.n.], p. 1-11, 2025.

REIS, J. D. S. **Composição isotópica e atributos foliares e do lenho para a determinação da eficiência no uso da água em grupos fenológicos de duas florestas tropicais**. 2021. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte

Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, Campos dos Goytacazes, 2021.

RIBEIRO, J. F., KUHLMANN, M., OGATA, R. S., OLIVEIRA, M. C., VIEIRA, D. L. M.; SAMPAIO, A. B. **Guia de plantas do Cerrado para a recomposição da vegetação nativa**. Brasília: Embrapa, 2022.

ROCHA, M. S. **Identificação de Madeiras do Cerrado utilizadas para a produção de Carvão Vegetal no Sul do Tocantins**. 2021. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2019.

ROQUETTE, J. G.; LOBO, F. A.; CURADO, L. F. A. Dendroclimatologia na Amazônia: aplicações e potencialidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 451–462, 2019.

ROZENDAAL, D. M.; REQUENA SUAREZ, D.; DE SY, V.; AVITABILE, V.; CARTER, S.; ADOU YAO, C. Y.; ... ; HEROLD, M. Aboveground forest biomass varies across continents, ecological zones and successional stages: Refined IPCC default values for tropical and subtropical forests. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 1-15, 2022.

SANTOS, L.; DAVID, J. M. N.; BRAGA, R. Uma abordagem para suporte à decisão no processo de geração de créditos de carbono em propriedades rurais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS COLABORATIVOS (SBSC), 18., 2023, Rio de Janeiro/RJ. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023.

SANTOS, L. A. C.; SILVA-NETO, C. M.; TREVISAN, A. C. D. Traços Funcionais de Plantas Nativas do Bioma Cerrado: Uma Revisão Sistemática. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 50-69, 2024.

SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; MARINHO, I. V. Estoques de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 1-7, 2016.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. C. (Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais**: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas aptas para o Manejo Florestal. Lavras: UFLA, 2008.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. [S.l.]: Observatório do Clima, 2020.

SETTE JUNIOR, C. R.; DIONIZIO, A. F.; SILVA, M. F.; FARIA, M. C. **Atlas de Madeiras**: Identificação e qualidade da madeira de espécies do Cerrado e transição com a Amazônia. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2015.

SFB, SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Manual de campo**: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais. Brasília: SFB, 2021.

SILVA, A. C. L. **Regeneração natural, cobertura do solo e serrapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Goiás.** 2024. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2024.

SILVA, H. F.; RIBEIRO, S. C.; BOTELHO, S. A.; LISKA, G. R.; CIRILLO, M. A. Biomass and carbon in a seasonal semideciduous forest in Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 1-9, 2018.

SILVA, M. T. **Modelagem volumétrica de plantios de eucalipto por meio de dados do Lidar Gedi, Sentinel e Ambientais.** 2023. 58 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências Terra, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2023.

SILVA, R. P.; SOUZA, C. A. S.; AMARAL, M. R. M.; CARNEIRO, V. M. C.; BARROS, P. C.; MARRA, D. M.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. **Árvore: crescimento, desenvolvimento e identificação.** In: HIGUCHI, M. I. G.; HIGUCHI, N. (Ed.). **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões.** Manaus: INPA, 2012.

SIQUEIRA, H. F.; PATRÍCIO, E. P. S.; LIMA, M. D. R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; OLIVEIRA CARNEIRO, A. C.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P. Avaliação de três madeiras nativas do cerrado goiano visando à utilização energética. **Revista Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 615–624, 2020.

SOUSA, F. G. **Alocação de carbono em Reserva Legal e o papel da floresta na mitigação de emissões de Gases de Efeito Estufa.** 2024. 39p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2024.

SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, [S.l.], v. 75, [S.n.], p. 81-86, 1988.

TAVARES JÚNIOR, I. D. S.; TORRES, C. M. M. E.; LEITE, H. G.; CASTRO, N. L. M.; SOARES, C. P. B.; CASTRO, R. V. O.; FARIAS, A. A. Machine learning: Modeling increment in diameter of individual trees on Atlantic Forest fragments. **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 117, [S.n.], p. e106685, 2020.

USDA, United States Department of Agriculture. Yagrumo Macho. **USDA**, Washington, D.C., [S.d.]. Disponível em: <<https://research.fs.usda.gov/silvics/yagrumo-macho>>. Acesso em: 30 jan. 2025.

VÁZQUEZ-YANES, C.; GUEVARA-SADA, S. Caracterización de los grupos ecologicos de arboles de la selva humeda. In: POMPA A. G.; AMO S. R. (Ed.). **Investigaciones sobre la regeneración natural de las selvas Altas en Veracruz.** México: Ed. Alhambra Mexicana, 1985.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; KLÜPPEL, M. L. W.; BARBEIRO, L. S. S. Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambiental**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 145-155, 2009.

VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, L. F.; SCHETTINI, B. L. S.; ROCHA, S. J. S. S. Carbon stock growth in a secondary Atlantic Forest. **Revista Árvore**, [S.l.], v. 43, n. 4, p. 1-9, 2019.

WATZLAWICK, L. F.; MARTINS, P. J.; RODRIGUES, A. L.; EBLING, Â. A.; BALBINOT, R.; BRASIL, S. C. L. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista e efeito do grupo ecológico. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 613-620, 2014.