



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS**

CAROLINA CARDOSO COSTA CAVALCANTE

Magister Scientiae

**POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DO
CERRADO SENTIDO RESTRITO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA
DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO, BRASIL**

**CUIABÁ, MT
2025**

CAROLINA CARDOSO COSTA CAVALCANTE

POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE UM
CERRADO SENTIDO RESTRITO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA
DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO, BRASIL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Jaçanan Eloisa de Freitas Milani
Coorientador: Dr. José Guilherme Roquette

CUIABÁ, MT
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C376p Cavalcante, Carolina Cardoso Costa.
Potencial dendrocronológico de espécies arbóreas de um cerrado sentido restrito no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, Brasil [recurso eletrônico] / Carolina Cardoso Costa Cavalcante. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 53 f., pdf). -- 2025.

Orientadora: Jaçanan Eloisa de Freitas Milani.
Coorientadora: José Guilherme Roquette.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2025.
Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.
Inclui bibliografia.

1. Restauração florestal. 2. indicadores ambientais. 3. dendrocronologia. 4. anéis de crescimento. I. Milani, Jaçanan Eloisa de Freitas, *orientador*. II. Roquette, José Guilherme, *coorientador*. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO SENTIDO RESTRITO DO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DO GUIMARÃES, MATO GROSSO

AUTORA: MESTRANDA CAROLINA CARDOSO COSTA CAVALCANTE

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2025.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. DOUTORA JAÇANAN ELOISA DE FREITAS MILANI (PRESIDENTE BANCA)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. DOUTORA JAÇANAN ELOÍSA DE FREITAS MILANI (ORIENTADORA)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. DOUTOR JOSÉ GUILHERME ROQUETTE (COORIENTADOR)

INSTITUIÇÃO: MINISTÉRIO PÚBLICO DE MATO GROSSO

4. DOUTORA BÁRBARA LUÍSA CORRADI PEREIRA (EXAMINADORA INTERNA)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

5. DOUTORA ERIKA AMANO (EXAMINADOR EXTERNO)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CUIABÁ, 27/02/2025



Documento assinado eletronicamente por **JACANAN ELOISA DE FREITAS MILANI**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 05/03/2025, às 18:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7640845** e o código CRC **610089FF**.

Referência: Processo nº 23108.011669/2025-91

SEI nº 7640845

AGRADECIMENTOS

A Deus o meu maior agradecimento a Ele dou toda honra, toda glória, pois nada disso seria possível sem a sua permissão.

Agradeço ao meu marido Gabriel Cavalcante por ser meu maior apoiador, meu incentivo e meu suporte, amo você.

A minha mãe Zenaide Cardoso por seu maior exemplo e por ter me ensinado que podemos sim chegar aonde sempre sonhamos estar.

As minhas amigas “Green” Ariany, Jackeline, Andrea, Thamiris, por mostrar que com amigos verdadeiros a jornada pode ser ressignificada todos os dias, que compartilhamentos diários aquecem o coração e nos deixam mais fortes.

A minha orientadora Jaçanan pelo seu ótimo trabalho como orientadora e por todo o apoio ao longo do mestrado e ao coorientador José Guilherme por todo auxílio e suporte na elaboração desse projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), à qual agradeço a concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCFA), à equipe do Laboratório de Conservação da Natureza por todo o auxílio com os materiais de campo e por toda a contribuição para esse trabalho.

As Professoras e Doutoradas Barbara Corradi e Érika Amano, por compor minha banca examinadora e contribuir com apontamentos que enriqueceram este trabalho. Ao Prof. Dr. Cyro Matheus Cometti Favalessa pelo aceite do convite em contribuir com esse estudo como banca suplente.

Ao professor Dr^o Mario Tommasiello Filho por suas considerações enriquecedoras ao trabalho, e ao Laboratório de Anatomia, Identificação de Madeiras (LAIM), da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), pela parceria, auxílio e disponibilização de equipamentos para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço ao projeto do Ministério Público por realizar a parceria com a Faculdade de Engenharia Florestal e por financiar e dar todo o suporte a pesquisa.

Ao Laboratório de Scarabaeoidologia – UFMT por nos dar suporte necessário para obtermos imagens macroscópicas das amostras por meio do equipamento de fotomontagem Leica M205C.

A todos que, de alguma forma, me apoiaram direta e indiretamente nessa jornada.

De todo meu coração, meu muito obrigada.

O amor, a dor e o conhecimento
São as três coisas que mudam o indivíduo para sempre
-Autor Desconhecido

RESUMO

CAVALCANTE, Carolina Cardoso Costa da. M. Sc. Universidade Federal de Mato Grosso, fevereiro de 2025. Potencial dendrocronológico de espécies arbóreas de um Cerrado Sentido Restrito no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, Brasil. Orientadora: Jaçanan Eloisa de Freitas Milani-Coorientador José Guilherme Roquette.

A capacidade de registrar e investigar essas mudanças constitui uma ferramenta para a compreensão dos impactos e consequências dessas transformações ambientais. Neste contexto, a análise anatômica e a mensuração da largura dos anéis de crescimento constituem abordagens relevantes para a identificação de padrões climáticos históricos. Esta dissertação tem como objetivo avaliar a viabilidade de estudos dendrocronológicos com 16 espécies lenhosas do bioma Cerrado. O primeiro capítulo contempla uma revisão bibliométrica da literatura científica relacionada à dendrocronologia, com base em publicações indexadas nas bases de dados Scopus, Web of Science e Scielo, utilizando os descritores: “dendrochronology”, “growth ring” and “tree ring”. A análise considerou os principais autores da área, os anos com maior número de publicações, redes de coautoria, periódicos com maior volume de publicações e a frequência das palavras-chave, resultando na elaboração de uma nuvem de palavras. Os resultados permitiram delinear o estado da arte da dendrocronologia no Brasil, revelando avanços significativos em diferentes regiões do país. Entretanto, observou-se uma lacuna substancial de estudos voltados ao bioma Cerrado, apesar de sua expressiva importância ecológica e da crescente pressão antrópica, especialmente pelo desmatamento. O segundo capítulo teve como finalidade caracterizar o lenho de espécies do Cerrado sentido restrito do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, com vistas à identificação de espécies com potencial para estudos dendrocronológicos, foram descritas as características anatômicas macroscópicas e avaliados os tipos e limites dos anéis de crescimento. Foram selecionadas 16 para análise. O método de coleta foi realizado por meio do método não destrutivo, utilizando sonda de Pressler consistindo na retirada de cilindros do lenho de 5 mm de diâmetro no DAP (diâmetro à altura do peito, 1,30 m) do tronco das árvores. Todas foram polidas e analisadas sob microscópio estereoscópico, com lente de aumento 10x para descrição anatômica. A maioria das espécies apresentou parênquima axial em faixas, porosidade difusa e camadas de crescimento bem definidas, delimitadas por zonas fibrosas escuras. Essas estruturas são comuns em espécies do Cerrado devido à sazonalidade climática, que influencia a atividade cambial e a formação do xilema. As características anatômicas das espécies do Cerrado refletem adaptações funcionais ao ambiente, como o equilíbrio entre transporte de água, suporte mecânico e armazenamento de carboidratos. A semelhança anatômica entre espécies do mesmo grupo ecológico contribui para a compreensão das adaptações do bioma. A análise da estrutura dos anéis de crescimento é essencial para estudos dendrocronológicos, permitindo compreender a variação ambiental ao longo do tempo.

Palavras-chave: Restauração florestal, indicadores ambientais, dendrocronologia, anéis de crescimento.

ABSTRACT

CAVALCANTE, Carolina Cardoso Costa da. M. Sc. Universidade Federal de Mato Grosso, february, 2025. Dendrochronological potential of tree species from a restricted cerrado in the Chapada dos Guimarães national park, Mato Grosso, Brazil. Advisor: Jaçanan Eloisa de Freitas Milani-co-supervisor José Guilherme Roquette.

The ability to record and investigate these changes is a crucial tool for understanding the impacts and consequences of these environmental transformations. In this context, anatomical analysis and the measurement of growth ring width are relevant approaches for identifying historical climate patterns. This dissertation aims to evaluate the feasibility of dendrochronological studies involving 16 woody species from the Cerrado biome. The first chapter presents a bibliometric review of scientific literature related to dendrochronology, based on publications indexed in the Scopus, Web of Science, and SciELO databases, using the descriptors: “dendrochronology,” “growth ring,” and “tree ring.” The analysis considered the leading authors in the field, the years with the highest number of publications, co-authorship networks, journals with the greatest volume of publications, and keyword frequency, resulting in the creation of a word cloud. The results outlined the state of the art of dendrochronology in Brazil, revealing significant progress in various regions of the country. However, a substantial gap was observed in studies focused on the Cerrado biome, despite its significant ecological importance and the increasing anthropogenic pressure, especially from deforestation. The second chapter aimed to characterize the wood of species from the strict-sense Cerrado of the Chapada dos Guimarães National Park, in order to identify species with potential for dendrochronological studies. The macroscopic anatomical characteristics were described, and the types and boundaries of growth rings were evaluated. Sixteen species were selected for analysis. The samples were collected using a non-destructive method, employing a Pressler increment borer to extract wood cores 5 mm in diameter, from trees with diameters at breast height (DBH, measured at 1.30 m). All samples were polished and analyzed under a stereoscopic microscope with 10x magnification for anatomical description. Most species exhibited banded axial parenchyma, diffuse porosity, and well-defined growth rings, delimited by dark fibrous zones. These structures are common in Cerrado species due to climatic seasonality, which influences cambial activity and xylem formation. The anatomical characteristics of Cerrado species reflect functional adaptations to the environment, such as balancing water transport, mechanical support, and carbohydrate storage. Anatomical similarity among species of the same ecological group contributes to the understanding of biome adaptations. The analysis of growth ring structure is essential for dendrochronological studies, enabling the understanding of environmental variation over time.

Keywords: Forest restoration, environmental indicators, dendrochronology, growth rings.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	8
1 Introdução geral	8
2 Referências.....	10
CAPÍTULO I: DENDROCRONOLOGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E LACUNAS DE PESQUISA ..	
1 Introdução	13
2 Material e Métodos	14
3 Resultados e Discussão	16
4 Conclusões	24
5 Referências.....	25
CAPÍTULO 2: DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DO LENHO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO SENTIDO RESTRITO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO, BRASIL	
1 Introdução	29
2 Objetivo Geral.....	30
2.1. Objetivos específicos	30
3 Materiais e Métodos.....	30
5.2 Área de Estudo.....	30
5.2 Coleta de material e preparação das amostras de madeira.....	31
5.2 Caracterização macroscópica do xilema.....	33
4 Resultados	33
5.2 Descrição macroscópica	37
5 Discussão	43
6 Conclusões e recomendações.....	46
7 Referências.....	47

APRESENTAÇÃO

Essa pesquisa integra a primeira etapa do projeto “Conhecendo as presentes e futuras gerações florestais: subsídios para a conscientização ecológica e reparação dos danos ambientais causados pelos desmatamentos ilegais da vegetação nativa no Estado de Mato Grosso”, o objetivo desse projeto é conhecer a idade e a longevidade das principais espécies da vegetação nativa dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal do Estado de Mato Grosso, assim como as taxas de crescimento e armazenamento de carbono. Esta dissertação, em particular, contempla informações sobre a **1ª ETAPA – Savana Arborizada / Savana Florestada - Cerrado**.

Além da contribuição científica, os resultados do projeto serão fundamentais para a conscientização ambiental da sociedade sobre os impactos do desmatamento ilegal e poderão subsidiar o Ministério Público do Estado de Mato Grosso em ações de reparação dos danos ambientais. Essas ações incluem desde a estimativa temporal para o cálculo dos lucros cessantes, com o objetivo de definir indenizações pecuniárias, até o planejamento e a execução de projetos de restauração *in situ* e *in natura* da vegetação nativa, alinhados aos princípios da sustentabilidade ecológica.

A presente dissertação foi elaborada em formato de capítulo. O primeiro capítulo apresenta uma revisão bibliométrica dos estudos relacionados à dendrocronologia desenvolvidos e publicados no Brasil, com o objetivo de contextualizar o estado da arte, evidenciando os principais avanços, contribuições científicas e lacunas de informação.

O segundo capítulo explora a análise macroscópica do lenho de 16 espécies do Cerrado, com o propósito de identificar e caracterizar seus anéis de crescimento, com o intuito de determinar o potencial dendrocronológico dessas espécies, dando continuidade no objetivo principal do projeto.

