



WIGOR DEIVID DE MELO SANTOS

**A "JANELA DE ALÍVIO" HIDROLÓGICA: SAZONALIDADE
DO CRESCIMENTO RADIAL EM *Salix humboldtiana* Willd.
SOB ESTRESSE POR HIPÓXIA EM PLANÍCIE DE
INUNDAÇÃO NEOTROPICAL**

LAVRAS – MG

2026

WIGOR DEIVID DE MELO SANTOS

**A "JANELA DE ALÍVIO" HIDROLÓGICA: SAZONALIDADE DO CRESCIMENTO
RADIAL EM *Salix humboldtiana* Willd. SOB ESTRESSE POR HIPÓXIA EM
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO NEOTROPICAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marco Aurélio Leite Fontes
Orientador

LAVRAS – MG

2026

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Wigor Deivid de Melo.

A "Janela de Alívio" Hidrológica: Sazonalidade do Crescimento Radial em *Salix humboldtiana* Willd. Sob Estresse por Hipóxia em Planície de Inundação Neotropical / Wigor Deivid de Melo Santos. - 2026.

43 p.: il.

Orientador: Marco Aurélio Leite Fontes

Coorientadora: Ana Carlina Maioli Campos Barbosa

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Dendrocronologia. 2. Planície de inundação. 3. Ecologia. 4. *Salix humboldtiana*.

I. Fontes, Marco Aurélio Leite. II. Barbosa, Ana Carlina Maioli Campos. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

WIGOR DEIVID DE MELO SANTOS

**A "JANELA DE ALÍVIO" HIDROLÓGICA: SAZONALIDADE DO CRESCIMENTO
RADIAL EM *Salix humboldtiana* Willd. SOB ESTRESSE POR HIPÓXIA EM
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO NEOTROPICAL**

**THE HYDROLOGICAL "RELIEF WINDOW": SEASONALITY OF RADIAL
GROWTH IN *Salix humboldtiana* Willd. UNDER HYPOXIA STRESS IN A
NEOTROPICAL FLOODPLAIN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de março de 2026.

Dr.(a) Marco Aurélio Leite Fontes UFLA

Dr.(a) Ana Carolina Maioli Campos Barbosa UFLA

Dr.(a) Gabriel de Assis Pereira ESALQ-USP

Prof. Dr. Marco Aurélio Leite Fontes
Orientador

**LAVRAS – MG
2026**

Dedico à minha família e amigos pela força!
Em especial à minha noiva e companheira de vida Bianca Jeronymo Elias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida e pela oportunidade de dar glória ao seu nome. Ao Laboratório de Dendrocronologia da UFLA, expresso minha gratidão pelo apoio na realização deste projeto. Em especial, agradeço a Lucas Guimarães, Thiago Martins, Sérgio Abílio, Ruan Rubens, Kaio, Dra. Ana Carolina Maioli e ao querido orientador e amigo professor Marco Aurélio Leite Fontes. Aos amigos que estiveram presentes ao longo dessa caminhada, meu sincero agradecimento, especialmente a Rafael Alves, Jean Carlos, Joice Benedita, Estela Macário e Jeferson Frazão. Por fim, aos meus sobrinhos, na esperança de ser para eles um exemplo de dedicação: Luna Gabriele, Agatha Beneton, Hugo, Ruan e Saymon. Ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (DCF/ESAL/UFLA), pela oportunidade de formação. Em especial ao órgão de fomento de bolsas de estudo, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o meu muito obrigado. O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

A dendrocronologia busca datar o ano exato de formação dos anéis de crescimento das árvores para compreender a relação clima-crescimento ao longo do tempo. Nos trópicos, essa ciência enfrentou o paradigma de que a suposta ausência de sazonalidade impediria a formação de anéis anuais, ocasionando um atraso em relação ao clima temperado. Com isso muitas espécies de árvores tropicais ainda não foram exploradas quanto ao seu potencial dendrocronológico. Diante disso, o presente estudo avaliou o potencial dendrocronológico de *Salix humboldtiana* Willd. em uma região ripária da Bacia do Rio Grande, Minas Gerais. Foram amostradas 48 árvores (DAP ≥ 10 cm) pelo método não destrutivo com sonda de Pressler, das quais 11 indivíduos foram selecionados para a cronologia final devido à sincronia observada. A qualidade da datação e a remoção de tendências biológicas foram aferidas pelos *softwares* COFECHA e ARSTAN, utilizando dados climáticos da base *Climate Research Unit* (CRU). Foi gerada uma cronologia de 19 anos (2005-2024), apresentando um Sinal Expresso da População (EPS) de 0,93. Os resultados sugerem que o crescimento radial é influenciado pela dinâmica hidrológica: durante a estação chuvosa, o transbordamento do rio parece induzir um estresse por hipóxia ou anoxia, sugerindo uma dormência funcional que interrompe a atividade cambial. Em contrapartida, o recuo do nível do rio na estação seca (maio a agosto) parece estabelecer uma "janela de alívio", permitindo a retomada do incremento radial. Embora tenha sido observada uma tendência de resposta à precipitação ($R = 0,41$; $p = 0,077$) e ao potencial evaporativo ($r = -0,32$ em agosto) nesse período, os sinais climáticos ainda apresentam caráter difuso. Portanto, embora *S. humboldtiana* demonstre potencial para estudos dendrocronológicos, a consolidação da espécie como um sensor ambiental confiável para a região requer a ampliação da rede amostral e investigações que isolem o efeito da regulação artificial da vazão sobre o lenho.

Palavras-chave: Dendrocronologia. Planície de inundação. Ecologia. *Salix humboldtiana*.

ABSTRACT

Dendrochronology aims to date the exact year of growth ring formation in order to understand climate–growth relationships over time. In the tropics, this field has faced the paradigm that the presumed lack of seasonality would prevent the formation of annual rings, leading to a delay in comparison to temperate regions. As a result, many tropical tree species have not yet been explored regarding their dendrochronological potential. In this context, the present study evaluated the dendrochronological potential of *Salix humboldtiana* Willd. in a riparian region of the Rio Grande Basin, Minas Gerais, Brazil. A total of 48 trees (DBH $\geq$ 10 cm) were sampled using a non-destructive method with a Pressler increment borer, of which 11 individuals were selected for the final chronology due to the observed synchrony. The quality of crossdating and the removal of biological trends were assessed using COFECHA and ARSTAN software, with climatic data obtained from the Climate Research Unit (CRU) database. A 19-year chronology (2005–2024) was developed, showing an Expressed Population Signal (EPS) of 0.93. The results suggest that radial growth is influenced by hydrological dynamics: during the rainy season, river overflow appears to induce stress due to hypoxia or anoxia, suggesting a functional dormancy that interrupts cambial activity. In contrast, the decline in river levels during the dry season (May to August) seems to establish a “relief window,” allowing the resumption of radial increment. Although a trend of response to precipitation ($R = 0.41$; $p = 0.077$) and to evaporative demand ($r = -0.32$ in August) was observed during this period, the climatic signals still show a diffuse pattern. Therefore, although *S. humboldtiana* demonstrates potential for dendrochronological studies, establishing this species as a reliable environmental sensor for the region requires expanding the sampling network and conducting investigations that isolate the effect of artificial flow regulation on wood formation.

Keywords: Dendrochronology. Floodplain. Ecology. *Salix humboldtiana*.

INDICADORES DE IMPACTOS

A presente dissertação apresenta impactos científicos, ambientais e tecnológicos ao demonstrar o potencial dendrocronológico de *Salix humboldtiana* como espécie indicadora da dinâmica hidrológica em planícies de inundação neotropicais e propor, de forma inédita, o conceito de "janela de alívio" hidrológica, associado à retomada do crescimento radial após períodos de estresse por hipóxia. Os resultados ampliam o conhecimento sobre a ecologia de florestas ripárias e fornecem subsídios para pesquisas em dendrocronologia, hidrologia e manejo de ecossistemas inundáveis. Desenvolvida na planície de inundação do Rio Grande, entre os municípios de Lavras e Ribeirão Vermelho (MG), a pesquisa foi conduzida no Laboratório de Dendrocronologia da Universidade Federal de Lavras, envolvendo docentes e discentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Os conhecimentos gerados possuem potencial para subsidiar órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e instituições de pesquisa na conservação de matas ciliares e na gestão de áreas sujeitas a inundações. Os impactos enquadram-se nas áreas temáticas Meio Ambiente (5) e Tecnologia e Produção (7) da Política Nacional de Extensão e contribuem para os ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 13 (Ação Contra a Mudança do Clima), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre), ao fortalecer o conhecimento científico voltado à conservação dos recursos hídricos e da biodiversidade.

IMPACT INDICATORS

This dissertation presents scientific, environmental, and technological impacts by demonstrating the dendrochronological potential of *Salix humboldtiana* as an indicator species of hydrological dynamics in Neotropical floodplains and, for the first time, proposing the concept of a hydrological "relief window," associated with the resumption of radial growth following periods of hypoxia-induced stress. The findings expand current knowledge of riparian forest ecology and provide a foundation for future research in dendrochronology, hydrology, and the management of flood-prone ecosystems. Conducted in the floodplain of the Rio Grande, between the municipalities of Lavras and Ribeirão Vermelho, Minas Gerais, Brazil, the study was carried out at the Dendrochronology Laboratory of the Federal University of Lavras, involving faculty members and graduate students from the Graduate Program in Forest Engineering. The knowledge generated has the potential to support environmental agencies, water resource managers, and research institutions in the conservation of riparian forests and the management of flood-prone areas. The impacts are aligned with the thematic areas of Environment (5) and Technology and Production (7) of the Brazilian National Extension Policy and contribute to the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 6 (Clean Water and Sanitation), 13 (Climate Action), and 15 (Life on Land) by strengthening scientific knowledge aimed at conserving water resources and biodiversity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de padrões de crescimento de anéis.	19
Figura 2 - Distribuição geográfica da família Salicaceae.	21
Figura 3 - Características morfológicas da espécie <i>Salix humboldtiana</i>	22
Figura 4 - Anatomia da madeira do gênero <i>Salix</i> (<i>Salix x Rubens Scharank</i>).	23
Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo entre Ribeirão Vermelho e Lavras – MG.	24
Figura 6 - Distribuição média mensal da precipitação e temperatura na climatologia regional entre 1993 e 2023, para a área de estudo em Lavras e entorno de Ribeirão Vermelho.	25
Figura 7 - Registro fotográfico da enchente de 2012 em Ribeirão Vermelho - MG.	26
Figura 8 - Processo de amostragem dendrocronológicas.	28
Figura 9 - Processo de preparo e acabamento das amostras dendrocronológicas.	29
Figura 10 - Procedimentos de análise dos anéis de crescimento.	30
Figura 11 - Maquinário de medição dos anéis de crescimento (LINTAB e Software TSAP Win).	30
Figura 12 - Seção transversal anatômica de <i>S. humboldtiana</i>	33
Figura 13 - Gráfico padronizado da cronologia de <i>S. humboldtiana</i> (2005 – 2024).	35
Figura 14 - Correlação de Pearson entre a cronologia <i>standard</i> de largura de anéis de <i>S.</i> <i>humboldtiana</i> e variáveis climatológicas mensais para o período de 2005 a 2024.	36
Figura 15 - Diagramas de dispersão e modelos de regressão linear entre o índice de largura de anéis de <i>S. humboldtiana</i> e variáveis climáticas sazonais.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação taxonômica da espécie <i>Salix humboldtiana</i> Willd.	21
Tabela 2 - Coleção das amostras.	27
Tabela 3 - Resumo dos resultados da cronologia desenvolvida.	35

