

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Dendrocronologia em árvores de espécies de restauração florestal

Júlia Lôbo Ribeiro Anciotti Gil

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2022**

Júlia Lôbo Ribeiro Anciotti Gil
Bacharela em Engenharia Florestal

Dendrocronologia em árvores de espécies de restauração florestal
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARIO TOMMASIELLO FILHO**

Co-orientador:
Prof. Dr. **JOANNÈS GUILLEMOT**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Gil, Júlia Lôbo Ribeiro Anciotti

Dendrocronologia de árvores de espécies de restauração florestal /
Júlia Lôbo Ribeiro Anciotti Gil. - - versão revisada de acordo com a
Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

77 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”.

1. Anéis de crescimento 2. Microdensidade do lenho 3. Biomassa
lenhosa da parte aérea 4. Espécies nativas tropicais I. Título

AGRADECIMENTOS

Sou grata,

À Deus, ao Universo e à Natureza, pela vida.

Aos meus pais, Adva Ribeiro e Osmar Anciotti Gil, pelo amor e apoio incondicional.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, pelo espaço e suporte.

Ao meu orientador Prof. Mário Tommasiello Filho, pelo apoio e ensinamentos.

Ao meu co-orientador Prof. Joannès Guillemot, pela confiança e acompanhamento.

Ao técnico Aparecido C. Siqueira, pelo auxílio e acolhimento.

À Maria Bermudez, pelo acolhimento.

À Giovana Oliveira e ao Departamento de Ciências Florestais, pelo apoio e atenção.

Aos funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais, em Anhembi, pelo apoio e recepção.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa.

Ao Dr. Gabriel Assis Pereira, pela ajuda e paciência.

Ao Prof. Pedro Brancalion, pela concessão de pesquisa no Experimento Biodiversidade.

À Alessandra Voigt, pelo apoio em toda a pesquisa e companheirismo.

Ao Francisco Figueiredo e Guilherme Roquette, pelo auxílio no campo e na pesquisa.

Ao Luiz Santini Jr., pelos cortes anatômicos.

Aos meus colegas de trabalho do Laboratório de Dendrocronologia, Anatomia e Identificação da Madeira.

Aos membros da comissão avaliadora da qualificação e da defesa, pelo aprimoramento deste estudo.

Aos Prof. Ademilson Coneglian e Carlos Sette Jr, pelos ensinamentos e oportunidades.

Ao Prof. Ruy Caldas, pelo suporte.

À minha família, pelo apoio emocional e financeiro.

Aos meus tios Roberto Ribeiro, Eliosmar Peixoto e Terezinha Ribeiro pela ajuda financeira.

À Marina Zambello, pela ajuda emocional e psicológica.

Às minhas companheiras de casa ao longo desse período, pelo companheirismo.

Aos meus amigos de longa data e aos formados durante esse período, pelo apoio e companheirismo.

À todas as pessoas que me acompanharam durante esse curso, mesmo que não mencionadas aqui.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. Restauração florestal na Mata Atlântica	15
3.2. Biodiversidade da Mata Atlântica e grupos ecofisiológicos	16
3.3. Crescimento do xilema secundário	16
3.4. Anatomia do lenho de árvores	17
3.5. Dendrocronologia, caracterização dos anéis de crescimento e sua relação com o clima	18
3.6. Microdensidade do lenho das árvores	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. Caracterização do experimento	21
4.2. Seleção da área de estudo e das espécies	22
4.3. Microdensidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento.....	22
4.4. Dendrocronologia dos anéis de crescimento formados no lenho.....	24
4.5. Avaliação do crescimento das árvores	26
4.6. Densidade básica dos anéis de crescimento	27
4.7. Estimativa de Biomassa lenhosa da parte aérea e Carbono	28
4.8. Análise das variações climáticas.....	28
5. RESULTADOS.....	33
5.1. Caracterização do anel de crescimento	33
5.2. Dendrocronologia dos anéis de crescimento.....	35
5.3. Densidade dos anéis de crescimento.....	41
5.4. Biomassa lenhosa da parte aérea e estoque de Carbono	44
5.5. Correlações climáticas	48

6. DISCUSSÃO	51
7. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	59
ANEXOS	71

RESUMO

Dendrocronologia de árvores de espécies de restauração florestal

A dendrocronologia compreende a aplicação dos anéis de crescimento anuais na análise dos parâmetros de crescimento do lenho do tronco das árvores. Complementada com a microdensidade dos anéis de crescimento, obtida pela densitometria de raios-X, abre-se a perspectiva de avaliar os incrementos anuais de biomassa e de carbono. Em um experimento de restauração florestal instalado na Estação Experimental Florestal do LCF/ESALQ/USP, em Anhembi, São Paulo, foram selecionadas árvores de 13 anos de 5 espécies, sendo *Cariniana estrellensis*, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril* e *Jacaranda cuspidifolia*, classificadas em diferentes grupos ecofisiológicos. Do DAP do tronco das árvores foram extraídas amostras do lenho, por método não-destrutivo, e aplicadas as metodologias de dendrocronologia e de densitometria de raios-X, com as correlações das variáveis climáticas. As cronologias da largura dos anéis de crescimento do lenho das árvores das espécies apresentaram altos valores de correlação, com a intercorelação entre as séries variando de 0.78-0.87, a sensibilidade média de 0.3-0.6, o rbar de 0.66-0.85 e o eps de 0.96-0.99. Esses valores indicam o potencial dos anéis de crescimento das árvores das 5 espécies para estudos de dendrocronologia e seus ramos. Ainda, a densidade aparente e básica do lenho do tronco as árvores variou de 0.38-0.90 e de 0.27-0.73 g.cm⁻³, respectivamente. A associação dos parâmetros de área basal e densidade do lenho dos anéis de crescimento possibilitaram determinar os valores de biomassa lenhosa para as árvores de *C. speciosa* (com 25 Kg), de *H. impetiginosus* (70 Kg), de *J. cuspidifolia* (50 Kg), de *C. estrellensis* (145 Kg) e de *H. courbaril* (115 Kg). Considerando o estágio sucessional, as árvores das espécies climáceas - *C. estrellensis* e *H. courbaril* – estocaram no seu tronco, maior valor de biomassa e carbono; ao contrário das espécies pioneiras, *C. speciosa*. A correlação dos parâmetros – largura, densidade e biomassa - dos anéis de crescimento com as variáveis climáticas, precipitação e temperatura, indicou valor positivo para a estação do outono e negativo na primavera. Os resultados permitiram concluir, ainda, que os (i) anéis de crescimento anuais do lenho das árvores das 5 espécies apresentaram estrutura anatômica e microdensidade características, com a (ii) dendrocronologia sendo metodologia eficaz para a construção do crescimento em diâmetro do tronco das árvores das espécies, (iii) as árvores de *Cariniana estrellensis*, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril* e de *Jacaranda cuspidifolia* mostraram alta sincronicidade entre as séries, com correlações acima do nível crítico. Ainda, (iv) os perfis radiais de microdensidade do lenho propiciaram, a exemplo da largura dos anéis de crescimento, a demarcação dos anéis de crescimento e os valores de sua densidade básica, sendo importante indicador ecológico das espécies. Para o (v) acúmulo de biomassa e carbono dos anéis de crescimento anuais, destacaram-se as árvores climáceas *C. estrellensis* e *H. courbaril*, seguindo-se as de *H. impetiginosus* e de *J. cuspidifolia*, e finalmente, as *C. speciosa*. Os resultados dos parâmetros do lenho de árvores de espécies de grupos sucessionais em experimento de restauração florestal são discutidos no contexto das variáveis climáticas e, com ênfase às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Anéis de crescimento, Microdensidade do lenho, Biomassa lenhosa da parte aérea, Espécies nativas tropicais

ABSTRACT

Dendrochronology of trees of forest restoration species

Dendrochronology comprises the application of annual tree-rings in the analysis of tree trunk growth parameters. Complemented with the tree-rings microdensity, obtained by X-ray densitometry, it opens the perspective of evaluating the biomass and carbon annual increments. In a forest restoration experiment installed at the LCF/ESALQ/USP Forestry Experimental Station, in Anhembi, São Paulo, 13-year-old trees of 5 species were selected, *Cariniana estrellensis*, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril* and *Jacaranda cuspidifolia*, classified into different ecophysiological groups. From the trees trunk DAP, wood samples were extracted, by non-destructive method, and the dendrochronology and X-ray densitometry methodologies were applied, with the climatic variables correlations. The tree-rings width chronologies of the 5 tree-species showed high correlation values, with the intercorrelation between the series varying from 0.78 to 0.87, the mean sensitivity from 0.3 to 0.6, the r_{bar} from 0.66 to 0.85 and the ϵ_{ps} from 0.96 to 0.99. These values indicate the potential of the tree-rings of the 5 tree-species for dendrochronology research and their specialties. Still, the wood apparent and basic density of the 5 tree-species trunk varied from 0.38 to 0.90 and from 0.27 to 0.73 g.cm⁻³, respectively. The wood volume and density association of the tree-ring parameters made it possible to determine the wood biomass values for the *C. speciosa* (with 25 Kg), *H. impetiginosus* (with 70 Kg), *J. cuspidifolia* (50 kg), *C. estrellensis* (145 kg) and *H. courbaril* (115 kg). Considering the successional stage, the tree species - *C. estrellensis* and *H. courbaril* - stored in their trunks, higher biomass and carbon values; unlike the pioneer species, *C. speciosa*. The correlation of the parameters - width, density and biomass - of the tree-rings with the climatic variables - precipitation and temperature - indicated a positive value for the autumn and a negative value for the spring. The results also allowed to conclude that the (i) annual tree-rings of the 5 tree-species presented characteristic wood anatomical structure and microdensity, with (ii) dendrochronology being an effective methodology for the construction of the trees trunk growth diameter of the 5 tree-species, with (iii) *Cariniana estrellensis*, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril* and *Jacaranda cuspidifolia* showed high synchronicity between the series, with correlations above the critical level. Also, (iv) the radial wood profiles microdensity provided, like the tree-ring width, allowed their demarcation of their basic density values, being an important ecological indicator of the tree-species. For the (v) biomass and carbon accumulation in the annual tree-rings, the climatic trees *C. estrellensis* and *H. courbaril* stood out, followed by those of *H. impetiginosus* and *J. cuspidifolia*, and finally, those of *C. speciosa*. The results of the tree-species wood parameters of successional groups in a forest restoration experiment are discussed in the context of climatic variables and, with emphasis on climate change

Keywords: Tree-ring, Wood microdensity, Aboveground biomass wood, Tropical native species

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização e delineamento do Experimento Biodiversidade e estação meteorológica da Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ/USP, no município de Anhembi, Estado de São Paulo, Brasil..... 21
- Figura 2. Imagens fotográficas da coleta por metodologia não-destrutiva do lenho das árvores, realizada no experimento Biodiversidade, onde retrata-se (A) a coleta com sonda de Pressler, (B) a retirada da amostra do lenho com a sonda, (C) o cobrimento do orifício com manquilha. 23
- Figura 3. Metodologia de análise da microdensidade do lenho, onde (A) serra circular paralela cortando amostras do lenho das espécies nativas; (B) Equipamento Faxitron X-ray, LX 60; (C) Câmara de irradiação do equipamento Faxitron; (D) Demarcação dos degrais de densidade na escala de acetato e mensuração da imagem do lenho no software WinDendro. 24
- Figura 4. Procedimento metodológico de dendrocronologia, onde (A) lixamento e polimento das amostras do lenho com lixadeira Mirka; (B) Visualização em lupa estetoscópica e demarcação manual dos anéis de crescimento no lenho; (C) Equipamento Scanner; (D) Processo d digitalização das amostras do lenho com 1200 dpi..... 25
- Figura 5. Climograma anual por períodos meteorológicos (P- primavera; V-verão; O- outono; e I-inverno) com valores de precipitação acumulada e temperatura média, máxima e mínima. Dados obtidos da estação meteorológica da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi..... 29
- Figura 6. (A) coleta de *H. impetiginosus* com extrator motorizada Stihl e sonda acoplada, (B) amostra de *H. impetiginosus* cortada na árvore, (C) amostra de *H. impetiginosus* retirada da árvore, (C) tapamento do orifício com produto anti-fúngico e tarugo de madeira. 29
- Figura 7. Microtomia do lenho de árvores, onde (A) micrótomo de deslize de corte longo WSL-Core; (B) ângulo de corte central e navalha de aço; (C) posicionamento da amostra transversalmente no suporte metálico; (D) corte anatômico sendo realizado com auxílio de pincel..... 30
- Figura 8. Preparo de lâminas histológicas longas e captura de imagens, onde (A) produtos utilizados no processo – hipoclorito, Safrablau e glicerina; (B) lavagem do corante na lâmina; (C) montagem de lâminas; (D) lâminas coradas e prontas; (E) microscópio Zeiss Imager M2.m e (F) software de captura de imagem. 31
- Figura 9. Descrição e caracterização do limite dos anéis de crescimento pela anatomia macro e microscópica e variação da microdensidade de cada espécie, onde (ZF) corresponde a Zona Fibrosa e (PM) ao Parênquima Marginal..... 34
- Figura 10. Índice de largura dos anéis de crescimento individual das séries co-datadas (linha cinza) e índice médio das séries standardizadas (linha preta) para cada espécie. Estatísticas apresentadas na Tabela 4..... 36

- Figura 11. Diâmetro do tronco acumulado ajustado - Dt, em cm, por modelo de regressão não-linear de S-Gompertz em função da Idade Cambial – Ic das árvores para cada espécie..... 40
- Figura 12. Densidade básica do anel de crescimento, em g.cm⁻³, de cada espécie estudada ao longo de 13 anos. A média é representada pela linha vermelha..... 43
- Figura 13. (A) Estimativa de Biomassa lenhosa da parte aérea acumulada - AGBw e (B) Incremento Corrente Anual de Biomassa - ICAb para as cinco espécies. 45
- Figura 14. Correlações da precipitação (A), temperatura máxima (B) e mínima (C) mensal e por estações (P – primavera; V- verão; O – Outono; I – Inverno) com os índices estandardizados da largura do anel de crescimento, da densidade básica e da biomassa. Coeficientes de correlação significativos por teste de T bimodal (**p < 0.05; *p < 0.1). Correlações positivas nos tons de rosa-vermelho e correlações negativas em azul. 50
- Figura 15. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *C. speciosa*. 73
- Figura 16. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *H. impetiginosus*. 74
- Figura 17. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *J. cuspidifolia*. 75
- Figura 18. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *C. estrellensis*. 76
- Figura 19. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *H. courbaril*. 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies selecionadas do experimento Biodiversidade para o desenvolvimento deste trabalho, com nome científico, nome vulgar, grupo ecofisiológico a qual pertence e número de indivíduos observados.....	22
Tabela 2. Parâmetros estimados pelo modelo de regressão não linear de SGompertz para Diâmetro do tronco em função da Idade Cambial.	26
Tabela 3. Parâmetros estimados pelo modelo de regressão não linear de S-Gompertz para Altura em função do Diâmetro do tronco.	27
Tabela 4. Estatística descritiva das cronologias das espécies estudadas.....	37
Tabela 5. Incremento Corrente Anual (ICA), Diâmetro do tronco acumulado (Dt), em cm e Altura total estimada (H), em m, das espécies estudadas, pela metodologia de dendrocronologia, ao longo dos anos.....	39
Tabela 6. Densidade aparente e básica médias dos anéis de crescimento, em g.cm-3, para as árvores das cinco espécies estudadas, com a média da espécie e desvio padrão (DesP).....	42
Tabela 7. Quantidade de estoque de Carbono estimado, em Kg, pela parte aérea das árvores das cinco espécies estudadas.....	47

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, o bioma da Mata Atlântica foi classificado como principal hotspot de conservação para área de restauração, sendo de alta vulnerabilidade em resposta à variação climática, uma vez que resta apenas 11,7 % de sua cobertura vegetal original (RIBEIRO et al., 2009; BÉLLARD et al., 2014; BRANCALION et al., 2019a). A soma de fatores como desmatamento desordenado, poluição, queimadas ora pela exploração florestal, ora pela intensificação das perturbações humanas, ameaça a sobrevivência de espécies nativas arbóreas, aumenta a temperatura e diminui a precipitação, causando alterações severas no gradiente climático (IPCC, 2014; 2021; ZUIDEMA et al., 2022). Como alternativa visando a mitigação climática, a ONU – Organização das Nações Unidas incentivou a restauração dos ecossistemas florestais, criando programas e acordos internacionais e nacionais que viabilizam a recuperação e conservação das espécies arbóreas (GRASSI et al., 2017; VERDONE; SEIDL, 2017; BRANCALION et al., 2019a; BRANCALION et al., 2019b; UNITED NATIONS, 2019).

As árvores são sensíveis e registram os efeitos climáticos em seu lenho, através da formação dos anéis de crescimento, que são formados pela atividade do meristema cambial (FRITTS, 1976; WIEDENHOEFL; MILLER, 2005; CALLADO et al., 2013; SILVA; FUNCH, SILVA, 2019). As camadas de crescimento são consideradas, portanto, indicadores ambientais das alterações ecológicas naturais e antrópicas (TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001). A dendrocronologia é a ciência que possibilita a determinação da idade das árvores com precisão, e a avaliação da dinâmica do crescimento secundário do tronco, através da delimitação dos anéis de crescimento (FRITTS, 1976; KAENNEL; SCHWEINGRUBER, 1995; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; ALBUQUERQUE et al., 2016). Entretanto, há apenas algumas décadas vem sendo desenvolvida nos trópicos, devido a periodicidade mais complexa desenvolvida pelas espécies nativas tropicais (SILVA; FUNCH, SILVA, 2019). Através disso, diversas metodologias são combinadas para determinar a acuracidade das informações registradas no lenho e facilitar o processo da datação das árvores.

Para estudos dendrocronológicos, a densidade do lenho é uma das análises mais utilizadas, por ser uma propriedade física e básica, resultado da integração das suas propriedades anatômicas e químicas, onde avalia-se a sua qualidade e destaca a estratégia ecológica das plantas (ZIEMINSKA et al., 2013; KNAPIC et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2017, DE MIL et al., 2018). Devido a anatomia do lenho de cada espécie ocorre uma variação de densidade na seção transversal do lenho do tronco intra-anualmente, e assim, registra os limites dos anéis de crescimento em função do tipo de tecido formado (TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2016; MIL et al., 2018). Essa variação pode ser mensurada pela microdensitometria de raios X, técnica que permite a leitura da densidade aparente em intervalos micrométricos (POLGE, 1966; TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; MIL et al., 2018). Essa metodologia vem sendo aplicada como suporte para estudos dendrológicos, como a dendrocronologia e dendroclimatologia (XIANG et al., 2014; KLUSEK; MELVIN; GRABNER, 2015; PAGOTTO et al., 2017).

Entretanto, através de cálculos (VIEILLEDENT et al., 2018) é possível a conversão da densidade aparente do lenho, em densidade básica, ou seja, do tronco das árvores em condições ambientais. Considera-se esta, um indicador ecológico. A densidade básica do lenho é importante pois pode ser diretamente utilizada para quantificar biomassa lenhosa e o estoque de carbono do tronco da árvore de uma espécie, através de uma equação alométrica (BROWN, 1997; CHAVE et al., 2005, 2014; VIEILLEDENT et al., 2012; 2018). O acúmulo de biomassa lenhosa das árvores atua nos ciclos biogeoquímicos, climáticos, e em escalas locais e globais de

biodiversidade (BOWMAN et al., 2012). Quando calculada a partir da dendrocronologia e da densitometria intra-anual, os resultados se tornam mais precisos, pois a mensuração é feita diretamente no lenho das árvores. A largura dos anéis de crescimento, a densidade básica do lenho intraanual e altura do tronco das árvores são variáveis preditoras a produção de biomassa lenhosa e infere-se que árvores maiores e mais densas vão acumular mais (BOWMAN et al., 2012; BABST et al., 2018).

Uma floresta depende de outras condições ambientais, que podem influenciar no crescimento e acúmulo de biomassa das árvores. Em projetos de restauração florestal com plantio misto, espera-se que árvores de diferentes grupos sucessionais reajam diferentemente, onde as pioneiras se destaquem em incremento nos primeiros anos (FEREZ et al., 2015; BRANCALION et al., 2019b). Porém, a sucessão ecológica avança por distintas trajetórias ao considerar que os ecossistemas são dinâmicos, podendo ser influenciados por ações antrópicas e naturais. Dessa forma, os processos de restauração florestal são influenciados por diversas outras funções, tais como forma de manejo e práticas silviculturais, por exemplo o preparo do solo para o desenvolvimento do sistema radicular, o uso de espécies mistas aumentando a biodiversidade, a fertilização do solo evitando a falta de nutrientes e o controle de plantas competidoras (GONÇALVES et al., 2013; CAMPOE et al., 2014; BRANCALION et al., 2019b). Além disso, a ecologia ambiental sob influência do clima e a biologia das espécies, como periodicidade de crescimento, forma da copa de árvores, deciduidade, capacidade de produção e dispersão de sementes e as fenofases também interferem em um ecossistema florestal (ALVES et al., 2005; ALVES; METZGER, 2006; LISI et al., 2008; FORTUNATO; QUIRINO, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Descrição anatômica dos anéis de crescimento e microdensidade do lenho das árvores de cinco espécies de diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica provindas de uma área de restauração florestal, sua aplicação na (re)construção do crescimento do tronco das árvores para estimativa da biomassa lenhosa da parte aérea e na correlação com as variáveis climáticas.

2.2. Objetivos específicos

Caracterização anatômica do lenho das árvores de cinco espécies *Cariniana estrellensis*, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril*, *Jacaranda cuspidifolia* e microdensidade aparente dos anéis de crescimento anuais do lenho características de diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica utilizadas nos programas de restauração florestal

Dendrocronologia e sua aplicação na (re)construção do crescimento do tronco das árvores de cinco espécies nativas plantadas em área de restauração florestal, bem como a correlação entre largura dos anéis de crescimento e da densidade básica com as variações climáticas.

Estimativa de biomassa lenhosa da parte aérea e sequestro de Carbono por meio da dendrocronologia das cinco espécies nativas arbóreas plantadas em área de restauração florestal e sua correlação com as variáveis climáticas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Restauração florestal na Mata Atlântica

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical da América do Sul e o bioma mais degradado devido a fatores antropogênicos, como a exploração de madeira em grande quantidade, o desmatamento acentuado que transformou suas matas em áreas de monocultura e pastagem para a pecuária extensiva, e o desenvolvimento de cidades-centro como São Paulo e Rio de Janeiro, as duas maiores metrópoles brasileiras (RIBEIRO et al., 2009). A degradação de florestas tropicais expõe malefícios imensuráveis para a biodiversidade e população mundial, contribuindo com o aquecimento global. Portanto, é extremamente necessário a conservação e restauração, com função de mitigar os impactos sofridos no meio ambiente (WATSON et al., 2018; BRANCALION et al., 2019a).

Atualmente considerada um dos principais hotspots de biodiversidade (BRANCALION et al., 2019a) para a restauração florestal, a Mata Atlântica é palco de projetos importantes de recuperação de suas áreas: o SOS Mata Atlântica, o Biota, o Pacto e o Biomas que visam e incentivam a preservação, a recuperação com espécies nativas e o estudo dos remanescentes (CROUZEILLES et al., 2019). Ainda, com grande potencial para servir de apoio na recuperação de áreas degradadas, o Brasil provavelmente se destacará internacionalmente, quando a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou que a década 2021-2030 será dedicada a promoção de atividades de restauração e países internacionais, organizações, empresas e pessoas se uniram em um grande programa chamado Bonn Challenge que possui como meta restaurar 350 Mha de florestas até 2030 (CROUZEILLES et al., 2017; VERDONE; SEIDL, 2017; UNITED NATIONS, 2019).

A restauração florestal consiste na reintegração da composição de espécies em comunidades perturbadas, reintroduzindo árvores nativas com práticas silviculturais eficientes ou favorecendo a recuperação espontânea das matas (BRANCALION et al., 2019b). Uma vez restaurados, o ecossistema proporciona novamente proteção dos solos, da água, a regulação climática, o sequestro de carbono e o acúmulo de biomassa (CHAZDON et al., 2016; CROUZEILLES et al., 2017; STRASSBURG et al., 2019; BRANCALION et al., 2019b). A escolha da melhor forma de restauração é influenciada pelo potencial de regeneração do ambiente e pela escala espacial-temporal, que determina o nível de intervenção necessária, sendo que quanto maior o investimento de custo e grau intervenção, em projetos de restauração, resultados mais rápidos e eficientes apareceram (BRANCALION et al., 2016; STRASSBURG et al., 2019).

A regeneração de florestas tropicais é um processo complexo regido por vários fatores biofísicos e antrópicos, que em muitos casos são difíceis de manipular, como o histórico do uso da área, distância de fontes de propágulos e custos elevados etc., que vão determinar o tempo e o desenvolvimento dessa floresta (BRANCALION et al., 2016; CHAZDON et al., 2016). Para isso, é necessário que a biodiversidade seja o principal resultado das propriedades funcionais, estruturais e de composição da nova mata recuperada (CHAZDON et al., 2016; CROUZEILLES et al., 2021). Porém, a biodiversidade também tem importante papel dentro da ação de recuperação, impulsionando funções ecossistêmicas e fundamentando o seu fornecimento, que afetam direta ou indiretamente os fluxos de troca energética (MEA, 2005; CARLUCCI et al., 2020). Contudo, é necessário compreender a dinâmica e complexidade dos ecossistemas visando a utilização sustentável e racional de seus recursos.

3.2. Biodiversidade da Mata Atlântica e grupos ecofisiológicos

A diversidade biológica inclui todas as espécies, seus genes e os ecossistemas de um local, significando várias formas de vida contidas em uma comunidade, sendo bastante fragmentadas, em florestas tropicais, devido a heterogeneidade de ecossistemas físicos, fisiológicos, bióticos e temporais (DIAS, 1992; BURTON et al., 1992). Na Mata Atlântica, embora esteja muito degradada e com perdas significativas em nível de biodiversidade, ainda possui alta composição florística e índice de endemismo (TABARELI et al., 2010).

Endemismo são espécies, animais ou plantas, que ocorrem exclusivamente em uma região restrita. Com mais de oito mil espécies de plantas vasculares endêmicas, representando 40% de toda a sua flora, a Mata Atlântica conta com espécies únicas e importantes como a *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze, conferindo um papel fundamental na conservação e restauração desses ecossistemas (PINTO et al., 2006; PITTSCH et al., 2017). Essas espécies são potenciais indicadoras para a necessidade de conservação e recuperação deste bioma, uma vez que o classificam como um dos principais hotspots de biodiversidade (BRANCALION et al., 2019a). A necessidade de entedimento da dinâmica natural e estrutura das comunidades é importante para desenvolver técnicas de restauração, sendo indispensável o estudo da autoecologia das espécies.