1 Introdução geral

O Cerrado é um bioma que vivencia variações sazonais no clima, caracterizadas por períodos prolongados de estiagem, favorecendo a ocorrência de incêndios florestais em determinada época do ano, seguidos por chuvas intensas em outra. Regiões que apresentam variações sazonais acentuadas geralmente amplificam as respostas fisiológicas das plantas ao clima, oferecendo uma oportunidade para a identificação dos ciclos anuais de crescimento das árvores (Cook e Kairiukstis, 2013).

Os fenômenos climáticos extremos são caracterizados por verões excepcionalmente quentes em uma escala global (Hansen et al., 2012), secas severas, (Aguilar et al., 2005; Vale et al., 2011; Nielsen-Gammon, 2012), e tempestades invernais (Vose et al., 2014; Harley et al., 2017), os quais possuem o potencial de alterar significativamente a dinâmica das florestas.

Sabe-se que as plantas apresentam diferentes níveis de tolerância às variações climáticas, sendo que algumas espécies de árvores tropicais, por exemplo, são particularmente suscetíveis a condições climáticas extremas. No entanto, ainda não é totalmente compreendido como essas espécies estão respondendo às recentes mudanças climáticas (Bonan, 2008; Corlett, 2016).

As savanas tropicais, como o Cerrado, distinguem-se por um equilíbrio complexo entre árvores e gramíneas, sustentado por interações dinâmicas entre clima, tipos de solo e ocorrência de fogo (Lehmann *et al.*, 2014). À medida que a densidade arbórea se modifica, o ambiente se torna mais ou menos propício para determinadas espécies, resultando em um mosaico de paisagens com composições ecológicas específicas (Bowman & Panton, 1993; Hoffmann *et al.*, 2004; Mariano *et al.*, 2019).

A dendrocronologia é uma ciência que se baseia no princípio de que as plantas com xilema (madeira) formam anéis de crescimento anuais em resposta às condições climáticas sazonais, como variações de temperatura e/ou umidade (Fritts, 1971). Ainda, as informações presentes nos anéis de crescimento das plantas podem ser associadas com fatores ambientais que influenciam o seu crescimento e desenvolvimento (Brienen et al., 2012). Ajudando a identificação e reconstrução das condições climáticas passadas, bem como das variações ambientais e da dinâmica dos ecossistemas florestais ao longo do tempo (Botosso e Mattos, 2002).

Assim, além do clima, existem outras condições que podem ser estudados para compreender melhor as interações entre os ambientes naturais e os organismos ao longo do tempo, tais como a ocorrência de incêndios, ataque de pragas e doenças, inundações, entre outras (Bräker, 2002).

A investigação dos anéis de crescimento das árvores do Cerrado possibilita a identificação de períodos de queimadas passadas e a compreensão do impacto desses eventos sobre o crescimento vegetal e a dinâmica do ecossistema ao longo do tempo (Santos *et al.*, 2013; López, 2009). Existe uma lacuna de conhecimento sobre a dendrocronologia de espécies nativas do Cerrado. Como consequência, ainda sabemos pouco sobre os impactos das mudanças climáticas na fenologia e genealogia do bioma.

Sendo assim, devido a maior vulnerabilidade de ecossistemas tropicais às mudanças do clima (Schöngart and Junk, 2007), essa dissertação realizou uma revisão bibliométrica sobre a dendrocronologia no Brasil, identificando temas principais, evolução das publicações, periódicos mais relevantes, artigos de maior impacto e principais pesquisadores. Além disso, analisou os anéis de crescimento de 16 espécies do Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (MT) para avaliar seu potencial em estudos dendrocronológicos e apoiar futuras pesquisas.

2 Referências

- AGUILAR, E. *et al.* Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 110, n. D23, 2005.
- BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, v. 320, n. 5882, p. 1444–1449, 2008.
- BOTOSSO, P. C.; DE MATTOS, P. P. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação. *Embrapa Florestas-Docmentos* (INFOTECA-E), 2002.
- BRÄKER, O. U. Measuring and data processing in tree-ring research – a methodological introduction. *Dendrochronologia*, Verona, v. 20, n. 1–2, p. 203–216, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00017>.
- BRIENEN, R. J. W. *et al.* Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. *Global Change Biology*, v. 16, n. 7, p. 2001–2012, 2010.
- COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer Science & Business Media, 2013.
- CORLETT, R. T. The impacts of droughts in tropical forests. *Trends in Plant Science*, v. 21, n. 7, p. 584–593, 2016.
- FRITTS, H. C. Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research*, v. 1, n. 4, p. 419–449, 1971.
- HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n. 37, p. E2415–E2423, 2012.
- HARLEY, M. D. *et al.* Extreme coastal erosion enhanced by anomalous extratropical storm wave direction. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 6033, 2017.
- KELLEY, C. P. *et al.* Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 11, p. 3241–3246, 2015.
- LOPES, S. F. *et al.* Efeito De Queimadas Sobre A Estrutura E Composição Da Comunidade Vegetal Lenhosa Do Cerrado Sentido Restrito Em Caldas Novas, GO. R. Árvore, Viçosa-MG, v.33, n.4, p.695-704, 2009.
- NIELSEN-GAMMON, J. W. The 2011 Texas drought. *Texas Water Journal*, v. 3, n. 1, p. 59–95, 2012.
- SANTOS, L. S.; LISI, C. S.; CAMPELO, F.; VIEIRA, J.; NABAIS, C. Aplicação das características das células vegetais como subsídio para a dendrocronologia. 64º Congresso Nacional de Botânica. Belo Horizonte, 10-15 de Novembro de 2013.
- SCHÖNGART, J.; JUNK, W. J. Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-indices. *Journal of Hydrology*, v. 335, p. 124–132, 2007. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.11.005>.

VALE, R. *et al.* A cheia de 2009 na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n. 4, p. 577-586, 2011.

VAN DER SLEEN, P.; ZUIDEMA, P. A.; PONS, T. L. Stable isotopes in tropical tree rings: theory, methods and applications. *Functional Ecology*, v. 31, n. 9, p. 1674-1689, 2017.

VOSE, R. S. *et al.* Monitoring and understanding changes in extremes: extratropical storms, winds, and waves. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 95, n. 3, p. 377-386, 2014.

CAPÍTULO I: DENDROCRONOLOGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E LACUNAS DE PESQUISA

RESUMO

A dendrocronologia é o estudo da sequência cronológica dos anéis de crescimento anual das árvores. A partir da análise desses anéis, é possível investigar a história e a dinâmica de vida das plantas, incluindo variações climáticas, desastres naturais e impactos ambientais. Este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento das publicações sobre o tema usando a abordagem bibliométrica. A plataforma Periódicos Capes foi utilizada como base de dados para a busca de documentos relacionados à dendrocronologia analisados segundo indicadores de produção, cooperação, citação e palavras-chave no período de 1999 a 2025. A partir dos critérios de busca estabelecidos foram identificadas 250 publicações sobre o tema. Na análise das pesquisas com coautorias mais frequentes, o pesquisador "Tomazello-Filho, Mario" ocupa uma posição central na rede acadêmica, com diversas conexões, que evidenciam sua relevância nas pesquisas sobre o tema dendrocronologia, tendo contribuído com 105 artigos. O trabalho mais citado foi de Schöngart J. et. al (2004) intitulado de *Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect*, recebeu 142 citações. Esse estudo analisou a influência das inundações na Floresta Amazônica, investigando como as variações provocadas pelo fenômeno El Niño afetam o crescimento das árvores da espécie. A análise de palavras-chave resultou em uma nuvem de termos, destacando os dez mais frequentes "Brazil," "forest," "climate," "wood," "change," "temperature," "Amazon," "Atlantic," "Forestry". A partir desses dados, foi possível identificar uma lacuna de estudos sobre a dendrocronologia no bioma Cerrado, apontando para a necessidade de mais pesquisas nessa região. Este estudo reafirma a relevância da dendrocronologia para a compreensão das mudanças climáticas e sua aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento.

Palavras-chave: crescimento arbóreo, variações climáticas, cooperação científica, impacto ambiental, biodiversidade

1 Introdução

A dendrocronologia é a ciência responsável pelo estudo dos anéis de crescimento de plantas lenhosas, permitindo não apenas a determinação da idade dos indivíduos, mas também a inferência sobre as condições ambientais experimentadas ao longo do tempo (Santos et al., 2013). A formação desses anéis está diretamente relacionada às variações na atividade do câmbio vascular, em resposta à sazonalidade climática ou a alterações ecológicas locais, resultando em zonas com tecidos lenhosos contrastantes (Schweingruber, 1996; Silva, 2019). Por esse motivo, os anéis de crescimento são reconhecidos como registros naturais das flutuações ambientais, atuando como indicadores confiáveis de mudanças ecológicas, sejam elas de origem natural ou antrópica (Tomazello-Filho, Bottosso e Lisi, 2001). Desde a década de 1970, a dendrocronologia tem se consolidado como um campo promissor para a análise dos anéis de crescimento, impulsionando o surgimento e desenvolvimento de várias subdisciplinas dentro dessa ciência (Schweingruber, 1996). A aplicação dessa abordagem tem contribuído significativamente para a geração de conhecimento em diferentes áreas das ciências ecológicas, climáticas e da Terra.

Em diferentes áreas do conhecimento, esse tema desempenhou um papel importante no aprimoramento da compreensão em climatologia (Hughes, 2002; Esper et al., 2016), ecologia (Fritts e Swetnam, 1989; Amoroso et al., 2017), geomorfologia (Ballesteros-Cánovas et al., 2015) e arqueologia (Kuniholm, 2002; Sass-Klaassen, 2002). No entanto, embora numerosos estudos tenham sido desenvolvidos, faz-se sistematizar, esse conhecimento para promover uma compreensão mais abrangente sobre o estado da arte e as lacunas de conhecimento sobre essa ciência.

Neste contexto, as análises bibliométricas surgem como um método eficiente para a organização e interpretação dos dados, pois proporciona informações concisas sobre os resultados científicos, auxiliando pesquisadores e outros usuários na avaliação da evolução da ciência, na identificação de tendências emergentes e na detecção de lacunas de conhecimento (Romanelli et al., 2021). As principais leis bibliométricas incluem a Lei de Bradford, a Lei de Lotka e as Leis de Zipf, ou seja, a produtividade de periódicos, a produtividade de autores e a frequência de ocorrência de palavras, respectivamente (Guedes et al; 2005).

As técnicas bibliométricas podem integrar dados quantitativos e/ou qualitativos (Romanelli et al., 2021). Essas análises abrangem diversos estudos com dados bibliométricos, como a de cocitação e acoplamento bibliográfico, dos anos das

publicações, da quantidade de publicações, autorias, instituições, países, categorias de pesquisa, quantidade de citações, periódicos mais influentes e palavras-chave (Liu et al., 2020; Portner, 2008).

Essas técnicas permitem organizar e sistematizar o conhecimento científico sobre um determinado tema, favorecendo a identificação de fontes relevantes e a construção de bancos de dados temáticos. Além disso, facilitam a busca por publicações científicas a partir da utilização de palavras-chave (Silva et al., 2020). Considerando a relevância dos estudos de dendrocronologia para compreensão dos efeitos da mudança do clima, o objetivo deste trabalho foi analisar os estudos científicos existentes sobre dendrocronologia no Brasil por meio de uma revisão bibliométrica. A pesquisa buscou identificar os principais temas abordados (palavras-chave), a evolução de publicações, os periódicos com o maior número de artigos, os estudos de maior impacto e os pesquisadores mais influentes na área.

2 Material e Métodos

Este estudo adota uma abordagem descritiva, utilizando a bibliometria como sua principal metodologia de análise. Para a realização da pesquisa foi estabelecido o banco de dados bibliométrico de dendrocronologia por meio da plataforma Periódico Capes, que possibilitou o acesso aos bancos de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*. Os tipos de documentos foram restritos a artigos de pesquisa e revisão, aplicando filtros para selecionar publicações sobre esse tema, em títulos, resumos e palavras-chave, e colocando como critério estudos apenas desenvolvidos no Brasil. As palavras utilizadas para busca foram escritas em inglês: “dendrochronology”, “growth ring” and “tree ring”, e foram contabilizados todos os artigos que possuíam ao menos uma das três palavras.