LISTA DE SIGLAS

APG IV	Angiosperm Phylogeny Group IV
ARSTAN	AutoRegressive STANdardization
BFG	Brazil Flora Group
CAP	Circunferência à Altura do Peito
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COFECHA	Computer-Aided Quality Control of Crossdating and Measurement Series
CRU	Climate Research Unit
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DBH	Diameter at Breast Height
DCF	Departamento de Ciências Florestais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPS	Expressed Population Signal
ESAL	Escola Superior de Agricultura de Lavras
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GPS	Global Positioning System
GSPC	Global Strategy for Plant Conservation
IAWA	International Association of Wood Anatomists
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LINTAB	Linear Table for Tree-Ring Measurement
MG	Minas Gerais
MSA	Sistema de Monção Sul-Americana
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PET	Potencial Evapotranspirativo
Rbar	Correlação Média entre Séries
TSAP-Win	Time Series Analysis and Presentation for Windows
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	17
	2.1 Objetivo geral	17
	2.2 Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
	3.1 Breve histórico da dendrocronologia e seu desenvolvimento nos trópicos	18
	3.2 Ecologia e dinâmica hidrológica de ambientes ripários.....	19
	3.3 Caracterização botânica e distribuição de <i>Salix humboldtiana</i> Willd.	20
	3.4 Anatomia da madeira e potencial dendrocronologia de <i>Salix humboldtiana</i>	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
	4.1 Caracterização da área de estudo	24
	4.2 Clima e relevo	24
	4.3 Vegetação	26
	4.4 Amostragem e preparo das amostras dendrocronológicas.....	26
	4.5 Análises dos anéis de crescimento	29
	4.6 Qualidade da datação e construção da cronologia	31
	4.7 Análises climáticas.....	31
5	RESULTADOS.....	33
	5.1 Caracterização anatômica do anel de crescimento de <i>Salix humboldtiana</i>	33
	5.2 Construção da cronologia de <i>Salix humboldtiana</i> (1988 – 2024).....	34
	5.3 Análises climáticas.....	36
6	DISCUSSÃO.....	39
	6.1 Potencial dendrocronológico e caracterização anatômica de <i>S. humboldtiana</i> ...	39
	6.2 Estresse por hipóxia e dormência funcional	39
	6.3 A "janela de alívio" e a resiliência mecânica	40
	6.4 Plasticidade ecológica e significância estatística	41
	6.5 Limitações do estudo	41
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIA	44

1 INTRODUÇÃO

A dendrocronologia dedica-se à datação precisa do ano de formação dos anéis de crescimento das árvores (Fritts, 2012; Schweingruber, 2012). A exatidão desse processo permite correlacionar as propriedades físico-químicas do lenho às variações climáticas, uma vez que o incremento do tronco funciona como um registro biológico das oscilações ambientais ao longo da vida da planta (Fritts, 1976; Cook; Kairiukstis, 2013). Essa capacidade de armazenamento de dados ocorre porque o crescimento do lenho responde diretamente aos fatores externos que regulam a atividade do câmbio vascular ao longo do tempo (Fritts, 1976).

Existe um contraste bioclimático significativo que distingue a aplicação da dendrocronologia entre espécies de regiões temperadas e tropicais. Em latitudes temperadas, a alternância entre períodos de crescimento ativo e o repouso vegetativo induzido pelo inverno rigoroso promove a diferenciação nítida entre o lenho inicial e o tardio, resultando em anéis de crescimento bem definidos e predominantemente anuais (Silva; Silva, 2024). Em contrapartida, nas regiões tropicais, onde a sazonalidade térmica é menos expressiva, a anuidade dos incrementos foi inicialmente negligenciada pela literatura clássica; contudo, nas últimas décadas, evidenciou-se que as variações no lenho em regiões tropicais podem estar associadas, prioritariamente, à sazonalidade hídrica (Pereira et al., 2018; 2020; Stahle, 1999). Apesar das comprovações recentes, fatores como a alta competitividade e a diversidade presentes nas florestas tropicais podem gerar anéis pouco conspícuos, anomalias como falsos anéis ou até o crescimento contínuo (Worbes et al., 2002). Tal cenário configura um desafio metodológico, que reforça a necessidade de protocolos de validação criteriosos em estudos dendrocronológicos em ecossistemas tropicais (Palermo; Latorraca; Abreu, 2002).

Um dos principais desafios da dendrocronologia em ambientes tropicais reside na limitada quantidade de espécies que formam anéis de crescimento claramente anuais e passíveis de validação por meio do cruzamento de séries (Schöngart et al., 2004). Paradoxalmente, as regiões tropicais concentram uma das maiores biodiversidades vegetais do planeta, resultado de condições climáticas favoráveis, elevada disponibilidade energética e regimes hídricos variados (Gaston, 2000). Se por um lado essa alta diversidade amplia o potencial de identificação de novos táxons para dendrocronologia, por outro, ela implica em uma vasta variabilidade anatômica e fisiológica, o que exige investigações específicas para compreender os padrões de crescimento e respostas ambientais de cada espécie (Worbes; Fichtler, 2010; Roquette; Lobo; Curado, 2019).

A complexidade anatômica dos anéis em regiões tropicais dificulta a seleção de espécies adequadas (Hughes, 2002; Boninsegna et al., 2009), resultando em uma concentração histórica de pesquisas em táxons já consolidados na literatura, como os do gênero *Cedrela* nos Neotrópicos (Fontana et al., 2024; Santos et al., 2025). Essa dependência de um número restrito de espécies com anéis bem delimitados (Ortega-Rodriguez et al., 2023, Pereira et al., 2018) pode limitar a expansão geográfica e a diversificação da dendrocronologia tropical. Diante desse cenário, a área tem buscado ampliar seu escopo taxonômico, incorporando abordagens anatômicas detalhadas e investigações em distintos contextos ecológicos, como as florestas ciliares, para reduzir a lacuna de conhecimento sobre espécies menos exploradas.

O gênero *Salix* tem se destacado em estudos dendrocronológicos conduzidos em regiões temperadas de altas latitudes, onde diversas espécies apresentam anéis bem definidos e respostas sensíveis às variações climáticas (Carpanezzi; Tavares; Souza, 1999; Lorenzi, 2002; Ghahremaninejad, 2012; Le Moullec et al., 2019). Nessas regiões, o gênero consolidou-se como importante modelo para investigações dendroclimáticas, evidenciando sua capacidade de registrar sinais ambientais anuais consistentes. Considerando essa base de conhecimento para outras espécies de ambientes alagáveis, como nos estudos de Parolin (2001) com espécies amazônicas, evidencio a hipótese de que espécies do gênero também possam apresentar potencial dendrocronológico em regiões tropicais, ainda que o principal fator controlador do crescimento esteja associado à sazonalidade hídrica e aos pulsos de inundação que induzem períodos de dormência cambial por anoxia radicular.

A espécie *Salix humboldtiana*, amplamente distribuída na América Latina e frequentemente associada a margens de rios e áreas sujeitas a variações no regime hídrico (Paes et al., 2021; Vilas; Penna; Colchete Filho, 2021), apresenta características ecológicas que a tornam candidata promissora para investigações dendrocronológicas em ambientes tropicais e subtropicais. No contexto brasileiro, particularmente em áreas adjacentes a cursos d'água, ainda não há registros consolidados de estudos dendrocronológicos envolvendo essa espécie.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo investigar o potencial dendrocronológico de *Salix humboldtiana* em região tropical, avaliando a formação dos anéis de crescimento, sua possível anuidade e sua relação com variáveis climáticas e hidrológicas. Ao explorar uma espécie ainda não consolidada na dendrocronologia brasileira, este estudo busca contribuir para a ampliação do repertório taxonômico da área e para o fortalecimento das pesquisas dendrocronológicas em ambientes tropicais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho, buscou avaliar o potencial da espécie *Salix humboldtiana* Willd para estudos dendrocronológicos e dendroclimáticos para a região tropical brasileira.

2.2 Objetivos específicos

- i. Analisar e descrever a anatomia macroscópica dos anéis de crescimento de *Salix humboldtiana* Willd.
- ii. Construir uma cronologia de largura de anéis de crescimento para a espécie.
- iii. Avaliar a correlação clima-crescimento da cronologia de *Salix humboldtiana* Willd.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Breve histórico da dendrocronologia e seu desenvolvimento nos trópicos

O termo dendrocronologia deriva do grego *dendron* (árvore), *khronos* (tempo) e *logia* (estudo), referindo-se, portanto, ao estudo do tempo registrado nas árvores por meio de seus anéis de crescimento (Stokes; Smiley, 1968). A consolidação da dendrocronologia moderna ocorreu no início do século XX com os trabalhos de A. E. Douglass, que sistematizou a técnica de datação cruzada ao identificar padrões de crescimento comuns entre diferentes indivíduos de uma mesma região (Schweingruber, 1996; Speer, 2010). Desde então, a área expandiu-se metodologicamente e passou a subsidiar estudos ecológicos, climáticos, hidrológicos e geomorfológicos (Fritts, 1976).

A interpretação dos anéis de crescimento apoia-se em princípios clássicos, entre os quais se destacam o princípio da uniformidade, o princípio do fator limitante, a sensibilidade, a repetição, a padronização e a datação cruzada (Fritts, 1976). A datação cruzada é especialmente importante, pois permite atribuir corretamente cada anel a um ano específico por meio da comparação entre padrões de crescimento compartilhados por diferentes árvores (Douglass, 1941; Stokes; Smiley, 1968). A repetição, por sua vez, aumenta a confiabilidade da análise ao reduzir o peso de variações individuais não relacionadas ao clima (Fritts, 1976). Já a padronização permite remover tendências biológicas associadas à idade ou ao porte da árvore, favorecendo a comparação entre séries de crescimento e a obtenção de uma cronologia representativa do sinal ambiental de interesse (Cook; Kairiukstis, 1990; Fritts, 1976).

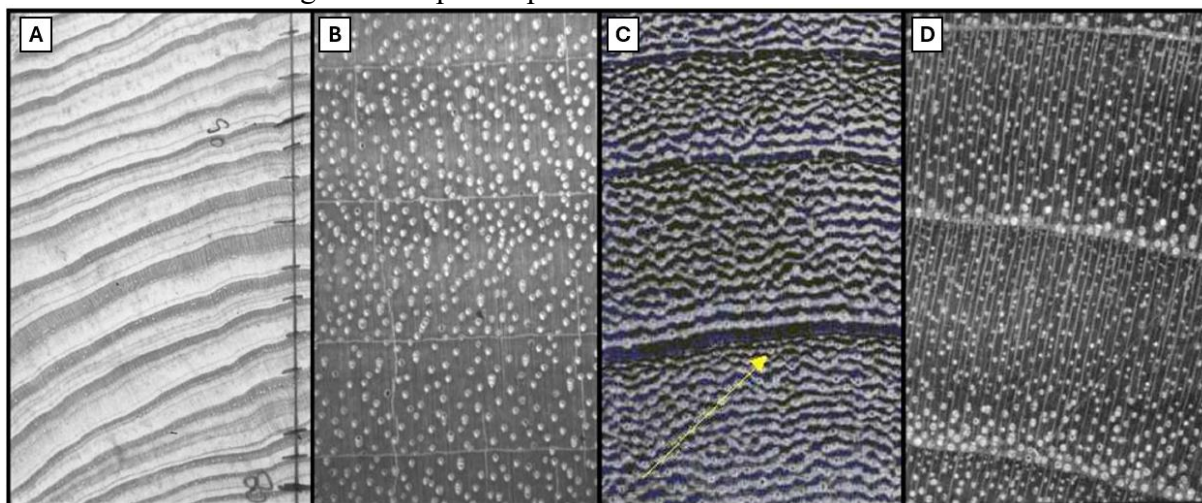
A partir dessas bases, a dendroclimatologia busca estabelecer relações entre o crescimento radial das árvores e as variáveis climáticas, especialmente temperatura e precipitação (Schweingruber, 1996). Em espécies sensíveis ao clima, a cronologia de largura de anéis pode funcionar como um registro indireto das condições ambientais, permitindo inferir períodos mais favoráveis ou mais restritivos ao crescimento (Speer, 2010). Contudo, em espécies tropicais e, particularmente, em árvores associadas a ambientes ripários, essa relação pode ser mais complexa, uma vez que o crescimento não depende apenas da precipitação total, mas também de sua distribuição sazonal, do balanço hídrico, das características edáficas e da dinâmica de inundação (Schöngart, et al., 2004; Stahle, 1999; Worbes, 2002).