A dinâmica de restauração das florestas tropicais depende de vários fatores, como quando grupos de espécies com necessidades complementares, por exemplo a exigência de luz, são associados de forma que árvores em estágio inicial cresçam e se desenvolvam para sombrear as demais, ou espécies com funções de fixar nitrogênio no solo, melhore o desempenho das outras espécies, processo conhecido como sucessão ecológica. A classificação dentro da sucessão é chamada de grupos ecofisiológicos e baseada na necessidade de luminosidade no crescimento das espécies e longevidade, sendo (i) pioneiras, as que dependem de luz e possuem ciclo de vida curto (ii) secundárias que ocorrem em sombreamento médio ou luminosidade não intensa, com maior tempo de vida quanto comparada as pioneiras; e (iii) clímax que são espécies de sub-bosque de maior tempo de vida (ALVES et al., 2005).

3.3. Crescimento do xilema secundário

O tecido lenhoso é formado pelo câmbio, meristema responsável pela produção de células, com função de impulsionarem o desenvolvimento de incremento em circunferência do tronco, de galhos e raízes em indivíduos arbóreos (CARLQUIST, 2001; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; CALLADO et al., 2013; SANTINI JUNIOR, FLORSHEM E TOMAZELLO-FILHO, 2021), sendo influenciado por diferentes variáveis ambientais, como luminosidade, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes do solo.

A regularidade dos fatores ambientais, sozinhos ou combinados, e ausência de limitações, como ataque de patógenos, competição, fragmentação e poluição (OLIVEIRA et al., 2017; ALBIERO JUNIOR et al., 2019, VASCONCELLOS; TOMAZELLO-FILHO; CALLADO, 2019), provocam periodicidade no ritmo de desenvolvimento da planta, com estágios cambiais ativos e dormentes, essenciais para a formação de anéis de crescimento e diferenciação dos lenhos inicial e tardio (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1996; LISI et al., 2008; CALLADO et al., 2013; SILVA; FUNCH; SILVA, 2019). Uma das técnicas aplicadas a entender o crescimento do lenho ao longo do tempo e a relação com o clima é a dendrocronologia, método que fornece informações sobre as taxas de crescimento de madeira ao longo dos anos e permite a construção de modelos de

crescimento (ROIG, 2000; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; CALLADO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017; ALBIERO JUNIOR et al., 2019).

Entender os mecanismos de crescimento radial das árvores pode auxiliar no avanço de políticas florestais efetivas na mitigação das mudanças climáticas, a planejar estratégias de conservação e a estudar a evolução e/ou adaptação ecológica das árvores (CALLADO et al., 2013). Para isso, é necessário interpretar as características anatômicas encontradas na madeira e a relação com a sazonalidade climática, desde a formação dos anéis de crescimento até como a reação dos indivíduos arbóreos à processos de adaptação em condições não favoráveis ao seu crescimento e desenvolvimento (TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; LISI et al., 2008).

3.4. Anatomia do lenho de árvores

A anatomia da madeira é um ramo da ciência botânica, com objetivo de estudar as diferentes células que compõe o xilema secundário, os tipos, funções, estrutura e relação com a biologia da árvore (BURGUER; RICHTER, 1991; CARLQUIST, 2001; SANTINI JUNIOR, FLORSHEM E TOMAZELLO-FILHO, 2021). É considerada essencial para destinar a madeira ao uso final e emprego correto, distinção e identificação de espécies com alto grau de segurança, avaliação de características estruturais e compreensão do comportamento da madeira como matéria prima e produto final. Contudo, a identificação de madeiras é uma habilidade que exige técnica, conhecimento e treinamento dos métodos e de suas peculiaridades, somando características vistas macroscópicas e microscópicas (TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; SANTINI JUNIOR, FLORSHEM E TOMAZELLO-FILHO, 2021).

Quando realizada por práticas populares, a identificação de madeiras tropicais, considera-se apenas características organolépticas, como cor, odor, densidade de massa, sabor, brilho, textura, grã, dureza, entre outras. Porém, essas variáveis macroscópicas são bastante semelhantes em diversas madeiras de espécies diferentes, ocorrendo a incorreta identificação e tornando a avaliação subjetiva, ressaltando a necessidade de utilizá-la como complemento das análises anatômicas tradicionais (CARLQUIST, 2001; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; WIEDENHOEFT; MILLER, 2005; ZENID; CECCANTINI, 2007). A anatomia conta com duas avaliações, macroscópicas, como forma, tamanho ou distribuição dos vasos, parênquima axial e raios parenquimáticos ao longo do lenho e microscópicas, como tipo de pontuações, ornamentação da parede celular, dimensões das células, composição dos raios e a presença de substâncias inorgânicas, sendo necessário assim a montagem de material histológico, realizado quando se dispõe dos recursos que são empregados, e gerando maior confiabilidade (ZENID; CECCANTINI, 2012; SANTINI JUNIOR, FLORSHEM E TOMAZELLO-FILHO, 2021).

A avaliação das características estruturais de madeira das espécies tropicais, por métodos anatômicos, são determinadas pelo estudo dos vasos e fibras, seguindo metodologia preconizada pela IAWA - International Association of Wood Anatomists. A principal característica que difere as angiospermas tropicais são os chamados elemento de vasos, quando empilhados formam os vasos com função de condução de água pelo tronco (CARLQUIST, 2001; WIEDENHOEFT; MILLER, 2005). Podem ser arrançados em vários padrões: (i) poroso difuso, quando os vasos são do mesmo tamanho ou mais ou menos espalhados ao longo do anel de crescimento; (ii) anel poroso, os vasos do lenho inicial são muito maiores que o do lenho tardio; (iii) em arranjo tangente ou

oblíquo; (iv) em arranjo radial; (v) em grupos, ou outras combinações. Ainda podem ocorrer de forma individual ou múltiplos (IAWA Committee, 1989; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; WIEDENHOEFT; MILLER, 2005).

Estudos que objetivam análises anatômicas com madeiras tropicais ainda são muito importantes e não tão frequentes, considerando a diversidade de espécies que existe nas regiões brasileiras Amazônicas (LOBÃO et al., 2012; MEDEIROS et al., 2020), de Mata Atlântica (TOMAZELLO FILHO et al., 2004; SANTINI JUNIOR, 2018; SANTINI JUNIOR, FLORSHEM E TOMAZELLO-FILHO, 2021), de Cerrado (VOIGT et al., 2010; CALLADO et al., 2013) e da Caatinga (BARBOSA et al., 2018; ARAGÃO; GROENENDIJK; LISI, 2019). Busca-se pesquisar a anatomia da madeira de gêneros e espécies para entender a estrutura das árvores, suas adaptações às condições edáficas e climáticas, a relação com a condutividade hidráulica, uma vez que a maioria das espécies podem ocorrer naturalmente em diferentes biomas brasileiros, sofrendo adaptações nas características externas e internas das árvores (TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI., 2001).

3.5. Dendrocronologia, caracterização dos anéis de crescimento e sua relação com o clima

O crescimento das árvores e sua relação com o ambiente foi relatada, inicialmente no século XVI, uma observação feita por Leonardo da Vinci (ROIG, 2000). Porém, apenas no século XX, que o astrônomo Andrew E. Douglass, da Universidade do Arizona, estudou e incluiu o estudo dos anéis de crescimento como uma ciência, e prescreveu o princípio básico da dendrocronologia, a datação cruzada, procedimento que objetiva a identificação de padrões de crescimento em diferentes indivíduos arbóreos, influenciados pelo clima (SCHWEINGRUBER, 1996; STOKES; SMILES, 1996; ROIG, 2000).

Com o passar do tempo e pesquisas se aprofundando, surgiram sub-áreas, como a (i) dendroclimatologia, avaliação da influência do clima e como este modula o crescimento das árvores, ou a reconstrução climática (FRITSS, 1976; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI., 2001; LOCOSSELLI; SCHONGART; CECCANTINI 2016); (ii) dendroecologia, buscando ressaltar, por meio de perspectivas ambientais, os vínculos entre crescimento de árvores e clima (TOMAZELLO-FILHO; ROIG; ZEVALLOS-POLLITO, 2009; LOCOSSELLI; SCHONGART; CECCANTINI 2016; LOCOSSELLI et al., 2019); (iii) dendrogeomorfologia – determinação de como a dinâmica de crescimento das árvores são afetadas pelos processos geomorfológicos (ROIG, 2000; BOVI et al., 2019); entre outras.

Contando com todas as suas subáreas e aplicações, os estudos dendrocronológicos se desenvolveram primeiramente nas regiões temperadas, dado ao maior desenvolvimento científico e aprofundamentos em analisar os indivíduos arbóreos, assim como pelas características menos complexas das gimnospermas quando comparadas as angiospermas e sua diversa biodiversidade (CARLQUIST, 2001; WORBES; FICHTLER, 2010; SILVA; FUNCH; SILVA, 2019). O principal obstáculo que atrasou o início da dendrocronologia nos trópicos foi a periodicidade dos anéis de crescimentos e sua visibilidade no lenho. Porém, com a evolução das pesquisas científicas, atualmente, a dendrocronologia nos trópicos se destacou e expandiu pelo mundo (LISI et al., 2008; TOMAZELLO-FILHO; ROIG; ZEVALLOS-POLLITO, 2009; WORBES, 2010; SILVA; FUNCH; SILVA, 2019).

Os anéis de crescimento são formados por células produzidas pela atividade cambial em um pequeno intervalo de tempo, sendo constituídas de lenho inicial ou primaveril, com maior taxa de crescimento e no início do incremento e lenho tardio ou outonal, na porção posterior do incremento e ocorrentes de períodos mais frios e menos chuvosos (IAWA, 1989; WIEDENHOEFT; MILLER, 2005). Em espécies tropicais, a transição lenho inicial-tardio é de difícil identificação, uma vez que pela uniformidade climática não há uma distinção clara como em espécies das regiões temperadas (SILVA; FUNCH; SILVA, 2019), sendo assim, o lenho inicial vai ser dominado por uma longa porção de tecido e o lenho tardio, por um curto espaço, no limite do anel (WORBES; FICHTLER, 2010). Entretanto, diversos estudos de densitometria por raios X vêm abrindo esse potencial de análise.

A transição anatômica entre os dois lenhos, inicial e tardio, são caracterizados de duas possibilidades, gradual ou abrupta, dependendo da variação dos elementos axiais e espessura da parede celular (WHEELER et al., 1989; CARLQUIST, 2001; WIEDENHOEFT; MILLER, 2005). Nos trópicos, a porosidade é um termo mais utilizado, que descreve a estrutura anatômica dos lenhos, e é característico das angiospermas, podendo ser madeiras de vasos difusos, ocorrendo de forma uniforme e gradual entre os lenhos, ou madeiras de vasos porosos abruptos, onde os vasos reduzem de forma significativa em diâmetro e distribuição entre os lenhos (CARLQUIST, 2001; WIEDENHOEFT; MILLER, 2005; SILVA; FUNCH; SILVA, 2019). Ainda existe madeiras de anéis semi-porosos, um meio termo entre as outras classificações.

Porém, outra classificação se destaca, os indicadores anatômicos, um marco na história da dendrocronologia tropical, abordando que poderia haver mais de um indicador que limitaria os anéis de crescimento em um único indivíduo (WHEELER et al., 1989; WORBES; FICHTLER, 2010). Assim, foi criada uma lista publicada pela IAWA Committee, que descrevia seis indicadores anatômicos: espessura de parede grossa e/ou achatamento das fibras do lenho tardio; espessura fina da parede celular das fibras do lenho inicial; porosidade dos vasos; parênquima marginal; zona fribrosa; raio distendido (WHEELER et al., 1989; CARLQUIST, 2001).

Com diversas descobertas, a dendrocronologia é ainda uma área pouco explorada nos trópicos, uma vez que são técnicas relativamente novas, e as discussões sobre a periodicidade dos anéis de crescimento foi o assunto destaque durante anos. Contudo, fortalecendo a bibliografia do tema nos trópicos, as pesquisas de anéis de crescimento e a variação radial da densidade tem se destacado mundialmente (TOMAZELLO FILHO et al., 2004; LOCOSSELLI; SCHONGART; CECCANTINI, 2016; ALBIERO JUNIOR et al., 2019; SILVA; FUNCH; SILVA, 2019).

No Brasil, algumas espécies nativas sobressaem nos estudos, com anéis de crescimento, sendo: *Hymenaea courbaril* L. (LOCOSSELLI et al., 2013; LOCOSSELLI; SCHONGART; CECCANTINI, 2016; LOCOSSELLI et al., 2019), *Cedrella* spp. (ASSIS-PEREIRA et al., 2018; VENEGAS-GONZALEZ et al., 2018), *Ceiba speciosa* (A. St. -Hill) (VASCONCELOS; TOMAZELLO FILHO; CALLADO, 2019), *Araucaria angustifolia* (ALBIERO JUNIOR et al., 2020), *Cariniana* spp. (PITSCH et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017), *Copaifera* spp. (FONTANA et al., 2018), entre outras.

3.6. Microdensidade do lenho das árvores

A densidade aparente da madeira ou massa específica é a principal propriedade física e variável integrante, resultante da razão entre massa e volume (DECOUX; VARCIN; LEBAN, 2004), provém a qualidade do lenho e se destaca na estratégia ecológica das plantas (ZIEMINSKA et al., 2013; KNAPIC et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2017, MIL et al., 2018).

Integra as características anatômicas e químicas do lenho, e possui relação com condutividade hidráulica e resistência a cavitação (CHAVE et al., 2009; ZIEMINSKA et al., 2013). Também associa-se com propriedades mecânicas e resistência ao ataque de patógenos, sendo que madeiras mais densas se destacam (TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; ZIEMINSKA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017). Atualmente vem sendo mensurada, com frequência, no quadro ecológico e na dinâmica de carbono entre espécies (MIL et al., 2018).

Influenciada por fatores ambientais, tais como manejo e tratamentos silviculturais, localização geográfica, hidrologia, espaçamento entre árvores e por fatores climáticos, como temperatura e precipitação, assim como, a idade das árvores e seu genótipo, a densidade aparente pode variar entre indivíduos de uma mesma espécie e entre diferentes seções de uma mesma árvore (ZIEMINSKA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017). Inclusive, varia consideravelmente no sentido radial, medula-casca, sobretudo em espécies tropicais (OLIVEIRA et al., 2017; MIL et al., 2018; DIAS-JUNIOR et al., 2021).

A variação ocorre entre os limites dos anéis de crescimento, formados pelo desenvolvimento cambial do lenho durante a escala temporal (TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; MIL et al., 2018), possibilitando o estudo do impacto das mudanças climáticas nas árvores e realizando a reconstrução climática. Por possuir diversas finalidades, como a delimitação e demarcação dos anéis de crescimento, a densitometria por raios X surge como técnica promissora de mensuração da densidade aparente do lenho, desenvolvida por Polge, sendo que sua leitura ocorre em intervalos micrométricos ao longo do lenho, podendo assim formar um perfil densitométrico (POLGE, 1966; TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2017).

As variações intra e inter anuais que ocorrem no lenho são definidas pela diminuição acentuada entre lenho juvenil e adulto, e pela relação simples entre frações celulares, tais como largura da parede celular e tamanho do lúmen em coníferas e algumas espécies tropicais (MOYA-ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2007; TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2017; MIL et al., 2018). Para angiospermas tropicais nativas, os perfis densitométricos são menos claros quando comparados ao de coníferas, pela variação anatômica ser maior, constituído por fibras, vasos e parênquimas (MOYA-ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2007; ZIEMINSKA et al., 2013; MIL et al., 2018).

Porém a técnica vem sendo desenvolvida, nos trópicos brasileiros, com estudos de árvores nativas no semi-árido (PAGOTTO et al., 2017), Amazônia (GONÇALVES et al., 2021; ORTEGA-RODRIGUEZ et al., 2022) e Mata Atlântica (ALBUQUERQUE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017; DIAS-JUNIOR et al., 2021). As árvores de algumas espécies se destacam nos trabalhos de microdensidade da madeira, tais como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze, *Cedrela odorata* L., *Copaifera langsdorffii* Desf., *Hymenaea courbariul* L., *Schizolobium parahyba* (Huber ex Ducke) Barneby, ora por qualificar a madeira, ora por destacar a variação radial do lenho com influência das estruturas anatômicas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização do experimento

O experimento, intitulado Biodiversidade, está localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais (22°40'S; 48°10'W; 455m), na cidade Anhembi, São Paulo, Brasil (Figura 1). Caracterizada por topografia plana e com solo predominante tipo neossolo quartzarênico, a Estação Experimental está classificada no clima Mesotérmico Cwa (ALVARES et al., 2013), com duas estações bem definidas: verão quente-úmido, inverno frio-seco (EMBRAPA, 2006).



Figura 1. Localização e delineamento do Experimento Biodiversidade e estação meteorológica da Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ/USP, no município de Anhembi, Estado de São Paulo, Brasil.

O Biodiversidade foi instalado em maio de 2006, numa área degradada de 34.560 m² onde a vegetação predominante era braquiária exótica e capoeira. O principal objetivo do experimento é a avaliação do efeito da biodiversidade na restauração e o sequestro de carbono na Mata Atlântica. O preparo do solo foi realizado com sulcamento e a utilização de herbicida, a fim de eliminar todo o efeito predominante da braquiária. No plantio, foi incorporado no solo, calcário dolomítico à lanço, sendo 2.000 kg/ha e feita adubação de base S. Triplo, em coveta lateral, num total de 178 kg/ha. Após 120 dias foi realizada uma adubação de cobertura com NPK 10-20-10 e com 1 ano, outra adubação com NPK 18-08-18, ambas distribuídas em coveta lateral, e dose de 178 kg/ha.

O delineamento do experimento (Figura 1) foi de blocos casualizados, sendo 4 tratamentos com 4 repetições cada, totalizando 16 parcelas, de 48 m x 45 m. Utilizou-se sementes de 115 espécies nativas no plantio, visando a avaliação do nível de biodiversidade, sendo os tratamentos: (1) 20 espécies com espaçamento 3 m x 1,5 m, e 24 árvores /espécie; (2) 60 espécies com espaçamento 3 m x 1,5 m, e 8 árvores/espécie; (3) 120 espécies com espaçamento 3m x 1,5 m, e 4 árvores/espécie; (4) 120 espécies com espaçamento 1,5 m x 1,5 m, e 8 árvores/espécie. Os tratamentos 1, 2 e 3 contaram com 480 indivíduos arbóreos e o 4 com 960 plantas.

4.2. Seleção da área de estudo e das espécies

Para o estudo, selecionou-se todas as parcelas do tratamento 1 (Figura 1 – demarcados com *), do experimento Biodiversidade, onde havia menor quantidade de espécies, e consequentemente mais árvores/espécie/parcela, uma vez que só assim seria possível obter o número suficiente de amostras significativamente relevante para as análises. O tratamento 1 possui 20 espécies nativas (Anexo A), 24 árvores por espécie, num total de 480 indivíduos, distribuídos em espaçamento 3 m x 1,5 m. As árvores apresentam 13 anos entre a data do plantio, em maio de 2006, e coleta, em outubro de 2019.

Das árvores das 20 espécies plantadas no tratamento (Anexo A), foram escolhidas cinco, após separá-las em grupos ecofisiológicos, realizado pesquisas taxonômicas e anatômicas, e com base nos inventários realizados ao longo dos anos na área pelo grupo NewFor, onde observou-se o nível de sobrevivência de árvores/espécie, o diâmetro à altura do peito – DAP das árvores maiores que 15 cm, a quantidade de fustes, evitando indivíduos bifurcados e a altura. Portanto, foram selecionados entre 13 e 20 indivíduos de cada parcela das seguintes espécies: *Ceiba speciosa* (A. St. -Hill) ou paineira, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) ou ipê roxo de bola, *Jacaranda cuspidifolia* (Mart.) A. DC. ou jacarandá-branco, *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze ou jequitibá-branco *Hymenaea courbaril* L. ou jatobá, totalizando 85 árvores (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies selecionadas do experimento Biodiversidade para o desenvolvimento deste trabalho, com nome científico, nome vulgar, grupo ecofisiológico a qual pertence e número de indivíduos observados.

Nome científico	Família	Nome vulgar	Grupo ecológico	N. de árvores	DAP (cm)
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze*	Lecythidaceae	Jequitibá-branco	Clímax	13	21.30
<i>Ceiba speciosa</i> (A. St. -Hill)	Malvaceae	Paineira	Pioneira	18	16.16
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.)	Bignoniaceae	Ipê roxo de bola	Secundária	19	17.94
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	Jatobá	Clímax	20	18.85
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> (Mart.) A. DC.	Bignoniaceae	Jacarandá branco	Secundária	15	16.44

* espécie endêmica da Mata Atlântica

4.3. Microdensidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento

Os indivíduos selecionados no experimento Biodiversidade foram demarcados e mensurados com fita métrica ao Diâmetro à Altura do Peito – DAP. Em outubro de 2019, utilizando-se de metodologia de

amostragem não destrutiva (PRESSLER, 1866; TOMAZELLO et al., 2008), foram coletados com sonda de Pressler de 5.1 mm de diâmetro, amostras da casca-casca ou quando madeira muito dura, dois raios separados por árvore, do lenho das 85 árvores selecionadas. Quando coletadas foi inserido inseticida e antifúngica a fim de evitar danos futuros às árvores, e tampado o orifício com uma manquilha (Figura 2). As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Dendrocronologia, Anatomia e Identificação da Madeira - LAIM, localizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, na Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

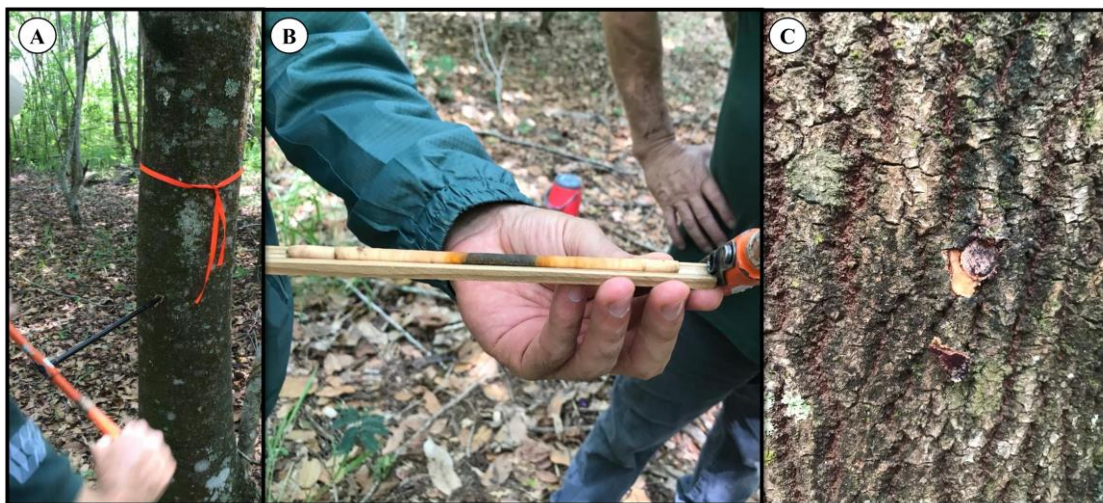


Figura 2. Imagens fotográficas da coleta por metodologia não-destrutiva do lenho das árvores, realizada no experimento Biodiversidade, onde retrata-se (A) a coleta com sonda de Pressler, (B) a retirada da amostra do lenho com a sonda, (C) o cobrimento do orifício com manquilha.

As amostras foram coladas transversalmente em suporte de madeira e serradas em serra circular paralela com aproximadamente 1.7 mm de espessura (Figura 3A). Após o corte, foram acondicionadas em estufa climatizada com 20 °C e 60 % de umidade por 24 h (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998). Para a análise qualitativa do lenho das cinco espécies nativas foi utilizado equipamento de densitometria de raios-X digital Faxitron X-ray, LX 60 (Figura 3B), onde as amostras foram dispostas na câmara de irradiação e configuradas digitalmente pela máquina, operando a 32 kV em 5.4 segundos, juntamente com uma escala de acetato para calibração em escala de cinza. Ainda se mensurou a espessura dos exemplares, a cada 0.5 cm de comprimento da amostra com paquímetro digital. As imagens obtidas foram importadas para o software WinDendro (Figura 3C), e após calibração de aproximadamente 0.28 g.cm⁻³ para cada valor do degrau do acetato e de acordo com a conformação anatômica da espécie, mensurou-se um valor de densidade aparente a cada 0.049 mm, formando assim o perfil densitométrico do lenho da árvore.

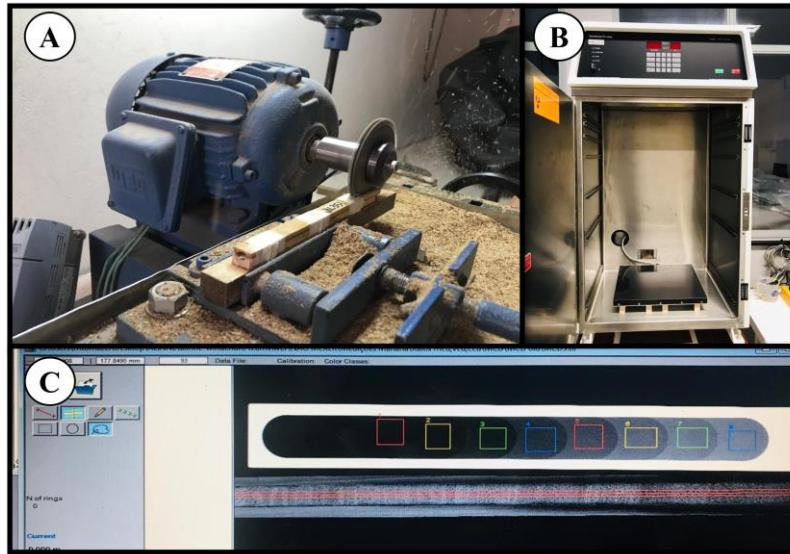


Figura 3. Metodologia de análise da microdensidade do lenho, onde (A) serra circular paralela cortando amostras do lenho das espécies nativas; (B) Equipamento Faxitron X-ray, LX 60; (C) Câmara de irradiação do equipamento Faxitron; (D) Demarcação dos degraus de densidade na escala de acetato e mensuração da imagem do lenho no software WinDendro.

Exportou-se os dados para o Excel para análise, eliminando outliers e construindo o perfil da variação de densidade do lenho das espécies, juntamente com um valor médio geral de densidade aparente (D_a), em g.cm^{-3} para cada espécie. A partir do perfil microdensitométrico e entendendo a conformação do anel a partir do valor de largura, calculado pela dendrocronologia, foi possível a obtenção do valor médio de densidade aparente para cada anel de crescimento.

4.4. Dendrocronologia dos anéis de crescimento formados no lenho

Após a aplicação das amostras de lenho das 85 árvores para análise de microdensitometria de raios X, estas foram reutilizadas para análises macroscópicas com objetivo de observar e demarcar os limites dos anéis de crescimento. Fixadas com cola em suporte plano de madeira e secas por 24 horas, as amostras foram lixadas e polidas com a lixadeira orbital Mirka (Figura 4A) e compressor acoplado para não obstruir os vasos, sendo as lixas com granulometria 120, 180, 240, 360, 500, 600 e 800 grãos/polegadas². Posteriormente, foi visualizado, em lupa esteroscópica BEL com lente de ampliação de 10 x, os anéis de crescimento e marcados com lápis, a fim de assegurar a correta demarcação (Figura 4B). As seções do lenho foram digitalizadas em equipamento Scanner Epson Expression, com resolução de 1200 dpi (Figura 4C, D).