Os documentos selecionados foram sistematizados considerando os seguintes parâmetros: ano de publicação, instituição de filiação, áreas da ciência em que os trabalhos foram inseridos, autores, coautores, idioma e números de citações. Após a classificação, todos os documentos gerados no *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo* foram baixados e analisados. Posteriormente, com a triagem dessas informações, os dados foram inseridos no software R utilizando o pacote *Bibliometrix*, para o fornecimento de uma base de dados confiável gerando um banco de informações referentes ao estado da arte do tema (Figura 1). O pacote *Bibliometrix* é uma ferramenta de software voltada para a análise bibliométrica, desenvolvida para processar dados bibliográficos provenientes de bases científicas. Sua principal utilização é na análise e visualização de informações sobre

a produção científica, incluindo a identificação dos autores mais relevantes, coautorias de maior frequência, análise de palavras-chave, quantificações de citações, identificação de revistas mais relevantes, e a observação de tendências de pesquisa em campos específicos do conhecimento.

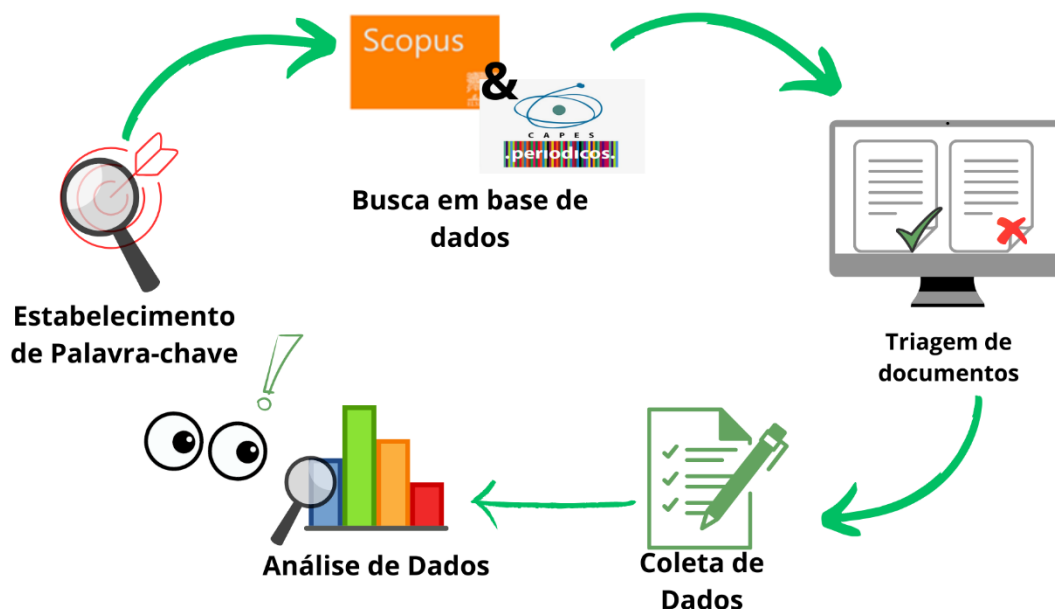


Figura 1 - Fluxograma para ilustrar a análise bibliométrica realizada neste estudo sobre dendrocronologia.

As figuras relacionadas às citações por autoria, ano e quantidade de publicações, bem como à revista de maior impacto, foram geradas a partir de tabelas obtidas pelo pacote Bibliometrix e, posteriormente, convertidas em gráficos no Excel. A representação da rede de interligação das coautorias foi elaborada no software VOSviewer, a partir da rede de clusters, observamos o que cada linha representa, as linhas entre os nós representam colaborações entre autores, linhas mais espessas indicam colaborações mais frequentes. Quanto menor for a distância entre as diferentes linhas na rede de cluster, mais forte será a relação entre os autores. A rede de clusters foi estruturada com base na quantidade de coautorias. Para melhor visualização, foram selecionados os dez principais coautores com o maior número de publicações em colaboração.

A nuvem de palavras também foi gerada pelo pacote bibliometrix, após a, exclusão dos termos “dendrochronology”, “growth ring” e “tree ring”, com o objetivo de destacar as palavras mais frequentes relacionadas ao tema nas pesquisas.

3 Resultados e Discussão

Com base nos filtros aplicados para a realização das buscas nas plataformas selecionadas, foram identificadas 125 publicações na *Web of Science*, 5 na *Scielo* e 120 na *Scopus*, totalizando 250 publicações relacionadas à pesquisa em dendrocronologia no intervalo de 1999 a dezembro de 2024 (Figura 2).



Figura 2 - Quantidade de publicações sobre "dendrocronologia" entre os anos de 1999 e 2025, com base nas três palavras-chave pesquisadas em cada estudo.

Ao analisar os anos de publicação, observa-se que Rigozo e Nordemann publicaram, em 1999, o artigo “*Solar activity records in tree rings*”, o mais antigo desta base de dados. O estudo empregou uma abordagem óptica-computacional, para desenvolver uma cronologia média do índice padronizado de largura dos anéis das árvores em São Francisco de Paula, no Rio Grande do Sul. Foram coletadas amostras das espécies *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com o objetivo de analisar os anéis de crescimento e a influência da atividade solar na geração de padrões periódicos nos anéis de crescimento dessas espécies. Como resultado, foram detectadas periodicidades correspondentes aos ciclos solares de 11 e 22 anos. Além disso, o crescimento dos anéis das árvores mostrou indícios da influência dos eventos *El Niño*, com períodos variando entre 3 e 7 anos.

Os anos 2008, 2019 e 2021 apresentaram os principais picos de publicações ao longo do período analisado. Além disso, a partir de 2013, observou-se, um aumento no

número de publicações, observou-se um aumento contínuo no número de publicações, evidenciando uma tendência de crescimento nos anos subsequentes. Vale destacar que o ano de publicação nem sempre coincide com o ano de submissão do manuscrito, devido ao processo editorial.

Em 2019, registrou-se o maior número de publicações, totalizando 39 artigos, com uma média de aproximadamente de 3,25 artigos por mês. O artigo mais citado deste ano foi “*The role of air pollution and climate in urban tree growth*” de autoria de Locosselli et. al. (2019), com um total de 77 citações. Esta pesquisa analisou os impactos da poluição do ar e das condições climáticas no crescimento das árvores em ambientes urbanos, na cidade de São Paulo. O estudo evidenciou que as árvores urbanas desempenham um papel fundamental na mitigação e adaptação às condições ambientais adversas. Os resultados indicaram que o crescimento das árvores foi favorecido em áreas mais quentes e com maior concentração de fósforo no ar, enquanto níveis elevados de alumínio, bário e zinco estiveram associados à sua redução. Além disso, a matéria particulada (PM₁₀) oriunda do polo industrial impactou negativamente a taxa média de crescimento das árvores, reduzindo-a em até 37% em todas as classes de diâmetro.

Desta forma, a dendrocronologia se destaca como ferramenta importante avaliar a influência da mudança do clima na saúde das árvores, em ambientes urbanos (Myahara, et al., 2022). Atualmente, a aplicação da sustentabilidade nas grandes metrópoles representa um desafio, pois elas precisam de muitos recursos e são o epicentro de geração de poluição ambiental. Esse cenário exige a mobilização de todas as áreas de conhecimento para análises e a busca de soluções, que, em geral, envolvem grande complexidade (Sotto, 2019).

Observou-se uma redução no número de publicações em 2020, que foi compensada no ano seguinte, em 2021, com 33 artigos publicados. Destaca-se entre eles, o artigo do ano de 2021 mais citado “*Growth-ring boundaries of tropical tree species: Aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles*” de Quintilhan et al., com 28 citações, esse estudo aborda métodos para identificar e delimitar os anéis de crescimento em espécies arbóreas tropicais, essas abordagens combinadas oferecem uma metodologia mais robusta para a delimitação dos anéis de crescimento em espécies tropicais, contribuindo para estudos de datação das árvores.

Na análise das pesquisas com coautorias mais frequentes, os diferentes grupos de cores representam clusters de pesquisadores que colaboram predominantemente entre si, formando equipes de pesquisa dedicadas a temas específicos dentro da dendrocronologia

(Van Eck et al., 2010). Essa configuração evidencia a colaboração entre pesquisadores estrangeiros e universidades brasileiras na área. Além disso, verificou-se que Mario Tomazello-Filho ocupa uma posição central na rede de coautorias, apresentando diversas conexões e destacando-se como um dos principais pesquisadores do tema. Sua contribuição é expressiva, totalizando 105 artigos publicados sobre dendrocronologia (Figura 3).

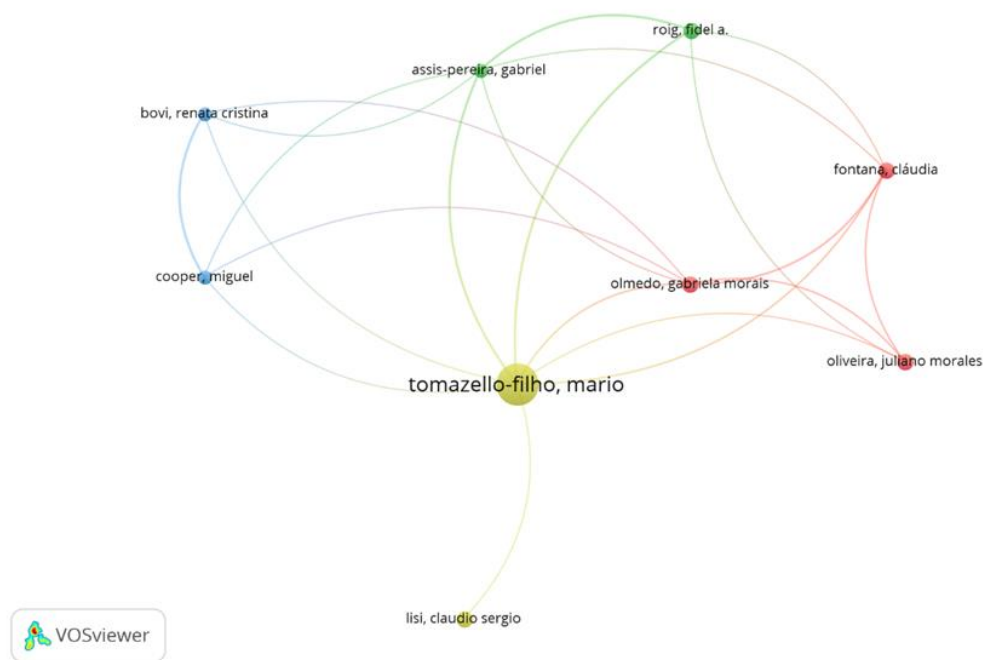


Figura 3 - Rede de cluster com as interligações de coautores de maior relevância.

O pesquisador Tomazello-Filho contribuiu com diversos estudos, incluindo o artigo mais citado em 2021 (Quintilhan et al., 2021). No estudo mais recente identificado, também se observa a coautoria de Tomazello-Filho na pesquisa intitulada “*Interrelationship between tree-ring width and supra-annual reproductive behaviour of Cedrela odorata: an alert for dendrochronological research*” (Costa et al., 2024). O estudo destaca que eventos reprodutivos intensos, como a frutificação, podem reduzir o crescimento radial devido ao alto custo energético associado à produção de sementes. O artigo sugere que a dendrocronologia deve considerar apenas fatores climáticos, mas também o comportamento biológico das espécies analisadas, especialmente em árvores tropicais com padrões de reprodução irregulares.

O artigo “*Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño–Southern Oscillation effect*” de autoria de Schöngart et al. (2004), foi o

trabalho que recebeu o maior número de citações, num total de 142 (tabela1). Realizado em 2004, foi desenvolvido para analisar a influência das inundações na Floresta Amazônica no crescimento de árvores de *Piranhea trifoliata* Baill. (Euphorbiaceae), e como as teleconexões com fenômeno do *El Niño* afetam a relação.

Tabela 1 - Artigos mais citados relacionado às pesquisas que continham as palavras-chaves buscadas para este estudo.