Neste contexto, a análise anatômica da madeira torna-se fundamental para a identificação dos limites dos anéis de crescimento, sobretudo em angiospermas tropicais, nas quais a delimitação anual nem sempre é evidente (Carlquist, 2001; Silva; Funch; Silva, 2019). Diferentemente das gimnospermas, cujos anéis são frequentemente definidos pela variação no

lúmen e na espessura das paredes dos traqueídeos, nas angiospermas os marcadores anatômicos podem incluir alterações no diâmetro e na frequência dos vasos, espessamento de fibras, presença de parênquima marginal e mudanças na organização dos tecidos ao longo do xilema secundário (Wheeler; Baas; Gasson, 1989; Worbes; Fichtler, 2010).

Para contribuir com o desenvolvimento da dendrocronologia em regiões tropicais, Worbes (2004) demonstrou que os anéis de crescimento dessas regiões apresentam padrões estruturais e semelhanças que possibilitam sua classificação com base na anatomia da madeira. Nesse sentido, os limites podem ser determinados conforme as categorias propostas por Worbes (2002), considerando: (a) Variação de densidade, marcada por fibras de diâmetro radial reduzido e paredes espessadas; (b) Parênquima marginal, identificado por uma faixa unisseriada ou multisseriada; (c) Padrão fibra/parênquima, com alternância periódica entre esses tecidos; (d) Distribuição dos vasos, por meio da variação no diâmetro ou na frequência dos elementos de vaso; e (e) Faixa de fibras (Figura 1). A construção de cronologias confiáveis em espécies tropicais exige, portanto, uma abordagem integrada que considere a visibilidade anatômica dos anéis, a consistência da datação e a plausibilidade ecológica das correlações.

Figura 1 - Tipos de padrões de crescimento de anéis.



Fonte: Worbes (2004).

Descrição da Figura 1: *Pinus caribaea* identificada com variação de densidade (A), *Tetraberlinia bifoliolata* identificada com parênquima marginal terminal (B), *Piranhea trifoliata* identificada com distribuição alternada de fibras e parênquima (C) e *Tectona grandis* identificada com distribuição dos vasos semi-porosos (D).

3.2 Ecologia e dinâmica hidrológica de ambientes ripários

As formações ripárias e ciliares apresentam estreita relação com a geomorfologia das planícies aluviais, onde o relevo, a deposição de sedimentos, o lençol freático e a dinâmica das cheias condicionam a distribuição da vegetação arbórea (Junk; Bayley; Sparks, 1989; Ward et

al., 2002; Ab'Saber, 2004; Jacomine, 2004). Nesses ambientes, a variação topográfica em pequena escala pode gerar contrastes importantes na drenagem do solo, na retenção de umidade e no tempo de permanência da água, influenciando diretamente o estabelecimento e o crescimento das espécies (Naiman; Décamps, 1997).

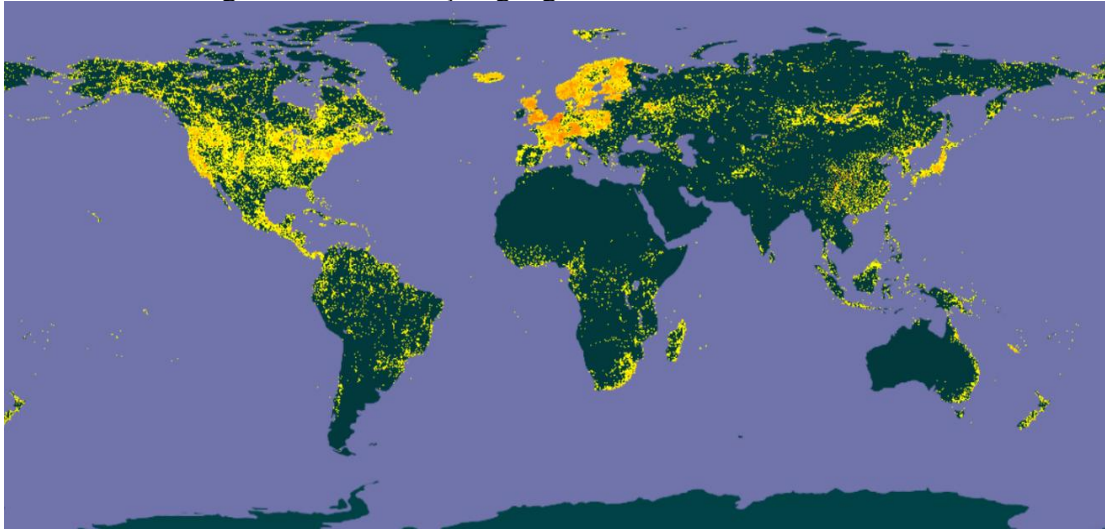
A formação de diques marginais, por exemplo, origina microambientes mais elevados e relativamente mais bem drenados, enquanto as áreas adjacentes tendem a acumular sedimentos finos e a permanecer encharcadas por períodos mais prolongados (Wittmann et al., 2004). Em espécies ripárias, portanto, o crescimento radial pode refletir uma combinação entre fatores climáticos e hidrológicos, tornando a interpretação dendroclimática especialmente desafiadora (Schöngart et al., 2002; Kozłowski, 2002).

Em áreas sujeitas a alagamento, as árvores enfrentam condições de baixa oxigenação do solo (hipóxia), o que exige adaptações morfológicas e fisiológicas que viabilizem sua sobrevivência. Entre essas adaptações, destacam-se lenticelas hipertrofiadas, formação de aerênquima, raízes adventícias e ajustes metabólicos associados à hipóxia (Joly; Crawford, 1982; Lobo; Joly, 1998; Pezeshki, 2001). Tais mecanismos evidenciam que, em espécies tolerantes ao alagamento, a dinâmica de crescimento está intimamente ligada à sazonalidade hídrica do ambiente. Todavia, em sistemas fluviais regulados por barragens, como na Bacia do Rio Grande, a substituição do pulso natural de cheias por variações artificiais de cota pode desestabilizar os ritmos biológicos das espécies, tornando a interpretação dos anéis de crescimento um desafio que exige a integração entre dados climáticos e registros de vazão controlada (Nilsson; Berggren, 2000).

3.3 Caracterização botânica e distribuição de *Salix humboldtiana* Willd.

A família Salicaceae apresenta ampla distribuição mundial (Figura 2) e reúne espécies de reconhecida importância ecológica, particularmente em ambientes ripários, onde participam da estabilização de margens e da sucessão vegetal (APG IV, 2016; BFG, 2018). Dentro desse grupo, o gênero *Salix* compreende cerca de 400 espécies, com maior diversidade no Hemisfério Norte, especialmente em regiões temperadas e árticas (Lauron-Moreau et al., 2015). Segundo o Sistema de Classificação de Cronquist, a taxonomia de *S. humboldtiana* é estabelecida conforme a descrição abaixo (Tabela 1).

Figura 2 - Distribuição geográfica da família Salicaceae.



Fonte: GBIF – Mecanismo global de informação sobre biodiversidade (2025).

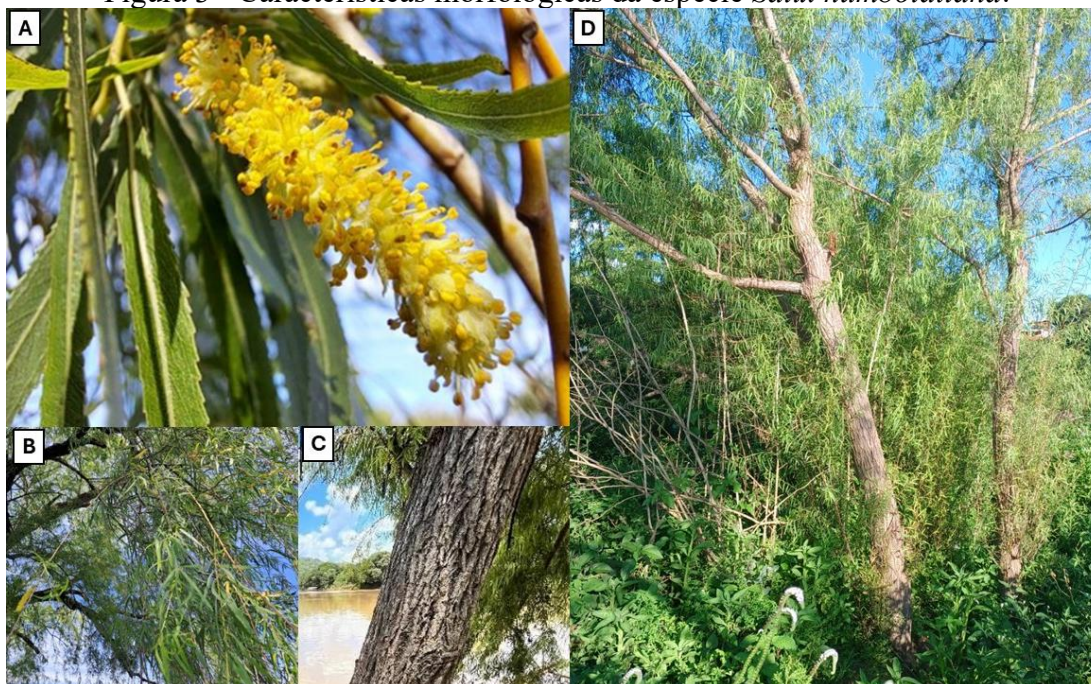
Tabela 1 - Classificação taxonômica da espécie *Salix humboldtiana* Willd.

Reino: <i>Plantae</i>
Filo: <i>Tracheophyta</i>
Classe: <i>Magnoliopsida</i>
Ordem: <i>Malpighiales</i>
Família: <i>Salicaceae</i>
Gênero: <i>Salix</i> L.
Espécie: <i>Salix humboldtiana</i> Willd.

Fonte: GIBF.org - Adaptado pelo autor (2026).

Os representantes desta família possuem características morfológicas marcantes, como lâminas foliares frequentemente serrilhadas, muitas vezes com pontuações translúcidas e presença de glândulas. As flores são actinomorfas, com simetria radial e numerosos estames (Figura 3), enquanto os frutos são do tipo cápsula, contendo sementes arredondadas (Nepomuceno; Alves, 2020). *Salix humboldtiana* destaca-se por ser a principal representante nativa do gênero na América do Sul, com ampla distribuição na América Latina, desde o norte do México até o sul da Argentina (Figura 3) (Moreno et al., 2019; Marchelli et al., 2021). No Brasil, a espécie ocorre principalmente nas regiões Norte, Centro-Oeste e Sul, estando associada a solos úmidos e sedimentos aluviais, com destaque para as bacias dos rios Paraná e Uruguai (Reitz; Klein; Reis, 1983; Romariz, 1996).

Figura 3 - Características morfológicas da espécie *Salix humboldtiana*.



Fonte: Do Autor (2026).

Descrição da Figura 3: Detalhes da inflorescência de *S. humboldtiana* (A); ramo de folhas lanceoladas com filotaxia alternata (B); tronco de *S. humboldtiana* com estrias acinzentadas (C); e árvore de *S. humboldtiana* em ambiente natural (D).