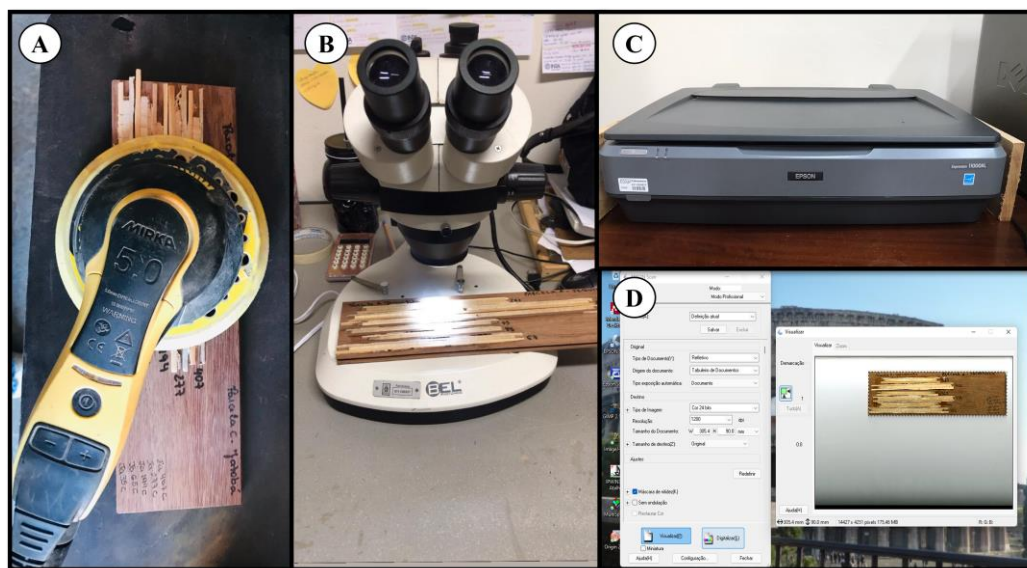


Figura 4. Procedimento metodológico de dendrocronologia, onde (A) lixamento e polimento das amostras do lenho com lixadeira Mirka; (B) Visualização em lupa estereoscópica e demarcação manual dos anéis de crescimento no lenho; (C) Equipamento Scanner; (D) Processo de digitalização das amostras do lenho com 1200 dpi.

As imagens foram importadas para o software Cybis CooRecorder 7.8, onde mensurou-se as larguras dos anéis de crescimento de cada raio das árvores, por meio da criação de coordenadas nos limites de cada anel. Após esse procedimento, as co-datações foram exportadas para o software Cybis CDendro 7.8, especializado em análises dendrocronológicas e salvas em formato apropriado, possibilitando o uso da cronologia bruta. Os dados foram exportados para Excel.

A fim de assegurar o controle de qualidade, os dados de largura dos anéis de crescimento entre árvores das cinco espécies foram analisados no software COFECHA (HOLMES, 1983; GRISSINO-MAYER., 2001). As séries cronológicas foram testadas com a série master ajustada, calculando um valor de intercorrelação a cada 10 anos e sobreposição de 5 anos, com modelo de suavização cúbica Spline 50 % de corte de variação em 10 anos no comprimento do segmento. Durante o processo, alguns raios de alguns raios e árvores foram descartados, totalizando 81 raios de 57 árvores mensurados assegurando que a correlação final atingisse o nível crítico de significância de 0.7155 por Pearson à 99% (HOLMES, 1983), sendo o aproveitamento de 67 % das árvores coletadas. Também foi observado a sensibilidade média da cronologia, que é a variabilidade anual, entre 0 e 1, com valor de referência acima de 0.3, resultando se essa série cronológica é sensível o suficiente para apresentar resposta ao clima (FRITTS, 1976; GRISSINO-MAYER., 2001; SPEER, 2010).

A interpolação e estandardização dos dados, que significa a remoção da tendência biológica do crescimento e os efeitos da competição entre árvores, além da remoção dos ruídos, mediante a indexação das séries de largura dos anéis de crescimento dos dados foi realizada pelo software Arstan (COOK; HOLMES, 1986), considerando uma função de suavização Spline cúbica com corte de 50 % da variância e ajuste do rbar com janela de 6 anos e sobreposição de 3 anos (COOK; PETERS, 1981; COOK; KAIRIUKSTIS, 1990). Como modelo estatístico de comparação foram observadas as correlações rbar, correspondente a uma matriz de variação entre séries dentro da população, e o Sinal de Expressão Médio da População - EPS da cronologia incluindo a variação da cronologia e o número de amostras utilizadas, com valor de referência 0.85 (WIGLEY et

al., 1984; COOK et al., 2000; SPEER, 2010). Os dados foram salvos em formato Excel e a montagem dos gráficos realizada pelo software Origin 2020.

4.5. Avaliação do crescimento das árvores

4.5.1. Diâmetro do tronco das árvores e área seccional do anel de crescimento

A avaliação do crescimento em diâmetro do tronco, em cm, foi calculada com base na largura dos anéis de crescimento acumulada realizada a partir das medições dendrocronológicas. Para as árvores que continham dois raios foram realizados média aritmética antes da transformação para Diâmetro do tronco - Dt. Também foi calculado o Incremento Corrente Anual (ICA) para cada espécie, que representa o crescimento da árvore anualmente.

A fim de verificar o comportamento dos dados de Diâmetro do tronco - Dt, foi ajustado modelo de regressão não linear de SGompertz em função da Idade Cambial - Ic (Equação 1), para as árvores de cada espécie, onde a, k e xc são valores obtidos pelo modelo, e r² é obtido por meio da variância dos dados e expressa se a equação é confiável para a estimativa (Tabela 2). Sua aplicação foi realizada pelo software Origin 2020.

$$Dt = a * \exp \{ - \exp[-k * (Ic - xc)] \} \quad (1)$$

Tabela 2. Parâmetros estimados pelo modelo de regressão não linear de SGompertz para Diâmetro do tronco em função da Idade Cambial.

Espécie	Parâmetros da equação			r ²
	a	k	xc	
<i>Cariniana estrellensis</i>	31.743	0.116	8.044	0.80
<i>Ceiba speciosa</i>	14.009	0.309	2.636	0.621
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	16.648	0.182	4.575	0.791
<i>Hymenaea courbaril</i>	29.711	0.137	8.769	0.909
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	15.249	0.207	4.368	0.873

A fim de dar sequência às análises, através dos valores de Diâmetro do tronco - Dt (não ajustado) foi calculado a área seccional acumulada do anel de crescimento (g), em m², ao longo dos 13 anos (Equação 2). Em seguida, foi possível determinar o valor da área seccional de cada anel de crescimento - g_{a.c} anualmente.

$$g = (Dt^2 * \pi) / 40000 \quad (2)$$

onde π faz referência ao valor real considerando 15 dígitos.

4.5.2. Altura das árvores

Os dados de altura das árvores foram previamente medidos e disponibilizados pelo grupo NewFor nos anos 2008 a 2012 e 2015 a 2017. Juntamente com os valores de diâmetro do tronco – Dt, obtido através das larguras dos anéis de crescimento anual acumulada foi possível estimar a altura anual (H) por meio da relação hipsométrica, que correlaciona positivamente ambas as variáveis. Através do software Origin 2020, utilizou-se modelo de regressão não-linear de SGompertz (Equação 3) para cada espécie,

$$H = a * \exp\{-\exp[-k * (Dt - xc)]\} \quad (3)$$

onde a, k e xc são parâmetros estimados pelo modelo e o r² a variância dos dados (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros estimados pelo modelo de regressão não linear de S-Gompertz para Altura em função do Diâmetro do tronco.

Espécie	Parâmetros da equação			r ²
	a	k	xc	
<i>Cariniana estrellensis</i>	18.8667	0.15096	6.208	0.8364
<i>Ceiba speciosa</i>	22.62	0.04532	11.3376	0.45479
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	15.11966	0.1655	3.80321	0.64737
<i>Hymenaea courbaril</i>	14.1091	0.22755	4.13817	0.83693
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	15.7392	0.16764	4.91799	0.68975

4.6. Densidade básica dos anéis de crescimento

Para estimar a densidade básica dos anéis de crescimento do lenho das árvores, primeiramente, através dos valores médios de densidade aparente por anel de crescimento e da área seccional de cada anel - g_{a.c} calculou-se a densidade aparente ponderada acumulada – Da_{pd} (Equação 4), com a finalidade de determinar o valor de densidade na seção transversal do lenho de maneira ponderada em função da área seccional de cada anel.

$$Da_{pd} = \frac{\sum(Da * g_{ac})_i + (Da * g_{ac})_{i-1}}{g} \quad (4)$$

onde i é o ano corrente.

A partir disso, a densidade básica do anel de crescimento – Db, em g.cm⁻³ é resultado da multiplicação das variáveis densidade aparente ponderada acumulada – Da_{pd} e o fator de conversão 0.828 (VIEILLEDENT et al., 2018). Também foi realizado detrending dos valores de densidade básica pelo software Arstan, considerando os mesmos parâmetros da dendrocronologia: modelo de suavização cúbica Spline com corte de 50 % da variância e ajuste do rbar com janela de 6 anos e sobreposição de 3 anos. Os gráficos foram gerados pelo software Origin 2020.

4.7. Estimativa de biomassa lenhosa da parte aérea e carbono

Para o cálculo da biomassa lenhosa da parte aérea – AGBw (Kg) anual foi utilizado uma equação desenvolvida previamente por Ferez et al., 2015 para uma área de restauração florestal similar e próxima ao Experimento Biodiversidade, na Estação de Ciências Florestais de Anhembi (FEREZ et al., 2015; BRANCALION et al., 2019b). Considerou-se as variáveis altura – H (m), densidade básica do anel de crescimento – Db (g/cm³) e área seccional acumulada dos anéis – g (m²) (Equação 5).

$$\ln(AGBw) = [6.039 + (0.945 * \ln(g)) + (0.961 * \ln(H)) + (1.022 * \ln(Db))] \quad (5)$$

Os valores de Biomassa lenhosa da parte aérea foram transformados para Incremento Corrente Anual de Biomassa – ICAb, para estimar a quantidade de acúmulo de biomassa anualmente e em seguida, foram estandardizados pelo software Arstan, com os mesmos critérios utilizados para dendrocronologia e densidade básica. Ademais, estimou-se o estoque de Carbono (C), em Kg considerando 50 % da Biomassa lenhosa da parte aérea – AGBw (HOUGHTON et al., 2005; GIBBS et al., 2007; SAATCHI et al., 2011).

4.8. Análise das variações climáticas

As informações climáticas foram obtidas da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, que possui uma estação meteorológica dentro da unidade. Os valores anteriores à 2010 foram medidos 1 vez ao dia e a partir de 2011, a estação meteorológica foi automatizada, sendo mensurados temperatura máxima, mínima e média e precipitação em intervalo a cada 30 minutos.

Os dados foram convertidos para períodos meteorológicos (Primavera, Verão, Outono e Inverno) entre 2006-2021, contendo precipitação acumulada e temperatura máxima, média e mínima estão apresentados na Figura 5. Contudo, a Primavera do ano X inclui os meses Setembro, Outubro e Novembro do ano anterior (X-1); o Verão é a combinação dos meses Dezembro do ano prévio, juntamente com Janeiro e Fevereiro do ano corrente; o Outono é marcado por Março, Abril e Maio do mesmo ano; e os meses atuais de Junho, Julho e Agosto indicam o Inverno. Após o Inverno, no mês de Setembro, começa o ano meteorológico seguinte (X+1).

A temperatura média e precipitação acumulada anual e por estação foi correlacionada com os valores estandardizados da série temporal cronológica de largura dos anéis de crescimento, assim como detrending da densidade básica e da biomassa lenhosa da parte aérea das árvores das espécies estudadas. Foi realizado teste de T bimodal com $p < 0.05$ e $p < 0.1$.

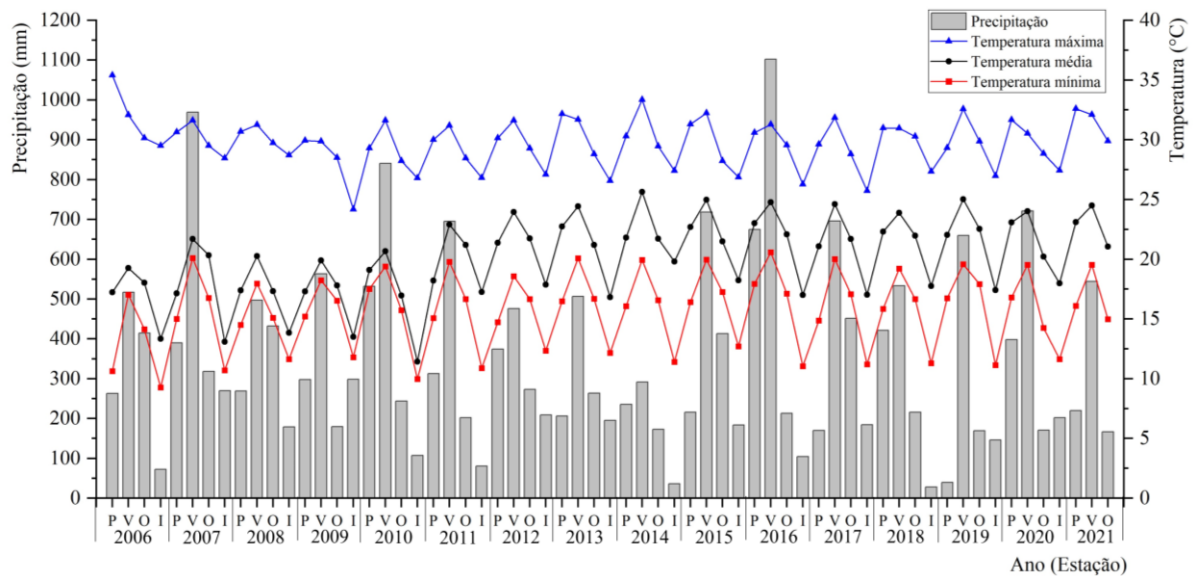


Figura 5. Climograma anual por períodos meteorológicos (P- primavera; V-verão; O- outono; e I-inverno) com valores de precipitação acumulada e temperatura média, máxima e mínima. Dados obtidos da estação meteorológica da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi.

4.8.1. Anatomia microscópica dos anéis de crescimento

Para fotografias anatômicas microscópicas, foi realizada uma nova seleção com base nos perfis radiográficos de densidade das árvores, que possibilitou a avaliação do lenho e escolha de indivíduos com menos problemas biológicos, sendo coletado pelo menos 8 árvores de cada espécie, totalizando 46 amostras. Foi realizado mais uma coleta com sonda de Pressler de 1 raio que inclui medula-casca (Figura 2A, B e C). Para as árvores de *Handroanthus impetiginosus*, foi coletada 1 raio casca-medula, com o extrator motorizado Stihl e sonda metálica acoplada com 1,5 cm de diâmetro (Figura 6A, B e C). Também foi aplicado produto anti-fúngico e inseticida, e tampado com um tarugo de madeira (Figura 6D). As amostras foram enviadas ao LAIM para cortes histológicos.



Figura 6. (A) coleta de *H. impetiginosus* com extrator motorizada Stihl e sonda acoplada, (B) amostra de *H. impetiginosus* cortada na árvore, (C) amostra de *H. impetiginosus* retirada da árvore, (D) tapamento do orifício com produto anti-fúngico e tarugo de madeira.

Os cortes para microtomia do lenho foi realizado pelo micrótomo sueco de deslize de corte longo WSL-Core-Microtome (Figura 7A) (GARTNER; NIEVERGELT, 2010), onde o raio amostral foi prensado transversalmente em suporte metálico e utilizando de angulação central foram cortados com navalha de aço afiada (Figura 7 B; C; D). Algumas espécies como *Handroanthus impetiginosus*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Hymenaea courbaril* foram aquecidas por 30 min em recipiente contendo água e glicerina, visando o amolecimento do lenho, embora todas as amostras foram saturadas. O corte foi colocado em lâmina adaptada com glicerina 70 % e armazenado em geladeira para posterior análise.

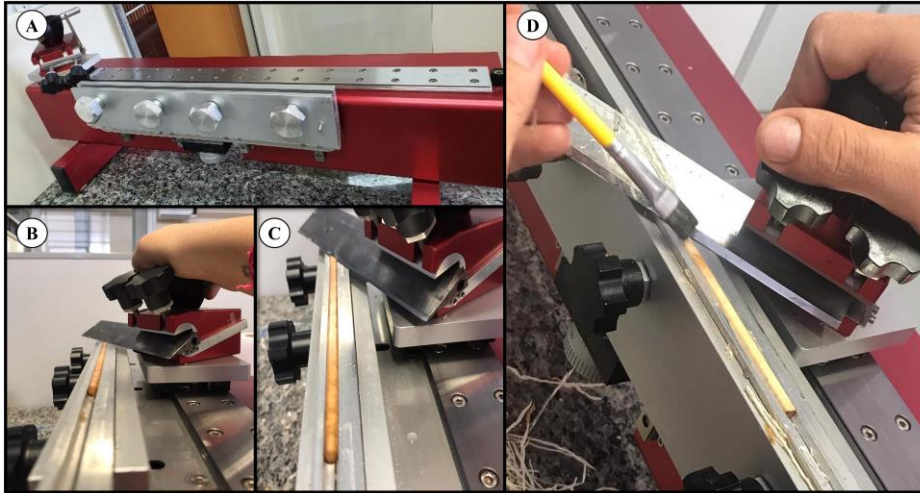


Figura 7. Microtomia do lenho de árvores, onde (A) micrótomo de deslize de corte longo WSL-Core; (B) ângulo de corte central e navalha de aço; (C) posicionamento da amostra transversalmente no suporte metálico; (D) corte anatômico sendo realizado com auxílio de pincel.

Para o preparo e montagem das lâminas histológicas (Figura 8 A-D), os cortes foram lavados com hipoclorito de sódio 20 % e água destilada para retirar o amarelamento da seção transversal, e depois realizada coloração com safrablau 7:3 (azul de alcian + safranina) e novamente adicionada glicerina 70 %, evitando a secagem do material. As imagens de microscopia anatômica foram retiradas com o microscópio óptico de fluorescência Zeiss Axio Imager.M2m com câmera digital acoplada AxioCam 503 color (Figura 8 E; F), com lente de aproximação de 25x, pelo software Zen 2.3 (blue edition) e HAL 2.3, seguindo metodologia preconizada pelo IAWA – Internacional Association of Wood Anatomist (1989) e IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (1991). Não foi mensurado nenhum componente anatômico, apenas para a observação da caracterização do limite dos anéis de crescimento.

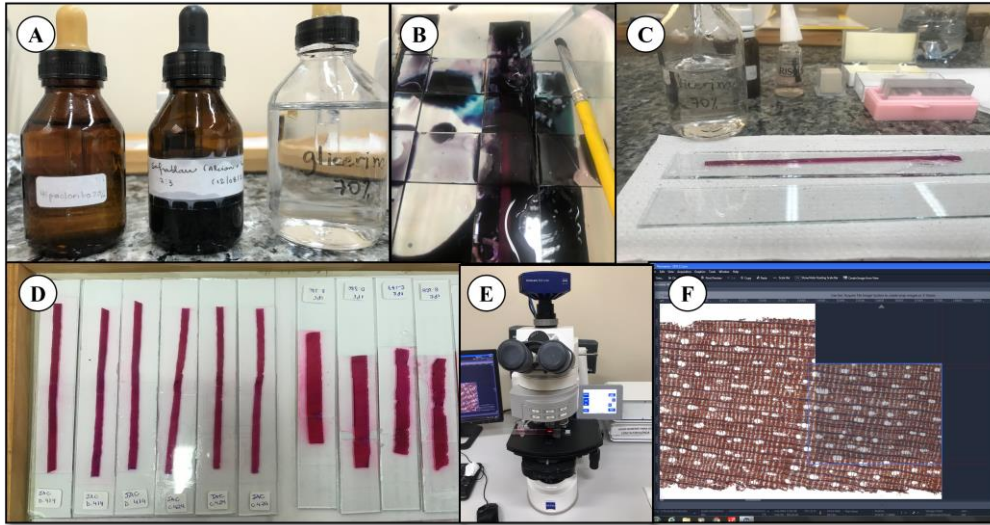


Figura 8. Preparo de lâminas histológicas longas e captura de imagens, onde (A) produtos utilizados no processo – hipoclorito, Safranblau e glicerina; (B) lavagem do corante na lâmina; (C) montagem de lâminas; (D) lâminas coradas e prontas; (E) microscópio Zeiss Imager M2.m e (F) software de captura de imagem.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização do anel de crescimento

A descrição da caracterização dos anéis de crescimento de cada espécie está representada na Figura 9, com a imagem macroscópica do lenho de um raio das árvores de diferentes espécies, demarcados com o limite dos anéis de crescimento e o perfil densitométrico do lenho da amostra (Anexo C), demonstrando o comportamento da variação da densidade intra-anéis. Na margem direita, ainda é apresentada uma imagem microscópica do lenho, apontando com seta o tipo de tecido formado no limite do anel, sendo ZF – zona fibrosa e PM – parênquima marginal.

Observou-se que a *C. speciosa* apresenta camadas de crescimento distintas, de difícil visualização devido a coloração branca da madeira, com limites definidos por fina camada de parênquima marginal e zona fibrosa. A espécie apresentou vasos visíveis a olho nu, e grandes, porém com padrão de porosidade difusa. O perfil das árvores demonstrou aumento da densidade aparente, gerando picos no limite do anel de aproximadamente 0.6 g.cm^{-3} . Também é possível observar a variação da densidade sentido medula-casca, com tendência crescente ao longo dos anos.

Para o *H. impetiginosus* foram analisados anéis de crescimento pouco distintos, com difícil visualização necessitando aumento de 10x, delimitados por fina camada de parênquima marginal e com pouca variação da densidade aparente intra-anual, fazendo com que os dados fiquem mais homogêneos no perfil, mas ainda apresentando pequenos picos no limite do anel de crescimento, onde a densidade ultrapassa 1 g.cm^{-3} . A metodologia de densitometria auxiliou significativamente na hora da demarcação dos limites do *H. impetiginosus*. Os vasos mais próximos a medula estavam obstruídos por uma substância amarela, chamada ipeína.

No *J. cuspidifolia* foram encontradas camadas de crescimento distintas, limitadas por fina linha de parênquima marginal, seguido de zona fibrosa. Em algumas árvores foi identificado a formação de lenho de reação, que dificultou a visualização. O perfil radial de densitometria aparente do lenho foi essencial para a delimitação correta dos anéis, pois observou-se uma tendência de variação intra-anual crescente, onde a densidade apresentou constância até atingir um pico mais alto de aproximadamente 0.8 g.cm^{-3} , seguido de queda abrupta para valores baixos, aproximadamente 0.55 g.cm^{-3} . Não foi observado nenhuma redução da frequência ou tamanho dos vasos nas amostras.

As amostras do lenho de *C. estrellensis* observou-se anéis de crescimento distintas a olho nu, bem demarcadas pelo parênquima marginal, em uma linha bem fina, de colocação diferente, um tom mais rosado, e ocasionalmente zonas fibrosas mais escuras, embora a espécie seja caracterizada por parênquima axial reticulado, que dificultou o processo de delimitação em algumas regiões próximas a medula. A espécie também apresentou uma variação do perfil microdensitométrico do lenho intra-anual, e limitação dos anéis de crescimento de forma abrupta desenvolvendo pico alto de densidade aparente, chegando até 1.0 g.cm^{-3} .

O *H. courbaril* apresentou camadas de crescimento distintos, delimitados por fina camada de parênquima marginal e longo espaço de zona fibrosa, com dificuldades de visualização na região mais próxima a medula, onde algumas árvores já apresentavam pequena quantidade de cerne. Ainda, a espécie apresentou muitas marcações de parênquimas ao longo do lenho, que podem confundir a demarcação correta do limite do anel.

Ainda houve variação da densidade aparente intra-anéis, onde o limite é marcado pela transição gradual de valores mais baixos para os mais altos, que se aproximaram de 1.0 g.cm^{-3} à valores mais baixos, 0.8 g.cm^{-3} .

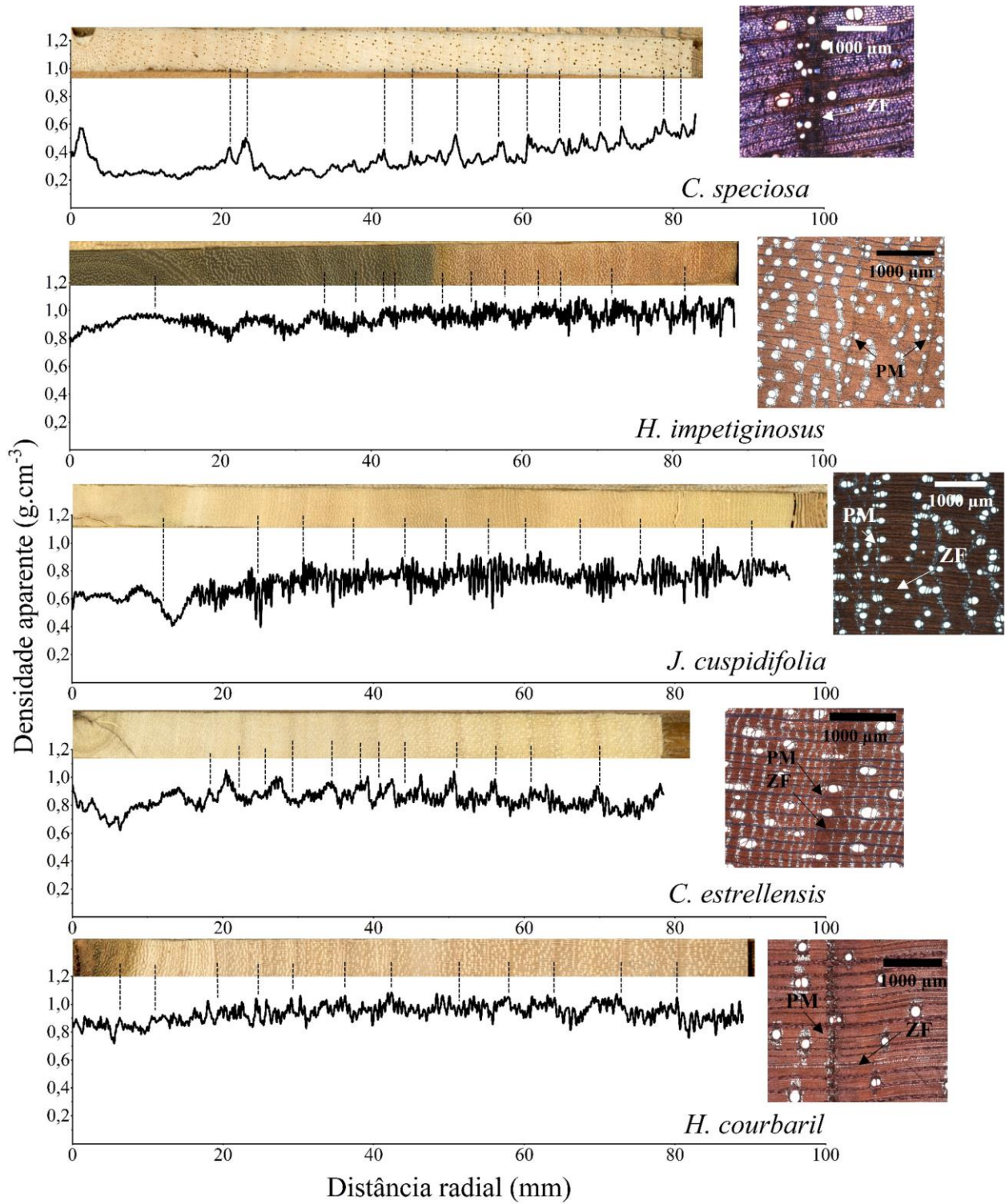


Figura 9. Descrição e caracterização do limite dos anéis de crescimento pela anatomia macro e microscópica e variação da microdensidade de cada espécie, onde (ZF) corresponde a Zona Fibrosa e (PM) ao Parênquima Marginal.