Autores:	Título:	Citações por:
Schöngart, Jochen ; Junk, Wolfgang J. ; Piedade, Maria Teresa F. ; Ayres, José Marcio ; Hüttermann, Aloys ; Worbes, Martin	Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect	142
Lisi, Claudio S. ; Tomazello Fo., Mário; Botosso, Paulo C. ; Roig, Fidel A. ; Maria, Vivian R. B. ; Ferreira-Fedele, Lígia; Voigt, Alessandra R. A.	Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil	133
Schöngart, Jochen ; Piedade, Maria Teresa F. ; Wittmann, Florian ; Junk, Wolfgang J.; Worbes, Martin	Wood growth patterns of <i>Macrolobium acaciifolium</i> (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests	118
Menezes, M. ; Berger, U.; Worbes, M.	Annual growth rings and long-term growth patterns of mangrove trees from the Bragança peninsula, North Brazil	92
Locosselli, Giuliano Maselli ; Camargo, Evelyn Pereira de ; Moreira, Tiana Carla Lopes ; Todesco, Enzo; Andrade, Maria de Fátima; André, Carmen Diva Saldiva de ; André, Paulo Afonso de ; Singer, Julio M. ; Ferreira, Luciana Schwandner; Saldiva, Paulo Hilário Nascimento ; Buckeridge, Marcos Silveira	The role of air pollution and climate on the growth of urban trees	77
Assahira, Cyro ; Piedade, Maria Teresa Fernandez; Trumbore, Susan E. ; Wittmann, Florian; Cintra, Bruno Barçante Ladvoat ; Batista, Eliane Silva ; Resende, Angélica Faria de ; Schöngart, Jochen	Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam	76

Locosselli, Giuliano Maselli ; Brienen, Roel J.W. ; de Souza Leite, Melina ; Gloor, Manuel ; Krottenthaler, Stefan ; de Oliveira, Alexandre A. ; Barichivich, Jonathan ; Anhuf, Dieter; Ceccantini, Gregorio ; Schöngart, Jochen; Buckeridge, Marcos	Global tree-ring analysis reveals rapid decrease in tropical tree longevity with temperature	65
Oliveira, Juliano Morales ; Roig, Fidel Alejandro ; Pillar, Valério Depatta	Climatic signals in tree-rings of <i>Araucaria angustifolia</i> in the southern Brazilian highlands	45
Santos, Guaciara M. ; Linares, Roberto; Lisi, Claudio S. ; Tomazello Filho, Mario	Annual growth rings in a sample of Paraná pine (<i>Araucaria angustifolia</i>): Toward improving the 14C calibration curve for the Southern Hemisphere	40
Costa, Monique S. ; Ferreira, Karen E.B. ; Botosso, Paulo C. ; Callado, Cátia H.	Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semidecidual lowland forest in Brazil	38

A pesquisa de Schöngart et. al (2004) salientou a intensificação das mudanças climáticas como consequência da exploração de madeira e das queimadas na floresta Amazônica, especialmente durante os períodos de seca, provocados pelo efeito *El Niño*, e ao potencial de investigação dendroclimatológica da região estudada, a fim de obter séries temporais mais confiáveis e datadas com precisão. Considerando os resultados da pesquisa e a relevância da área de estudo, o número de citações do artigo é condizente com o interesse científico e global pelo tema, pois as discussões sobre mudanças climáticas e preservação da Amazônia tem sido temas centrais em pesquisas (Becker, 2013).

A tabulação dos dados, permitiu identificar as revistas de maior fator de impacto associadas às pesquisas analisadas (Figura 4). O fator de impacto é uma das métricas mais conhecida para avaliar o prestígio de uma revista, calculado com base no número de citações que os artigos publicados na revista recebem ao longo de um período específico. Quanto maior o número de citações, maior tende a ser o impacto da revista, refletindo seu reconhecimento e a influência na comunidade científica. Nesse contexto, verificou-se que revista *Dendrochronologia* se destacou, com 39 artigos publicados na com um número significativo de citações por outros pesquisadores.

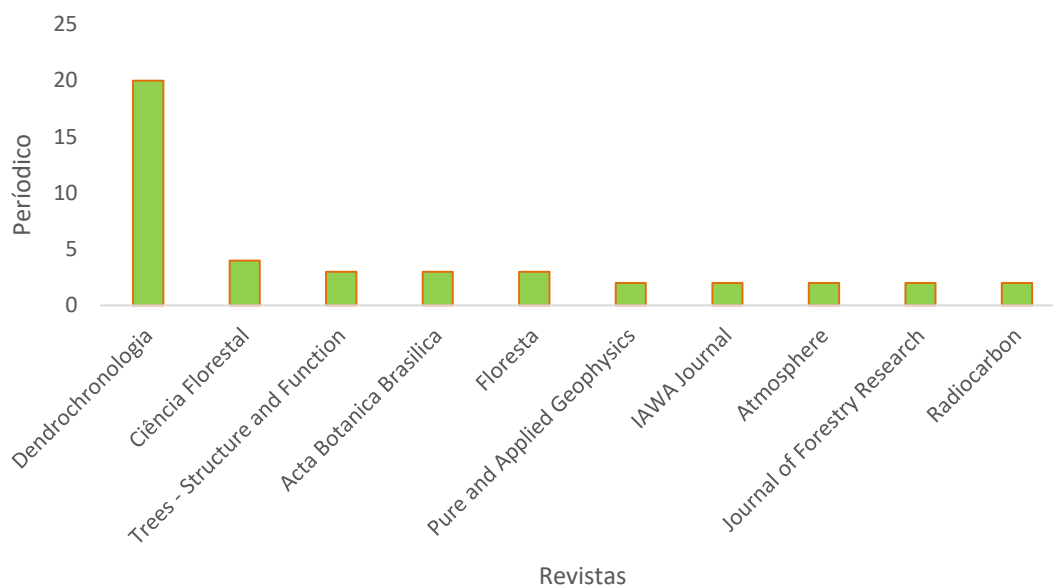


Figura 4 – As 10 revistas de maior relevância para as pesquisas relacionadas ao tema dendrocronologia dos anos 1999-2024.

A revista *Dendrochronologia* é um periódico acadêmico internacional dedicado à pesquisa sobre anéis de crescimento de árvores. Nos últimos anos, tem se destacado na área, seu fator de impacto atual é 2,7, conforme divulgado pelo Clarivate Analytics 2024. Os dados sobre o fator de impacto é um indicador relevante na comunidade científica, influenciando decisões tanto a escolha dos pesquisadores sobre onde publicar quanto a percepção da qualidade dos estudos.

Entre os autores mais produtivos, observa-se que J. Camarero se destacou com 76 artigos publicados, seguido de Stoffel, M. com 46 artigos publicados nas plataformas Scopus, Web of Science e Scielo (Figura 5). A linha de pesquisa de Camarero, J, concentra-se nos processos de crescimento, regeneração, declínio e mortalidade de plantas lenhosas. Atualmente, ele atua como pesquisador no Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), utilizando a dendrocronologia para abordar questões ecológicas, especialmente as causas e consequências do declínio florestal induzido por secas.

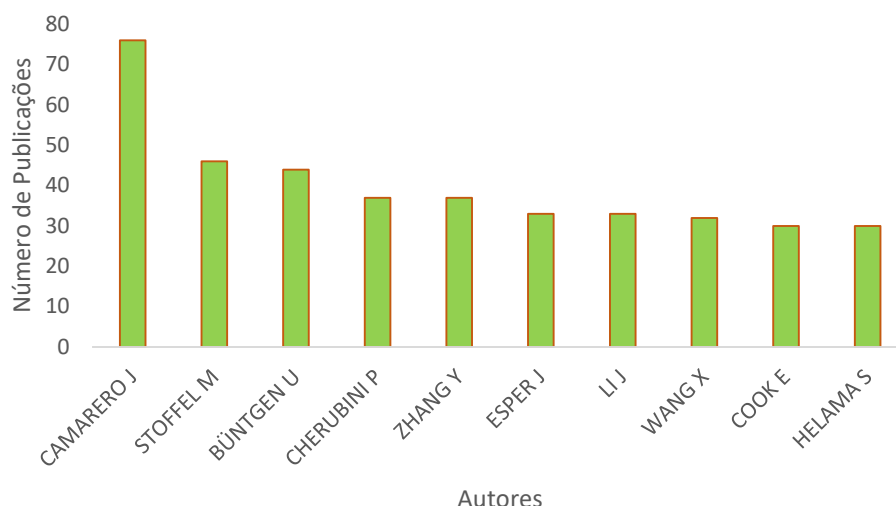


Figura 5 – Os 10 autores que mais publicaram de acordo com os dados levantados sobre a produção acadêmica relacionado as palavras-chaves pesquisadas nesse estudo.

Outros pesquisadores com produção científica expressiva foram Büntgen, U., com 44 publicações, e Cherubini, P., com 37 artigos. Autores como Zhang, Y., Esper, J., Li, J. e Wang, X. apresentaram números semelhantes, com publicações variando entre 32 e 37 artigos. Na sequência, destacaram-se Cook, E. e Helama, S., ambos com 30 publicações, evidenciando sua relevância na área.

A análise das palavras-chave utilizadas pelos autores revelou os principais focos temáticos das publicações em dendrocronologia. Foram analisadas tanto as palavras-chave fornecidas pelos autores quanto os títulos dos artigos, a fim de ampliar o escopo da análise. Essa abordagem permitiu a identificação de termos recorrentes e o delineamento das principais linhas de pesquisa.

Com base nesses dados, foi elaborada uma nuvem de palavras, na qual os termos mais frequentes foram destacados proporcionalmente à sua ocorrência. Essa técnica visual, amplamente utilizada em estudos bibliométricos, possibilitou a identificação dos temas predominantes no conjunto analisado (Figura 6).

Nas publicações com foco em estudos realizados no Brasil, os termos mais recorrentes incluíram: "*Brazil*", "*forest*", "*climate*", "*wood*", "*change*", "*temperature*", "*Amazon*", "*Atlantic*", "*forestry*" e "*management*". Esses resultados indicaram uma concentração temática voltada às florestas tropicais — especialmente Amazônia e Mata Atlântica — bem como às mudanças climáticas e ecossistemas tropicais.

4 Conclusões

Este estudo permitiu mapear o estado da arte das pesquisas dendrocronológicas no Brasil. A análise bibliométrica, baseada nas plataformas Scopus, Web of Science e SciELO, evidenciou a evolução do número de publicações sobre o tema no país. No entanto, ressalta-se que a exclusão de teses e dissertações pode ter subestimado a real dimensão da produção científica nacional, especialmente no âmbito acadêmico.

Os resultados indicaram um crescimento significativo das pesquisas dendrocronológicas em diversas regiões brasileiras. Entretanto, ainda persistem áreas com baixa representatividade de estudos, mesmo em biomas de elevada importância ecológica e sujeitos a intensos processos de degradação, como o desmatamento.

Adicionalmente, observou-se que a integração da dendrocronologia com outras áreas do conhecimento, como a ecologia e a climatologia — originando subdisciplinas como a dendroecologia e a dendroclimatologia —, reforça o potencial dessa abordagem científica para subsidiar políticas públicas voltadas à conservação ambiental, ao monitoramento climático e ao manejo florestal sustentável.

5 Referências

- AMOROSO, M. M.; DANIELS, L. D.; BAKER, P. J.; CAMARERO, J. J. (Eds.). **Dendroecology: tree-ring analyses applied to ecological studies**. Springer, 2017.
- BALLESTEROS-CÁNOVAS, J. A.; STOFFEL, M.; ST GEORGE, S.; HIRSCHBOECK, K. Uma revisão dos registros de inundações em anéis de árvores. **Progresso em Geografia Física**, v. 39, n. 6, p. 794-816, 2015.
- BATISTA, N. (2020). Nuvem de palavras como ferramenta de análise de conteúdo. DOAJ (DOAJ: Diretório de Periódicos de Acesso Aberto).
- BECKER, B. K. Amazônia: mudança climática, projetos globais e interesse nacional. **Parcerias Estratégicas**, v. 18, n. 36, 2013.
- BOTOSSO, P. C.; DE MATTOS, P. P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação**. 2002. BOVI, R. C.; ROMANELLI, J. P.; CANEPPELE, B. F.; COOPERA, M. Tendências globais em dendrogeomorfologia: uma avaliação bibliométrica dos resultados da pesquisa. *Revista CATENA*, v. 210, p. 105921, março 2022.
- COSTA, Monique Silva; VASCONCELLOS, Thaís Jorge de; LISI, Cláudio Sérgio; BRANDES, Arno Fritz Neves; TOMAZELLO-FILHO, Mario; CALLADO, Cátia Henriques. Interrelationship between tree-ring width and supra-annual reproductive behaviour of *Cedrela odorata*: an alert for dendrochronological research. **Journal of Plant Ecology**, v. 17, n. 1, p. 1-11, fev. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad048>.
- ESPER, J.; KRUSIC, P. J.; LJUNGQVIST, F. C.; LUTERBACHER, J.; CARRER, M.; COOK, E.; BÜNTGEN, U. Classificação de reconstruções de temperatura baseadas em anéis de árvores do último milênio. **Revisões da Ciência Quaternária**, v. 145, p. 134-151, 2016.
- FRITTS, H. C.; SWETNAM, T. W. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. In: **Advances in ecological research**. Academic Press, 1989. v. 19, p. 111-188.
- GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO**, 6., 2005, Salvador. Anais [...]. Salvador: UFBA, 2005.
- GUIMARÃES, K. S. Dendrocronologia de *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá-da-Mata) e *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima (Carvoeiro) da transição Amazônia-Cerrado. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Mato Grosso, 2019.
- GUO, L.; XU, F.; FENG, Z.; ZHANG, G. A bibliometric analysis of oyster research from 1991 to 2014. **Aquaculture International**, v. 24, p. 327-344, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-015-9928-1>.