A espécie apresenta porte arbóreo que pode atingir até 20 m de altura em matas ciliares. O tronco é lenhoso, com casca cinza-escura, espessa e marcada por fendas longitudinais profundas, geralmente levemente inclinado, podendo alcançar até 90 cm de diâmetro. As folhas são simples, estreitas e tipicamente lanceoladas, com margem serrilhada e ápice acuminado, medindo cerca de $15 \times 1,5$ cm. No Hemisfério Sul, a floração ocorre na primavera, entre os meses de setembro e outubro, enquanto a frutificação se concentra entre fevereiro e abril. A polinização é realizada por pequenos insetos, e a dispersão ocorre principalmente por aves e pela água, refletindo a estreita associação da espécie com ambientes ripários (Lorenzi, 2002; Parolin et al., 2002; Karrenberg et al., 2002).

Ecologicamente, *S. humboldtiana* é uma espécie pioneira, heliófila e de rápido crescimento, com elevada capacidade de colonização e plasticidade ecológica, estando associada a ambientes sujeitos à sazonalidade hídrica e à deposição recente de sedimentos (Sutili et al., 2018; EMBRAPA, 2013; CARVALHO, 2003).

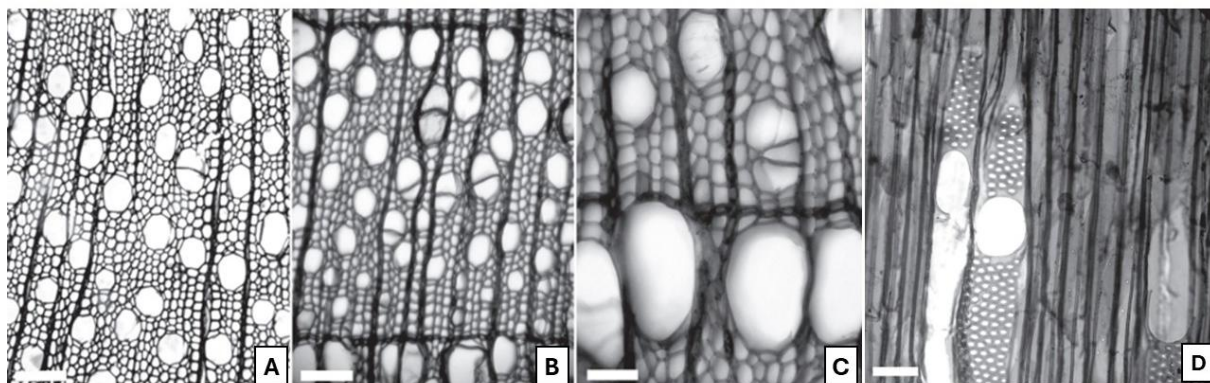
Historicamente, o gênero *Salix* consolidou-se como modelo na dendrocronologia de altas latitudes, onde o crescimento radial é controlado pela temperatura (Tape; Sturm; Racine, 2006). Em contraste, na região neotropical, o crescimento de *S. humboldtiana* não é limitado pela temperatura, mas sim pela disponibilidade hídrica e pelos pulsos de inundação (Carvalho,

2003; Parolin et al., 2002). Essa diferença evidencia uma mudança fundamental no fator limitante dentro do gênero: do controle térmico, no Hemisfério Norte, para o controle hídrico, no Hemisfério Sul. Como consequência, a formação dos anéis em contextos tropicais apresenta maior complexidade, reforçando o potencial da espécie como sensor biológico em sistemas ripários onde a atividade cambial é regulada pela dinâmica hidrológica.

3.4 Anatomia da madeira e potencial dendrocronologia de *Salix humboldtiana*

Para *Salix humboldtiana*, as descrições anatômicas disponíveis indicam características favoráveis à delimitação dos anéis de crescimento conforme os critérios de Worbes et al., (2002). A madeira apresenta porosidade difusa, com vasos pequenos e numerosos, solitários ou em grupos de dois a três, variando entre 35 e 110 μm de diâmetro (Figura 4). Em corte radial, identificam-se placas de perfuração simples e oblíquas, além de pontuações intravasculares hexagonais (Wiedenbrug, 1949; Zenid; Ceccantini, 2007; Tortorelli, 2009).

Figura 4 - Anatomia da madeira do gênero *Salix* (*Salix x Rubens Scharank*).



Fonte: Wagner et al. (2008).

Descrição Figura 4: Corte transversal evidenciando os vasos (A), distribuição semi-porosos dos vasos (B), ampliação dos anéis de crescimento marcados pela espessa camada de fibras (C) e placa de perfuração simples no plano radial (D).

As fibras possuem seção poligonal, paredes celulares finas e, em alguns casos, natureza gelatinosa, o que confere maior elasticidade à madeira, característica compatível com ambientes de intensa dinâmica hídrica. O parênquima axial é predominantemente apotraqueal marginal, formando faixas terminais finas de uma a três células de espessura (Zenid; Ceccantini, 2007). Embora discretas, essas faixas constituem limites relativamente contínuos no contorno dos anéis (Wiedenbrug, 1949; Tortorelli, 2009), atuando como o principal marcador anatômico para a delimitação do crescimento anual na espécie.

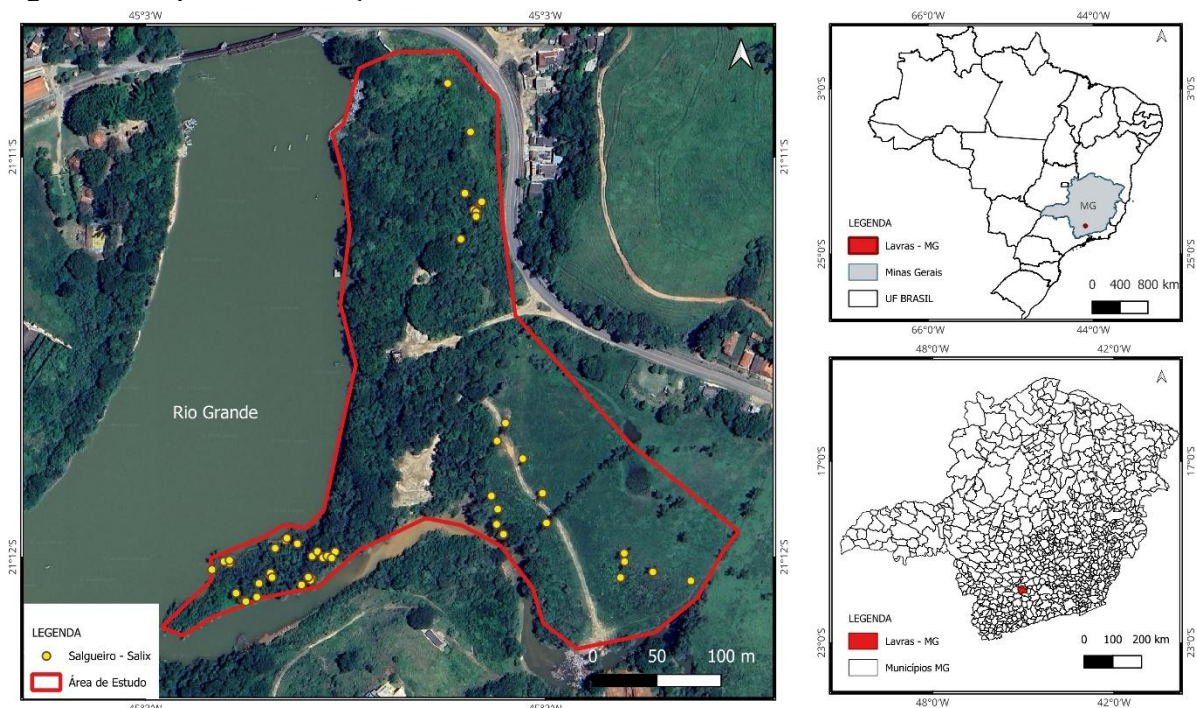
Dessa forma, a convergência entre o parênquima marginal e as variações na densidade das fibras reforça o potencial de *S. humboldtiana* para estudos dendrocronológicos, permitindo a identificação de anéis de crescimento em resposta aos pulsos ambientais sazonais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa foi realizada no sul do estado de Minas Gerais, na zona limítrofe entre os municípios de Lavras e Ribeirão Vermelho, às margens do Rio Grande (Figura 5). A unidade amostral situa-se sob a jurisdição do município de Lavras, localizada nas coordenadas $21^{\circ}11'34''$ S e $45^{\circ}03'16''$ O, com altitude aproximada de 770 metros. A área insere-se na planície alagável da Bacia do Rio Grande, cuja dinâmica hidrológica é influenciada desde sua nascente na Serra da Mantiqueira, a 1.980 metros de altitude (Castro, 2001; Mota, 2006).

Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo entre Ribeirão Vermelho e Lavras – MG.



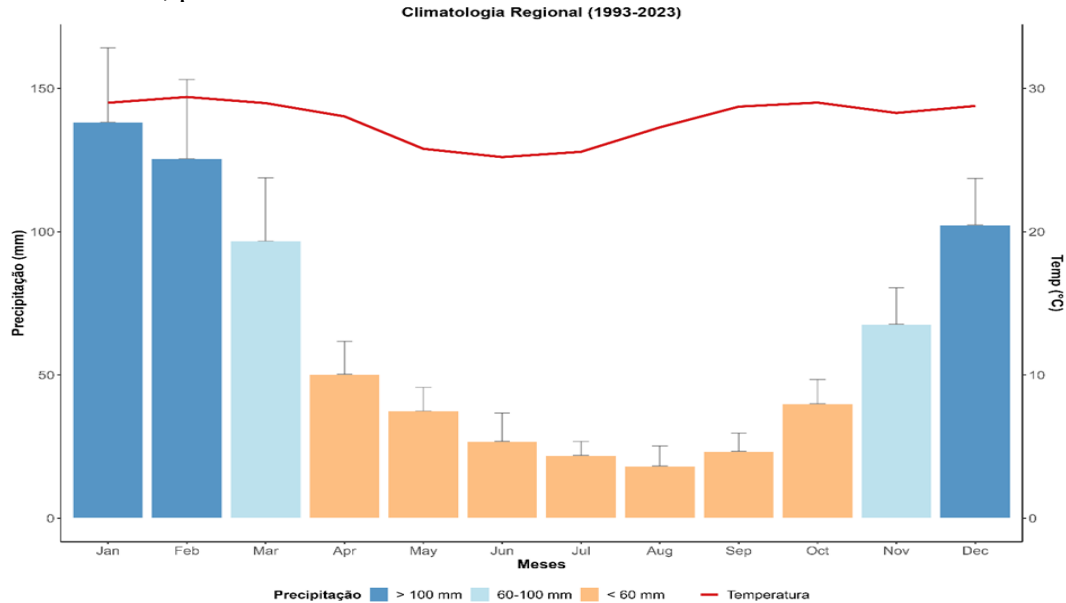
Fonte: Do autor (2025).

4.2 Clima e relevo

O estado de Minas Gerais apresenta elevada diversidade ambiental, resultante da interação entre complexos montanhosos, planaltos ondulados e sistemas hidrográficos (Reboita et al., 2015). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, a região de estudo apresenta

clima do tipo Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente), com temperatura média anual de 19,4 °C e precipitação média de 1.530 mm. A sazonalidade é regida pelo Sistema de Monção Sul-Americana (MSA), concentrando o volume hídrico entre novembro e fevereiro, conforme detalhado no climograma da região (Figura 6).