Contudo, pode-se observar as diferenças anatômicas que cada espécie apresenta. Essa característica influencia diretamente nas propriedades do lenho das árvores, sendo necessário um aprofundamento maior quantitativo dos componentes anatômicos, possibilitando uma melhor descrição do comportamento dos anéis de crescimento ao longo dos anos, em diferentes espécies. A microdensidade aparente do lenho, foi uma metodologia essencial na hora da delimitação dos anéis, pois, como mencionado, há uma variação intra-anéis, que ajuda na compreensão da tendência que a espécie apresenta dentro de um anel. Entretanto, o auxílio das informações disponíveis na literatura combinados com as metodologias aqui utilizadas, microdensitometria e anatomia qualitativa do lenho, foi possível a demarcação do limite dos anéis de crescimento. Portanto, todas as espécies aqui analisadas, *C. speciosa*, *H. impetiginosus*, *J. cuspidifolia*, *C. estrellensis* e *H. courbaril* apresentam potencial para dendrocronologia.

5.2. Dendrocronologia dos anéis de crescimento

5.2.1. Estandarização dos dados de largura dos anéis de crescimento

A idade cambial de 13 anos das árvores das cinco espécies estudadas foi confirmada pelas medições dendrocronológicas da largura dos anéis de crescimento, com ausência de poucos anéis em algumas árvores de *C. speciosa* e *H. impetiginosus*, sendo observado já em campo que árvores dessas espécies foram afetadas por condições biológicas de crescimento. A séries estandarizadas individuais – linhas cinzas, juntamente com o índice médio da cronologia – linha preta, estão apresentadas na Figura 10 e sua estatística descritiva pelos softwares Cofecha e Arstan na Tabela 4.

Ao analisar a sincronização dos anéis de crescimento de cada espécie via controle de qualidade, encontrou-se valores satisfatórios de intercorrelação das séries de largura dos anéis de crescimento que variaram entre 0.75 e 0.9 (Tabela 4), demonstrando que as séries cronológicas apresentam boa sincronicidade com a série master. O *J. cuspidifolia* apresentou menor valor de intercorrelação entre séries (0.77), seguido da *H. courbaril* (0.84), *C. estrellensis* (0.86) e com maiores valores e praticamente similares para *H. impetiginosus* e *C. speciosa* (0.87 e 0.88 respectivamente). Também foi observado que a partir do ano de 2015, o *J. cuspidifolia* começou a apresentar dificuldades na sincronização do crescimento das árvores (Figura 10). Apenas no ano 2016, todas as espécies responderam com estreitamento do tamanho da largura do anel de crescimento (Figura 10), o que pode ser influenciado pelo clima ou algum fator limitante resultando no impedimento do crescimento das árvores na área de estudo. Entretanto, não foi encontrado sincronicidade da largura dos anéis de crescimento entre as espécies ou quando separadas por grupo ecofisiológico.

Para os resultados encontrados de sensibilidade média (Tabela 4), ou seja, como as árvores reagem aos fatores externos, a *C. speciosa* foi a que apresentou maior valor, sendo de 0.624, que pode ser influenciado pela ausência dos anéis. Por outro lado, não houve nenhuma espécie que apresentou complacência o suficiente para não responder ao fator clima. Todas as espécies apresentaram resultado acima do valor crítico de correlação rbar e EPS (Tabela 4), com destaque para *C. estrellensis*, onde foi encontrado maior valor para as duas análises – 0.85 e 0.99 respectivamente, indicando um sinal de forte intensidade entre a série cronológica ao longo do tempo e uma variabilidade comum coerente em nível populacional. Mesmo apresentando valores satisfatórios, a cronologia de *H. courbaril* foi a que apresentou menores valores de correlação.

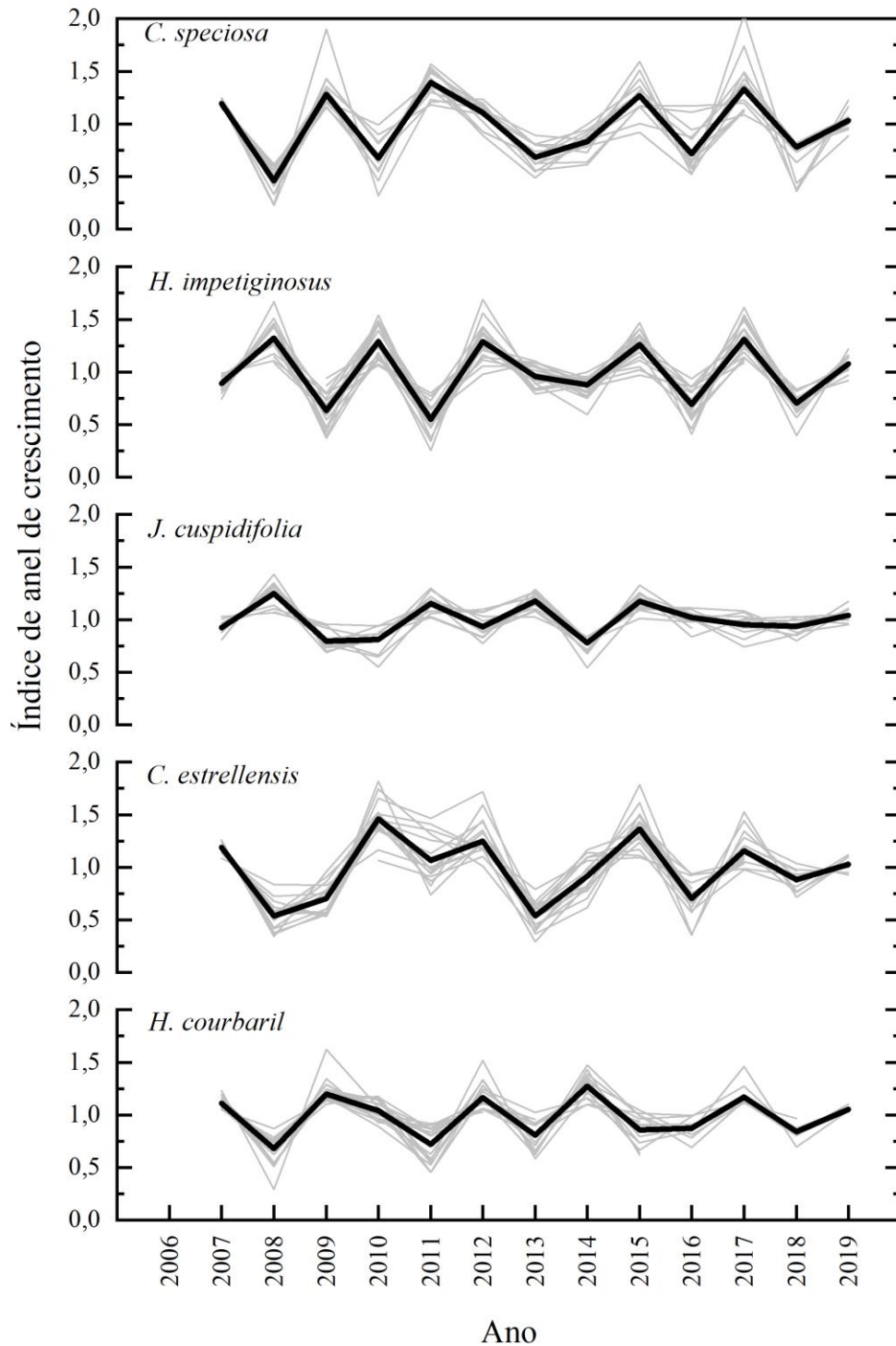


Figura 10. Índice de largura dos anéis de crescimento individual das séries co-datadas (linha cinza) e índice médio das séries estandardizadas (linha preta) para cada espécie. Estatísticas apresentadas na Tabela 4.

Os parâmetros estatísticos não obtiveram valores discrepantes entre as espécies (Tabela 4), e todos apresentaram valores satisfatórios acima dos limites críticos indicados, embora tenha sido visualizado em campo que as árvores da *C. speciosa* sofria com dificuldades para resistir as condições ambientais, resultando em menor número de raios analisados. As espécies pertencentes ao grupo de secundárias, *H. impetiginosus* e *J. cuspidifolia*

apresentaram maior e menor quantidade de amostras analisadas, respectivamente, embora a boa adaptação destas, como observado pela alta sincronicidade das séries cronológicas (Figura 10). Por outro lado, apresentando maior incrementação, destacou-se as *C. estrellensis* e *H. courbaril*, inseridas no grupo ecofisiológico clímax.

Tabela 4. Estatística descritiva das cronologias das espécies estudadas.

Espécies	Cronologia		Co-fecha		Arstan	
	N. de raios	Idade	Intercorrelação	Sens. média	RBAR	EPS
<i>C. speciosa</i>	14	13 anos	0.879	0.624	0.738	0.973
<i>H. impetiginosus</i>	21	13 anos	0.874	0.580	0.752	0.983
<i>J. cuspidifolia</i>	12	13 anos	0.769	0.316	0.764	0.972
<i>C. estrellensis</i>	16	13 anos	0.862	0.577	0.85	0.987
<i>H. courbaril</i>	18	13 anos	0.843	0.474	0.659	0.964

Quantidade de raios co-datados (N. raios); Sensibilidade média (Sens. Média); Sinal de Expressão Médio da População (EPS)

Ainda se destaca que apesar dos altos valores encontrados e ótimas estatísticas, a demarcação do limite dos anéis de crescimento anualmente foi difícil, mesmo contando com o suporte de análises pareadas do perfil de microdensidade do lenho, da anatomia das espécies, nos dados de inventário prévios da área e da literatura de apoio. Isso se deve ao fator de que as árvores são muito jovens, com apenas 13 anos, tendo desenvolvido lenho de reação em alguns casos, e respondendo de forma prioritária aos fatores ecológicos externos, como competição e sobrevivência, uma vez que são provindas de uma área de plantio misto. Esses fatores, juntamente com amostras quebradas e árvores atacadas por potógenos, influenciaram ao realizar a “limpeza” das árvores no processo de datação cruzada e standardização. Ressaltado as dificuldades encontradas, foi possível o estudo dessas espécies tropicais para dendrocronologia, uma vez que se obteve bons resultados de correlação. Ainda, se faz necessário mais pesquisas anatômicas e de microdensidade do lenho afim de explorar o potencial dendrocronológico das espécies tropicais.

5.2.2. Crescimento radial do lenho e Altura estimada das árvores

O crescimento radial do lenho foi calculado através da lagura dos anéis de crescimento bruta, ou seja, sem standardização, e após esses dados foram transformados em Incremento Corrente Anual – ICA, ao longo dos 13 anos, e Diâmetro do tronco total – Dt, em cm (Tabela 5). A partir desses resultados, foi realizado uma modelagem para observar o comportamento da espécie em incremento em função da Idade Cambial – Ic (Figura 11). O r^2 representa o valor estatístico da variância dos dados, e o Sxy o erro residual em porcentagem.

Em uma floresta mista, com árvores de diferentes grupos ecofisiológicos, espera-se que as pioneiras se desenvolvam mais rápido do que as de crescimento mais lento, secundárias e climáticas. Contudo, observou-se que o incremento anual das árvores de *C. speciosa* foram maiores nos primeiros seis anos, demonstrando rápido crescimento secundário. Porém, a partir do sétimo ano, a espécie diminuiu a incrementação anual para menos de 1 cm/ano, apresentando um comportamento de estabilização do crescimento. Essa tendência pode ser observada

pela curva do crescimento modelado na Figura 11. Ainda, notou-se uma maior variância do diâmetro do tronco entre as árvores, onde infere-se que algumas árvores continuam incrementando maior quantidade de lenho. A espécie atingiu um diâmetro aproximado de 14 cm, aos 13 anos.

A secundária *H. impetiginosus* atingiu diâmetro médio de 13.9 cm, similar a pioneira. Porém, sua incrementação foi mais gradual ao longo dos anos. Não foi observado padrão de crescimento regular da espécie e nenhuma tendência de estabilização, o que demonstra que o *H. impetiginosus* estava em plena atividade de incrementação. Também as árvores cresceram de forma mais homogênea, não havendo desvio padrão muito alto de incrementação corrente anual. Quando comparada em seu grupo ecológico, essa espécie foi a que incrementou um pouco mais. O *J. cuspidifolia*, outra secundária, cresceu de forma similar ao *H. impetiginosus*, ou seja, de forma gradual ao longo dos anos, e com pouca variação entre árvores. Observou-se também que as árvores de *J. cuspidifolia* incrementaram mais nos três primeiros anos. A espécie apresentou diâmetro do tronco médio total de 13.3 cm, sendo assim as menores árvores em diâmetro do tronco dentre as avaliadas.

Entretanto, as espécies inseridas no grupo ecofisiológico clímax, *C. estrellensis* e *H. courbaril* foram as que mais cresceram em diâmetro do tronco e conseqüentemente, as que mais incrementaram ao longo dos anos. O *H. courbaril* apresentou um ritmo de incrementação gradual e totalizou uma média de 17 cm em diâmetro do tronco. Em apenas dois anos, a espécie não acumulou mais de 1 cm de lenho, ou seja, as árvores crescendo com maior intensidade, embora foi a espécie que menos cresceu no primeiro ano. Além disso, apresentou menor desvio padrão. A modelagem dos dados de diâmetro do *H. courbaril* demonstrou uma curva mais acentuada, onde o modelo melhor se ajustou ao comportamento dos dados, representando o ótimo desenvolvimento da espécie na área.

Entretanto, a espécie que apresentou maiores valores de incremento foi a *C. estrellensis*, com diâmetro médio total de aproximadamente 18.7 cm. Já no primeiro ano, o ICA das árvores foi de mais de 4 cm, mostrando que essa espécie cresceu mais do que as outras, independente de ser climáxica. Os anos seguintes, o crescimento foi mais gradual, embora ainda com maior incrementação do lenho. Observou-se também maior variação dentre o diâmetro das árvores, ou seja, uma maior heterogeneidade no crescimento da espécie na área. Ainda, apresentou tendência de crescimento acentuado, sem sinal de que a espécie atingiu estabilização do diâmetro do tronco.

Em função dos resultados de incremento anual das árvores, estimou-se a altura por meio de relação hipsométrica (Anexo B). Os valores de altura estimada total para cada espécie também estão apresentados na Tabela 5. Em ordem crescente, os resultados encontrados para altura foram: *C. speciosa* (9.29 m), *J. cuspidifolia* (12.16 m), *H. impetiginosus* (12.38 m), *H. courbaril* (13.27 m) e *C. estrellensis* (15.91). O mesmo comportamento encontrado para diâmetro do tronco.

Portanto, as árvores pioneiras não tiveram maior crescimento na área de floresta mista, destacando maior incrementação para as climáxicas. Infere-se a possibilidade de a competição entre plantas ter influenciado no crescimento das árvores, além de outros fatores biológicos, fazendo com que algumas espécies se adaptem melhor nesta área de restauração florestal.

Tabela 5. Incremento Corrente Anual (ICA), Diâmetro do tronco acumulado (Dt), em cm e Altura total estimada (H), em m, das espécies estudadas, pela metodologia de dendrocronologia, ao longo dos anos.

Espécie	Incremento Corrente Anual – ICA (cm)													Dt (cm)	H (m)
	Ano: 1 2007	2 2008	3 2009	4 2010	5 2011	6 2012	7 2013	8 2014	9 2015	10 2016	11 2017	12 2018	13 2019		
<i>C. speciosa</i>	3.610 (±1.58)	0.850 (±0.38)	1.815 (±0.71)	0.853 (±0.39)	1.700 (±0.61)	1.129 (±0.43)	0.512 (±0.19)	0.505 (±0.22)	0.794 (±0.36)	0.503 (±0.28)	0.930 (±0.36)	0.383 (±0.14)	0.406 (±0.24)	13.99 (±4.28)	9.29 (±1.58)
<i>H. impetiginosus</i>	2.001 (±0.58)	2.443 (±0.85)	0.848 (±0.36)	1.194 (±0.30)	0.429 (±0.16)	1.020 (±0.22)	0.803 (±0.19)	0.746 (±0.18)	1.183 (±0.37)	0.643 (±0.23)	1.224 (±0.30)	0.699 (±0.19)	0.962 (±0.46)	13.93 (±2.51)	12.38 (±0.95)
<i>J. cuspidifolia</i>	1.919 (±0.44)	1.903 (±0.40)	1.010 (±0.29)	0.751 (±0.24)	0.929 (±0.22)	0.789 (±0.18)	1.031 (±0.25)	0.627 (±0.22)	1.087 (±0.21)	0.956 (±0.29)	0.846 (±0.30)	0.758 (±0.27)	0.728 (±0.30)	13.33 (±2.43)	12.16 (±1.1)
<i>C. estrellensis</i>	4.174 (±1.10)	1.057 (±0.46)	0.705 (±0.25)	1.330 (±0.48)	0.936 (±0.27)	1.124 (±0.34)	0.467 (±0.17)	0.981 (±0.33)	1.852 (±0.51)	1.014 (±0.40)	1.824 (±0.65)	1.624 (±0.47)	1.634 (±0.51)	18.72 (±3.7)	15.91 (±1.34)
<i>H. courbaril</i>	1.776 (±0.50)	0.636 (±0.18)	1.331 (±0.30)	1.057 (±0.23)	0.744 (±0.30)	1.411 (±0.34)	1.120 (±0.34)	1.844 (±0.60)	1.282 (±0.53)	1.379 (±0.38)	1.594 (±0.41)	1.292 (±0.32)	1.810 (±0.61)	17.28 (±3.1)	13.27 (±0.45)

Valores entre parênteses corresponde ao desvio padrão da população amostrada.

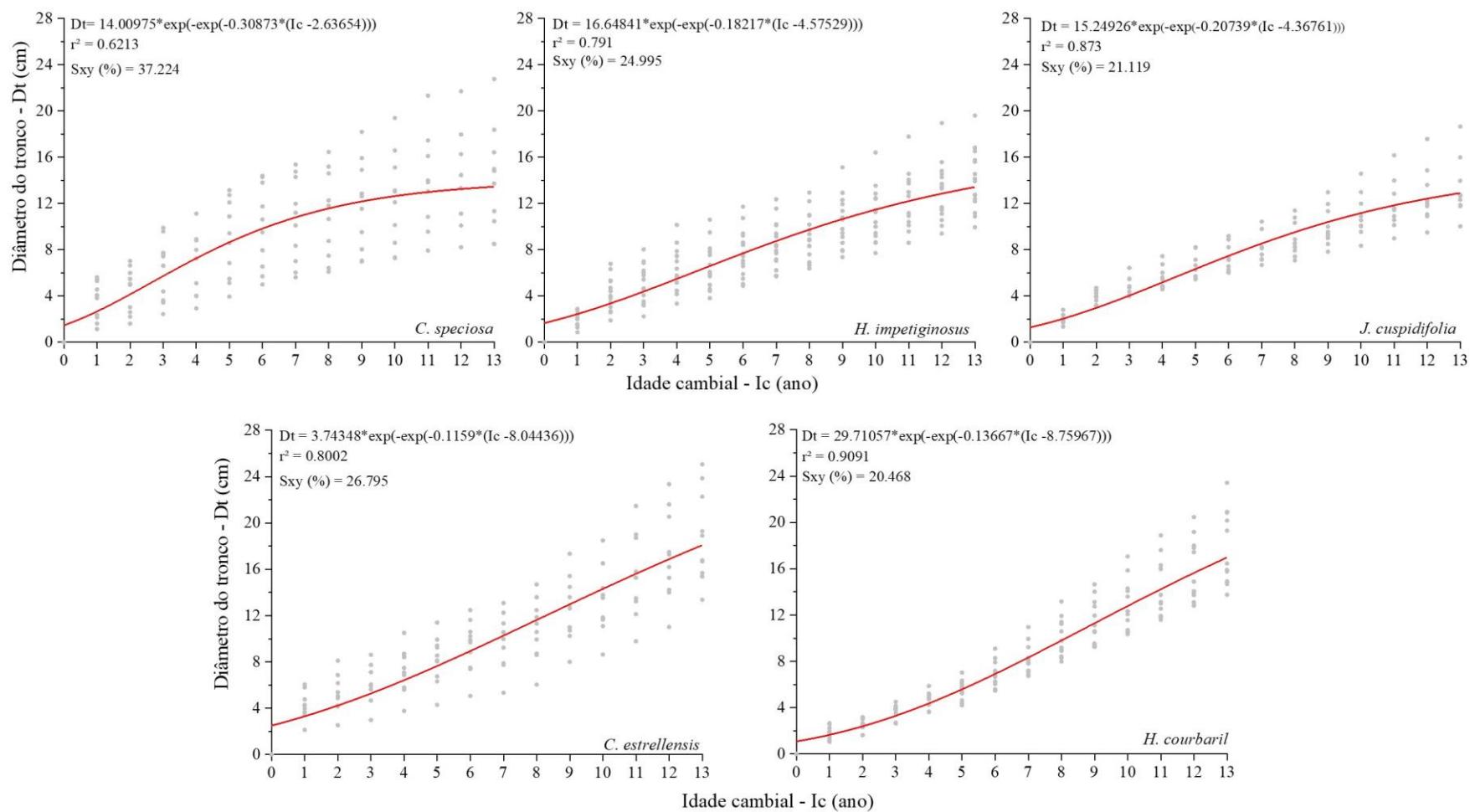


Figura 11. Diâmetro do tronco acumulado ajustado - Dt, em cm, por modelo de regressão não-linear de S-Gompertz em função da Idade Cambial – Ic das árvores para cada espécie.

5.3. Densidade dos anéis de crescimento

Os resultados de densidade aparente do lenho - D_a , em g.cm^{-3} , determinada pela microdensitometria de raios X, possibilitou a construção dos perfis de cada indivíduo analisado (Anexo C). A partir disso, foi calculado a densidade aparente para cada anel de crescimento, possibilitando a observação da variação da densidade interanual e média de cada espécie, assim como o seu comportamento ao longo dos anos (Tabela 6 – parte superior).

As densidades aparentes médias - D_a do lenho das espécies variaram entre 0.30 e 0.95 g.cm^{-3} , com pequena variação entre árvores. A densidade aparente da *C. speciosa* foi a mais baixa entre todas as espécies, uma média de 0.384 g.cm^{-3} . Já apresentando valores de densidades bem altos, o *J. cuspidifolia* obteve 0.7 g.cm^{-3} e, *C. estrellensis*, 0.83 g.cm^{-3} . Porém, as espécies mais densas foram *H. impetiginosus* e *H. courbaril*, ambas com 0.9 g.cm^{-3} . A densidade básica - D_b correspondeu a aproximadamente 80 % do valor de densidade aparente, e os resultados anuais médios também expostos na Tabela 6 (parte inferior). Como consequência, as espécies apresentaram o mesmo comportamento. Portanto, em ordem crescente, os valores correspondentes para cada espécie foram: *C. speciosa* (0.27 g.cm^{-3}), *J. cuspidifolia* (0.55 g.cm^{-3}), *C. estrellensis* (0.67 g.cm^{-3}), *H. courbaril* (0.73 g.cm^{-3}) e *H. impetiginosus* (0.74 g.cm^{-3}). Ainda, pode-se observar a variação da densidade básica anual e entre árvores na Figura 12. Não foi encontrado um padrão de densidade aparente ou básica diferindo por grupo ecofisiológico.

Ao avaliar ambas as densidades anualmente, observou-se uma tendência de aumento dos valores sentido medula-casca, ou seja, ao longo dos anos, para todas as espécies. Esse comportamento, entretanto, foi interrompido nos últimos dois anos para as espécies climáticas, *C. estrellensis* e *H. courbaril*, sendo possível que ambas atingiram uma constância na densidade. As árvores de *C. speciosa* diminuíram a densidade no segundo e terceiro ano de vida, e após o quarto a espécie retomou o aumento da densidade, assim, foi encontrado maior variação nos valores entre árvores. A curva de densidade básica mais crescente dentre as espécies foi a do *J. cuspidifolia* que apresentou um processo de densificação crescente e constante ao longo dos anos, contrário ao da *C. estrellensis* que apresenta uma curva de comportamento médio decrescente. O *H. impetiginosus* foi a espécie que apresentou a densidade mais homogênea entre anéis e árvores. A partir do sétimo ano, as árvores de *H. courbaril* começaram a corresponder sem muita variação, ou seja, todas atingindo uma densidade próxima a da média. Em uma área de restauração florestal é muito importante que haja espécies com diferentes densidades, uma vez que isso constitui a dinâmica heterogênea na floresta e um papel ecológico fundamental.

Tabela 6. Densidade aparente e básica médias dos anéis de crescimento, em g.cm⁻³, para as árvores das cinco espécies estudadas, com a média da espécie e desvio padrão (DesP).