HUGHES, M. K. Dendrocronologia em climatologia – o estado da arte. *Dendrocronologia*, v. 20, n. 1-2, p. 95-116, 2002.

KUNIHOLM, P. I. Dendrocronologia arqueológica. **Dendrocronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 63-68, 2002.

LAMBRECHT, F. R. et al. Incremento diamétrico de *Tabebuia aurea* e *Qualea parviflora*, **nativas do Cerrado**. 2014.

LI, L. L.; DING, G.; FENG, N.; WANG, M. H.; HO, Y. S. Global stem cell research trend: bibliometric analysis as a tool for mapping of trends from 1991 to 2006. **Scientometrics**, v. 80, n. 1, p. 39-58, 2009. Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/11192/80/1/article-p39.xml>.

LIU, Y.; WU, K.; ZHAO, R. Bibliometric analysis of research on soil health from 1999 to 2018. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 1513-1525, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-019-02519-9>.

LOCOSSELLI, G. M. et al. The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. **Science of The Total Environment**, v. 666, p. 652-661, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719307892>.

LÜTTGE, U.; BUCKERIDGE, M. Árvores: estrutura e função e os desafios da urbanização. **Árvores**, v. 37, p. 9-16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>.

OLIVEIRA, V. C. S. Dendrocronologia e dendroclimatologia de *Pera glabrata* (Schott) Poepp. ex Baill., *Copaifera langsdorffii* Desf. e *Tapirira guianensis* Aubl. provenientes do Cerrado do estado de São Paulo. 2024. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

PALERMO, G. P. D. M.; LATORRACA, J. V. D. F.; ABREU, H. D. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 9, p. 165-175, 2023.

PEARSON, C. L. et al. Dendrocronologia e datação por radiocarbono. **Radiocarbono**, v. 64, n. 3, p. 569-588, 2022.

PLASTINO, W.; KAIHOLA, L.; BARTOLOMEI, P.; BELLA, F. Cosmic background reduction in the radiocarbon measurement by scintillation spectrometry at the underground laboratory of Gran Sasso. **Radiocarbon**, v. 43, n. 2A, p. 157-161, 2001. Disponível em: <https://doi.org/>. Arquivado do original em 27 maio 2008.

PÖRTNER, H. O. Efeitos ecossistêmicos da acidificação dos oceanos em tempos de aquecimento dos oceanos: a visão de um fisiologista. **Série de Progresso em Ecologia Marinha**, v. 373, p. 203-217, 2008. Disponível em: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v373/p203-217/>.

QUINTILHAN, M. T.; SANTINI, L.; RODRIGUEZ, D. R. O.; GUILLEMOT, J.; CESILIO, G. H. M.; LEGOAS, R. C.; 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, p. 125878, 2021. ISSN 1125-7865. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125878>.

ROMANELLI, J. P.; FUJIMOTO, J. T.; FERREIRA, M. D.; MILANEZ, D. H. Avaliação da restauração ecológica como tema de pesquisa por meio de indicadores bibliométricos. **Engenharia Ecológica**, v. 120, p. 311-320, 2018.

SANTOS, L. S.; LISI, C. S.; CAMPELO, F.; VIEIRA, J.; NABAIS, C. Aplicação das características das células vegetais como subsídio para a dendrocronologia. In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA**, 64., 2013, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte, 10-15 de novembro de 2013.

SCHWEINGRUBER, F. H. *Tree rings and environment: dendroecology*. Bern: Paul Haupt AG, 1996.

SCHÖNGART, J. et al. Dendroecological studies in the neotropics: history, status and future challenges. *Dendroecology: tree-ring analyses applied to ecological studies*, p. 35-73, 2017.

SILVA, T. C.; ARAUJO, E. C. G.; DA SILVA LINS, T. R.; SANQUETTA, C. R.; DA ROCHA, M. P. Non-timber forest products in Brazil: a bibliometric and a state of the art review. **Sustainability**, v. 12, n. 17, p. 7151, 2020.

SOTTO, D. et al. Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 97, p. 61-80, set. 2019.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.

VENEGAS GONZÁLEZ, A. D. Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP. 2013. **Tese (Doutorado)** – Universidade de São Paulo, 2013.

WORBES, M. Anéis de crescimento anual, crescimento dependente da chuva e padrões de crescimento de longo prazo de árvores tropicais da Reserva Florestal Caparo na Venezuela. **Jornal de Ecologia**, v. 87, p. 391-403, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00361.x>.

CAPÍTULO 2: DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DO LENHO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO SENTIDO RESTRITO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO, BRASIL

RESUMO

A estrutura anatômica da madeira fornece informações sobre a compreensão das adaptações funcionais, além de, auxiliar na identificação botânica e na avaliação dos ritmos de crescimento em resposta as condições ambientais. A pesquisa teve como objetivo caracterizar macroscopicamente o lenho de espécies do cerrado sentido restrito do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG), visando selecionar espécies com potencial para análises dendrocronológicas. Foram coletadas amostras de xilema ao nível do diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 m) de dezesseis espécies arbóreas, utilizando sonda de Pressler. A análise macroscópica concentrou-se na descrição do parênquima axial, arranjo e tipo de vasos, raios medulares, camadas de crescimento e estruturas especiais, com observação em plano transversal e utilização de lente de 10×. Todas as espécies apresentaram parênquima axial em faixas, exceto *Byrsonima clauseniana*, que exibiu parênquima escasso. Observou-se porosidade difusa e múltiplos agrupamentos de poros; o arranjo indistinto foi identificado em dez das espécies estudadas. Os raios estiveram claramente visíveis em ampliação 10×, e a maioria das espécies exibiu camadas de crescimento distintas, caracterizadas por zonas fibrosas escuras e espessamento de fibras. Os resultados confirmam a ocorrência de características anatômicas tipicamente associadas ao bioma Cerrado, como parênquima axial bem desenvolvido, raios evidentes e delimitação acentuada das camadas de crescimento. Recomenda-se a continuidade do estudo por meio da datação dendrocronológica das amostras, a fim de estimar a idade das árvores e avaliar sua resiliência frente a pressões ambientais.

Palavras-chaves: Anéis de crescimento, Mudança do clima, Anatomia da madeira.

1 Introdução

A adaptação das espécies vegetais ao ambiente resulta em um conjunto de atributos que permitem às plantas manterem o balanço de carbono positivo, condição essencial para crescimento, estabelecimento e reprodução (Lambers et. al., 2008). Neste contexto, a estrutura anatômica da madeira fornece informações sobre tais adaptações das espécies às condições ambientais, auxiliando tanto na identificação botânica quanto na análise dos ritmos de crescimento e suas relações com o ambiente (Cosmo et al., 2010; Zenid & Ceccantini, 2012).

O crescimento primário em altura e o secundário em espessura decorrem da atividade dos meristemas apicais e laterais, respectivamente, sendo o câmbio vascular o principal responsável pela produção de xilema secundário (Taiz et al., 2017). A atividade cambial é modulada por variáveis climáticas e pela disponibilidade de recursos hídricos e nutricionais (Schmitt et al., 2021; Pandey, 2021). Entre os fatores que influenciam o crescimento secundário, destacam-se intensidade e distribuição da radiação, temperatura, disponibilidade hídrica e teores de nutrientes no solo, os quais, associados à sazonalidade, regulam o ritmo de formação do xilema (Morel et al., 2015; Silva, 2023). Os anéis de crescimento — camadas concêntricas resultantes da divisão celular cambial — são parâmetros fundamentais na anatomia da madeira. A morfologia e a largura desses anéis refletem tanto fatores ontogenéticos quanto estresses externos, como variações climáticas (Gil, 2022), sazonalidade (Pérez-de-Lis et al., 2021), disponibilidade de recursos (Pereira, 2024; Xavier, 2023) e eventos perturbadores (incêndios, pragas e doenças) (Bernet, 2020; Mayard et al., 2023). A análise integrada dessas características anatômicas é importante para compreender as estratégias de crescimento e adaptação das espécies (Gaitán-Álvarez, Moya & Berrocal, 2019).

Adicionalmente, correlações entre densidade da madeira, fenologia e morfologia foliar podem revelar padrões de resposta das plantas às mudanças ambientais (Neves et al., 2022). Assim, o estudo do xilema secundário não se limita à sua função estrutural, mas abrange também seu papel no armazenamento de carboidratos e no transporte de água, parâmetros essenciais à sobrevivência arbórea (Cosmo, Kuniyoshi & Botosso, 2011).

No Cerrado, as espécies arbóreas exibem características adaptativas específicas, como porte reduzido, troncos tortuosos e cascas espessas, resultado de pressões como o fogo, deficiências nutricionais e ataques de insetos (Costa, 2013). O fogo, em particular, molda a paisagem desse bioma, influenciando sua distribuição espacial e a dinâmica dos

ecossistemas suscetíveis a queimadas (Scott, 2000; Bond & Keeley, 2005).

O regime sazonal do Cerrado — marcado por longos períodos de estiagem e variações extremas de temperatura — impõe desafios à fisiologia vegetal, exigindo mecanismos de tolerância e resiliência (Abreu et al., 2017; Marcelo-Peña et al., 2019). Além disso, o acelerado desmatamento e o elevado endemismo colocam a biodiversidade em risco, muitas vezes antes mesmo da descrição científica de novas espécies (Finger, 2008).

Apesar da rica diversidade arbórea, o conhecimento sobre a anatomia da madeira no Cerrado permanece fragmentado, evidenciando a necessidade de estudos macroscopicamente detalhados (Scipioni et al., 2021; Quesada-Román et al., 2022).

Diante desse cenário, o presente estudo objetivou caracterizar macroscopicamente o lenho de espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, a fim de identificar aquelas com potencial para análises dendrocronológicas futuras.

2 Objetivo Geral

Caracterizar macroscopicamente o lenho de espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, com a finalidade de definir espécies potenciais para análises dendrocronológicas que possuem anéis de crescimento distintos.

2.1. Objetivos específicos

- Descrever a anatomia macroscópica de espécies do Cerrado.
- Identificar os tipos e limites dos anéis de crescimento.

3 Materiais e Métodos

5.2 Área de Estudo

A área de estudo está localizada dentro do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, que consiste em uma unidade de conservação de proteção integral situada no estado de Mato Grosso, Brasil, com uma área de aproximadamente 33.000 hectares (Figura 1).

O clima da região é classificado como Aw, caracterizado como tropical, com inverno seco e duas estações bem definidas: uma estação chuvosa de outubro a março e

uma estação seca de maio a setembro (Alvares et al., 2014). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C, e aos acumulados de precipitações anuais variam de 550 mm a 1800 mm (Zepner et al., 2020).