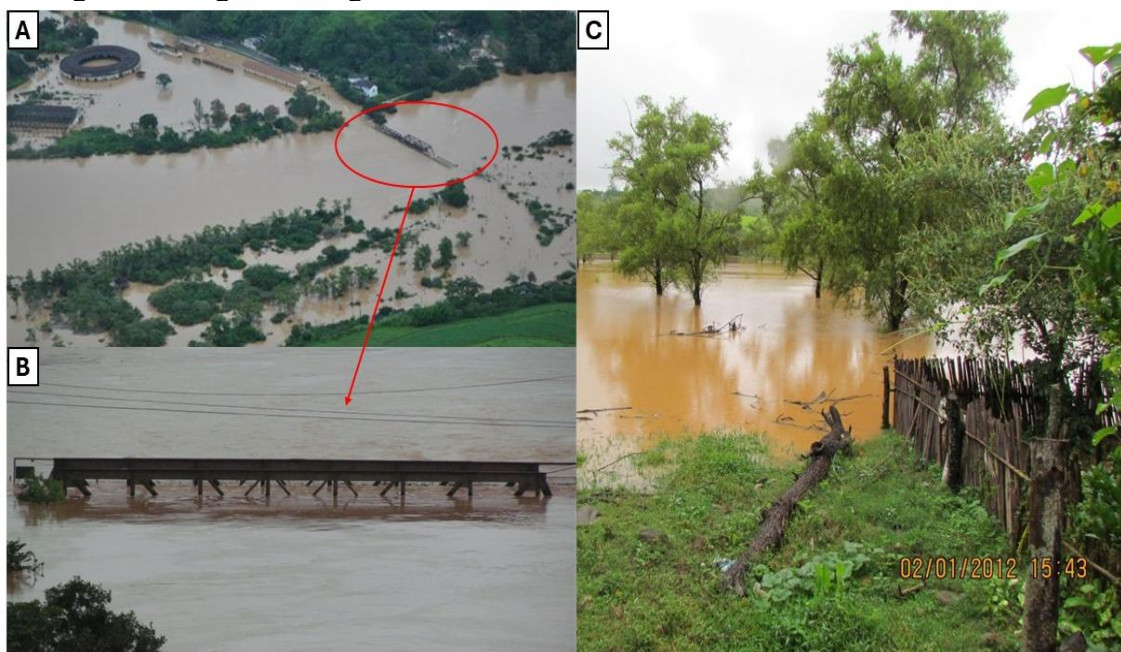
Figura 6 - Distribuição média mensal da precipitação e temperatura na climatologia regional entre 1993 e 2023, para a área de estudo em Lavras e entorno de Ribeirão Vermelho.



Fonte: Climatic Research Unit - CRU (2026).

Geomorfologicamente, o sítio experimental ocupa áreas aluviais sujeitas a cheias sazonais do Rio Grande. Historicamente, o município de Ribeirão Vermelho registra enchentes severas, como o evento de 2012 e a histórica inundação de 1992 (Figura 7), que constitui um fator limitante fundamental para o crescimento da vegetação ripária local (Defesa Civil, 2025).

Figura 7 - Registro fotográfico da enchente de 2012 em Ribeirão Vermelho - MG.



Fonte: Defesa Civil de Ribeirão Vermelho (2012).

Descrição da Figura 7: Imagem aérea da cidade de Ribeirão Vermelho – MG sob influência das enchentes do Rio Grande (A); foco na ponte de acesso à cidade de Ribeirão Vermelho – MG submersa (Seta) (B); e registro fotográfico da inundação atingindo aproximadamente 1,5 m de altura, tendo como referência a população de *S. humboldtiana* (C).

4.3 Vegetação

Minas Gerais abriga três importantes domínios: Cerrado (54%), Mata Atlântica (40%) e Caatinga (6%). A área de estudo localiza-se em uma zona ecotonal entre Cerrado e Mata Atlântica, onde predominam formações de Floresta Estacional Semidecidual Montana e Aluviais (matas ripárias) (IBGE, 2019). Devido à pressão antrópica histórica, estima-se que apenas 32,9% da cobertura nativa original do estado ainda persista como remanescente florestal (Silva, 2016). No sítio amostral, a vegetação é marcada pela presença de *S. humboldtiana*, espécie adaptada à dinâmica de pulsos hídricos e solos hidromórficos.

4.4 Amostragem e preparo das amostras dendrocronológicas

A coleta das amostras foi realizada às margens do Rio Grande, no entorno da coordenada 21°11'34" S e 45°03'16" O, a uma altitude média de 770 m, nas proximidades da ponte de ferro que conecta os municípios de Lavras e Ribeirão Vermelho, no estado de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil. Nessa área foram selecionados 48 indivíduos arbóreos, dos quais foram obtidos 101 raios (Tabela 2).

As amostras foram coletadas na forma de baquetas de madeira, com aproximadamente 5 mm de diâmetro e comprimento variável de acordo com o diâmetro do tronco das árvores. A

coleta foi realizada por meio de técnica “não destrutiva”, utilizando um trado manual do tipo sonda de Pressler, comumente utilizado em estudos dendrocronológicos para a extração de amostras do lenho sem causar danos significativos aos indivíduos amostrados (Krotenthenthaler et al., 2015).

Tabela 2 - Coleção das amostras.

Sítio RVSH	Coordenadas centrais		Nr. de árvores amostradas	Nr. de amostras (raios)	Observações gerais	DAP (cm)	H (m)
Área I	-21,194056	-45,056452	27	60	Mínimo	10,82	6,2
Área II	-21,190835	-45,055068	8	16	Máximo	58,59	19
Área III	-21,193202	-45,054188	13	25	Médiana	76	12
Total			48	101			

Fonte: Autor (2026).

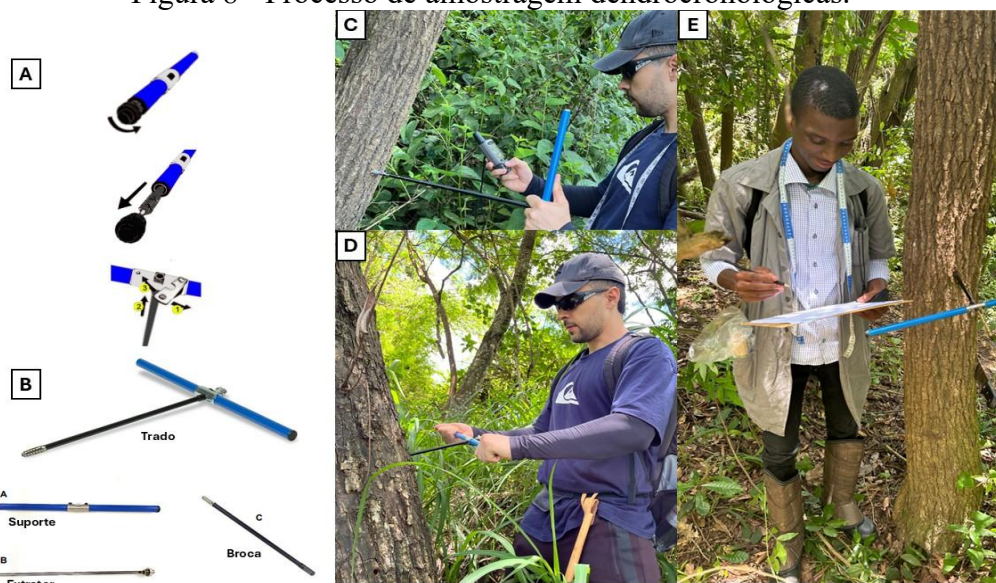
A seleção dos indivíduos foi realizada com base em três critérios principais: acessibilidade, estado fitossanitário e características dendrométricas. O critério de acessibilidade foi considerado devido ao fato de o povoamento de *S. humboldtiana* estar inserido em propriedade privada, onde os indivíduos arbóreos desempenham importante função de sombreamento para o gado e delimitação da área da propriedade. Dessa forma, a escolha das árvores amostradas e o tipo de coleta considerou o menor impacto nas atividades já ocorrentes na área amostral. Além da acessibilidade, também foi avaliado o estado fitossanitário dos indivíduos, priorizando-se árvores que apresentassem boas condições estruturais e ausência de danos aparentes. Por fim, também foram considerados critérios dendrométricos, especialmente o diâmetro à altura do peito (DAP > 10 cm) preestabelecido a 1,30 m acima do solo.

As informações de geolocalização dos indivíduos amostrados, como latitude, longitude e altitude, foram obtidas com auxílio de um aparelho de GPS (*Global Positioning System*). Também foi registrada a orientação (azimute) do raio, com o objetivo de documentar a posição de coleta no tronco da árvore. Com o auxílio da fita métrica foram mensuradas as circunferências à altura do peito (CAP) dos troncos selecionados. Os dados obtidos foram inseridos manualmente em planilhas de campo e posteriormente tabulados em formato Excel (*Microsoft*) de modo a facilitar os processos de análise.

As amostras foram extraídas com o auxílio de um trado de Pressler, posicionado ortogonalmente ao tronco da árvore e rotacionado no sentido horário até atingir a região próxima à medula. Para a retirada da amostra, foi inserida a lingueta extratora no interior do trado, realizando-se posteriormente um giro completo no sentido anti-horário, com o objetivo de romper as fibras do cilindro de madeira do tronco da árvore (Figura 8). Após a extração, as amostras foram acondicionadas juntamente com suportes de madeira, a fim de evitar

empenamento durante o processo de secagem. Por fim, o orifício resultante da coleta foi devidamente vedado com resina de cera a fim de evitar agentes patogênicos oportunistas.

Figura 8 - Processo de amostragem dendrocronológicas.



Fonte: Autor (2026).

Descrição da Figura 8: Trado de incremento de Pressler em processo de montagem (A); Trado montado e suas partes (B), Obtenção das coordenadas geográficas (C); Inserção ortogonal do trado em relação à árvore (D) e anotação em planilha de campo (E).

Adiante, todas as amostras foram devidamente armazenadas na sala de coleções do Laboratório de Dendrocronologia do Departamento de Ciências Florestais, localizado na Universidade Federal de Lavras, sob condições que permitiam a circulação de ar entre as amostras, a fim de evitar a proliferação de fungos e a secagem irregular do material. Após 24 horas de secagem, as amostras foram fixadas em suportes de madeira, os quais auxiliam na trabalhabilidade do material. Em seguida, as amostras foram submetidas a uma série de lixas de polimento com granulometria entre 240 e 1200 (Figura 9), seguindo a regra de progressão de lixas, onde a escolha da próxima granulometria foi realizada adicionando-se aproximadamente 50% do valor da lixa anterior, garantindo uma transição gradual entre as etapas de lixamento.

Figura 9 - Processo de preparo e acabamento das amostras dendrocronológicas.



Fonte: Do autor (2026).

Descrição da Figura 9: Amostras em processo de lixamento, em lixadeira de cinta fixado a mesa de trabalho (A); disposição do material de trabalho sob a mesa de (B); e foco no material de trabalho - lixadeira, lixas e amostras (C).

4.5 Análises dos anéis de crescimento

Com as amostras polidas, o procedimento usado foi o de dar destaque aos anéis com lápis (Figura 10B), desde a casca até a medula, quando presente, ou até o anel central existente, por meio da observação do material em microscópios estereoscópicos com objetiva de 10 vezes (Figura 10A). As atividades de reconhecimento e mensuração dos anéis de crescimento foram realizadas no laboratório de Dendrocronologia da UFLA, supracitado, com grande parte dessas tarefas realizadas com a colaboração dos discentes da pós-graduação do próprio laboratório. Em seguida, os raios foram plotados em forma de gráficos subjetivos (*Skeleton plots*) a fim de cruzar as informações gráficas entre si, permitindo análises de confiabilidade sobre os anéis marcados.

[illegible]

Fonte: Autor (2026).

Descrição da Figura 11: Sistema de mensuração dendrocronológica composto pelo equipamento LINTAB 6 acoplado a um microscópio estereoscópico, utilizado para a medição da largura dos anéis de crescimento e visualização das amostras de madeira (A); interface do software TSAP-Win, apresentando a série de medições dos anéis de crescimento e os dados obtidos durante o processo de datação cruzada (B).