Densidade aparente - Da (g.cm⁻³)															
Espécie	Idade cambial (ano)													Média	DesP
	1 2007	2 2008	3 2009	4 2010	5 2011	6 2012	7 2013	8 2014	9 2015	10 2016	11 2017	12 2018	13 2019		
<i>C. speciosa</i>	0.311	0.309	0.292	0.305	0.319	0.348	0.382	0.393	0.420	0.456	0.457	0.488	0.505	0.384	±0.12
<i>H. impetiginosus</i>	0.866	0.878	0.894	0.879	0.893	0.892	0.911	0.930	0.926	0.920	0.904	0.919	0.919	0.903	±0.05
<i>J. cuspidifolia</i>	0.604	0.616	0.643	0.671	0.689	0.714	0.719	0.732	0.738	0.720	0.743	0.747	0.764	0.70	±0.07
<i>C. estrellensis</i>	0.736	0.812	0.827	0.860	0.858	0.853	0.841	0.855	0.838	0.820	0.829	0.806	0.798	0.826	±0.06
<i>H. courbaril</i>	0.803	0.823	0.865	0.882	0.884	0.907	0.921	0.940	0.954	0.946	0.955	0.949	0.922	0.904	±0.06
Densidade básica - Db (g.cm⁻³)															
<i>C. speciosa</i>	0.258	0.252	0.247	0.248	0.252	0.260	0.265	0.270	0.279	0.286	0.299	0.306	0.312	0.272	±0.05
<i>H. impetiginosus</i>	0.717	0.724	0.729	0.728	0.729	0.732	0.736	0.741	0.747	0.749	0.749	0.750	0.751	0.737	±0.03
<i>J. cuspidifolia</i>	0.500	0.507	0.516	0.527	0.538	0.549	0.560	0.566	0.575	0.578	0.583	0.587	0.592	0.552	±0.04
<i>C. estrellensis</i>	0.610	0.631	0.644	0.667	0.677	0.684	0.685	0.689	0.690	0.689	0.688	0.684	0.680	0.671	±0.05
<i>H. courbaril</i>	0.665	0.672	0.697	0.709	0.714	0.727	0.736	0.750	0.758	0.764	0.769	0.772	0.771	0.731	±0.04

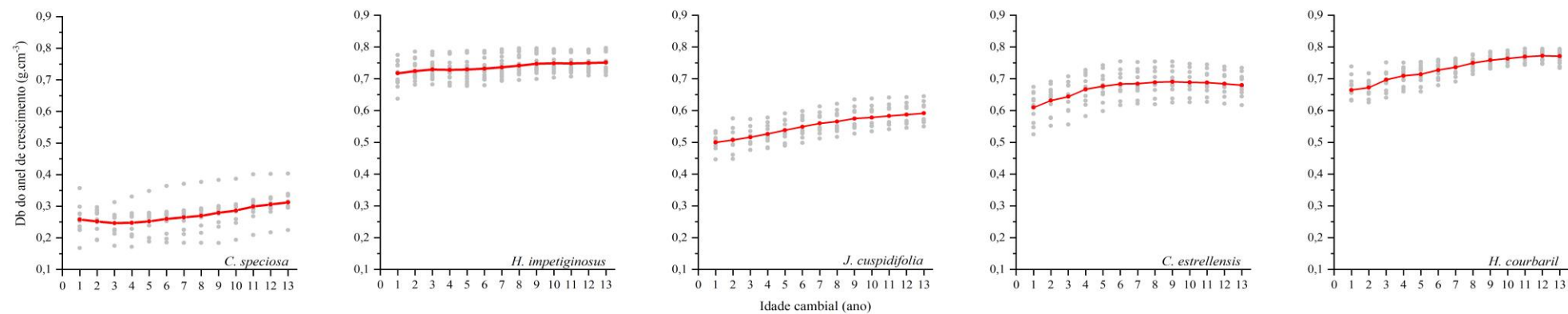


Figura 12. Densidade básica do anel de crescimento, em g.cm⁻³, de cada espécie estudada ao longo de 13 anos. A média é representada pela linha vermelha.

5.4. Biomassa lenhosa da parte aérea e estoque de Carbono

Os resultados de estimativa de biomassa lenhosa da parte aérea – AGBw anual, em Kg, de cada espécie estão apresentados na Figura 13, e separadas em Biomassa acumulada (A) e o Incremento Corrente Anual de biomassa – ICAB (B). Observou-se que há uma tendência de estoque de biomassa dessas espécies, ao considerar: a largura dos anéis de crescimento, a densidade básica da espécie e a altura estimada das árvores (Tabelas 5 e 6), onde as árvores com maior incremento e maior densidade se destacaram. Qualquer um desses parâmetros envolvidos pode ser um fator limitante no resultado biomassa. Por serem providas de uma área de restauração florestal de plantio misto e semeadas no campo, as espécies também sofreram influência das condições biológicas locais em função do crescimento e desenvolvimento da floresta.

A partir do quinto ano, a *C. speciosa*, começou a estocar maior quantidade de biomassa, porém quando atingiu 7 anos, a espécie apresentou um hiato até o décimo ano, acumulando muito pouco e aumentando o número de outliers, ou seja, algumas árvores continuaram incrementando. Isso pode ser em função do desenvolvimento das outras espécies, havendo uma competição por espaço e luz, onde a pioneira acabou sendo prejudicada. Ao atingir idade cambial de 11 anos, a espécie retomou o crescimento da biomassa, e no fim de 13 anos de avaliação, acumulou uma média aproximada de 25 Kg. Apesar da espécie ter crescido em diâmetro do tronco (Tabela 5), a sua densidade foi a mais baixa, influenciando assim no estoque menor de biomassa das árvores dessa espécie.

O *J. cuspidifolia* foi a espécie em que menos houve variação na alocação de biomassa, aumentando de forma gradual o seu estoque médio total, totalizando 51 kg ao longo dos 13 anos. A espécie ainda estocou menos que 10 kg por ano, com maiores quantidades nos últimos 3 anos. Conclui-se que a espécie sofreu influência da densidade básica, pois quando comparada em seu grupo ecofisiológico, as árvores de *J. cuspidifolia* apresentam menor densidade e conseqüentemente menor acúmulo de biomassa. Essa espécie foi a que houve maior uniformidade entre as árvores, ou seja, todas crescendo em um ritmo similar ao longo do período temporal analisado.

Apenas as árvores de *H. impetiginosus* começaram a alocar biomassa a partir do segundo ano, entretanto, com oscilações anuais no estoque, ou seja, alguns anos houve maior crescimento e outros anos, menor. Com isso, o ano de maior quantidade de biomassa incrementada para a espécie, aproximadamente 11 Kg, foi 2017, quando atingem a idade cambial de 11 anos. O *H. impetiginosus* ainda estocou, em média, 71 Kg de biomassa. Considerando que a densidade básica da espécie foi a mais alta, o fator limitante foi o crescimento radial do lenho das árvores, uma vez que quando comparado com outras de densidade similar não foi a que mais incrementou biomassa. Entretanto, quando avaliada em seu grupo ecológico, a densidade pode ter sido o fator que mais influenciou, pelo menor destaque do *J. cuspidifolia*, uma vez que ambas apresentaram diâmetro do tronco similar (Tabela 5).

Após o oitavo ano, em 2012, as árvores da *C. estrellensis* e *H. courbaril*, classificadas como clímax, impulsionaram o crescimento do lenho, sendo também as responsáveis pela maior quantidade de biomassa acumulada ao longo dos 13 anos: algumas árvores alocaram aproximadamente à 270 e 220 kg (Figura 13A), respectivamente. A diferença entre as espécies é que as árvores de *H. courbaril* acumularam biomassa de forma mais homogênea, contrário a *C. estrellensis* onde houve uma maior variação de árvores estocando biomassa entre os anos. Também, infere-se que o incremento radial também é o fator que mais influenciou no *C.*

estrellensis, uma vez que a espécie foi a que mais alocou biomassa ao longo dos anos, mesmo não possuindo a densidade mais alta quando comparada em seu grupo ecofisiológico climáx.

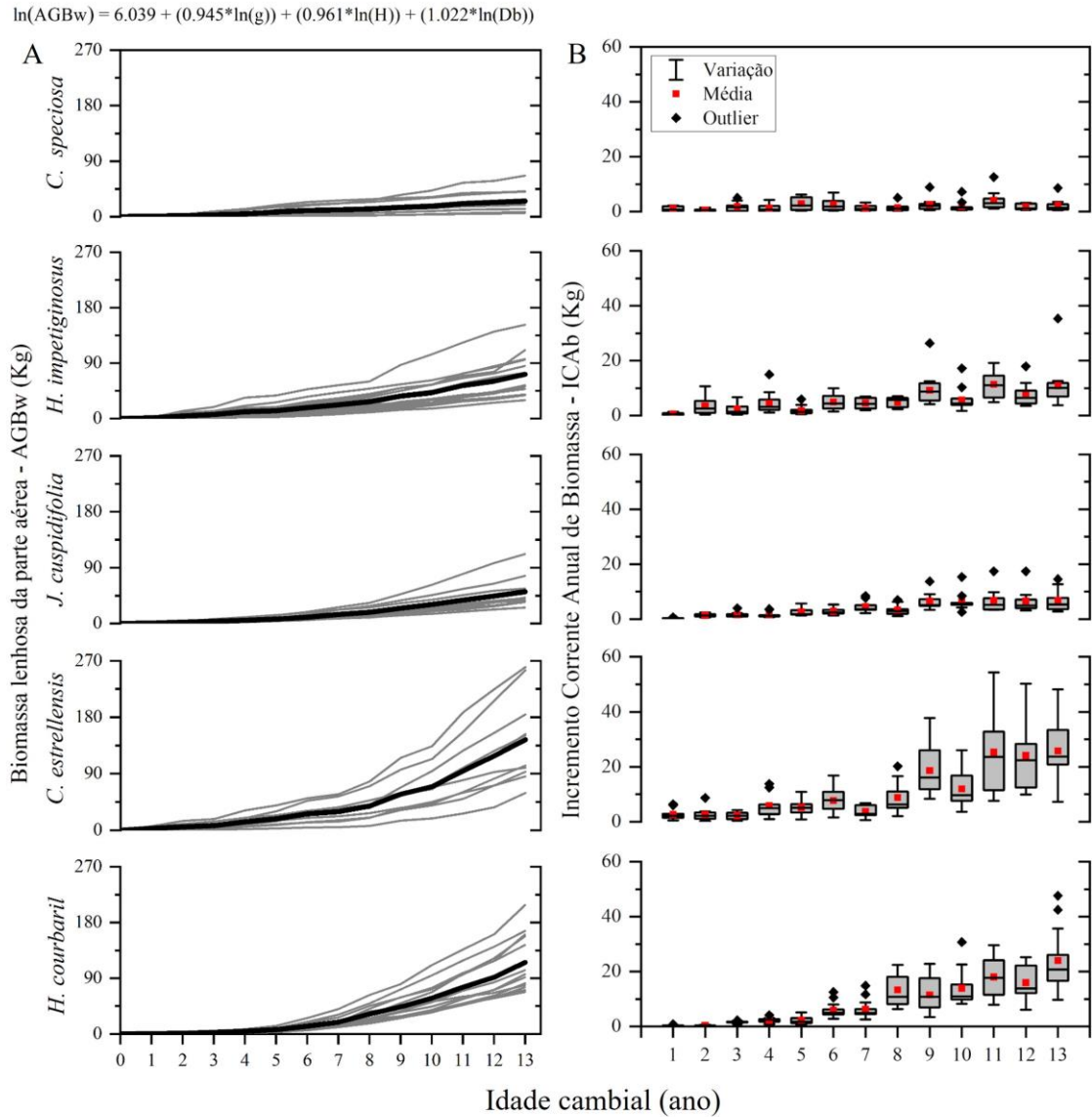


Figura 13. (A) Estimativa de Biomassa lenhosa da parte aérea acumulada - AGBw e (B) Incremento Corrente Anual de Biomassa - ICAb para as cinco espécies.

O resultado estoque de Carbono – C das espécies foi calculado considerando metade do valor da biomassa (Tabela 7), ou seja, as espécies, quando avaliadas pelo estoque de carbono, apresentam comportamento idêntico a tendência de crescimento em biomassa. Observando a quantidade alocada em ordem crescente, a pioneira *C. speciosa* incrementou menor quantidade de carbono, seguido das secundárias *J. cuspidifolia*, *H. impetiginosus*, e por último as que pertencem ao grupo ecofisiológico climáx, *H. courbaril* e *C. estrellensis*. A idade cambial de 11 anos foi responsável por um *boom* em que a maioria das espécies incrementaram mais do que em outros anos, com exceção do *H. courbaril* que incorporou o carbono gradativamente. Notou-se que houve menos variação entre árvores na quantidade de carbono estocada de *J. cuspidifolia*, demonstrando um

comportamento rítmico espécie. A *C. estrellensis* alocou, aproximadamente, 12 Kg de carbono em média nos últimos três anos, manifestando o pleno desenvolvimento da espécie na área. Pode-se inferir também o potencial da *C. estrellensis* como espécie chave na alocação de carbono, em uma área mista de restauração florestal.

Tabela 7. Quantidade de estoque de Carbono estimado, em Kg, pela parte aérea das árvores das cinco espécies estudadas.

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da população amostrada.

Estoque de Carbono – C (Kg)													
Espécie	Idade cambial (anos)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<i>C. speciosa</i>	0.503 (±0.39)	0.288 (±0.22)	0.902 (±0.75)	0.648 (±0.63)	1.441 (±1.02)	1.276 (±0.98)	0.651 (±0.46)	0.734 (±0.63)	1.294 (±1.09)	0.976 (±0.91)	2.019 (±1.59)	0.855 (±0.49)	1.108 (±1.11)
<i>H. impetiginosus</i>	0.317 (±0.21)	1.687 (±1.37)	1.198 (±0.94)	2.191 (±1.69)	0.920 (±0.67)	2.499 (±1.26)	2.260 (±0.84)	2.429 (±0.81)	4.618 (±2.59)	2.853 (±1.75)	5.700 (±2.10)	3.687 (±1.77)	5.419 (±3.42)
<i>J. cuspidifolia</i>	0.150 (±0.08)	0.670 (±0.26)	0.764 (±0.45)	0.816 (±0.50)	1.290 (±0.62)	1.393 (±0.61)	2.235 (±0.98)	1.663 (0.91)	3.251 (±1.41)	3.236 (±1.64)	3.389 (±2.02)	3.310 (±1.99)	3.387 (±1.90)
<i>C. estrellensis</i>	1.328 (±0.90)	1.296 (±1.09)	1.083 (±0.60)	2.936 (±1.90)	2.599 (±1.32)	3.862 (±2.02)	1.845 (±1.00)	4.387 (±2.62)	9.312 (±4.33)	5.959 (±3.08)	12.661 (±7.00)	12.067 (±5.62)	12.889 (±5.19)
<i>H. courbaril</i>	0.156 (±0.10)	0.175 (±0.08)	0.750 (±0.23)	1.116 (±0.42)	1.144 (±0.66)	2.952 (±1.33)	3.149 (±1.60)	6.680 (±2.83)	5.764 (±2.96)	6.929 (±3.01)	8.991 (±3.22)	7.982 (±2.85)	12.009 (±5.43)

5.5. Correlações climáticas

As análises de estandardizadas de (i) dendrocronologia, (ii) densidade básica e (iii) biomassa dos anéis de crescimento das cinco espécies foram correlacionadas com as variáveis climáticas (A) precipitação, (B) temperatura máxima e (C) temperatura mínima mensalmente e por estação meteorológica: primavera, verão, outono e inverno, considerando o ano prévio e corrente (Figura 14). As cores quentes, nas tonalidades de rosa claro à vermelho correspondem as correlações positivas, e as azuladas são as negativas, ambas com nível de significância (*) $p < 0.1$ e (**) $p < 0.05$. Os resultados indicam que as espécies analisadas respondem principalmente aos períodos outonal, onde há a diminuição de chuvas e da temperatura, e primaveril, que marca o retorno do período chuvoso e temperaturas mais altas. Espera-se que árvores jovens respondam de forma mais expressiva as condições ecológicas que estão expostas, e enfrentem influências maiores de outros gradientes não climáticos. Porém em um ecossistema que vem sendo restaurado, essas espécies já responderam as variáveis climáticas, embora ainda estejam em pleno período de crescimento primário e secundário.

Ao avaliar primeiramente a precipitação – Figura 14A, quando correlacionada com (i) a largura dos anéis de crescimento da *C. speciosa*, notou-se que o mês de novembro do ano anterior influenciou negativamente, diminuindo o crescimento das árvores quando a precipitação aumenta. Por outro lado, o *H. impetiginosus* apresentou correlação positiva alta no outono do ano corrente, mais precisamente nos meses abril e maio. Resultado similar foi observado no (iii) acúmulo mensal de biomassa lenhosa da parte aérea de *H. impetiginosus* correlacionado positivamente com precipitação outonal. Ainda, com biomassa, as árvores de *J. cuspidifolia*, espécie que também pertence ao grupo ecofisiológico das secundárias, quando analisadas, correlacionaram negativamente com a precipitação de Janeiro e positivamente em Agosto, fim do inverno. No parâmetro (ii) densidade básica, as árvores de *J. cuspidifolia* correlacionaram de forma negativa na primavera, e positiva no outono. A *C. speciosa* também respondeu de positivamente ao outono, assim como a *C. estrellensis* no mês de março. Já o *H. impetiginosus* apresentou correlação negativa em junho, no início do inverno. Apenas as árvores de *H. courbaril* não correlacionaram com a precipitação em nenhum dos parâmetros avaliados.

A temperatura máxima – Figura 14B foi a variável que mais apresentou correlações negativas significativas dentre todas, concluindo que com o aumento da temperatura, as árvores diminuiram o crescimento radial, a quantidade de biomassa estocada e influenciando até na densidade básica anual, sendo assim um fator limitante. O *H. impetiginosus* foi a única espécie que não correlacionou com a temperatura máxima em nenhum parâmetro. Para (i) largura de anel de crescimento e (ii) densidade básica, o *J. cuspidifolia* apresentou correlação positiva na primavera, especificamente no mês outubro do ano prévio. Assim como, a espécie ainda correspondeu negativamente em março do ano corrente no crescimento, seja a (i) largura do anel e na (iii) biomassa estocada. Outra espécie que também correlacionou negativamente com os mesmos parâmetros (i) e (iii) citados, foi a *C. speciosa* no mês de julho. Em julho também houve resposta negativa do *H. courbaril* entre a variável climática, o (i) índice de largura de anel de crescimento e a (ii) densidade básica. Entretanto, a densidade da espécie ainda apresentou correlação negativa em abril e a largura do anel positiva no mês de março. Ao avaliar a resposta da *C. estrellensis* pelo (i) índice de anéis de crescimento, as árvores apresentaram correlação negativa nos meses de setembro e outubro do ano prévio e maio do corrente.

A última variável climática analisada, temperatura mínima (Figura 14C), foi a única que correlacionou significativamente com todas as espécies. O *H. impetiginosus* respondeu de forma altamente negativa no mês de

março para (i) índice de largura de anéis de crescimento e (iii) biomassa. Entretanto, o *J. cuspidifolia* foi favorecido com o aumento da (ii) densidade básica e do (iii) incremento em biomassa no inverno. Já a *C. speciosa* que foi espécie em que a temperatura mínima mais influenciou, uma vez que, o outono impulsionou o aumento da (i) largura dos anéis de crescimento e conseqüentemente, da (iii) biomassa, porém a primavera foi limitante para o parâmetro, pois a espécie apresentou correlação negativa no mês setembro do ano prévio. Ao observar a (ii) densidade básica ainda da *C. speciosa*, a espécie respondeu positivamente e em seguida negativamente, nos meses de junho e julho, respectivamente. No mês de outubro do ano anterior, a *C. estrellensis* correlacionou negativo com o (ii) índice de densidade básica e o *H. courbaril* positivo com a (i) largura dos anéis de crescimento.

Os meses que apresentaram correlações mais altas, positivas ou negativas, entre os parâmetros e as variáveis foram março, abril e maio, ou seja, no outono, sendo que o fim do período chuvoso foi determinante para o aumentar o crescimento das árvores e a densidade do lenho. Já a temperatura foi o fator limitante principalmente para o incremento de anéis de crescimento. O *H. impetiginosus* foi a espécie que atingiu correlações mais altas, positivas e negativas, sendo considerada a espécie mais vulnerável as mudanças climáticas mensais. As espécies climáx, *C. estrellensis* e *H. courbaril* foram as que menos responderam ao clima.

Contudo, todos os resultados que culminaram na correlação climática demonstram o potencial das espécies em estudos dendrocronológicos. Essa metodologia, de extrema importância para a compreensão do comportamento e influências que as árvores sofrem, culmina em respostas científicas mais precisas acerca do desenvolvimento de espécies tropicais, sua relação com o clima, com os processos bioquímicos ambientais. Em uma década que a perspectiva é restaurar florestas e a mitigação climática, demonstramos o potencial e recomendamos a exploração da dendrocronologia tropical para futuros estudos.

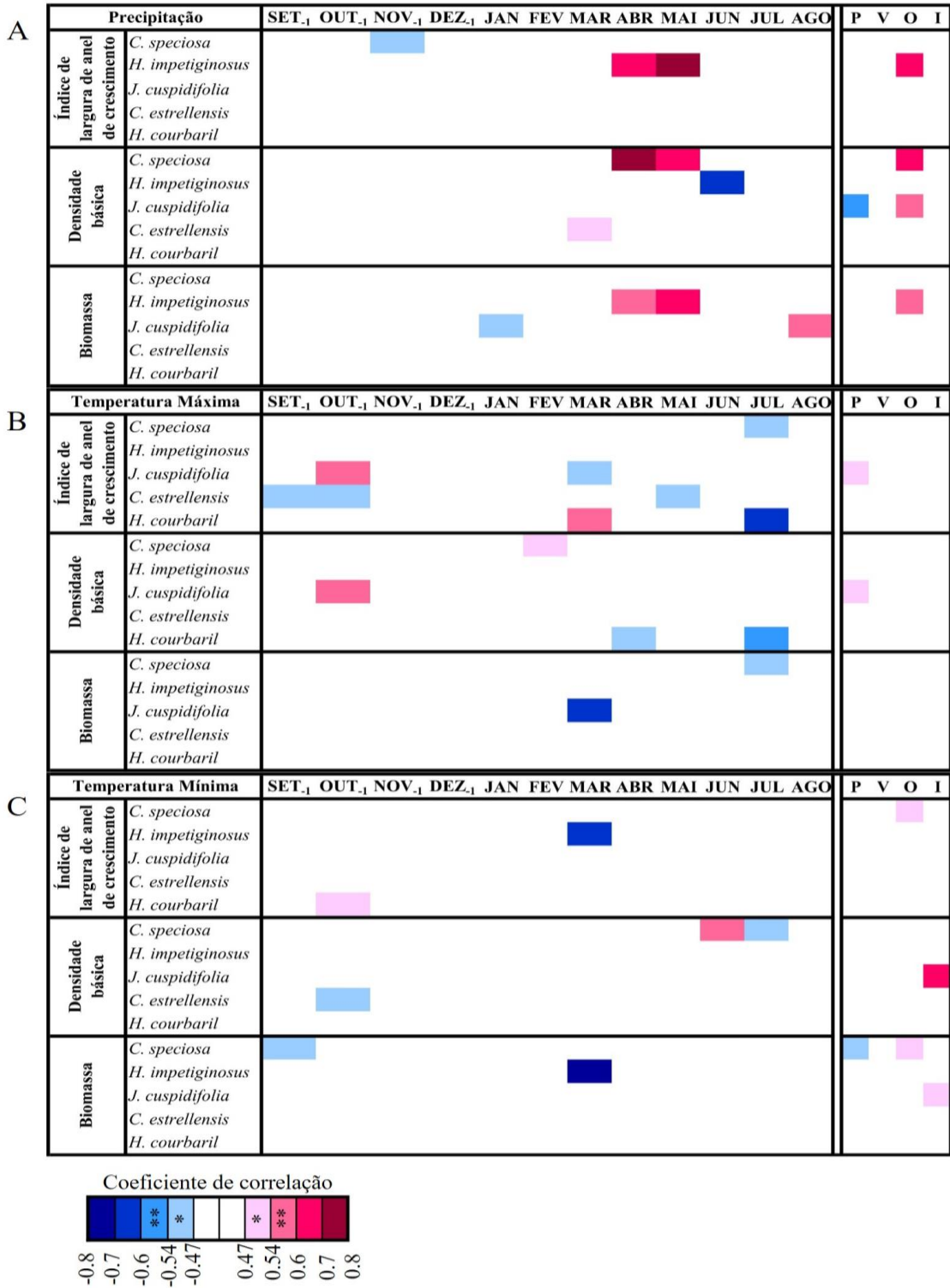


Figura 14. Correlações da precipitação (A), temperatura máxima (B) e mínima (C) mensal e por estações (P – primavera; V-verão; O – Outono; I – Inverno) com os índices standardizados da largura do anel de crescimento, da densidade básica e da biomassa. Coeficientes de correlação significativos por teste de T bimodal (**p < 0.05; *p < 0.1). Correlações positivas nos tons de rosa-vermelho e correlações negativas em azul.

6. DISCUSSÃO

A caracterização do limite dos anéis de crescimento das espécies ou gêneros já foi previamente descrita anatomicamente em alguns trabalhos de referência como Tomazello-Filho et al (2004), Lisi et al (2008), Albuquerque et al (2016); Santini Junior (2018); Marcelo-Peña et al (2020); Florsheim (2020); Santini Junior, Florsheim e Tomazello-Filho (2021), sendo: a caracterização da *C. speciosa* com anéis de crescimento distintos demarcados por parênquima marginal e zona fibrosa mais clara, vasos com distribuição difusa, fibras com parede espessas e achatadas no lenho tardio e raios distendidos no lenho inicial; o *H. impetiginosus* descrito com camadas de crescimento pouco distintas mesmo com redução do número dos vasos e da espessura da parede da fibra, fina camada de parênquima marginal, apresentando porosidade difusa e vasos obstruídos com ipeína, uma substância amarela; o gênero Jacaranda abordou anéis de crescimento dificilmente distintos marcados por zona fibrosa e fina camada de parênquima marginal, redução da espessura da parede das fibras, porosidade difusa, e redução no tamanho dos vasos; a *C. estrellensis* possui anéis de crescimento distinguíveis com dificuldade por zonas fibrosas mais escuras causada pelo afastamento do parênquima axial reticulado e ocasionalmente parênquima marginal, com porosidade de distribuição difusa; e, o *H. courbaril* caracterizada por anéis de crescimento distintos, marcados por zona fibrosa e presença de parênquima marginal contínuo, apresenta porosidade difusa e espessura de parede celular fina para grossa, considerada uma espécie com bom potencial dendrocronológico. As características anatomicas do lenho, tais como presença de zona fibrosa, porosidade, distribuição e frequência de vasos, tipo de parênquima e lenho inicial/tardio influenciam diretamente na variação inter e intra-anuais da microdensidade da madeira, visíveis no perfil densitométrico (TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; ZHENG; MARTINEZ-CABRERA, 2013; OLIVEIRA et al., 2017; DE MIL et al., 2018).

Ao estudar algumas espécies tropicais, De Mil et al (2018) observou que o fator mais importante para determinar a variação de densidade do lenho foi a fração da parede celular da fibra, porém o tipo de parênquima também influenciou nas espécies estudadas, seja aumentando ou diminuindo a densidade na região. Alguns trabalhos de *H. courbaril*, caracterizou a anatomia do lenho com fina camada de parênquima marginal e raios distendidos, a densidade aparente do anel variou entre 0.8 e 1.1 g.cm⁻³ (ALBUQUERQUE et al., 2016). No limite do anel de crescimento, a densidade encontrada foi 0.7 g.cm⁻³, embora variassem de 0.9 a 1.1 g.cm⁻³ no lenho (QUINTILHAN et al., 2021), com decréscimo dos valores do lenho tardio (ORTEGA-RODRIGUEZ et al., 2022). A literatura ainda aborda outras espécies dos mesmos gêneros aqui pesquisados. Algumas árvores de *Handroanthus incanus* foram caracterizadas por camadas de parênquima marginal que levemente diminuíam o valor de densidade aparente no fim do lenho tardio, marcando o limite do anel, e vasos preenchidos de extrativos, que também afeta a densidade (ORTEGA-RODRIGUEZ et al., 2022). Em seu trabalho, Albuquerque et al (2016) demonstraram diferença na densidade aparente de *Handroanthus serratifolia*, sendo 1.1 g.cm⁻³ na região com fibras mais estreitas e 0.7 g.cm⁻³ na camada de parênquima marginal, assim como em árvores de *Cariniana legalis* a variação intra anual foi identificada pela presença de zona fibrosa de colocação mais escura no limite do anel, com valores entre 0.55 e 0.85 g.cm⁻³. Portanto, a microdensitometria de raios X, juntamente com a descrição anatômica da madeira constituem metodologias essenciais e complementares para a denificação dos limites dos anéis de crescimento e conseqüentemente, a dendrocronologia de espécies arbóreas tropicais (POLGE, 1970; TOMAZELLO-FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002; ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2009; ALBUQUERQUE et al 2016).