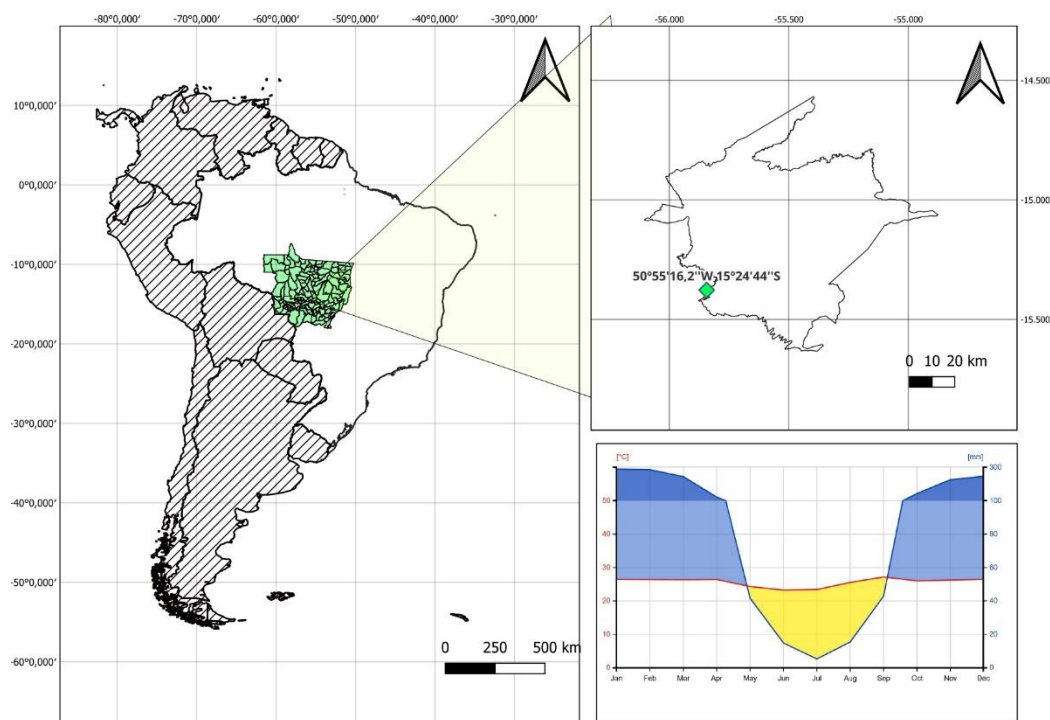


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo, Parque Nacional de Chapada dos Guimarães, Mato Grosso – Brasil; Climograma do município de Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, entre os anos de 1993 e 2022, Fonte: Climate Charts 2024

Os solos da região refletem a geologia local, resultantes da sedimentação de depósitos fluviais e lacustres durante o período Cretáceo. Predominam, principalmente, os solos do tipo neossolos quartzarênicos órticos que estão diretamente relacionados às formações rochosas do PNCG (Silva et al. 2016).

O PNCG está inserido no bioma Cerrado. A diversidade de topografia e solos contribui para a existência de uma ampla gama de fitofisionomias, cada uma com características distintas que refletem diferentes tipos de formações vegetais. Essas fitofisionomias incluem desde cerrado sentido restrito, com árvores baixas e arbustos espaçados, até o cerradão, onde predominam árvores mais altas e densas. Além disso, são comuns áreas de campo sujo e campo limpo, com vegetação rasteira e esparsa. Ao longo dos cursos d'água, observam-se matas de galeria, com uma vegetação mais exuberante devido à disponibilidade hídrica (Brasil, 2019).

5.2 Coleta de material e preparação das amostras de madeira

A partir do inventário para a caracterização estrutural e florística realizada por Lopes

et al. (2025, no prelo) foram coletadas amostras de xilema a altura do peito (1,3 m do solo) com a sonda de Pressler ($\varnothing = 5,5$ mm) de 79 espécies de árvores. A seleção das árvores para a coleta do material, levou em consideração informações da fitossanidade e as maiores circunferências do tronco. Em seguida, as amostras foram preparadas seguindo as etapas de secagem da madeira, polimento com lixas de granulação crescentes (80, 100, 120 180, 220, 360, 400 e 600, 1000 e 2000 grãos/cm²) em lixadeira de cinta horizontal e manual, buscando evidenciar as camadas de crescimento. O preparo das amostras e a descrição anatômica macroscópica do lenho foram realizadas nos Laboratório de Tecnologia da Madeira e no Laboratório de Dendrocronologia Faculdade de Engenharia Florestal, campus Cuiabá, da Universidade Federal de Mato Grosso (FENF/UFMT). Após, foram selecionadas 16 espécies de diferentes grupos ecológicos para a descrição macroscópica da madeira, priorizando-se aquelas com maior índice de valor de importância e diâmetro a altura do peito (Tabela 1).

Tabela 1 - Espécie arbóreas selecionadas para o estudo no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, classificadas segundo a Família, Nome Científico, Grupo Ecológico, Fenologia, NI=Número de indivíduos, Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e IVI = Índice de Valor de Importância

ID	Família	Espécie	Grupo Ecológico	Fenologia	NI	DAP (cm)	IVI
A	Apocynaceae	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Secundária tardia	Semidecídua	10	7,6	2,86
B	Bignoniaceae	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Secundária tardia	Caducifolia	7	15,9	3,60
C	Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc	Pioneira	Semidecídua	38	10,3	7,39
D	Celastraceae	<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. Ex Schult.) G.Don	Secundária tardia	Semidecídua	2	10,1	0,72
E	Connaraceae	<i>Connarus suberosus</i> Planch	Secundária tardia	Semidecídua	11	11,4	3,81
F	Ebenaceae	<i>Diospyros lasiocalyx</i> (Mart.) B.Walln.	Secundária Inicial	Semidecídua	8	7,8	2,19
G	Fabaceae	<i>Andira cujabensis</i> Benth.	Pioneira	Semidecídua	6	12,4	2,38
H	Fabaceae	<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.	Secundária inicial	Decídua	1	11,1	0,57
I	Melastomataceae	<i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC.	Pioneira	Semidecídua	8	7,5	3,09
J	Malpighiaceae	<i>Byrsonima clausseniana</i> A.Juss	Secundária tardia	Semidecídua	42	7,0	10,14
K	Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Secundária inicial	Semidecídua	55	7,2	13,21
L	Metteniusaceae	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	Secundária inicial	Decídua	18	9,7	5,51
M	Myrtaceae	<i>Myrcia bella</i> Cambess	Secundária tardia	Semidecídua	91	16,6	18,80
N	Myrtaceae	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC	Secundária tardia	Semidecídua	13	10,9	4,96
O	Sapotaceae	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Secundária tardia	Semidecídua	84	10,3	19,80
P	Styracaceae	<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Secundária Inicial	Semidecídua	36	12,0	11,41

5.2 Caracterização macroscópica do xilema

As amostras foram identificadas e examinadas sob microscópio estereoscópico, com o auxílio de lente 10x, para identificação e descrição de sua estrutura macroscópica no plano transversal, seguindo o guia para identificação macroscópica da madeira de Latorraca *et al.* (2018) e Zenid e Ceccantini (2007), e seguindo as normas propostas pelo International Association of Wood Anatomists Committee – IAWA Committee (1989) e critérios da Comissão de Normas Pan-Americana de Normas Técnicas COPANT (1973). As imagens macroscópicas foram obtidas utilizando o equipamento de fotomontagem Leica M205C. Foram analisadas as seguintes características: parênquima axial (visibilidade e disposição), vasos (visibilidade, porosidade, arranjo e agrupamento), raios (visibilidade), camadas de crescimento e, quando presentes, estruturas especiais.

Os anéis de crescimento foram classificados como ‘distintos’, ‘indistintos ou ausentes’ (IAWA, 1989).

4 Resultados

Foram observadas diferenças visíveis na estrutura anatômica da madeira das 16 espécies avaliadas. A presença de parênquima foi verificada na maioria das espécies analisadas, sendo indistinto apenas na *Byrsonima clausseniana*. No que diz respeito aos poros, todas as espécies analisadas apresentaram porosidade difusa. Foi possível observar a olho nu agrupamentos de poros, predominantemente dispostos em múltiplos. A caracterização do arranjo dos vasos, por sua vez, só pôde ser realizada em seis das espécies estudadas, devido à limitação de visibilidade em algumas amostras. Quanto aos raios, sua visibilidade foi possível apenas com o uso de lente de aumento de 10x, indicando baixa visibilidade a olho nu (Tabela 2).

As delimitações das camadas de crescimento foram identificadas e caracterizadas como distintas, e em sua maioria, se distinguiram pela presença de zonas fibrosa, no entanto, nesse estudo, a característica não foi expressa em três das dezesseis espécies analisadas, sendo elas as espécies *Hancornia speciosa* Gomes, *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore e *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk.

As espécies que apresentaram maior dificuldade em caracterizar as camadas de crescimento foram as espécies, *Andira cujabensis*, *Connarus suberosus*, *Emmotum nitens*, *Stryphnodendron rotundifolium*, pois a identificação da camada de crescimento foi classificada como sendo de pouca distinção.

Tabela 2 - Descrição anatômica macroscópica seguindo o guia para identificação macroscópica da de 16 espécies de um cerrado sentido restrito no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso – Brasil.

[illegible][illegible]

5.2 Descrição macroscópica

Hancornia speciosa Gomes

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, apotraqueal difuso em agregados.

Raios visíveis com o auxílio de lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, arranjo radial, múltiplos de 2 a 3 vasos, obstruídos com presença de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, demarcada por faixa de parênquima marginal.

Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, paratraqueal aliforme losangular.

Raios visíveis com o auxílio de lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo definido, solitários, obstruídos com presença de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, individualizados por linhas tênues de parênquima axial.

Kielmeyera coriacea Mart. & Zucc

Parênquima axial visível somente com o auxílio da lente 10x, Aliforme com extensão linear, formando linhas de trechos curtos a longos. **Raios** visíveis com o auxílio de lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis somente com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, solitários e múltiplos, obstruídos com presença de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, com presença de zonas fibrosas escuras.

Salacia crassifolia (Mart. Ex Schult.) G.Don

Parênquima axial visível somente com o auxílio da lente 10x, Aliforme com extensão linear, formando linhas de trechos curtos a longos. **Raios** com duas larguras distintas, raios mais finos, utilizando a lente 10x. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, exclusivamente solitários, com presença de floema incluso. **Camadas de crescimento** distintas, demarcadas pela presença de floema incluso concêntrico.

Connarus suberosus Planch

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, em linhas, pouco demarcadas.

Raios visíveis com o auxílio de lente no plano transversal **Poros** visíveis sem o auxílio

de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, predominantemente solitário com ocorrência de geminados e múltiplos de 3 em cadeias radiais, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** pouco distintas, demarcadas por zonas fibrosas.

Diospyros lasiocalyx (Mart.) B.Walln.

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, em linhas, pouco demarcadas. **Raios** visível com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, arranjo radial, predominantemente solitário com ocorrência de geminados, presença de tilos ausentes. **Camadas de crescimento** pouco distintas, demarcadas por zonas fibrosas.

Andira cujabensis Benth.

Parênquima axial visível sem o auxílio da lente 10x, confluyente e aliforme tendendo a formar faixas e ocorrência de linhas finas e dispersas. **Raios** visível com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, múltiplos em cadeias radiais com ocorrência de geminados, presença de tilos avermelhados na região do cerne próximo a medula. **Camadas de crescimento** pouco distintas pela presença de zonas fibrosas.

Stryphnodendron rotundifolium Mart.

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, vasicêntrico, em faixas confluentes pouco demarcadas. **Raios** visível com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, predominantemente solitário com ocorrência de geminados e múltiplos de 3 em cadeias radiais, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** pouco distintas, demarcada por zona fibrosa

Miconia rubiginosa (Bonpl.) DC.

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, em linhas e faixas. **Raios** visível com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, arranjo radial, predominantemente solitário, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, com zonas fibrosas com vasos no limite no anel de crescimento.

Byrsonima clausseniana A.Juss

Parênquima axial parênquima indistinto, mesmo com auxílio de lente de 10x. **Raios** visível sem o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, arranjo radial, solitários e múltiplos em cadeia radial, poros obstruídos com presença de tilos. **Camadas de crescimento** distintas com zonas fibrosas com vasos no limite no anel de crescimento.

Byrsonima crassifolia (L.) Kunth

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, escalariforme. **Raios** visível com o auxílio da lente 10x. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x no plano transversal; porosidade difusa, sem arranjo, solitários e múltiplos, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, com zonas fibrosas com vasos no limite no anel de crescimento.

Emmotum nitens (Benth.) Miers

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, apotraqueal difuso e difuso em agregados. **Raios** largos, visíveis sem o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, exclusivamente solitários, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** pouco distintas, demarcada por zona fibrosa.

Myrcia Bella Cambess

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, difuso em agregados. **Raios** pouco visíveis mesmo com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, exclusivamente solitários, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, com zona fibrosa com vasos no limite do anel.