4.6 Qualidade da datação e construção da cronologia

Após a mensuração, a qualidade da datação cruzada (*cross-dating*) foi validada no software COFECHA. Utilizou-se como critério de retenção das séries uma correlação intersérie mínima de 0,5. Amostras que apresentaram valores inferiores a esse limite foram reexaminadas sob microscópio estereoscópico para a identificação de possíveis anéis falsos ou ausentes, sendo descartadas caso a inconsistência persistisse. As séries selecionadas foram submetidas ao *software* ARSTAN para o processo de padronização, visando a remoção de tendências biológicas (ruídos) e a maximização do sinal ambiental comum. Para a filtragem das tendências de crescimento individual, aplicou-se um Spline de suavização com frequência de corte de 10 anos. Essa escolha metodológica visou preservar a variabilidade de alta frequência, condizente com o ciclo de vida de uma espécie pioneira e a extensão das séries obtidas. A confiabilidade da cronologia resultante foi avaliada por meio dos índices Rbar (Correlação Média entre Séries) e EPS (*Sinal Populacional Expresso*), calculados conforme as seguintes expressões:

$$Rbar = \left[\frac{2}{N(N-1)} \right] * \sum r(ij) \quad (1) \text{ Equação 1 - Cálculo de Rbar}$$

$$Rbar = \left[\frac{N * Rbar}{N * Rbar + (1 - Rbar)} \right] \quad (2) \text{ Equação 2 – Cálculo de EPS}$$

Onde:

- r_{ij} – é a correlação entre as séries i e j ;
- N – o número das séries;
- Rbar – Correlação média entre as séries;
- EPS – Sinais Populacional Expresso (*Expressed population Signal*).

4.7 Análises climáticas

Para avaliar a influência das variáveis climáticas sobre o crescimento radial de *S. humboldtiana*, foram obtidos dados de alta resolução ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) provenientes da base de dados CRU TS v. 4.07 (*Climate Research Unit*). As séries climáticas foram extraídas através da plataforma *KNMI Climate Explorer*, abrangendo as variáveis de: Precipitação Pluvial Total, Temperatura Média, Potencial Evaporativo (PET) e o Índice de Severidade de Seca de Palmer

(scPDSI). A associação entre a cronologia *standard* e as variáveis climáticas foi realizada por meio de funções de correlação de Pearson, utilizando-se o pacote *dplR* (*Dendrochronology Program Library* in R) no ambiente de programação R. As correlações foram calculadas em uma janela temporal de 13 meses, compreendendo desde outubro do ano anterior ao crescimento até outubro do ano corrente, a fim de capturar o efeito de memória fisiológica da espécie e a influência das condições climáticas prévias sobre o câmbio vascular. A significância estatística das correlações foi testada ao nível de 5% ($p < 0,05$). Adicionalmente, para refinar a interpretação da sazonalidade, os dados foram agrupados em períodos correspondentes à estação úmida (novembro a janeiro) e estação seca (maio a agosto) de acordo com a Figura 6, permitindo verificar a existência de janelas críticas de resposta ao clima e a ocorrência de possíveis períodos de dormência funcional ou estresse por anóxia.

5 RESULTADOS

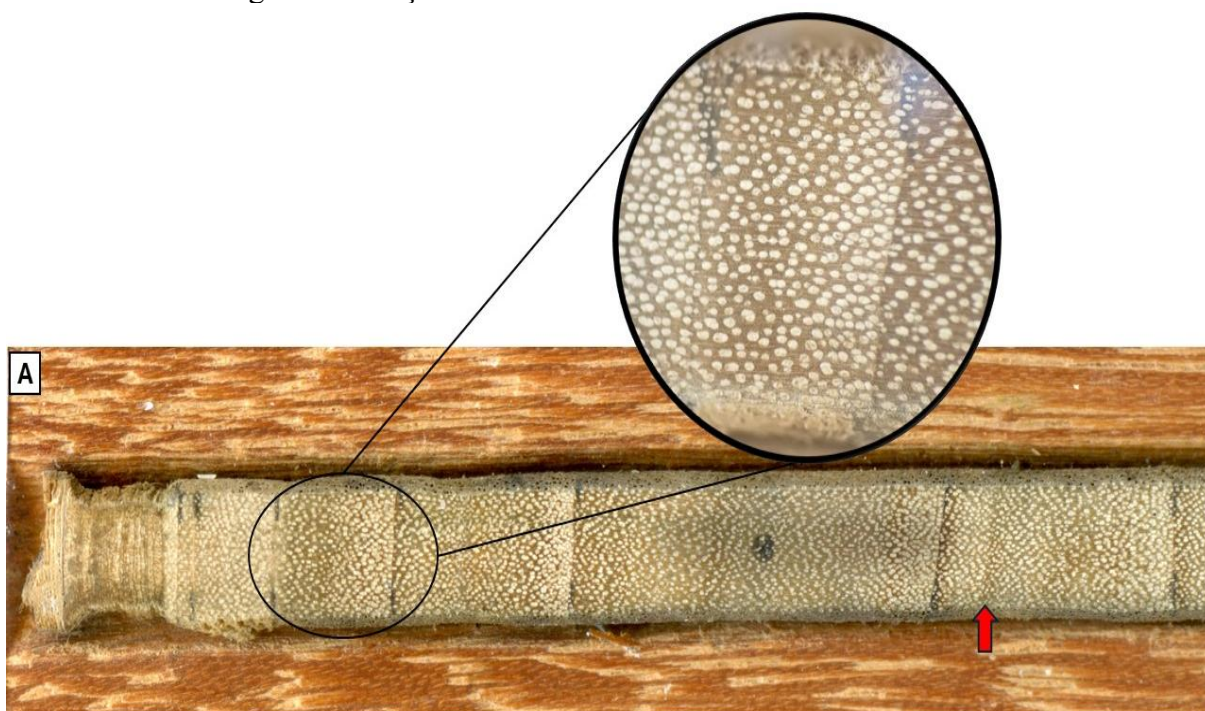
5.1 Caracterização anatômica do anel de crescimento de *Salix humboldtiana*

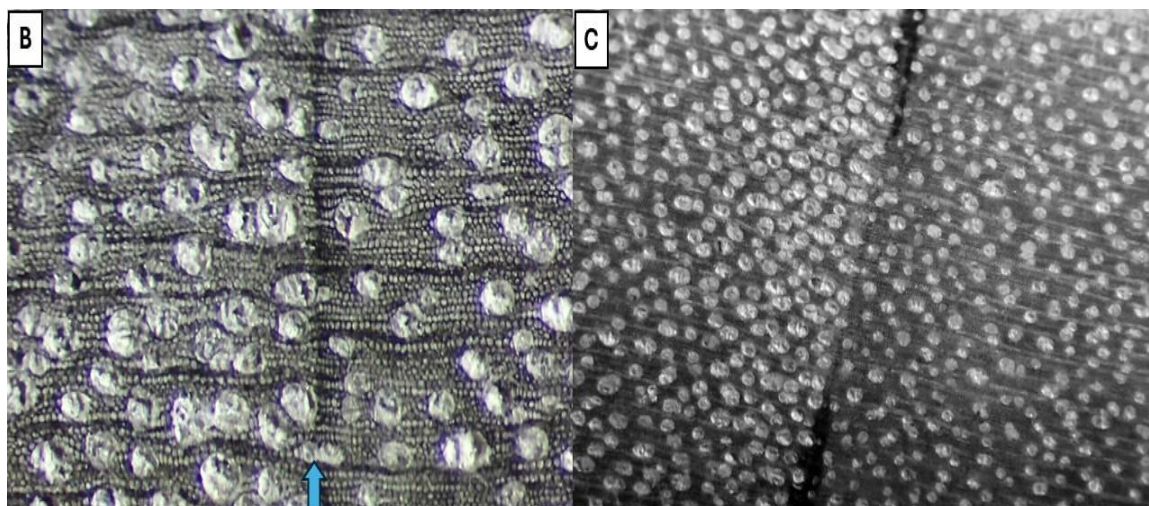
A análise do xilema secundário de *Salix humboldtiana* revelou uma estrutura lenhosa com características promissoras, embora apresente desafios típicos de espécies tropicais. A delimitação dos anéis ocorre, primordialmente, pela associação entre a porosidade semi-porosa e a presença de faixas de fibras.

A análise microscópica das amostras de *S. humboldtiana* permitiu a identificação de limites de anéis de crescimento definidos por faixas de fibras terminais. Essas faixas atuaram como o principal marcador morfológico, apresentando continuidade estrutural ao longo do contorno do anel, o que possibilitou a distinção entre anéis verdadeiros e marcas superficiais de coloração que não apresentavam suporte anatômico (Figura 12 - seta vermelha).

Observou-se um padrão de porosidade semi-difusa, caracterizado por vasos de maior diâmetro e maior densidade no lenho inicial, que contrastam com os vasos menores e menos frequentes do lenho tardio (Figura 12C). Os vasos apresentaram-se predominantemente solitários ou em múltiplos de dois a três, com placas de perfuração simples.

Figura 12 - Seção transversal anatômica de *S. humboldtiana*.





Fonte: Do autor (2026).

Descrição da Figura 12: Foco na porosidade semi-difusa/semi-porosa (A); Limite do anel de crescimento evidenciado pelo conjunto de 2 a 3 faixas de parênquima marginal, evidenciado pela seta azul (B); Distribuição semi-porosa com foco na diferença de densidade dos vasos no limite do anel de crescimento (C).

Os anéis de crescimento mostraram-se bem definidos e contínuos em 100% das amostras selecionadas para a cronologia final. A transição entre o lenho tardio (fibras mais densas e vasos menores) e o lenho inicial do período subsequente (vasos maiores) foi o marcador mais conspícuo para a medição no sistema LINTAB 6. Não foram observadas evidências de lenho de reação que impedissem a leitura das séries, embora a presença de fibras gelatinosas tenha sido registrada em raios específicos de crescimento.

5.2 Construção da cronologia de *Salix humboldtiana* (1988 – 2024)

Foram amostrados 48 indivíduos de *S. humboldtiana*, dos quais foram descartadas amostras que apresentavam anomalias estruturais, como tortuosidade excessiva ou sinais de podridão, que impossibilitavam a clara visualização e medição dos anéis de crescimento. O processamento e a datação das amostras viáveis seguiram rigorosamente os protocolos dendrocronológicos, com os resultados evidenciados na tabela 3. Os dados obtidos foram resumidos conforme os dados apresentados na tabela 3. Concluída a etapa de datação e filtragem, foram analisadas 35 árvores (70 séries), das quais selecionaram-se 11 indivíduos para compor a cronologia final, critério adotado devido à elevada sincronia interanual observada entre eles (inter-correlação entre séries = 0,61). Cabe destacar que outras séries também apresentaram coerência temporal e formação anual dos anéis, contribuindo para valores de EPS próximos ao limiar de 0,85. No entanto, optou-se por utilizar o subconjunto com maior consistência estatística para maximizar a robustez do sinal comum da cronologia final.