Para dendrocronologia dos anéis de crescimento, algumas literaturas clássicas como de Fritts (1976), Holmes, (1983), Wigley et al (1984), Cook et al (2000), Grissino-Mayer (2001) e Speer (2010) abordam os valores críticos de cada correlação para as séries temporais estandardizadas, possibilitando quantificar estatisticamente a sincronização das séries temporais e a relação das árvores entre a população e com as variações climáticas. A estandardização, ou remoção da tendência ecológica das árvores é representada por quatro correlações principais: a intercorrelação entre séries depende não só da espécie estudada, mas também da idade cambial das árvores, da janela de idade inserida no programa a ser analisada, e da variação da largura dos anéis de crescimento, considerada o controle de qualidade das séries temporais; a sensibilidade média reflete como as séries temporais estão sendo influenciadas pelo fator climático da região, onde para não serem consideradas complacentes, ou seja, não apresentarem variabilidade e não reagirem ao fator ambiental, o resultado referência é acima de 0.3; o rbar mostrando a força do sinal dentro da cronologia, com indicação de valores maiores que 0.2; e o EPS, ou Sinal de Expressão médio da População, que considera o tamanho da amostra e a variabilidade da cronologia, onde o valor crítico é 0.85. Ao relacionar largura de anéis de crescimento com as variações da precipitação e temperatura da região, espera-se que o crescimento radial das árvores seja diretamente afetado pela sazonalidade climática anual como por exemplo, quando expostas às condições de déficit hídrico, o xilema secundário diminua ou interrompa a produção de incremento do lenho em florestas tropicais e subtropicais (ROIG, 2000; TOMAZELLO-FILHO et al., 2004; LISI et al., 2008; TOMAZELLO-FILHO; ROIG; POLLITO, 2009).

Apesar de os valores de intercorrelação entre séries deste trabalho serem mais altos do que a literatura pesquisada, a sensibilidade média encontrada para a maioria das espécies é bem similar com os trabalhos de dendrocronologia. Para correlações rbar, os valores observados em outros trabalhos, apesar de satisfatórios são mais baixos e para EPS, os resultados encontrados neste trabalho e na literatura são maiores que o valor crítico estabelecido. Quando correlacionados largura do anel de crescimento com clima, esse trabalho destacou a influencia significativamente positiva da precipitação e temperatura no Outono, principalmente nos meses de abril e maio, corroborados com a literatura. Em árvores de *C. speciosa* de dois sítios diferentes no Rio de Janeiro, analisadas por Vasconcellos, Tomazello-Filho e Callado (2019), com 65 e 41 anos, foi encontrado intercorrelação média da largura dos anéis de crescimento de 0.401 e 0.511 e sensibilidade média de 0.475 e 0.658, respectivamente, e quando correlacionadas com clima, precipitação e temperatura, foi observado que a espécie foi tolerante ao estresse hídrico e à ambientes poluídos, diferente do presente trabalho, que a espécie apresentou correlações negativas as variações climáticas, diminuindo o crescimento das árvores. Para *Ceiba pubiflora* com até 85 anos, Barbosa et al (2018) também observaram resultados acima dos valores críticos, sendo 0.326 e 0.685 para intercorrelação entre séries e sensibilidade respectivamente.

Apesar de ser uma espécie que apresentou resultados muito bons estatisticamente e as maiores correlações com precipitação neste trabalho, na literatura de *H. impetiginosus*, antigamente chamada de *Tabebuia impetiginosus*, os resultados encontrados se mostraram suficientes, porém bem mais baixos, sendo intercorrelação de 0.47, sensibilidade de 0.3, rbar de 0.17 e EPS de 0.83, indicando o bom potencial dendrocronológico da espécie (MENDIVELSO et al., 2014). A espécie ainda apresentou correlação positiva com a precipitação, com destaque de novembro a março. A literatura carece de mais pesquisas dendrocronológicas e de dendroclimatologia da espécie. Também não foi encontrado nenhuma referência de cronologia robusta de anéis de crescimento para *J. cuspidifolia*. Porém, o *Jacaranda copaia* estudado no Perú apresentou correlação

entre séries de 0.361 e sensibilidade média 0.364, registrando influência dos eventos climáticos extremos do El Niño, que resulta em épocas secas nas florestas e diminui o crescimento das árvores (CAHUANA et al., 2020). Já no Panamá, encontraram valores respectivos de autocorrelação, sensibilidade e rbar de 0.3, 0.36 e 0.4 e quando correlacionadas com o clima, foram significativamente positivas com o período chuvoso do ano corrente e negativas com a temperatura mínima (ALFARO-SÁNCHEZ et al., 2017). Para o gênero Jacaranda, os valores de sensibilidade da literatura média foram os mais similares encontrados neste trabalho. Por outro lado, observou-se correlação climática significativa apenas com a temperatura máxima local diferindo das pesquisas existentes.

Pitsch et al (2016), ao estudar *C. estrellensis*, não conseguiram construir uma cronologia robusta da espécie, pois em todas as árvores foram detectados anéis não demarcados, diferente dos resultados aqui apresentados. Porém, Oliveira (2015) encontrou uma correlação de 0.368 e sensibilidade de 0.488 para largura dos anéis de crescimento das árvores de *Cariniana legalis* plantadas em diferentes espaçamentos e com idade máxima de 38 anos, e resposta significativa positiva com a precipitação mensal acumulada de janeiro a agosto, ou seja, no verão do ano corrente, e negativa com a temperatura média mensal do ano anterior e atual. Moreno e Del Valle (2015) observaram que árvores de *Cariniana pyriformis* apresentaram sincronicidade em seu crescimento radial, com correlação 0.478, sensibilidade média 0.22 e EPS 0.92, e encontraram correlações positivas com a média anual de precipitação local da Colômbia, com destaque para Maio, quando inicia-se o período chuvoso e Setembro, quando as chuvas começam a diminuir, além de resultados significativos negativos com a temperatura média anual. Corroborando com o presente trabalho, as árvores de *C. estrellensis* estudadas também apresentaram correlações negativas significativas com a temperatura máxima do ano anterior e do ano corrente.

A espécie com maior influência na literatura dentre as estudadas foi a *H. courbaril*. A intercorrelação entre séries dendrocronológicas encontrada em três trabalhos de *H. courbaril* foi de 0.34 para árvores com aproximadamente 75 anos e sensibilidade média de 0.50, provindas de Minas Gerais, onde a espécie apresentou correlações positivas entre precipitação e largura de anel de crescimento, e negativas quando comparadas com a temperatura máxima (LOCOSSELLI et al., 2013); 0.44 e 0.35 foi a intercorrelação encontrada para árvores com 51 e 52 anos, respectivamente de dois sítios diferentes no Estado de São Paulo, com sensibilidade de 0.53 e 0.43, rbar 0.19 e 0.13, e EPS 0.89 e 0.73, com influência limitante da temperatura no crescimento da espécie (LOCOSSELLI et al., 2019); e em árvores com média de 104 anos em Goiás, a intercorrelação encontrada foi 0.44, o valor de sensibilidade 0.53, rbar 0.22, EPS mais alto que 0.85 e correlação positivamente significativa com a precipitação e de forma negativa com a temperatura máxima do ano prévio (LOCOSSELLI; SCHONGART; CECCANTINI et al., 2016). Este presente trabalho corrobora com os resultados encontrados por Locosselli, onde a temperatura máxima foi a variável climática responsável pelo impulsionamento do crescimento radial das árvores no mês de março e diminuindo significativamente seu crescimento no mês de julho, ambos do ano corrente (LOCOSSELLI et al., 2013; LOCOSSELLI; SCHONGART; CECCANTINI et al., 2016; LOCOSSELLI et al., 2019). Contudo, pode-se observar que existe grande potencial da dendrocronologia nos trópicos, onde existe resultados estatísticos satisfatórios, que demonstram a sincronização do crescimento radial das árvores e resposta direta às variações climáticas de precipitação e temperatura.

A largura dos anéis de crescimento é a metodologia mais precisa para determinar o crescimento do lenho das árvores através dos anos (SCHWEINGRUBER, 1996). Os resultados de incrementação em diâmetro

do tronco são importantes para a compreensão dos mecanismos subjacentes, como o acúmulo de biomassa, além de ser uma variável primária, ou seja, utilizada como base para outros resultados (BOWMAN et al., 2012). Através disso, considera-se que árvores maiores incrementam mais do que árvores pequenas, podendo ser extrapolado para grupos de sucessão ecofisiológicos, onde as pioneiras são de rápido crescimento, enquanto as clímax são de crescimento lento (MARTINS MACIEL et al., 2003; BOWMAN et al., 2012). Entretanto, em um experimento similar de plantio misto e na mesma área deste, o crescimento das árvores também foi diferente do esperado, quando, por exemplo, as árvores climáticas dominam os recursos disponíveis e as chamadas pioneiras não foram as que mais incrementaram em diâmetro a 30 cm do solo, reestruturando o conceito e excluindo a *C. speciosa* deste grupo (CAMPOE, STAPE; MENDES, 2010; CAMPOE et al., 2014). Também nesse mesmo estudo, Campoe et al (2014) demonstraram o nível de mortalidade das árvores de *C. speciosa*. Para altura, o mesmo comportamento é observado, onde diferenças no crescimento podem ser registrados devido a tolerância à sombra entre as espécies, e quando em plantios mistos, que possuem dossel estratificado, as pioneiras cresçam para sombrear as de espécies de crescimento lento (KELTY, 2006). Entretanto, não foram encontradas na literatura mensurações do diâmetro do tronco e altura a partir da dendrocronologia em árvores jovens (idade aproximada a 13 anos), provavelmente devido a influência de outros fatores ecológicos externos, como competição entre árvores e a sobrevivência na floresta, além da produção de lenho de juvenil, dificultando a visualização dos anéis de crescimento no lenho e não sendo possível obter um padrão de crescimento das árvores (SPEER, 2010; BOWMAN et al., 2012; BABST et al., 2018). Em um estudo realizado em área com árvores nativas próximas ao do presente trabalho, avaliando a área seccional transversal das pioneiras e não pioneiras, as condições climáticas de temperatura máxima e precipitação de Anhembi apresentaram correlações negativas. O mesmo padrão foi observado quando agrupou todas as árvores, não dividindo em grupos sucessionais. Não pioneiras não obtiveram correlação (CAMPOE et al., 2016).

Para determinar o crescimento de árvores tropicais e entender os processos ecológicos envolvidos, por exemplo a influência do clima, é essencial o estudo da densidade, principal propriedade física do lenho (CORNWELL et al., 2009; KRAFT et al., 2010; SHIMAMOTO et al., 2016; PADILHA; MARCO JUNIOR, 2018). A densidade aparente é influenciada diretamente pelas condições climáticas, pois considera-se o teor de umidade do material (PADILHA; MARCO JUNIOR, 2018; DIAS-JUNIOR et al., 2021). Entretanto, é necessário entender a interação entre as diferentes classes ecofisiológicas de sucessão e os efeitos sobre a densidade do lenho. Em um experimento similar na mesma área deste presente trabalho, Dias-Junior et al (2021) observaram que espécies de rápido crescimento como *Schinus terebinthifolius*, *Peltophorum dubium* e as de crescimento mais lento *C. estrellensis* e *H. courbaril* apresentou valores de densidade aparente significativamente diferentes, 0.63, 0.5, 0.78 e 0.98 g.cm⁻³ respectivamente. Além disso, encontraram tendência crescente de aumento da densidade aparente sentido medula-casca para espécies de rápido crescimento, homogeneidade de valores ao longo dos anos impossibilitando a demarcação correta de anéis de crescimento para *H. courbaril*, e heterogeneidade e instabilidade de valores menores próximo a medula da *C. estrellensis*. Por outro lado, em uma plantação de *Cariniana legalis*, Oliveira (2015) e Oliveira et al., (2017) não encontraram variação satisfatória da microdensidade aparente radial do lenho devido a influência do parênquima reticulado característico da família Lecythydaceae, não havendo alteração entre o lenho inicial e tardio. Porém, observou-se tendência decrescente na densidade das árvores no sentido medula-casca, ao longo dos anos. Essas tendências crescentes para algumas espécies de crescimento rápido (DIAS-JUNIOR et al., 2021) e crescimento mais lento

(OLIVEIRA et al., 2017; DIAS-JUNIOR et al., 2021; ORTEGA-RODRIGUEZ et al., 2022) foi explicada por Tomazello-Filho et al. (2008) que observou a influência do cerne e alburno na densidade aparente do lenho.

Estando diretamente relacionada com a densidade aparente do lenho, a densidade básica, reflete nas características ecológicas, como desempenho e aptidão das espécies na floresta (VIEILLEDENT et al., 2018), sendo considerada um indicador ecológico, responsável por fornecer a quantidade de massa específica por ano (LOCOSSELLI; BUCKERIDGE, 2017). Na literatura, existe diversas bases de dados que incluem os valores médios de densidade básica das espécies, como por exemplo o Global Wood Density Database, utilizado em larga escala nos trabalhos. No Brasil, a base de dados da Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e para a maioria das Instituições de pesquisa, como o Jardim Botânico de Rio de Janeiro. Segundo as bases de dados, foi encontrado os valores de densidade básica para as espécies: *C. speciosa* (0.224 a 0.54 g.cm⁻³), *H. impetiginosus* (0.79 g.cm⁻³), *J. cuspidifolia* (não encontrado), *C. estrellensis* (entre 0.56 e 0.78 g.cm⁻³), *H. coubaril* (0.59 – 1.00 g.cm⁻³). Entretanto, essas bases de dados ainda não apresentam algumas espécies tropicais, como por exemplo o *J. cuspidifolia*. Ainda, é mais interessante usar valores de massa específica da madeira afim de uma maior precisão nas informações em escala local, uma vez que a densidade da madeira é afetada ao longo dos anos e pode variar entre florestas de tipologias diferentes. Alguns trabalhos com extensas análises, calculam um fator de conversão dos dados de densidade aparente para básica (CHAVE et al., 2006; VIEILLEDENT et al., 2018). Nesta pesquisa, utilizou-se o fator de conversão de Villedent et al. (2018). Apesar disso, os valores encontrados neste presente trabalho foram corroborados pelas bases de dados. Assim como, a densidade básica do lenho é influenciada pelo crescimento do tronco, desenvolvimento de lenho juvenil e tardio e anatomia, a variável também é influenciada pelo clima (TOMAZELLO-FILHO et al., 2008; DE MIL et al., 2018; GONÇALVES et al., 2021).

Contudo, a densidade do lenho fornece informações importantes utilizados para a construção de cronologias robustas de parâmetros de qualidade da madeira, possibilitando a compreensão da função ecológica das espécies tropicais (SEIDL et al. 2017; GONÇALVES et al., 2021). Através disso, Gonçalves et al (2021) correlacionaram a densidade dos anéis de crescimento de *Nectandra amazonum* com as variáveis climáticas precipitação e temperaturas máximas e mínimas. O destaque foi as altas correlações da densidade e temperatura máxima em todo o ano. Em outro trabalho, Correa, Grajales e Escobar (2010) encontrou correlações negativas entre densidade máxima da madeira de *Rhizophora mangle* e precipitação total na Colômbia. Ao construir cronologias de densidade máxima do lenho de árvores tropicais na Amazônia, Worbes, Klosa e Lewark (1995) encontraram correlações positivas com períodos não inundados. Pritskow et al (2014) também encontrou relação entre densidade dos anéis de crescimento standardizados de *Pinus sylvestris* do norte da Suécia, sendo significativa positiva com a temperatura de julho e agosto e negativa com precipitação de novembro e dezembro. Devido a possibilidade de a densidade básica dos anéis de crescimento do lenho atuar como um dos principais indicadores ecológicos, esta é utilizada em equações alométricas para determinar valores de biomassa e estoque de carbono (BROWN, 1997; CHAVE et al., 2005; 2014; VIEILLEDENT et al., 2012; 2016; 2018).

O acúmulo de biomassa lenhosa tem atuação nos ciclos biogeoquímicos, climáticos, e em escalas locais e globais de biodiversidade (BOWMAN et al., 2012). Apesar da estimativa de biomassa e sequestro de carbono ser lentamente estudada a partir da largura dos anéis de crescimento (BABST et al., 2014), os resultados obtidos através da dendrocronologia e da microdensitometria de raios X são eficazes e mais precisos (BABST et al., 2014; ORTEGA-RODRIGUEZ; TOMAZELLO-FILHO, 2019; GONÇALVES et al., 2021; ZUIDEMA et

al., 2022). A largura dos anéis de crescimento, a altura das árvores e a densidade básica do lenho são variáveis diretamente proporcionais a produção de biomassa, inferindo-se que árvores maiores e mais densas vão incrementar mais biomassa (BOWMAN et al., 2012; BABST et al., 2018). Worbes e Raschke (2012) utilizando da metodologia da dendrocronologia encontraram valores de biomassa acumulada variando de 20 a 60 Kg em árvores de diferentes idades e separadas em stands. Campoe et al (2014) encontraram os seguintes valores médios de biomassa lenhosa da parte aérea mensurados a partir da mesma equação alométrica utilizada, porém utilizando diâmetro a 30 cm do solo em árvores com 2 anos e meio para dois tipos de tratamentos silviculturais, tradicional e intensivo: *C. estrellensis* (0.4 e 0.6 Kg), *C. speciosa* (0.5 e 2.6 Kg), *H. coubaril* (0.5 e 1.2 Kg), *J. cuspidifolia* (0.7 e 1.9 Kg) e *H. impetiginosus* (0.8 e 3.2 Kg). Em outro estudo na mesma área, Brancalion et al (2019b) encontrou até 75 Kg de biomassa estocada durante 12 anos, através de diversas mensurações do diâmetro a 30 cm do solo, com diferença na proporção de árvores pioneiras e não pioneiras plantadas.

Consequentemente, a biomassa está diretamente relacionada com o estoque de Carbono. A partir da equação de biomassa utilizada neste trabalho, e desenvolvida proximamente a área de estudo, com mesmo delineamento de plantio misto, ou seja, com espécies de diversos grupos sucessionais, Ferez et al (2015) observaram que as áreas de restauração florestal tropicais são potenciais mecanismos de sequestro de carbono em função do tempo. Assim, as pioneiras foram capazes de fixam carbono mais rápido, embora as não pioneiras mantem o carbono por mais tempo. Essa premissa também foi corroborada por Silver, Ostertag e Lugo (2001) e Redondo-Brenes e Montagnini (2006). Entretanto, a quantidade de biomassa acumulada, ou carbono pode ter influência das variações climáticas. Calculada biomassa para diferentes clones de Eucalipto, as árvores responderam de forma negativa com a precipitação e positiva com a temperatura (ROCHA et al., 2020). Porém, avaliando diferentes gradientes climáticos, em escala maior, o déficit hídrico médio de longo prazo influencia na restrição da biomassa das árvores, em comunidade (STEGEN et al., 2011). Ao analisar a influência climática na biomassa calculada através da dendrocronologia, infere-se que em regiões menos úmidas e quentes são amplificadas pela estação seca, sugerindo que a produção de incrementos e estoque de carbono de espécies tropicais será afetada pelo aquecimento global projetado (ZUIDEMA et al., 2022).

7. CONCLUSÃO

Juntamente com a descrição anatômica dos anéis de crescimento e a microdensitometria de raios X, a dendrocronologia foi uma metodologia eficaz para:

(i) Avaliação do crescimento em diâmetro do tronco das árvores, uma vez que as espécies *Cariniana estrellensis*, *Ceiba speciosa*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril* e *Jacaranda cuspidifolia* tiveram uma alta sincronicidade entre séries, com correlações acima do nível crítico estabelecido. Entretanto, não foi observado um padrão de crescimento das árvores obedecendo a ordem dos grupos ecofisiológicos, uma vez que a floresta ainda é considerada jovem.

(ii) Compreensão das características físicas da madeira de cada espécie, como a variação da densidade aparente do lenho ao longo dos anos, juntamente com o comportamento da densidade intra-anual, facilitando o processo de demarcação dos anéis de crescimento e objetivando a transformação em densidade básica, um indicador ecológico das espécies.

(iii) O cálculo do acúmulo de biomassa anual das árvores, indicando a quantidade de carbono que as espécies estocaram, com destaque para os climáxicas *C. estrellensis* e *H. courbaril* que mais incrementaram, seguidas do *H. impetiginosus* e *J. cuspidifolia*, e por fim a *C. speciosa*. Assim, possibilitou entender o comportamento das espécies na área estudada.

(iv) Comparação dessas análises com as variáveis climáticas, precipitação e temperatura anual e por estações meteorológicas, resultando que as espécies apresentaram mais correlações positivas no outono e negativas na primavera, além das climáxicas serem as que menos reagiram ao clima.

Entender a ecologia, o comportamento e as propriedades das espécies dentro de uma área de restauração florestal com diferentes grupos sucessionais é fundamental para entender a dinâmica ambiental de crescimento e a função que essas árvores têm no acúmulo de biomassa e carbono, possibilitando uma resposta direta as grandes mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO-JÚNIOR, A.; VENEGAS-GONZÁLEZ, A.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; CAMARGO, J. L. C.; TOMAZELLO-FILHO, M. What is the temporal extension of edge effects on tree growth dynamics? A dendrochronological approach model using *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke trees of a fragmented forest in the Central Amazon. **Ecological Indicators**, v. 101, p. 133-142, 2019.
- ALBIERO-JÚNIOR, A.; VENEGAS-GONZÁLEZ, A.; RODRÍGUEZ-CATÓN, M.; OLIVEIRA, J. M.; LONGHI-SANTOS, T.; GALVÃO, F.; TEMPONI, L. G.; BOTOSSO, P. C. Edge Effects Modify the Growth Dynamics and Climate Sensitivity of *Araucaria angustifolia* Trees. **Tree-Ring Research**, v. 76, n. 1, p. 11–26, 2020.
- ALBUQUERQUE, A. R.; CASTRO, V. R.; LOBÃO, M. S.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; GUEDES, F. T. P. Comparative analysis of anatomy and micro-densitometry of the growth rings of hardwoods and conifers, with emphasis on dendrochronology. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, 13p. 2016.
- ALFARO-SÁNCHEZ, R.; MULLER-LANDAU, H. C.; WRIGHT, S. J.; CAMARERO, J. J. Growth and reproduction respond differently to climate in three Neotropical tree species. **Oecologia**, v. 184, n. 2, p. 531-541, 2017.
- ALVARES, C. A., J. L. STAPE, P. C. SENTELHAS, J. L. M. GONÇALVES, AND G. SPAROVEK. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.
- ALVES, S. L.; ZAÚ, A. S.; OLIVEIRA, R. R. de; LIMA, D. F.; MOURA, C. J. R. de. Sucessão florestal e grupos ecológicos em Floresta Atlântica de encosta, Ilha Grande, Angra dos Reis / RJ. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v. 25, n.1, p. 26-32, 2005.
- ALVES, L. F.; METZGER, J. P. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, 2006.
- AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus* sp através da densitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.
- ARAGÃO, J. R. V.; GROENENDIJK, P. S.; LISI, C. S. Dendrochronological potential of four neotropical dry-forest tree species: Climate-growth correlations in northeast Brazil. **Dendrochronologia**, v. 53, p. 5-16, 2019.
- ASSIS-PEREIRA, G. DE; BARBOSA, A. C. M. C.; TORBENSON, M. C. A.; STAHL, D. W.; GRANATO-SOUZA, D.; SANTOS, R. M.; BARBOSA, J. P. D. The Climate Response of *Cedrela fissilis* Annual Ring Width in the Rio São Francisco Basin, Brazil. **Tree-ring research**, v. 74, n. 2, pp. 162–171, 2018.
- BABST, F.; ALEXANDER, M. R.; SZEJNER, P.; BOURIAUD, O.; KLESSE, S.; RODEN, J.; CIAIS, P. POLTER, B.; FRANK, D.; MOORE, D. J. P.; TROUET, V. A tree-ring perspective on the terrestrial carbon cycle. **Oecologia**, v. 176, p.307–322, 2014.
- BABST, F.; BODESHEIM, P.; CHARNEY, N.; FRIEND, A. D.; GIRARDIN, M. P.; KLESSE, S.; MOORE, D. J. P.; SEFTIGEN, K.; BJÖRKLUND, J.; BOURIAUD, O.; DAWSON, A.; DEROSE, R. J.; DIETZE, M. C.; ECKES, S.H; ENQUIST, B.; FRANK, D.C; MAHECHA, M. D.; POULTER, B.; RECORD, S.; TROUET, V.; TURTON, R. H.; ZHANG, Z.; EVANS, M. E. K. When tree rings go global: Challenges and opportunities for retro- and prospective insight. **Quaternary Science Reviews**, v. 197, p. 1-20, 2018.

- BARBOSA, A. C. M.; ASSIS-PEREIRA, G.; GRANATO-SOUZA, D.; SANTOS, R. M.; FONTES, M. A. L. Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry tropical forest. **Australian Journal of Botany**, v. 66, p. 414-427, 2018.
- BÉLLARD, C.; LECLERC, C.; LEROY, B.; BAKKENES, M.; VELOZ, S.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Global Ecology and Biogeographic**, v. 23, p.1376-1386, 2014.
- BOVI, R. C.; CHARTIER, M. P.; ROIG, F. A. TOMAZELLO-FILHO, M; CASTILLO, V. D.; COOPER, M. Dynamics of erosion processes in the tropics: a dendrogeomorphological approach in an Ultisol of southeastern Brazil. **Plant Soil**, v. 443, p. 369–386, 2019.
- BOWMAN, D. M. J. S.; BRIENEN, R. J. W.; GLOOR, E.; PHILLIPS, O. L.; PRIOR, L. D. Detecting trends in tree-growth: not so simple. Technical Report, **Trends in Plant Science**, v. 18. n. 1; 2013.
- BRANCALION, P. H. S.; SCHWEIZER, D.; GAUDARE, U.; MANGUEIRA, J. R.; LAMONATO, F.; FARAH, F. T.; NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R. Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. **Biotropica**, v. 48, p. 856-867, 2016.
- BRANCALION, P. H. S; NIAMIR, A.; BROADBENT, E.; CROUZEILLES, R.; BARROS, F. S. M.; ALMEYDA ZAMBRANO, A. M.; BACCINI, A.; ARONSON, J.; GOETZ, S. Goetz; REID, J. L.; STRASSBURG, B. B. N.; WILSON, S.; CHAZDON, R. L. Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science Advance**, v. 5, eaav3223, 2019a.
- BRANCALION, P. H. S.; CAMPOE, O.; MENDES, J. C. T.; NOEL, C.; MOREIRA, G. G.; VAN MELIS, J.; STAPE, J. L., GUILLEMOT, J. Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. **Ecological Applications**, v. 0, n. 0, e01847, 2019b.
- BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Technical Report, FAO Forestry Paper 134. **Food and Agriculture Organization**, Rome, Italy, 1997.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p
- BURTON, P. J.; BALISKY, A. C.; COWARD, L. P.; CUMMING, S. G.; KNEESHAW, D. D. The Value of Managing for Biodiversity. **The Forest Chronicle**, vol. 68, n. 2, p. 225-237, 1992.
- CAHUANA, L. A. P.; SOAREZ, J. C.; HUACAC, L. U. S.; ALVARADO, G. S.; GUEVARA, B. A. H. Potencial dendrocronológico de *Jacaranda copaia* que contiene registro ENSO en Madre de Dios, Perú. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 572-578, 2020.
- CALLADO, C. H.; ROIG, F. A.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BARROS, C. F. Cambial growth periodicity studies of South American woody species – A review, **IAWA Journal**, v. 34, n. 3, 2013.
- CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; MENDES, J. C. T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1808–1814, 2010.
- CAMPOE, O. C.; IANNELLI, C.; STAPE, J. L.; COOK, R. L.; MENDES, J. C. T.; VIVIAN, R. Atlantic Forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 299-242, 2014.
- CAMPOE, O. C.; MUNHOZ, J. S. B.; ALVARES, C. A.; CARNEIRO, R. L.; MATTOS, E. M. DE; FERREZ, A. P. C.; STAPE, J. L. Meteorological seasonality affecting individual tree growth in forest plantations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p. 149-160, 2016.