Myrcia guianensis (Aubl.) DC

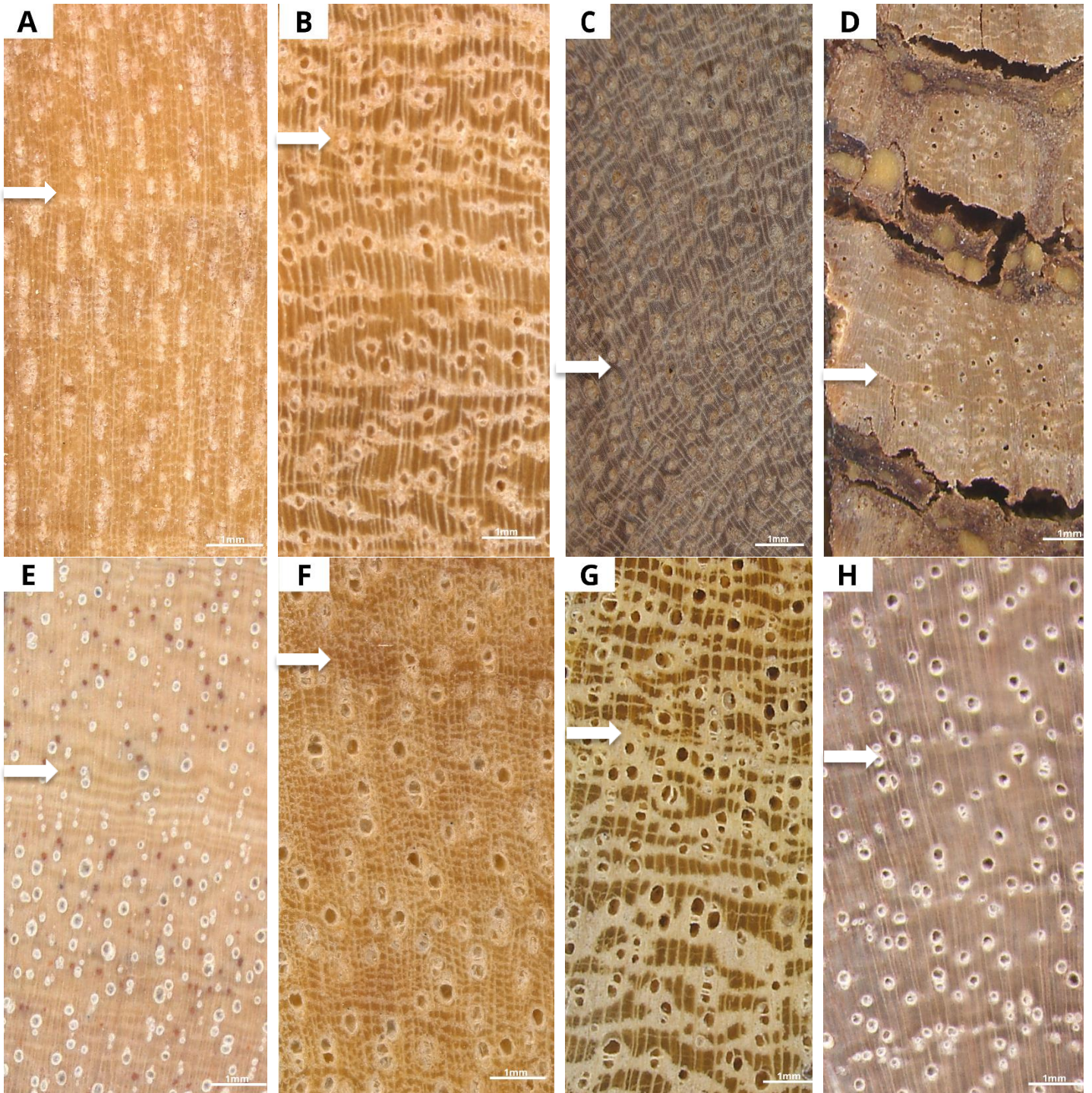
Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, difuso em agregados, com formação de pequenas linhas. **Raios** visíveis com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, sem arranjo, exclusivamente solitários, ausência de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, com presença de zonas fibrosas

Pouteria ramiflora (Mart.) Radlk.

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, em faixas. **Raios** visíveis sem o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis com o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, arranjo radial, predominantemente solitários com alguns geminados e múltiplos em cadeias radiais, poros obstruídos com presença de tilos. **Camadas de crescimento** distintas, com alteração no espaçamento das faixas tangenciais de parênquima axial com ocorrência de zonas fibrosas escuras.

Styrax ferrugineus Nees & Mart.

Parênquima axial visível com o auxílio da lente 10x, difuso em agregados, com formação de pequenas linhas. **Raios** visíveis com o auxílio da lente 10x no plano transversal. **Poros** visíveis sem o auxílio de lente 10x; porosidade difusa, arranjo radial, múltiplas em cadeia radial, poros obstruídos com presença de tilos. **Camadas de crescimento** distintas com demarcadas por zonas fibrosas.



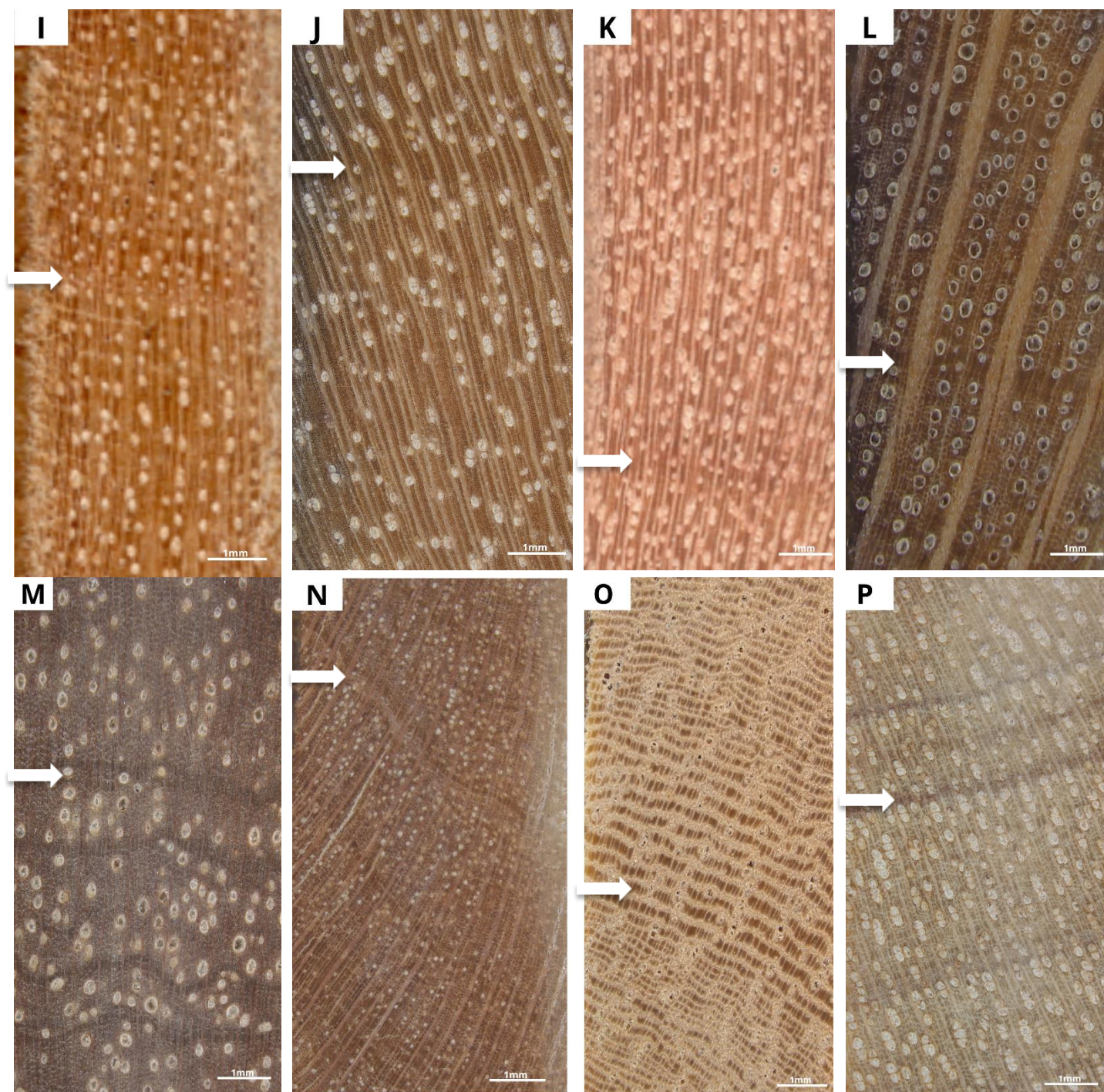


Figura 2 - Caracterização das camadas de crescimento das espécies conforme ilustrado por vistas macro transversais: (A) (*Hancornia speciosa* Gomes), (B) (*Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore), (C) (*Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc), (D) (*Salacia crassifolia* (Mart. Ex Schult.) G.Don), (E) (*Connarus suberosus* Planch), (F) (*Diospyros lasiocalyx* (Mart.) B.Walln.), (G) (*Andira cujabensis* Benth.), (H) (*Stryphnodendron rotundifolium* Mart), (I) *Miconia rubiginosa* (Bonpl.) DC, (J) *Byrsonima clauseniana* A.Juss, (K) (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, (L) (*Emmotum nitens* (Benth.) Miers), (M) (*Myrcia Bella* Cambess), (N) (*Myrcia guianensis* (Aubl.) DC), espécies (O) (*Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk.), (P) (*Styrax ferrugineus* Nees & Mart.) Em área de Cerrado Sentido Restrito no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, Brasil

5 Discussão

A presença de zonas fibrosas como delimitadoras dos anéis de crescimento tem sido frequentemente observada em espécies do bioma Cerrado (Marcati et al., 2006). A frequência dessa característica como marcadores de anéis, pode ser explicada pela sazonalidade dos fatores ambientais, que modificam a atividade cambial e, conseqüentemente, a estrutura anatômica da madeira (Marcati et al., 2006; Andrade et al., 2017).

Neste estudo, verificou-se que, entre as dezesseis espécies analisadas, as espécies *Hancornia speciosa*, *Pouteria ramiflora* e *Tabebuia aurea* não apresentaram zonas fibrosas. Embora essa característica não tenha sido observada, elas estão entre as mais empregadas em estudos dendrocronológicos (Quesada-Román et al., 2022).

Dentre as treze famílias contempladas nesse estudo, cinco estão entre as famílias mais empregadas para estudos de dendrocronologia nas florestas tropicais e subtropicais, sendo elas: Apocynaceae (*Hancornia speciosa* Gomes), Bignoniaceae (*Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore), Fabaceae (*Andira cujabensis* Benth, *Stryphnodendron rotundifolium* Mart.), Myrtaceae (*Myrcia bella* Cambess, *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC), e Sapotaceae (*Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk.) (Quesada-Román et al., 2022). Isso indica que há riqueza e diversidade do bioma Cerrado, com possibilidade de análises comparativas do comportamento de indivíduos em condições edafoclimáticas variadas, auxiliando na construção de padrões.

As características anatômicas das espécies desse bioma são eficientes na condução de água. A elevada ocorrência de vasos múltiplos, por exemplo, garante que, em caso de embolia em um vaso, outros possam continuar o transporte hídrico (Zimmermann, 1983; Sonsin-Oliveira, 2010).

A disponibilidade de água é um dos principais fatores que influenciam a estrutura da madeira (Franco, 2002), uma vez que as características anatômicas da madeira variam conforme o regime hídrico do ambiente (Furquim et al., 2018; Ferreira et al., 2021).

A estrutura anatômica da madeira também pode ser associada à fenologia das espécies, considerando que as plantas apresentam adaptações fisiológicas e morfológicas, como a deciduidade das folhas e o controle da demanda evaporativa, para sobreviver à seca. Essas adaptações incluem controle estomático, modificações na estrutura anatômica, como a proporção de vasos e parênquima, e a presença de tilos, que auxiliam

na preservação da umidade interna da madeira (Bucci et al., 2008; Dória et al., 2022). A fenologia, juntamente com a pluviosidade e a temperatura, é identificada como um fator determinante na diferenciação celular das espécies. O acompanhamento da atividade cambial, a espessura dos anéis de crescimento e o diâmetro dos vasos fornecem informações sobre a resposta das plantas ao ambiente (Lisi et al., 2008; González, 2013; Pumijumnong, 2013).