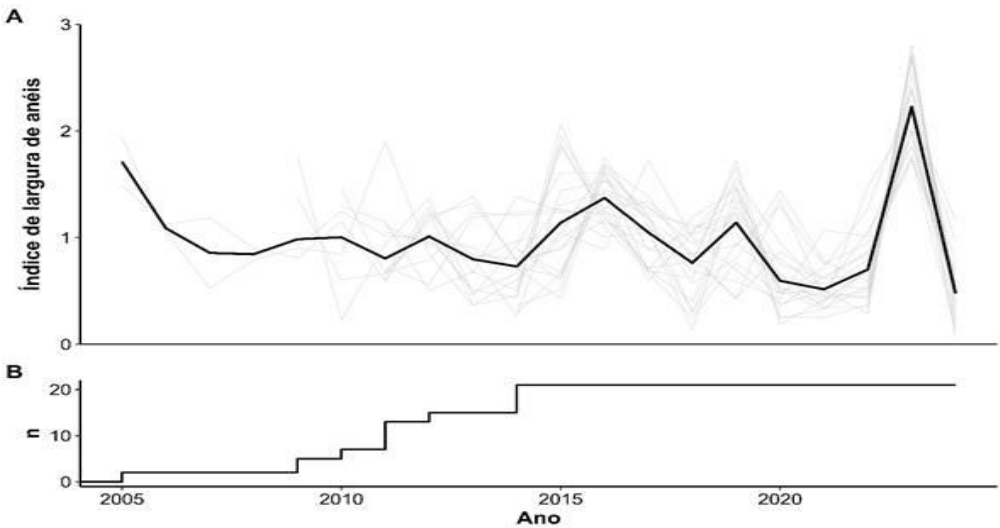
Tabela 3 - Resumo dos resultados da cronologia desenvolvida.

Análise	Parâmetro	Sigla	Valor
Amostragem	Período	-	2005-2024
	Total de árvores	N_{arv}	11
	Total de raios (séries)	N_{series}	21
	Extensão média das séries	$Média_{com}$	14 anos
Sinal entre Árvores	Correlação entre árvores	$RBAR_{bt}$	0,508
	Razão Sinal-Ruído	SNR	13,659
	Sinal Expresso da População	EPS	0,932
Sinal na Árvore	Correlação entre raios (mesma árvore)	$RBAR_{wt}$	0,819
	Autocorrelação de 1ª ordem	AR1	0,254
Sinal Geral	Correlação média (total)	$RBAR_{tot}$	0,523

Fonte: Do autor (2026).

A cronologia resultante cobriu o período de 2005 a 2024 (19 anos; Figura 13A) e exibiu um forte sinal comum, corroborado pela intercorrelação média entre árvores ($Rbar_{bt} = 0,51$) e pelo elevado valor do Sinal Expresso da População ($EPS = 0,93$; Tabela 1). Este índice de EPS superou amplamente o limiar de 0,85 proposto pela literatura (Wigley; Briffa; Jones, 1984), confirmando a robustez estatística do conjunto amostral e a eficácia da datação cruzada. Observa-se ainda um incremento no valor de Rbar em anos mais recentes, especialmente após 2014, possivelmente associado ao aumento do número de séries disponíveis nesse período, o que tende a fortalecer a estimativa do sinal comum. Adicionalmente, as correlações individuais das séries variaram entre 0,60 e 0,80, o que indica forte sincronismo entre o crescimento das arvores amostradas e que estão respondendo de maneira muito semelhante aos mesmos estímulos externos.

Figura 13 - Gráfico padronizado da cronologia de *S. humboldtiana* (2005 – 2024).



Fonte: Do autor (2026).

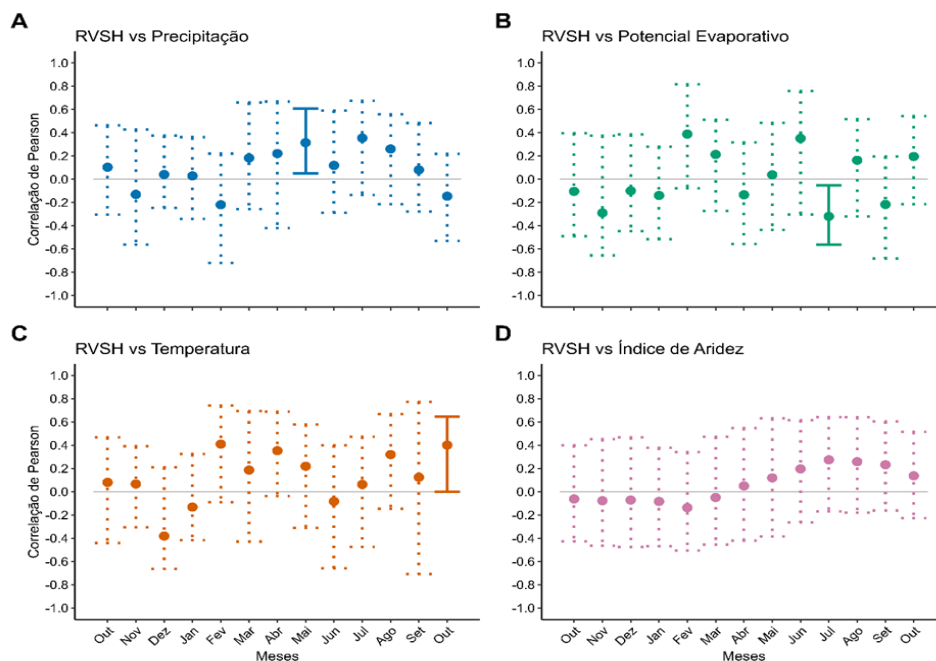
Descrição da Figura 13: Cronologia padronizada de largura de anéis de *S. humboldtiana* para o período de 2005 a 2024. A linha preta representa a cronologia média (índice de crescimento), enquanto as linhas cinzas correspondem às séries individuais padronizadas (A). Número de séries (n) utilizadas na construção da cronologia ao longo do tempo, evidenciando o aumento progressivo do tamanho amostral, com maior representatividade a partir de 2014 (B).

5.3 Análises climáticas

A cronologia construída para a região de Lavras e Ribeirão Vermelho – MG, exibiu uma sensibilidade climática sazonalmente dependente, com respostas estatisticamente significativas concentradas em meses de transição e durante a estação seca (Figura 14). A precipitação atuou como um fator modulador no início da transição para o período seco, apresentando uma correlação positiva e significativa no mês de maio ($r = 0,32$; Figura 14A). Inversamente, durante o ápice da estiagem, o incremento radial foi limitado pela demanda evaporativa atmosférica, evidenciado pela correlação negativa significativa com o potencial de evapotranspiração no mês de agosto (Figura 14B).

Adicionalmente, identificou-se um sinal positivo isolado com a temperatura no mês de outubro ($r = 0,40$; Figura 14C). Quanto ao Índice de Aridez, embora não tenham sido registrados meses com significância estatística rigorosa ($p > 0,05$), observa-se uma tendência de intensificação das correlações à medida que a estação seca avança (Figura 14D).

Figura 14 - Correlação de Pearson entre a cronologia *standard* de largura de anéis de *S. humboldtiana* e variáveis climatológicas mensais para o período de 2005 a 2024.



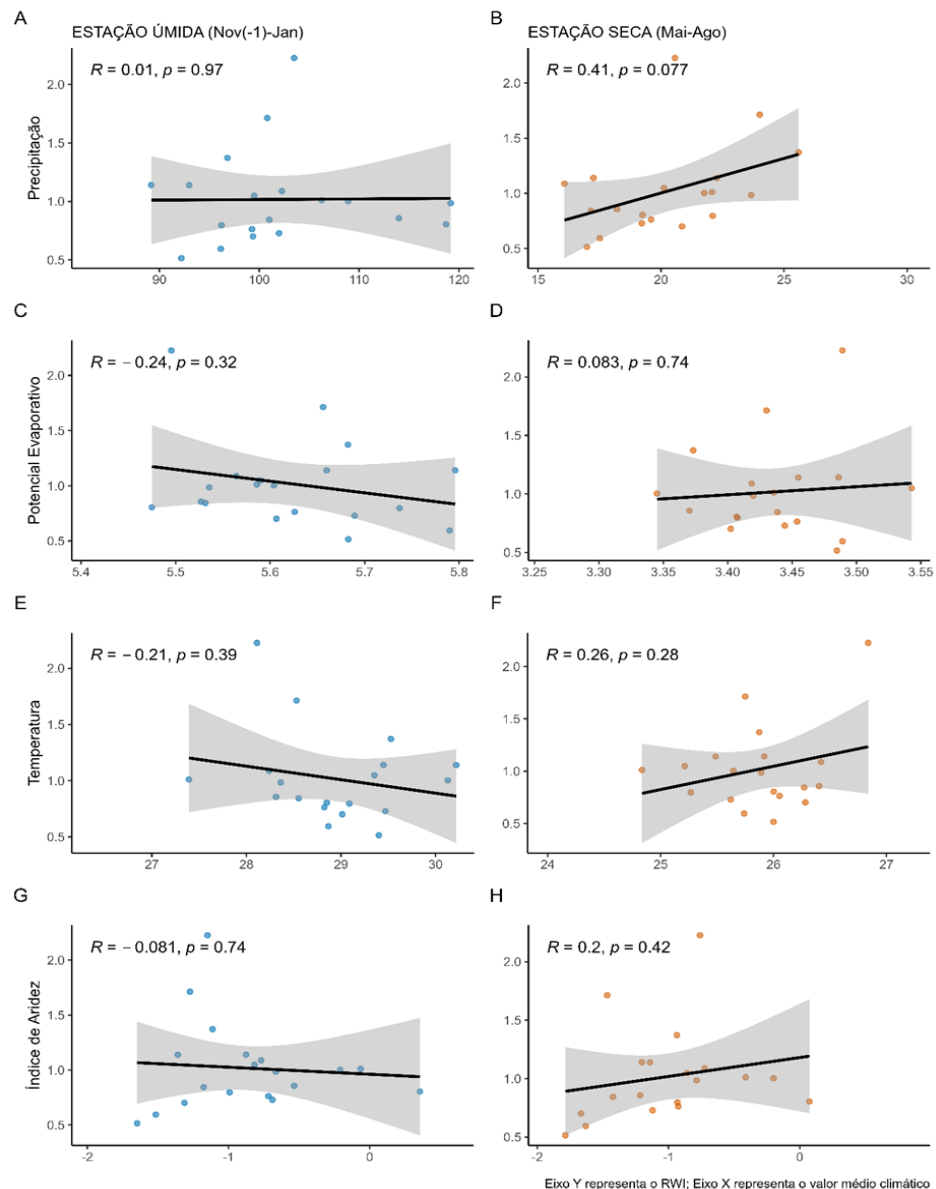
Fonte: Do autor (2026).

Descrição da Figura 14: As correlações referem-se às variáveis Precipitação (A); Potencial Evaporativo (B); Temperatura Média (C); e Índice de Aridez (D). As barras sólidas indicam correlação

estatisticamente significativa ($p < 0,05$), enquanto as barras tracejadas indicam ausência de significância. O eixo x compreende o ano biológico de crescimento, iniciando em outubro do ano anterior (Out) e finalizando em outubro do ano corrente (Out).

O agrupamento sazonal (Figura 15) demonstrou a predominância desse sinal, sugerindo que a estação seca (maio-agosto) pode ser o principal período do ano que influencia a variabilidade do incremento radial, apresentando uma tendência de correlação positiva. Assim, apesar das influências pontuais observadas em outras variáveis, a disponibilidade hídrica ($R = 0,41$; $p = 0,077$) no período de menor pluviosidade emerge como o principal condutor da variabilidade do crescimento de *S. humboldtiana* na área de estudo.

Figura 15 - Diagramas de dispersão e modelos de regressão linear entre o índice de largura de anéis de *S. humboldtiana* e variáveis climáticas sazonais.



Descrição da Figura 15: A coluna da esquerda representa a Estação Úmida (novembro do ano anterior a janeiro) e a coluna da direita a Estação Seca (maio a agosto). As variáveis analisadas são: Precipitação (A, B), Potencial Evaporativo (C, D), Temperatura (E, F) e Índice de Aridez (G, H). A linha sólida indica a tendência de ajuste linear e a área sombreada em cinza representa o intervalo de confiança de 95%.