- CARLUCCI, M. B.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; LOYOLA, R.; CIANCIARUSO, M. V. Functional traits and ecosystem services in ecological restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, p. 1372-1383, 2020.
- CARLQUIST, S. **Comparative Wood Anatomy: Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood**. Springer-Verlag, Berlin, 448p., 2001.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa, v.1-5, 2003.
- CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145 p. 87–99, 2005.
- CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A.; STEEGE, H. T.; WEBB, C. O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, v. 16, p. 2356–2367, 2006.
- CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; SWENSON, N. G.; ZANNE, A. E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, p. 351–366, 2009.
- CHAZDON, R. L.; BROADBENT, E. N.; ROZENDAAL, D. M. A.; BONGERS, F.; ZAMBRANO, A. M. A.; AIDE, T. M.; BALVANERA, P.; BECKNELL, J. M.; BOUKILI, V.; BRANCALION, P. H. S.; CRAVEN, D.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; CABRAL, G. A. L.; DE JONG, B.; DENSLOW, J. S.; DENT, D. H.; DEWALT, S. J.; DUPUY, J. M.; DURÁN, S. M.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; FANDINO, M. C.; CÉSAR, R. G.; HALL, J. S.; HERNÁNDEZ-STEFANONI, J. L.; JAKOVAC, C. C.; JUNQUEIRA, A. B.; KENNARD, D.; LETCHER, S. G.; LOHBECK, M.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; MASSOCA, P.; MEAVE, J. A.; MESQUITA, R.; MORA, F.; MUÑOZ, R.; MUSCARELLA, R.; NUNES, Y. R. F.; OCHOAGAONA, S.; ORIHUELA-BELMONTE, E.; PEÑA-CLAROS, M.; PÉREZ-GARCÍA, E. A.; PIOTTO, D.; POWERS, J. S.; RODRÍGUEZ-VELAZQUEZ, J.; ROMERO-PÉREZ, I. E.; RUÍZ, J.; SALDARRIAGA, J. G.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; SCHWARTZ, N. B.; STEININGER, M. K.; SWENSON, N. G.; URIARTE, M.; VAN BREUGEL, M.; VAN DER WAL, H.; VELOSO, M. D. M.; VESTER, H.; VIEIRA, I. C. G.; BENTOS, T. V.; WILLIAMSON, G. B.; POORTER, L. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science Advances**, v. 2, n. 5, e1501639, 2016.
- COOK, E. R.; PETERS, K. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. **Tree-Ring Bulletin**, v. 41, p.45-53, 1981.
- COOK, E. R.; HOLMES, R. L. Users manual for program ARSTAN. In: Holmes, R.L., Adams, R.K., and Fritts, H.C. Tree-ring chronologies of western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. Chronology Series 6. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, p. 50–56, 1984.
- COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of Dendrochronology: Applications in the environmental sciences**. p. 394, 1ed., 1990.
- COOK, E. R.; BUCKLEY, B. M.; D'ARRIGO, R. D.; PETERSON, M. J. Warm-season temperatures since 1600 B.C. reconstructed from Tasmanian tree rings and their relationship to largescale sea surface temperature anomalies. **Climate Dynamics**, v. 16, p. 79–91, 2000.

- CORNWELL, W. K.; CORNELISSEN, J. H. C.; ALLISON, S. D.; BAUHUS, J.; EGGLETON, P.; PRESTON, C. M.; SCARFF, F.; WEEDON, J. T.; WIRTH, C.; ZANNE, A. E. Plant traits and wood fates across the globe: rotted, burned, or consumed? **Global Change Biology**, v. 15, p. 2431–2449, 2009.
- CORREA, J. A. R.; GRAJALES, E. C. M.; ESCOBAR, M. B. Anillos Anuales y Clima en *Rhizophora mangle* L. de la Bahía de Cispatá, Colombia. **Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín**, v. 63, n.2, p. 5639-5650, 2010.
- CROUZEILLES, R.; FERREIRA, M. S.; CHAZDON, R. L.; LINDENMAYER, D. B.; SANSEVERO, J. B. B.; MONTEIRO, L.; IRIBARREM, A.; LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B. N. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forest. **Science Advances**, v. 3, n. 11, e1701345, 2017.
- CROUZEILLES, R.; SANTIAMI, E.; ROSA, M.; PUGLIESE, L.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; METZGER, J. P.; CALMON, M.; SCARAMUZZA, C. A. DE M.; MATSUMOTO, M. H.; PADOVEZI, A.; BENINI, R. DE M.; CHAVES, R. B.; METZKER, T.; FERNANDES, R. B.; SCARANO, F. R.; SCHMITT, J.; LUI, G.; CHRIST, P.; VIEIRA, R. M.; SENTA, M. M. D.; MALAGUTI, G. A.; STRASSBURG, B. B. N.; PINTO, S. There is hope for achieving ambitious Atlantic Forest restoration commitments. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 2, p. 80- 83, 2019.
- CROUZEILLES, R.; MAURENZA, D.; PRIETO, P. V.; BARROS, F. S. M.; JAKOVAC, C.; FERREIRA, M. S.; CHAZDON, R. L.; LINDENMAYER, D. B.; BRANCALION, P. H. S.; CECCON, E.; ADAMS, C.; LAZOS-CHAVERO, E.; MONTEIRO, L.; JUNQUEIRA, A. B.; STRASSBURG, B. B. N.; GUARIGUATA, M. R. Associations between socio-environmental factors and landscape-scale biodiversity recovery in naturally regenerating tropical and subtropical forests. **Conservation Letters**, v. 14, e12768, 2021.
- DECOUX, V.; VARCIN, E.; LEBAN, J. M. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurement in conifers: consequences for the cell wall apparent density determination. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, n. 61, p. 251-262, 2004.
- DE MIL, T.; TARELKIN, Y.; HAHN, S.; HUBAU, W.; DEKLERCK, V.; DEBEIR, O.; VAN ACKER, J.; DE CANNIÈRE, C.; BEECKMAN, H.; VAN DEN BULCKE, J. Wood Density Profiles and Their Corresponding Tissue Fractions in Tropical Angiosperm Trees. **Forests**, v. 9, p. 763, 2018.
- DIAS, B. F. S. Estratégia mundial para a biodiversidade. **Revista Instituto Florestal**, v. 4, n. 1, p. 62-76, 1992.
- DIAS-JUNIOR, A. F.; PINCELLI, A. L. M. S.; SILVA, A. P. C. DA; SILVA, A. M. DA; SOUZA, N. D. DE; TOMAZELLO-FILHO, M.; BRITO, J. O. Integrating species and successional classes for wood production in a mixed forest restoration system in a neotropical region. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 2313-2321, 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBAPA, Brasília. 412 p.
- FEREZ, A. P. C.; CAMPOE, O. C.; MENDES, J. C. T.; STAPE, J. L. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 40–45, 2015.
- FLORSHEIM, S. M. B. **Identificação macroscópica de madeiras comerciais do Estado de São Paulo**. São Paulo, Instituto Florestal, 392p., 2020.

- FONTANA, C.; PÉREZ-DE-LIS, G.; NABAIS, C.; LOUSADA, J. L. P. C.; OLMEDO, G. M.; BOTOSSO, P. C.; OLIVEIRA, J. M. Climatic signal in growth-rings of *Copaifera lucens*: An endemic species of a Brazilian Atlantic Forest hotspot, southeastern Brazil. **Dendrochronologia**, v. 50, p. 23-32, 2018.
- FORTUNATO, M. E. M.; QUIRINO, Z. G. M. Efeitos da fragmentação na fenologia reprodutiva de espécies arbóreas presentes em borda e interior de Mata Atlântica Paraibana. **Rodriguésia**, v. 67, n. 3, p. 603-614, 2016.
- FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. New York: Academy Press, 567p, 1976.
- GÄRTNER, H.; NIEVERGELT, D. The core-microtome: A new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters. **Dendrochronologia**, v. 28, p. 85–92, 2010.
- GIBBS, H. K.; BROWN, S.; NILES, J. O.; FOLEY, J. A. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, v. 2, 045023, 2007.
- GONÇALVES, J. Q.; DURGANTE, F. M.; WITTMANN, F.; PIEDADE, M. T. F.; ORTEGA-RODRIGUEZ, D. R., TOMAZELLO-FILHO, M.; PAROLIN, P.; SCHONGART, J. Minimum temperature and evapotranspiration in Central Amazonian floodplains limit tree growth of *Nectandra amazonum* (Lauraceae). **Trees**, v. 35, p.1367–1384, 2021.
- GRASSI, G.; HOUSE, J.; DENTENER, F.; FEDERICI, D.; DEN ELZEN, M.; PENMAN, J. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 220–226, 2017.
- GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. **Tree-Ring Research**, v. 57, p. 205-221, 2001.
- HOUGHTON, R. A. Aboveground Forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, v. 11, p. 945–958, 2005.
- HOLMES, R. L. Computer-Assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement. **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, 1983.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE (IAWA). List of microscopic features of wood identification. **IAWA Bulletin**, Oakland, v. 10, n. 3, p. 226-332, 1989.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS (IBAMA). **Normas de procedimentos em estudos da anatomia da madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae**. Brasília, 1991. 19 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, In press, 2021.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, Adaption and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, And Cross-Chapter Boxes. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Changes**. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 199p. 2014.
- KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F. H. **Multilingual Glossary of Dendrochronology**. Paul Haupt Publishers, Berne, p.467, 1995.
- KELTY, M. J. The role of species mixtures in plantation forestry. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 195–204, 2006.

- KNAPIC, S.; PIRRALHO, M.; LOUZADA, J. L.; PEREIRA, H. Early assessment of density features for 19 Eucalyptus species using X-ray microdensitometry in a perspective of potential biomass production. **Wood Science and Technology**, v. 48, p. 37–49, 2014.
- KLUSEK, M.; MELVIN, T.M.; GRABNER, M. Multi-century long density chronology of living and sub-fossil trees from Lake Schwarzensee. **Austria Dendrochronologia**, v. 33, p. 42–53, 2015.
- LISI, C. S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; MARIA, V. R.; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIGT, A. R. Tree-Ring Formation, Radial Increment Periodicity, and Phenology of Tree Species from a Seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil, **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189-207, 2008.
- LOCOSSELLI, G. M.; BUCKERIDGE, M. S.; MOREIRA, M. Z.; CECCANTINI, G. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. **Trees, Structure and Functions**, v. 27, p. 25–36, 2013.
- LOCOSSELLI, G. M.; SCHONGART, J.; CECCANTINI, G. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. **Trees**, v. 30, p.1127–1136, 2016.
- LOCOSSELLI, G. M.; BUCKERIDGE, M.; S. Dendrobiochemistry, a missing link to further understand carbon allocation during growth and decline of trees. **Trees**, 2017.
- LOCOSSELLI, G. M.; KROTTENTHALER, S.; PITSCH, P.; ANHUF, D.; CECCANTINI, G. Impact of temperature on the growth of a Neotropical tree species (*Hymenaea courbaril*, Fabaceae) at its southern distribution limit. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, p. 1638 –1692, 2019.
- LOBÃO, M. S.; COSTA, D. P.; ALMONACID, M. A. A. TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizzolobium parahyba* var. *amazonicum*, Acre, Brasil. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.
- MARCELO-PEÑA, J. L.; ROIG, F. A.; GOODWIN, Z. A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. **Dendrochronologia**, v. 62, 125728, 2020.
- MARTINS- MACIEL, M. N. DE; WATZLAWICK, L. F.; SCHOENINGER, E. R.; YAMAJI, F. M. Classificação ecológica das espécies arbóreas. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 1, n. 2, p. 69-78, 2003.
- MEDEIROS, R. DA S.; SOUSA, L. K. V. DOS S.; FERREIRA, C. I.; VIEIRA, G.; TOMAZELLO-FILHO, M. Comparative anatomy of oleoresin producing and non-producing trees of *Copaifera multijuga* Hayne in primary forests and plantations. *Flora*, v. 263, p. 5-16, 2020.
- MENDIVELSON, H. A.; CAMARERO, J. J.; GUTIERREZ, E.; ZUIDEMA, P. Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: Short-term tolerance vs. long-term sensitivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 188, p. 13–23, 2014.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and human well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, D.C, 2005.
- MORENO, M. M.; DEL VALLE, J. I. Influence of local climate and ENSO on the growth of Abarco (*Cariniana pyriformis*) in Chocó, Colombia. **Trees**, v. 29, p. 97–107, 2015.

- MOYA-ROQUE, R.; TOMAZELLO-FILHO, M. Radial variation of the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees from different climatic and management conditions in Costa Rica. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 273-285, 2009.
- OLIVEIRA, I. R. de. **Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- OLIVEIRA, I. R.; CHAGAS, M. P.; BOUILLET, J. P.; LONGUI, E. L.; LIMA, I. L.; BORDRON, B.; FERREIRA, ANGEL B.; TOMMASIELLO FILHO, M. Effect of tree spacing on growth and wood density of 38-year-old *Cariniana legalis* trees in Brazil. **Southern Forests**, v. 5, p. 1-8, 2017.
- ORTEGA-RODRIGUEZ, D. R.; TOMAZELLO-FILHO, M. Clues to wood quality and production from analyzing ring width and density variabilities of fertilized *Pinus taeda* trees. **New Forests**, v. 50, p. 821-843, 2019.
- ORTEGA-RODRIGUEZ, D. R.; HEVIA, A.; SANCHEZ-SALGUERO, R.; SANTINI JUNIOR, L.; CARVALHO, H. W. P. DE; ROIG, F. A.; TOAZELLO-FILHO, M. Exploring wood anatomy, density and chemistry profiles to understand the tree-ring formation in Amazonian tree species. **Dendrochronologia**, v. 71, 125915, 2022.
- PADILHA, D. L.; MARCO-JUNIOR, P. DE. A gap in the woods: Wood density knowledge as impediment to develop sustainable use in Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 424, p.448-457, 2018.
- PAGOTTO, M. A.; DESOTO, L.; CARVALHO, A.; NABAIS, C.; TOMAZELLO-FILHO, M.; RIBEIRO, A.; LISI, C. S. Evaluation of X-ray densitometry to identify tree-ring boundaries of two deciduous species from semi-arid forests in Brazil. **Dendrochronologia**, v. 42, p. 94-103, 2017.
- PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; ABREU, H. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 165-175, 2002.
- PINTO, L. P.; BEDE, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. **Mata Atlântica Brasileira: os Desafios para Conservação da Biodiversidade de um Hotspot Mundial**. In: *Biologia da Conservação: Essências*, p. 91-118, 2006.
- PITSCH, P.; KROTTENTHALER, S.; LOCOSSELLI, G. M.; ALTMAN, J.; NEUWIRTH, B.; CECCANTINI, G. C. T. On the suitability of *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze for dendroclimatic studies: the problem of chronology building and trends in lifetime growth trajectories. **Erdkunde**, v. 71, n. 1, 2017.
- POLGE, H. **Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tariète sur des arbres vivants: applications dans les domaines technologique et physiologique**. *Annales des Sciences Forestières*, Paris, v. 23, n. 1, p. 1-206, 1966.
- POLGE, H. The use of x-ray densitometric methods in dendrochronology. **TreeRing Bulletin**, v. 30, p. 110, 1970.
- PRESSLER, M. R. *Der forstliche Zuwachsbohrer und dessen Anwendung*. Dresden, 1866.
- PRITZKOW, C.; HEINRICH, I.; GRUDD, H.; HELLE, G. Relationship between wood anatomy, tree-ring widths and wood density of *Pinus sylvestris* L. and climate at high latitudes in northern Sweden. **Dendrochronologia**, v. 32, p. 295-302, 2014.

- QUINTILHAN, M. T.; SANTINI JUNIOR, L.; ORTEGA-RODRIGUEZ, D. R.; GUILLEMOT, J.; CESILIO, G. H. M.; CHAMBI-LEGOAS, R.; NOUVELLON, Y.; TOMAZELLO-FILHO, M. Growth-ring boundaries of tropical tree species: Aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles. **Dendrochronologia**, v. 69, 125878, 2021.
- REDONDO-BRENES, A.; MONTAGNINI, F. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology e Management**, v. 232, p. 168–178, 2006.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROCA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 162, p. 1141-1153, 2009.
- ROCHA, S. M. G.; VIDAURRE, G. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, M. N. F.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O. C.; SCOLFORO, H. F.; ALVARES, C. A.; NEVES, J. C. L.; XAVIER, A. C.; FIGURA, M. A. Influence of climatic variations on production, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species. **Forest Ecology and Management**, v. 473, p.118-290, 2020.
- ROIG, F. A. **Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura**. En: Dendrocronología en América Latina. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, p. 307-355, 2000.
- SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E. T. A.; SALAS, W.; ZUTTA, B. R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S. L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL. A. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **PNAS**, v. 108, n. 4, 2011.
- SANTINI JUNIOR, L. **Estudo dendrológico e anatômico do lenho das árvores do Parque Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo: Subsídios para a sua conservação**. 2018. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- SANTINI JUNIOR, L.; FLORSHEIM, S. M. B.; TOMAZELLO-FILHO. **Anatomia e identificação da madeira de 90 espécies tropicais comercializadas em São Paulo**. Atena, 217p., e-book, 2021.
- SCHWEINGRUBER, F.H. Tree Rings and Environment-Dendrochronology. Haupt, Bern, 609 p., 1996.
- SEIDL, R.; THOM, D.; KAUTZ, M.; MARTIN-BENITO, D.; PELTONIEMI, M.; VACCHIANO, G.; WILD, J.; ASCOLI, D.; PETR, M.; HONKANIEMI, J.; LEXER, M. J.; TROTSIUK, V.; MAIROTA, P.; SVOBODA, M.; FABRIKA, M.; NAGEL, T. A.; REYER, C. P. O. Forest disturbances under climate change. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 395–402, 2017.
- SHIMAMOTO, C. Y.; BOTOSSO, P. C.; AMANO, E.; MARQUES, M. C. M. Stem growth rhythms in trees of a tropical rainforest in Southern Brazil. **Trees**, v. 30, p. 99–111, 2016.
- SILVA, M. DOS S.; FUNCH, L. S.; DA SILVA, L. B. The growth ring concept: seeking a broader and unambiguous approach covering tropical species. **Biological Reviews**, v. 94, p. 1161–1178, 2019.
- SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A. E. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agriculture and pasture lands. *Restoration Ecology*, v. 8, p. 394–407, 2001.
- SPEER, J. H. **Fundamentals of tree-ring research**. University of Arizona. 509p, 2010.

- STEGEN, J. C.; SWENSON, N. G.; ENQUIST, B. J.; WHITE, E. P.; PHILLIPS, O. L.; JØRGENSEN, P. M.; WEISER, M. D.; MONTEAGUDO-MENDOZA, A.; NÚÑEZ-VARGAS, P. Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, p. 744-754, 2011.
- STOKES, M. A.; SMILES, T. **An introduction to tree-ring dating**. University of Arizona Press, Tucson, 73p., 1996.
- STRASSBURG, B. B. N.; BEYER, H. L.; CROUZEILLES, R.; IRIBARREM, A.; BARROS, F.; SIQUEIRA, M. F. DE; SÁNCHEZ-TAPIA, A.; BALMFORD, A.; SANSEVERO, J. B. B.; BRANCALION, P. H. S.; BROADBENT, E. N.; CHAZDON, R. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. O.; GARDNER, T. A.; GORDON, A.; LATAWIEC, A.; LOYOLA, R.; METZGER, J. P.; MILLS, M.; POSSINGHAM, H. P.; RODRIGUES, R. R. SCARAMUZZA, C. A. DE M.; SCARANO, F. R.; TAMBOSI, L.; URIARTE, M. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs, **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, n. 1, p. 62-70, 2019.
- TABARELLI, M.; AGUIAR, A. V.; RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; PERES, C. A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, pp. 2328-2340, 2010.
- TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. **Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia**. In: MAIA, N. B.; MARTON, H. L.; BARRELA, W. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC; COMPED; INEP, p. 117-143, 2001.
- TOMAZELLO-FILHO, M.; LISI, C. L.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 46-55, 2004.
- TOMAZELLO-FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of X-ray technique in non-destructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas, Ciencia y tecnología**, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.
- TOMAZELLO-FILHO, M.; ROIG, F. A.; ZEVALLOS-POLLITO, P. A. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, v. 44, n. 2; p. 73-82, 2009.
- UNITED-NATIONS - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The role of diamonds in fuelling conflict: breaking the link between the illicit transaction of rough diamonds and armed conflict as a contribution to prevention and settlement of conflicts**. Resolution adopted by the General Assembly, 2019.
- VASCONCELLOS, T. J. DE; TOMAZELLO-FILHO, M.; CALLADO, C. H. Dendrochronology and dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae) exposed to urban pollution in Rio de Janeiro city, Brazil, **Dendrochronologia**, v. 53, p. 104-113, 2019.
- VENEGAS-GONZÁLEZ, A.; ROIG, F. A.; LISI, C. S.; ALBIERO- JUNIOR, A.; ALVARES, C. A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Drought and climate change incidence on hotspot *Cedrela* forests from the Mata Atlântica biome in southeastern Brazil. **Global Ecology and Conservation**, v. 15, e00408, 2018.
- VERDONE, M.; SEIDL, A. Time, space, place, and the Bonn Challenge global forest restoration target. **Restoration Ecology**, v. 25, p. 903-911, 2017.

- VIEILLEDENT, G.; VAUDRY, R.; ANDRIAMANOHISSA, S. F. D.; RAKOTONARIVO, O. S.; RANDRIANASOLO, H. Z.; RAZAFINDRABE, H. N.; RAKOTOARIVONY, C. B.; EBELING, J.; RASAMOELINA, M. A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. **Ecological Applications**, v. 22, p. 572–583, 2012.
- VIEILLEDENT, G.; GARDI, O.; GRINAND, C.; BURREN, C.; ANDRIAMANJATO, M.; CAMARA, C.; GARDNER, C. J.; GLASS, L.; RASOLOHERY, A.; RAKOTO RATSIMBA, H.; GOND, V.; RAKOTOARIJAONA, J. R. Bioclimatic envelope models predict a decrease in tropical forest carbon stocks with climate change in Madagascar. **Journal of Ecology**, v. 104, p. 703-715, 2016.
- VIEILLEDENT, G.; FISCHER, F. J.; CHAVE, J.; GUIBAL, D.; LANGBOUR, P.; GÉRARD, J. New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database. **American Journal of Botany**, v. 105, n.10, p. 1653-1661, 2018.
- VOIGT, A. R. A. SOFFIATTI, P.; TOMAZELLO-FILHO, M.; LISI, C. S. BOEGER, M. R. T. Anatomia comparada do lenho de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) em fisionomias de cerradão e cerrado sensu stricto¹. **Rodriguésia**, v. 61, n. 4, pp. 603-613, 2010.
- WATSON, J. M.; EVANS, T.; VENTER, O.; WILLIAMS, B.; TULLOCH, A.; STEWART, C.; THOMPSON, I.; RAY, J. C.; MURRAY, K.; SALAZAR, A.; MCALPINE, C.; POTAPOV, P.; WALSTON, J.; ROBINSON, J. G.; PAINTER, M.; WILKIE, D.; FILARDI, C.; LAURANCE, W. F.; HOUGHTON, R. A.; MAXWELL, S.; GRANTHAM, H.; SAMPER, C.; WANG, S.; LAESTADIUS, L.; RUNTING, R. K.; SILVA-CHÁVEZ, G. A.; ERVIN, J.; LINDENMAYER, D. The exceptional value of intact forest ecosystems. **Nature Ecology & Evolution**, v. 2, n. 4, p. 599-610, 2018.
- WHEELER, E. A.; BAAS, P.; GASSON, P. E. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Journal**, v. 10, p. 219–332, 1989.
- WIEDENHOEFT, A. C.; MILLER, R. B. Structure and function of wood. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla.: **CRC Press**, p. 9-33, 2005.
- WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R.; JONES, P. D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hyrometeorology. **American Meteorological Society**, v. 23, p. 201–213, 1984.
- WORBES, M.; FICHTLER, E. Wood anatomy and tree-ring structure and their importance for tropical dendrochronology. **Environmental Science**, v. 210, 2010.
- WORBES, M.; KLOSA, D.; LEWARK, S. Rohdichtestruktur von Jahresringen tropischer Hölzer aus zentralamazonischen Überschwemmungswäldern. **Holz als Roh- und Werkstoff**, p. 53:63, 1995.
- WORBES, M.; RASCHKE, N. Carbon allocation in a Costa Rican dry forest derived from tree ring analysis. **Dendrochronologia**, v. 30, p. 231–238, 2012.
- XIANG, W.; AUTY, D.; FRANCESCHINI, T.; LEITCH, M.; ACHIM, A. Wood density-climate relationships are mediated by dominance class in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). **Forests**, v. 5, p. 1163–1184, 2014.
- ZANNE, A. E.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; COOMES, D.A.; ILIC, J.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; MILLER, R. B.; SWENSON, N. G.; WIEMANN, M. C.; CHAVE, J. (Global Wood Density Database). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. **Dryad**, Dataset, 2009.