Portanto, é essencial, ao realizar uma descrição anatômica, analisar a influência do ambiente na estrutura da madeira de árvores que crescem em condições variadas, pois isso afeta diretamente a diferenciação das células do xilema, alterando as características de transporte de água e nutrientes das raízes para as folhas (Angélico et al., 2021). Ao que tudo indica as espécies do Cerrado realizam compensações funcionais entre o transporte de água, o suporte mecânico e o armazenamento, apresentando diferentes alocações nas células (Dória et al. (2022).

O parênquima, que é o segundo tecido mais abundante na madeira, pode ser uma estratégia adaptativa para armazenar carboidratos e resistir à seca. Os parênquimas axial e radial estabelecem uma rede contínua no xilema, mantendo as células condutoras em contato próximo com as células vivas do parênquima. O parênquima axial se diversifica, desempenhando papéis fundamentais no armazenamento de água e carboidratos e contribuindo para a manutenção da condução de água e sais minerais nos vasos. Essa diversificação está relacionada à interação com os raios, que, ao longo do processo evolutivo, se tornaram mais desenvolvidos, atuando como canais eficientes para o transporte e o armazenamento de fotoassimilados (Carlquist, 2018).

A presença de tilos nas espécies do Cerrado está relacionado a adaptação das árvores em condições de déficit hídrico e combate a patógenos, a produção de tilos pode ser estimulada pelo fitohormônio etileno (Sonsin et al., 2012). Dentre as dezesseis espécies analisadas nesse estudo, as espécies *Andira cujabensis*, *Byrsonima crassifolia*, *Hancornia speciosa*, *Kielmeyera coriacea*, *Pouteria ramiflora*, *Styrax ferrugineus*, *Tabebuia aurea* possuem essa característica em sua anatomia. Esses tilos funcionam como barreiras físicas que evitam a perda excessiva de água por transpiração e dificultam a circulação de fungos, oxigênio e água pelo sistema vascular, ajudando a proteger a árvore contra a degradação (Botosso, 2011).

A caracterização de *Kielmeyera coriacea* se diferenciou ao apresentar também um parênquima paratraqueal com formações unilateral e vasicêntrico, essas características morfológicas podem influenciar a identificação de padrões de crescimento e a adaptação

ecológica da espécie (Souza, 2023).

A caracterização da espécie *C. suberosus* neste trabalho foi semelhante ao encontrado no estudo de (Sonsin-Oliveira, 2010) onde suas camadas de crescimento foram descritas como mal definidas, irregulares e delimitadas por zona fibrosa. De acordo com Scalon et. al., (2022) a baixa visualização das camadas de crescimento pode estar atrelada ou à regulação ontogenética, isto é, a espécie pode não demarcar anéis como resultado da expressão genética; ou não possui sensibilidade às variações do meio à que está inserido.

Em destaque é possível citar a espécie *Tabebuia aurea*, que apresentou camadas de crescimento bem definidas, delimitadas por linhas de parênquima axial. Analisando as mesmas espécies no bioma Cerrado e Caatinga, Dória (2014) observou que no Cerrado, os indivíduos exibiram camadas de crescimento mais estreitas, sugerindo um ritmo de desenvolvimento mais lento, quando comparada com o bioma Caatinga. A autora relata que essa diferenciação indica que as plantas do Cerrado direcionam maior investimento para a formação de casca, resultando em uma produção de xilema secundário mais lenta, sendo a espessura da casca uma adaptação importante para resistência ao fogo, visto que a necrose do câmbio vascular é a principal causa de morte das plantas em incêndios.

Além da diferenciação do comportamento anatômico da *Tabebuia aurea* entre biomas Cerrado e Caatinga, em florestas alagáveis do Pantanal, foram identificadas variação na densidade do lenho inicial e tardio, sendo menos densos no lenho inicial; faixas de parênquima marginal e alteração nas faixas de fibras e parênquima, além de apresentar correlação significativa entre precipitação e crescimento influenciada pelo fenômeno *El Niño*, sendo o crescimento diamétrico dos indivíduos propiciado devido a diminuição da precipitação nas cabeceiras, resultando em cheias mais fracas, tornando essas características favoráveis ao estudo dendrocronológico, pela possibilidade de prever impactos futuros das mudanças climáticas em regiões tropicais (Leite, 2012).

A espécie *S. rotundifolium* foi identificada na literatura pelo seu heterotípico *S. obovatum*, sendo descrita com camadas de crescimento distintas, demarcadas pelo achatamento radial das fibras e pelo espessamento das paredes no lenho tardio. Além disso, apresentava faixas de parênquima marginal, o que difere das observações realizadas neste estudo, que indicam uma maior visibilidade e presença de parênquima marginal (de Mattos et al., 2003; Santos, 2013). Essa diferença pode estar associada às condições ambientais menos intensas da região estudada, que não causam alterações abruptas nas estruturas anatômicas (Fritts, 1976).

Para as espécies *S. crassifolia* e *E. nitens* não há descrição ou descrição suficiente na literatura que trate sobre as camadas de crescimento.

Em uma pesquisa realizada com 48 espécies do bioma Cerrado, Marcati et al. (2006) identificaram camadas de crescimento bem definidas em 61% das espécies, sendo que 63% delas eram decíduas ou semidecíduas. Isso demonstra que a análise anatômica, considerando os grupos ecológicos, é crucial para a identificação das espécies. Segundo Cury & Tomazello Filho, (2012) espécies do mesmo grupo que apresentam características anatômicas semelhantes, contribuindo para a compreensão das adaptações ecológicas do bioma

Esses resultados reforçam a importância da análise anatômica para compreender as adaptações das espécies do Cerrado. A identificação de padrões anatômicos semelhantes entre espécies do mesmo grupo ecológico é fundamental para entender a dinâmica e as adaptações desse bioma. Estudos como esse contribuem para o avanço dos estudos dendrocronológicos e ecológicos no Cerrado.

6 Conclusões e recomendações

A maioria das espécies analisadas apresentou características macroscópicas como parênquima axial e raios visíveis somente com o auxílio de microscópios, além de vasos com porosidade difusa, camadas de crescimento bem definidas e presença de tilos. Observou-se, também que espécies diferentes do mesmo grupo ecológico compartilhavam características semelhantes, ao que tudo indica adaptações às condições edafoclimáticas típicas do Cerrado.

A caracterização anatômica da madeira dessas espécies possibilitou a identificação do tipo de anel de crescimento e de seus limites estruturais. Esse conhecimento é fundamental para aprofundar em estudos dendrocronológicos, permitindo a análise da variação ambiental ao longo do tempo por meio da identificação e datação dos anéis de crescimento.

As espécies identificadas neste estudo possuem grande valor para estudos dendrocronológicos, porém, é necessário a realização de pesquisas mais aprofundadas sobre as propriedades anatômicas dessas espécies e a descrição anatômica microscópica, pois são elementos fundamentais para a compreensão de seu comportamento em diferentes condições ambientais.

Sugere-se a continuidade desta pesquisa a partir da datação do material coletado,

para a estabelecimento de cronológicas que auxiliam na determinação da idade da vegetação. Assim a determinação da idade das plantas, combinada com dados sobre a variação climática local, poderá ainda subsidiar estudos sobre a resiliência do Cerrado frente a pressões naturais e antrópicas.

7 Referências

ABREU, R. C. R., HOFFMANN, W. A., VASCONCELOS, H. L., PILON, N. A., ROSSATTO, D. R., & DURIGAN, G. (2017). The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, 3(8), e1701284. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701284>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. d. M. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**, v. 23, p. 391-418, 2002.

ALVES, A. F. et al. Chave dicotômica para identificação de espécies arbóreas do Cerrado mineiro com base na anatomia da madeira. 2020.

ANDRADE, E. S.; GARCIA, S. S. C.; ALBERNAZ, A. L. K. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; MOUTINHO, V. H. P. Growth ring analysis of *Euxylophora paraensis* through x-ray microdensitometry. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, 2017.

ANGÉLICO, T. dos S.; MACARTI, C. R.; ROSSI, S.; DA SILVA, M. R.; SONSIN-OLIVEIRA, J. Soil Effects on Stem Growth and Wood Anatomy of Tamboril Are Mediated by Tree Age. **Forests**, v. 12, n. 8, p. 1058, 2021.

BERNERT, M. R. et al. Influência de variáveis ambientais no incremento radial dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* L. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, 2020.

BOTOSSO, P. C. Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2011.

BRASIL. Plano de Manejo Integrado do Fogo para o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – **ICMBio. Chapada dos Guimarães**, jan. 2019.

BUCCI, S. J. et al. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 233-245, 2008.

CARLQUIST, S. Living Cells in Wood 3. Overview; Functional Anatomy of the

Parenchyma Network. **The Botanical Review**, v. 84, n. 3, p. 242–294, 2018.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT R XXX – Método Normalização técnica para determinação das propriedades físicas e mecânicas de madeiras. 1973.

COSMO, N. L.; KUNIYOSHI, Y. S.; BOTOSSO, P. C. Anatomia da madeira de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae): aspectos funcionais e ecológicos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 747–755, 2010.

CURY, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Anatomia do lenho de espécies pioneiras do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 491-498, dez. 2012.

DÓRIA, L. C. Anatomia comparada do lenho de *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) e *Tocoyena formosa* (Rubiaceae) que ocorrem no Cerrado e na Caatinga. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Paulista**, Instituto de Biociências de Botucatu. Botucatu, 2014.

DÓRIA, L. C. et al. Functional trade-offs in volume allocation to xylem cell types in 75 species from the Brazilian savanna Cerrado. **Annals of Botany**, p. 1–12, 2022.

FARIA, M. C. G. de; SILVA NETO, C. de M.; LIMA, P. A. F.; CHAGAS, M. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; SETTE JÚNIOR, C. R. Espécies do Cerrado brasileiro: características da madeira. **Revista de Biociências**, 2020.

FERREIRA, C. A. et al. Identification of Tree Species from the Peruvian Tropical Amazon “Selva Central” Forests According to Wood Anatomy. **BioResources**, v. 16, n. 4, p. 7161-7179, 2021.

FINGER, Z. Fitossociologia de comunidades arbóreas em savanas do Brasil central. 2008. 260 f. Tese (**Doutorado em Engenharia Florestal**) – **Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, 2008.

FRANCO, A. C. Ecofisiologia de plantas lenhosas. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Org.). **Os cerrados do Brasil**. Nova York: Columbia University Press, 2002. p. 178-197.

FRITTS, H. C. Anéis de árvores e clima. **Academic Press**, NY, 1976.

FURQUIM, L. C. et al. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. **Científic Multidisciplinary Journal**, v. 5, p. 146-156, 2018.

GAITAN-ALVAREZ, J.; MOYA, R.; BERROCAL, A. The use of X-ray densitometry to evaluate the wood density profile of *Tectona grandis* trees growing in fast-growth plantations. **Dendrochronologia**, v. 5, p. 71-79, 2019.

GONZALES, A. D. V. Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf de plantação da Mata da Padreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba – SP. 2013.

IAWA - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332.1989.

JÚNIOR, J. C. F. M. et al. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do Cerrado sul-brasileiro. *Iheringia, Série Botânica*, v. 66, n. 2, p. 189-200, 2011.

MARCELO-PENÑA, et al. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. **Dendrochronologia**, v. 62, p. 125728, 2020.

SCALON, M. C.; BOHN, A.; COELHO, G. C.; MEISTER, L.; ALVES, R. de F.; SECCO, R. T.; ZWIENER, V. P.; MARCILIO-SILVA, V.; TRINDADE, W. C. F.; MARQUES, M. C. M. Relationship between growth trajectories and functional traits for woody trees in a secondary tropical forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.754656.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.

XAVIER, V. Xeromorfismo nos Hotspots Brasileiros: Uma Análise da Variação Morfoanatômica e Ecofisiológica de Espécies Vegetais. In: **Anais do XII Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica / V Congresso Fluminense de Pós-Graduação**. Campinas: Galoá, 2023.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. Identificação macroscópica de madeiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2012.
ZEPNER, L.; KARRASCH, P.; WIEMANN, F.; BERNARD, L. ClimateCharts.net – uma plataforma web interativa de análise climática. **International Journal of Digital Earth**, v. 14, n. 3, p. 338–356, 2020.