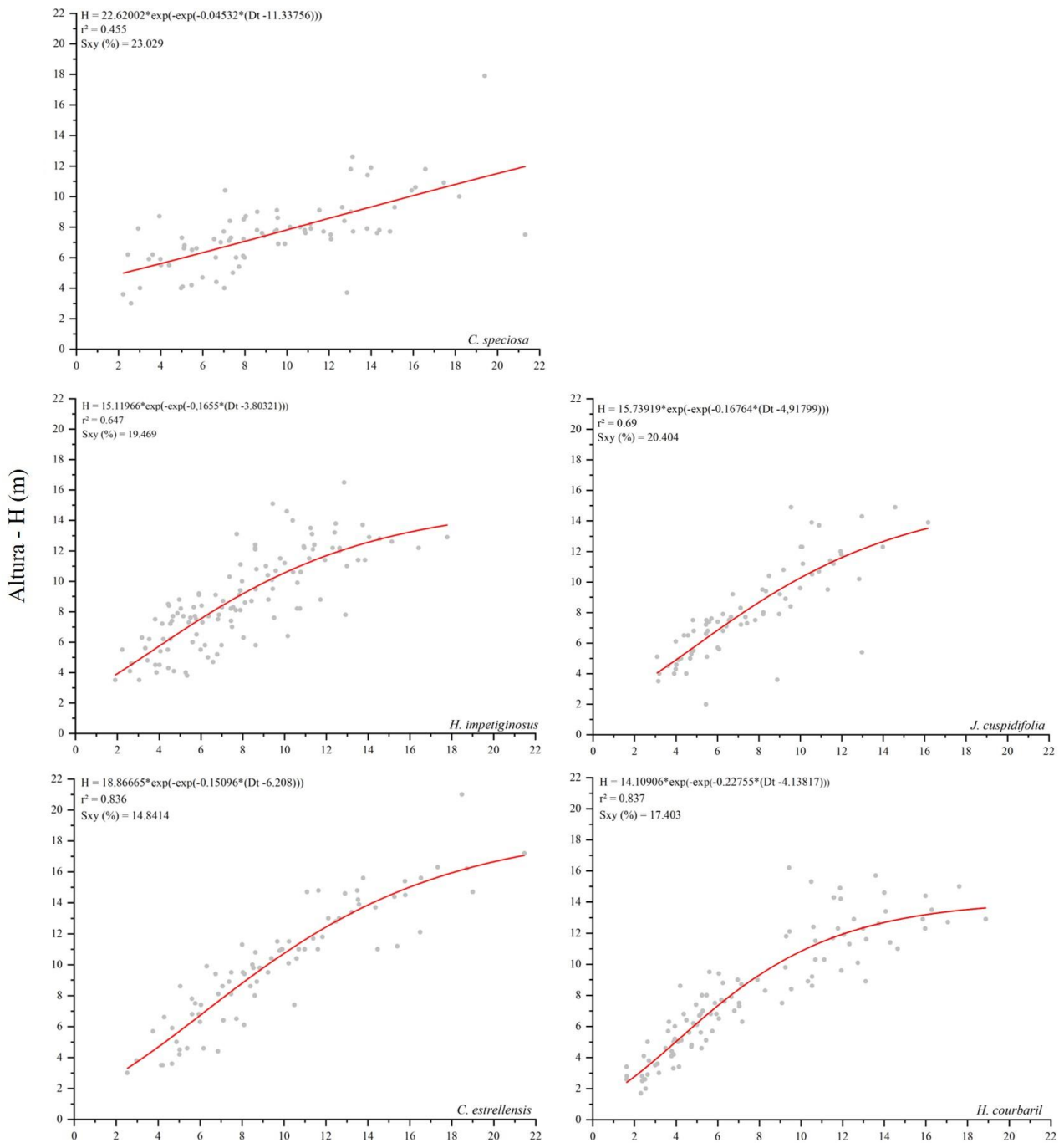
- ZAPPI, D. C.; RANZATO FILARDI, F. L.; LEITMAN, P.; SOUZA, V. C. V. C.; WALTER, B. M. T.; PIRANI, J. R.; MORIM, M. P.; QUEIROZ, L. P.; CAVALCANTI, T. B.; MANSANO, V. F.; FORZZA, R. C.; GRACINEIDE, S. S.; RAFAEL, F.; FLÁVIO, M.; MARIA, C. E.; ANDRÉ, M.; IVANILZA, M.; REGINA, H. P.; ELISETE, A.; LIDYANNE, Y. S.; FILHO, A.; JOÃO, L. M.; ANDREA, O.; ARICLENES, A. M.; MARÍA, M.; MARTA, C.; VIVIAN, A.; LUCAS, A. V.; MICHEL, J. F.; JOSÉ, F. A.; LUIS, C.; PAUL, E.; RAFAEL, A. X.; ROSELI, L. C.; CLÁUDIA, P.; JAMES, L.; MARIA, R. C.; RICARDO, S.; DOUGLAS, C.; STEFANO, D.; RODRIGO, D.; JULIE, H. A.; VALQUÍRIA, F. (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO). Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguesia*, v. 66, p. 1085–1113, 2015.
- ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. **Identificação macroscópica de madeiras**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, 2012.
- ZHENG, J.; MARTÍNEZ-CABRERA, H. I. Wood anatomical correlates with theoretical conductivity and wood density across China: evolutionary evidence of the functional differentiation of axial and radial parenchyma. *Annals of Botany*, v. 112, p. 927–935, 2013.
- ZIEMINSKA, K.; BUTLER, D. W.; GLEASON, S. M.; WRIGHT, I. J.; WESTOBY, M. Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. *AoB Plants*, v. 5, plt046, 2013.
- ZUIDEMA, P.A., BABST, F., GROENENDIJK, P. TROUET, V.; ABIYU, A.; ACUÑA-SOTO, R.; ADENESKY-FILHO, E.; ALFARO-SÁNCHEZ, R.; ARAGÃO, J. R. V.; ASSIS-PEREIRA, G.; BAI, X.; BARBOSA, A. C.; BATTIPAGLIA, G.; BEECKMAN, H.; BOTOSSO, P. C.; BRADLEY, T.; BRÄUNING, A.; BRIENEN, R.; BUCKLEY, B. M.; CAMARERO, J. J.; CARVALHO, A. CECCANTINI, G.; CENTENO-ERGUERA, L. R.; CERANO-PAREDES, J.; CHÁVEZ-DURÁN, A. A.; CINTRA, B. B. L.; CLEVELAND, M. K.; COURALET, C.; D'ARRIGO, R.; DEL VALLE, J. I.; DÜNISCH, O.; ENQUIST, B. J.; ESEMANN-QUADROS, K.; ESHETU, Z.; FAN, Z. X.; FERRERO, M. E.; FICHTLER, E.; FONTANA, C.; FRANCISCO, K. S.; GEBREKIRSTOS, A.; GLOOR, E.; GRANATO-SOUZA, D.; HANECA, K.; HARLEY, G. L.; HEINRICH, I.; HELLE, G.; INGA, J. G.; ISLAM, M.; JIANG, Y. M.; KAIB, M.; KHAMISI, Z. H. KOPROWSKI, M.; KRUIJT, B.; LAYME, E. LEEMANS, R.; LEFFLER, A. J.; LISI, C. S.; LOADER, N. J.; LOCOSSELLI, G. M.; LOPEZ, L.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, M. I.; LOUSADA, J. L. P. C.; MENDIVELSO, H. A.; MOKRIA, M.; MONTÓIA, V. R.; MOORS, E.; NABAIS, C.; NGOMA, J.; NOGUEIRA JÚNIOR, F. DE C.; OLIVEIRA, J. M.; OLMEDO, G. M.; PAGOTTO, M. A.; PANTHI, S.; PÉREZ-DE-LIS, G.; PUCHA-COFREP, D.; PUMIJUMNONG, N.; RAHMAN, M.; RAMIREZ, J. A.; REQUENA-ROJAS, E. J.; RIBEIRO, A. DE S.; ROBERTSON, I.; ROIG, F. A.; RUBIO-CAMACHO, E. A.; SASS-KLAASSEN, U.; SCHÖNGART, J.; SHEPPARD, P. R.; SLOTTA, F.; SPEER, J. H.; THERRELL, M. D.; TOIRAMBE, B.; TOMAZELLO-FILHO, M.; TORBENSON, M. C. A.; TOUCHAN, R.; VENEGAS-GONZÁLEZ, A.; VILLALBA, R. VILLANUEVA-DIAZ, J.; VINYA, R.; VLAM, M.; WILS, T.; ZHOU, Z. K. Tropical tree growth driven by dry-season climate variability. *Nature Geoscience*, 2022.

ANEXOS

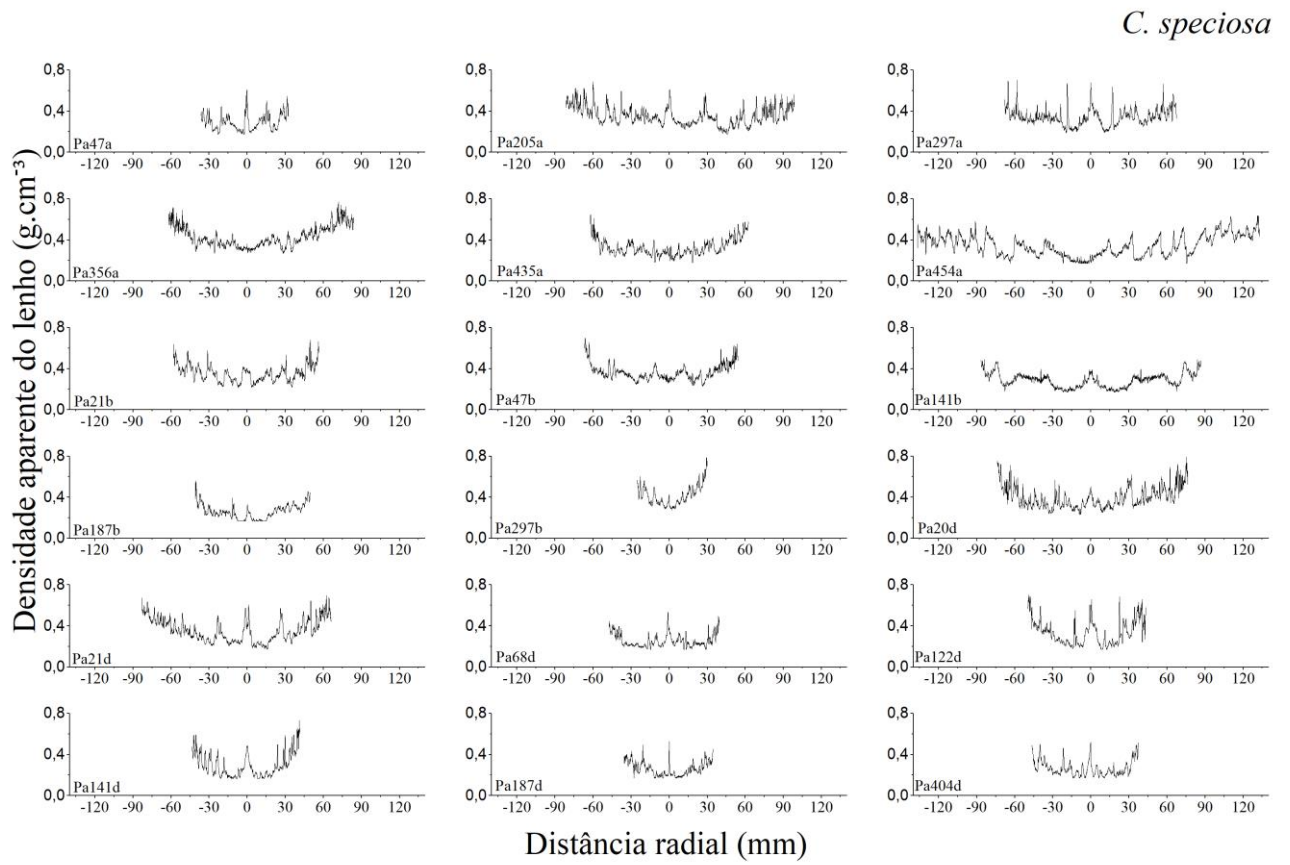
ANEXO A. Espécies plantadas no tratamento 1 do Experimento Biodiversidade, separadas pela Família.
(*espécies coletadas)

Família - Espécie
ANACARDIACEAE
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi
BIGNONIACEAE
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos*
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.*
EUPHORBIACEAE
<i>Croton urucurana</i> Baill.
FABACEAE
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong
<i>Erythrina falcata</i> Benth.
<i>Hymenaea courbaril</i> L.*
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.
<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose
LECYTHIDACEAE
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze*
LYTHRACEAE
<i>Lafoensia pacari</i> A. St. -Hill.
MALVACEAE
<i>Ceiba speciosa</i> (A. St. -Hill.) Ravenna*
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.
<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.
MELIACEAE
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.
MORACEAE
<i>Ficus guaranitica</i> Chodat

ANEXO B. Relação hipsométrica para determinação da altura pelo diâmetro do tronco das espécies.



ANEXO C. Perfis microdensitométricos das árvores de espécies nativas coletadas no Experimento Biodiversidade.

Figura 15. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *C. speciosa*.

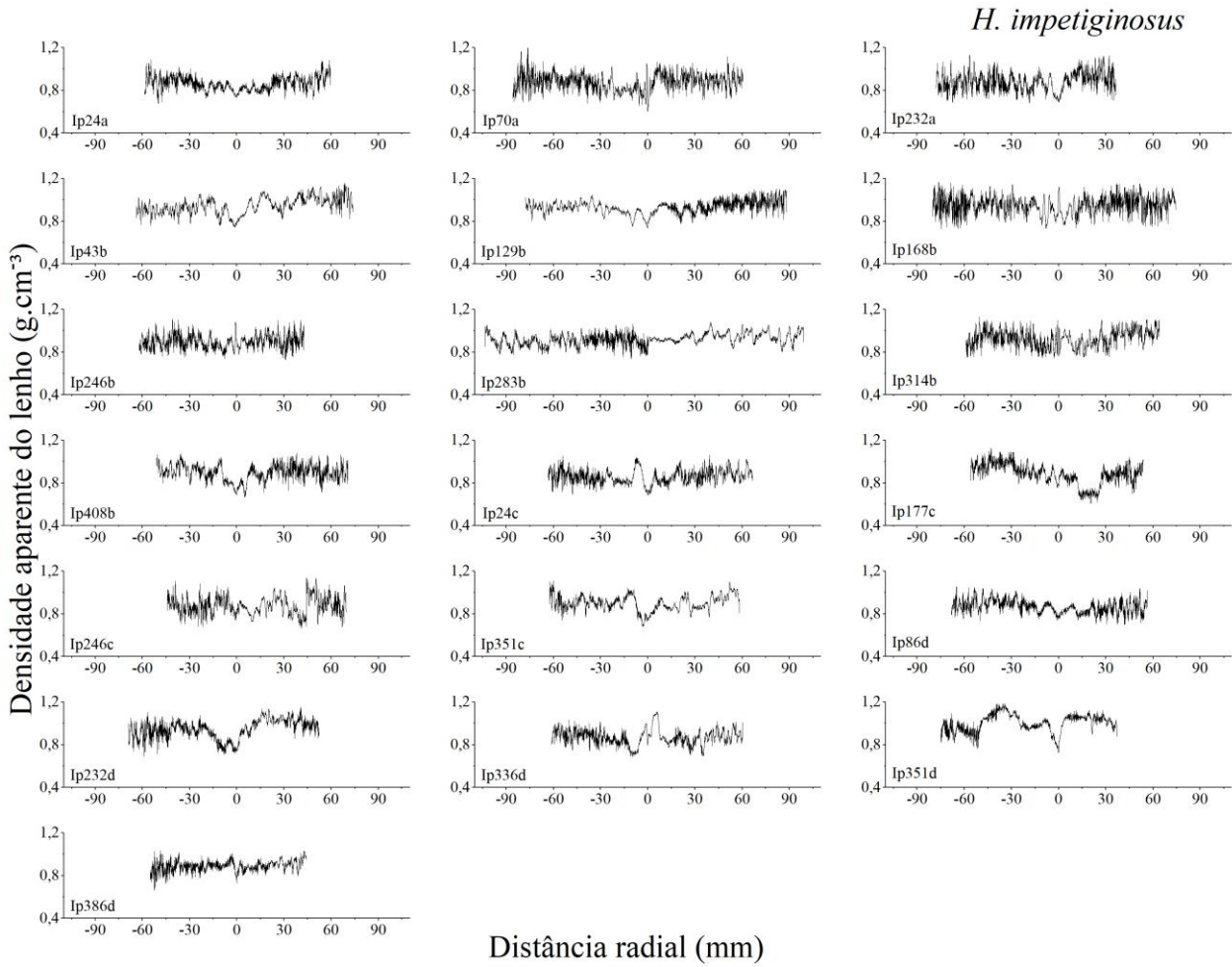


Figura 16. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *H. impetiginosus*.

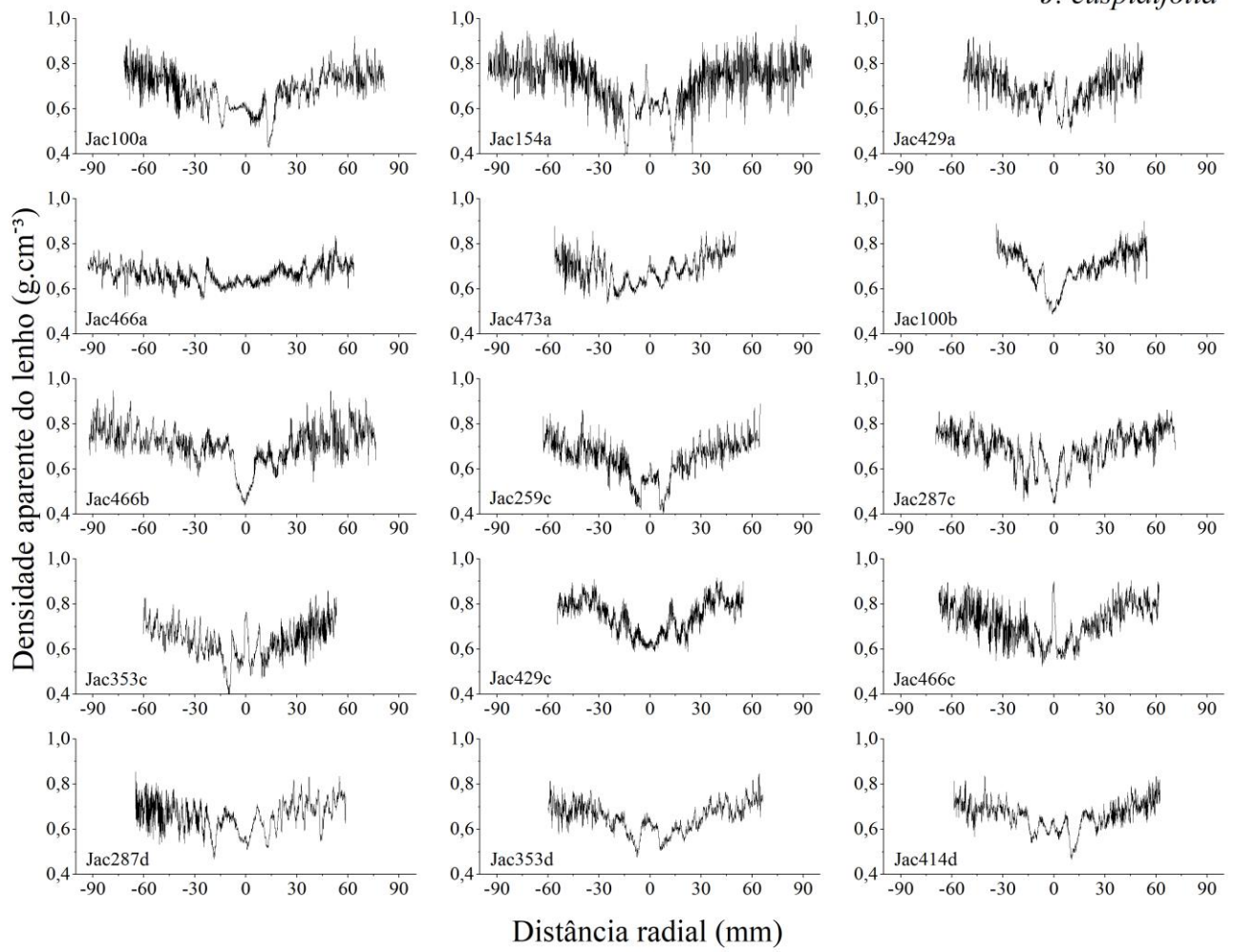
J. cuspidifolia

Figura 17. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *J. cuspidifolia*.

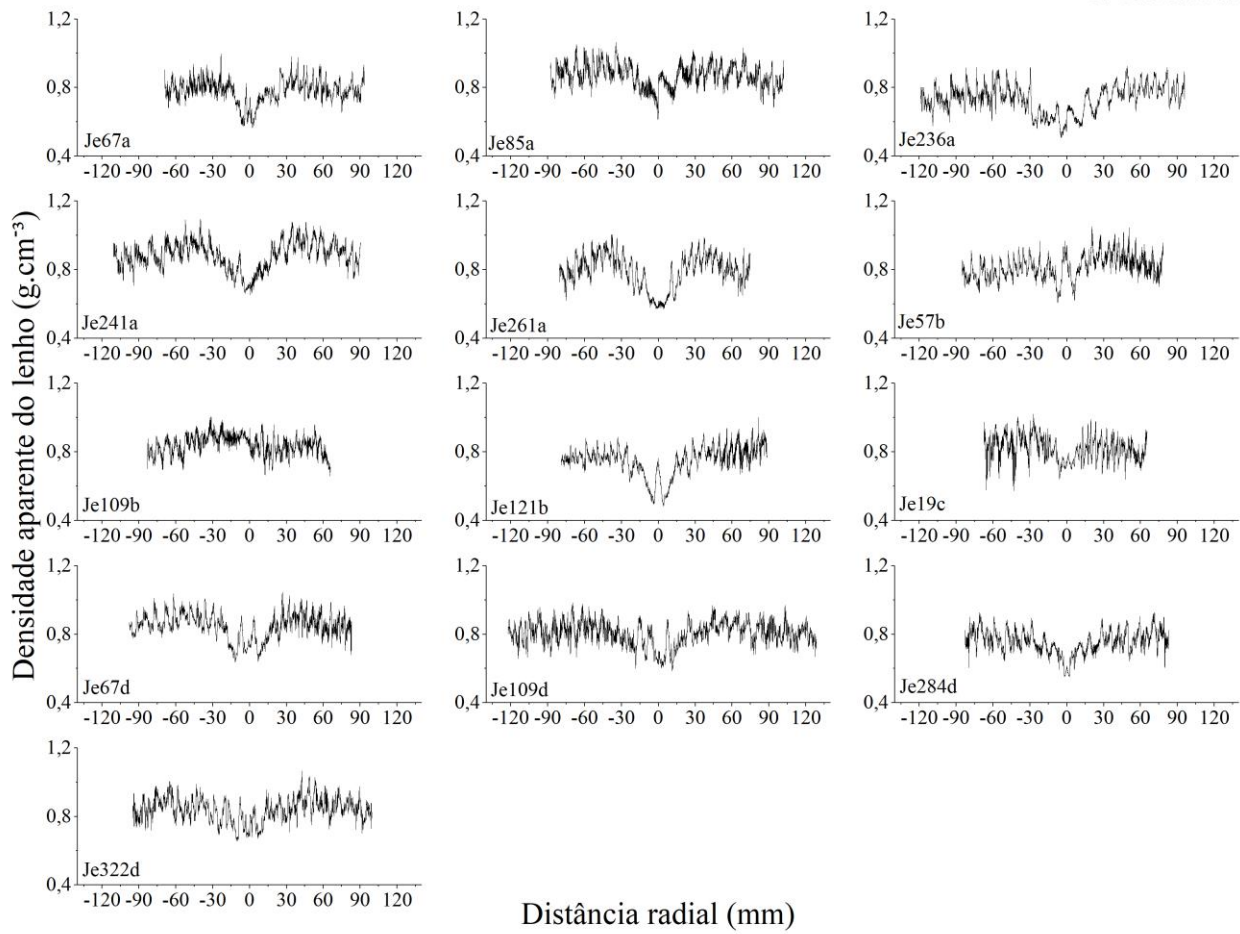
C. estrellensis

Figura 18. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *C. estrellensis*.

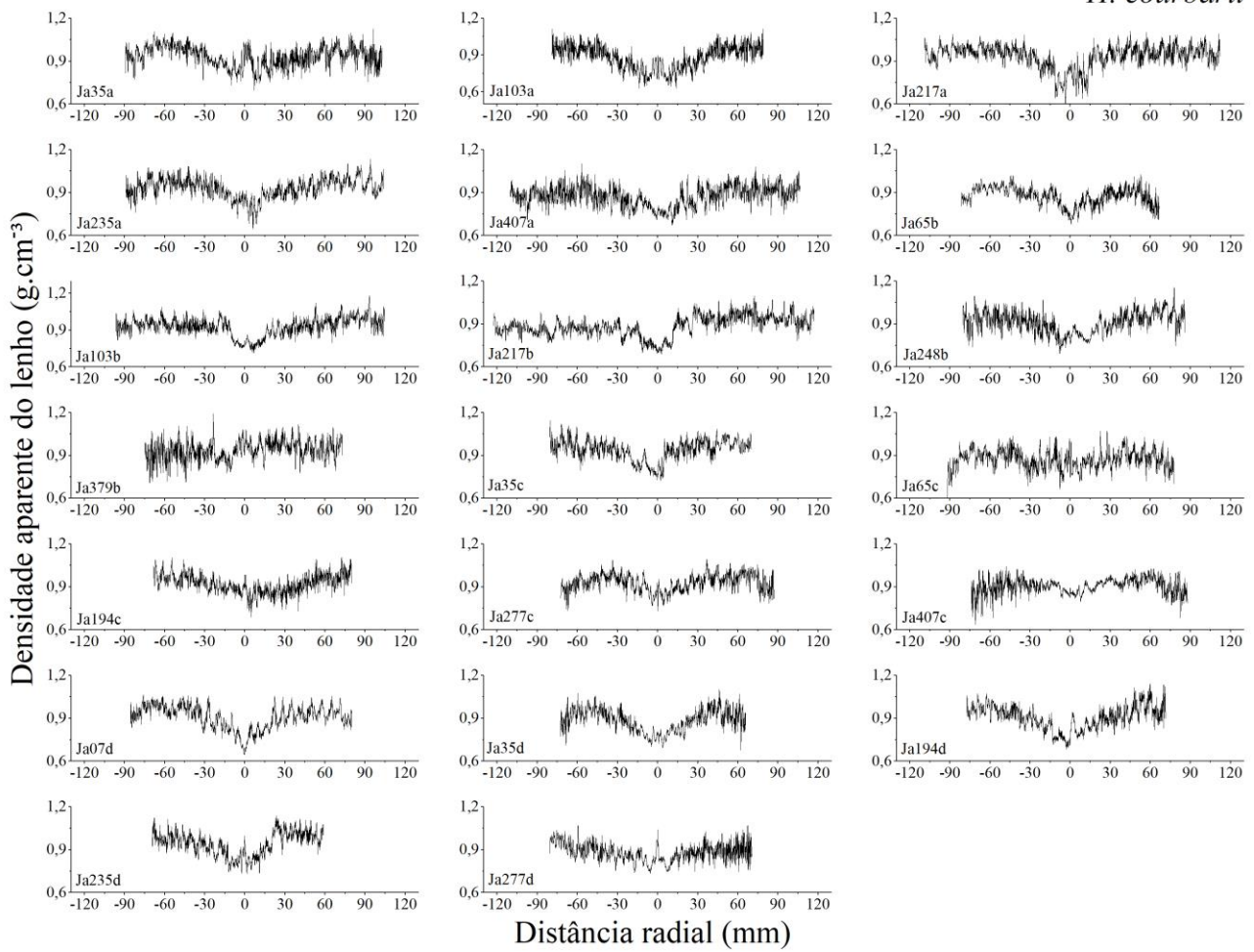
H. courbaril

Figura 19. Perfis de microdensidade aparente do lenho individual das árvores de *H. courbaril*.