6 DISCUSSÃO

6.1 Potencial dendrocronológico e caracterização anatômica de *S. humboldtiana*

Os resultados obtidos indicam que *S. humboldtiana* possui características fundamentais para análises dendrocronológicas nos trópicos. A elevada correlação interséries observada entre os indivíduos, refletindo um padrão de crescimento sincronizado, ainda que com variação na intensidade do sinal entre as amostras, aliada à visibilidade macroscópica dos anéis, é consistente com a hipótese de formação anual, permitindo a reconstrução de padrões de crescimento em resposta ao clima. Essa sincronia entre os indivíduos sugere o potencial da espécie como um sensor biológico da dinâmica ambiental de bacias hidrográficas brasileiras.

Do ponto de vista anatômico, a madeira apresenta características estruturais típicas de espécies de crescimento rápido e associadas a ambientes úmidos. A porosidade difusa, com vasos pequenos e numerosos, sugere uma estratégia hidráulica voltada para garantir a condução eficiente de água ao longo do período vegetativo (Tortorelli, 1956). Essa estratégia é corroborada pela distribuição semi-difusa dos vasos, onde elementos de maior diâmetro no lenho inicial contrastam com o lenho tardio, facilitando a delimitação visual dos incrementos anuais mesmo em análise macroscópica (Cook; Kairiukstis, 1990; Wheeler; Baas; Gasson, 1989).

A identificação dos limites morfológicos foi reforçada pela presença de faixas de fibras terminais. Esse critério anatômico permitiu distinguir anéis verdadeiros de simples variações de coloração do lenho, que muitas vezes induzem a interpretações equivocadas de anéis falsos (Gasson, 2011). A continuidade estrutural dessas faixas, observada sob lupa, conferiu maior segurança à datação cruzada das séries.

6.2 Estresse por hipóxia e dormência funcional

Historicamente, sabe-se que anomalias de precipitação podem limitar o crescimento em decorrência do estresse hídrico. No entanto, no caso da cronologia do *S. humboldtiana* em Ribeirão Vermelho, os pulsos de inundação parecem atuar como o principal fator limitante para o crescimento vegetal, sobrepondo à influência das chuvas. Este padrão, onde a formação do anel está atrelada à duração do período não submerso da planta, pode ser observado nas várzeas amazônicas com a espécie *Piranhea trifoliata*, estudada por Schöngart et al. (2004), onde o crescimento radial é atrelado ao período de baixa do nível do rio. A aplicação do conceito de pulso de inundação como regulador principal do crescimento radial demonstra-se relevante,

uma vez que o estudo auxilia na validação do mesmo mecanismo em outras áreas, que neste caso, se trata de uma área tropical de clima sazonal fora do eixo amazônico.

Os resultados indicam que a estação chuvosa concentrada no verão, não atua como principal indutor do incremento radial para o *S. humboldtiana*. Pelo contrário, a dinâmica hidrológica associada ao transbordamento do Rio Grande sugere que o excesso de água pode gerar um estresse por hipóxia ou anoxia (falta de oxigênio no solo). Esse "sufocamento" radicular pode induzir uma dormência funcional conforme Lobo e Joly (1998) explicam sobre plantas tolerantes ao alagamento, onde a árvore interrompe sua atividade cambial mesmo diante de abundância hídrica e temperaturas favoráveis. Anatomicamente, essa pausa metabólica pode estar associada à formação de faixas de fibras terminais, que delimitam o encerramento do ciclo anual de crescimento.

6.3 A "janela de alívio" e a resiliência mecânica

A análise da dinâmica de crescimento radial em *S. humboldtiana* estudada neste trabalho, fundamenta o surgimento inédito do conceito de "janela de alívio" hidrológica, cunhado para descrever o principal regulador da atividade cambial em planícies de inundação neotropicais. Enquanto nos trópicos o crescimento vegetativo é restringido pelo inverno, muita das vezes rigoroso, nos neotrópicos, para ambientes ripários o fator limitante para a espécie pioneira é o pulso de inundação.

A elevação da correlação nesse período, ainda que não apresente significância estatística rigorosa, pode sinalizar o que definimos como "janela de alívio". A estratégia fisiológica que contribuiu para cunhar esse termo é a resposta da espécie durante a estação seca, durante os meses de maio a agosto. Quando as águas dos rios recuam permitindo a drenagem do solo a reoxigenação das raízes, é acionado um tipo de gatilho metabólico, removendo o bloqueio respiratório e permitindo a retomada do incremento radial. Isso ocorre, diferentemente de outras regiões do Brasil, onde o inverno limita o crescimento pelo frio ou seca severa, para *S. humboldtiana* este parece ser o momento em que a espécie se desenvolve.

Por se tratar de uma espécie pioneira e heliófila que coloniza áreas de alta energia e perturbação constante, a árvore necessita de um rápido estabelecimento e estabilização estrutural no ambiente. A identificação anatômica de fibras gelatinosas no xilema secundário sugere uma adaptação para conferir elasticidade e flexibilidade à madeira. Essa característica permite que o tronco suporte a pressão física das águas durante as cheias sem sofrer rupturas, integrando o crescimento radial rápido da "janela de alívio" a uma estratégia de sobrevivência física indispensável em sistemas ripários.

6.4 Plasticidade ecológica e significância estatística

Ainda que em alguns meses a resposta climática não apresente significância estatística rigorosa, tais resultados podem estar relacionados à complexa transição fisiológica entre o estado de anoxia e a retomada metabólica. Fatores locais de geomorfologia e drenagem podem modular a velocidade da resposta cambial de cada indivíduo.

Sendo uma espécie pioneira e higrófila (Demaio; Karlin; Medina, 2002), *S. humboldtiana* apresenta plasticidade ecológica que a torna capaz de registrar variações ambientais de maneira sensível. Sua função na colonização e estabilização de sedimentos reforça a adaptação a regimes de perturbação constante. Assim, a interpretação dos seus anéis de crescimento deve ser multifatorial, considerando simultaneamente a distribuição dos vasos e a dinâmica dos pulsos hidrológicos.

6.5 Limitações do estudo

Por tratar-se de um estudo exploratório pioneiro para a espécie na região de Ribeirão Vermelho, algumas limitações devem ser consideradas. Primeiramente, a complexidade hidrológica devido à presença da Usina Hidrelétrica do Funil. Embora Jardim et al. (2020) evidenciam em seus estudos que a construção do reservatório não alterou o regime de chuvas regional, a sua operação pode obscurecer a interpretação das respostas ecológicas registradas no lenho. Como o nível do rio é controlado artificialmente pela abertura das comportas, as variações de cota nem sempre espelham a variabilidade climática local, apresentando picos de vazão que não apresentam relação direta com a pluviosidade.

Outro ponto crítico reside na janela temporal restrita da cronologia, que abrange o período de 2005 a 2024 (20 anos). Em dendrocronologia, séries temporais curtas apresentam limitações metodológicas inerentes para a recuperação de tendências climáticas de baixa frequência ou ciclos multidecadais. Esse desafio teórico é amplamente discutido na literatura sob o conceito de *segment length curse* (Cook et al., 1995), no qual o comprimento da série restringe a amplitude do sinal climático que pode ser preservado após a padronização. Como as árvores amostradas de *S. humboldtiana* são naturalmente jovens, o comprimento total da cronologia limita a recuperação dessas tendências longas.

Adicionalmente, a reduzida extensão temporal das séries (20 anos) impõe desafios significativos ao processo de padronização e à robustez das correlações climáticas. Em cronologias de curta duração, a remoção de tendências biológicas torna-se mais complexa, uma vez que o baixo número de observações dificulta a distinção precisa entre as oscilações

individuais de crescimento e o sinal climático comum. Essa limitação estatística pode diluir a força das correlações mensais, exigindo cautela na interpretação de sinais que não atingem a significância rigorosa. Todavia, a identificação desses desafios reforça o ineditismo deste estudo em um ambiente ripário dinâmico e estabelece diagnósticos fundamentais para o avanço da dendrocronologia em bacias hidrográficas com histórico de monitoramento recente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo exploratório permitiu indicar o potencial dendrocronológico de *S. humboldtiana* na bacia do Rio Grande, no sudeste do Brasil, sendo os resultados consistentes com a formação anual de seus anéis de crescimento e com sua sensibilidade às variações hidrológicas regionais. A integração dos dados anatômicos e climáticos sugeriu a existência de um sinal difuso, indicando que a espécie adota uma estratégia de sobrevivência adaptada aos pulsos de inundação, apresentando uma "janela de alívio" para o crescimento radial durante o recuo das águas e a consequente aeração do solo.

As dificuldades encontradas no processo de padronização e a detecção do *segment length curse* não invalidam o uso da espécie, mas estabelecem um diagnóstico metodológico fundamental. Para estudos futuros, recomenda-se a ampliação do tamanho amostral e a utilização de sensores de umidade do solo in situ, a fim de refinar o sinal climático e isolar com maior precisão o efeito do manejo das comportas sobre o incremento radial. Além disso, para se evitar inconsistências na identificação dos anéis de crescimento, seriam importantes análises com equipamentos e metodologias mais sofisticadas, como a utilização do micrótomo de trenó e agentes colorantes, a fim de evidenciar cada estrutura anatômica do anel.

Em suma, *S. humboldtiana* apresenta-se como uma ferramenta promissora para a dendroecologia de ambientes ripários neotropicais, abrindo caminhos para futuras reconstruções hidrológicas em bacias onde o monitoramento histórico é escasso ou fragmentado. Além disso, para validar de forma mais robusta a periodicidade dos incrementos, seria importante a realização de análises microanatômicas e de densitometria de raios X, que poderiam detalhar a transição celular entre o lenho tardio e o inicial.

REFERÊNCIA

AB'SABER, A. N. Amazônia: do discurso à práxis. São Paulo: EDUSP, 2004.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP IV (APG IV). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 181, p. 1–20, 2016.

BATTIPAGLIA, G.; CAMPELO, F.; VIEIRA, J.; GRABNER, M.; DE MICCO, V.; NABAIS, C.; CHERUBINI, P.; CARRER, M.; BRÄUNING, A.; ČUFAR, K.; DI FILIPPO, A.; GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; KOPROWSKI, M.; KLISZ, M.; KIRDYANOV, A. V.; ZAFIROV, N.; DE LUIS, M. Structure and function of intra-annual density fluctuations: mind the gaps. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 595, 2016.

BONINSEGNA, J. A. et al. Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 281, n. 3–4, p. 210–228, 2009.

BRAZIL FLORA GROUP (BFG). Brazilian Flora 2020: innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). *Rodriguésia*, v. 69, p. 1513–1527, 2018.

CARLQUIST, S. *Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Berlin: Springer, 2001.

CARPANEZZI, A. A.; TAVARES, F. R.; SOUZA, V. A. Informações sobre a estaquia do salseiro (*Salix humboldtiana* Willd.). *Circular Técnica*, Colombo, v. 33, p. 1–15, 1999.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003.

COOK, E. R. et al. A 'maldição do comprimento do segmento' no desenvolvimento de cronologia de anéis de árvores longas para estudos paleoclimáticos. *The Holocene*, v. 5, n. 2, p. 229–237, 1995.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. *Dordrecht: Kluwer Academic Publishers*, p. 394, 1990.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. New York: Springer Science & Business Media, 2013.

COOK, E. R.; KRUSIC, P. ARSTAN software. Disponível em: <http://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring-laboratory/resources/software>. Acesso em: 15 nov. 2025.

DEMAIO, P.; KARLIN, U.O.; MEDINA, M. Árboles nativos del centro de Argentina. *L.O.L.A. Buenos Aires*, p. 210, 2002.

DOUGLASS, A. E. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, p. 7, 1941.

EMBRAPA. Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. 20 janeiro 2026

<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/temp/index_especies.html>

FONTANA, C.; LÓPEZ, L.; SANTOS, G. M.; VILLALBA, R.; HORNINK, B.; ASSIS-PEREIRA, G.; ROIG, F. A.; TOMAZELLO-FILHO, M. A new chronology of *Cedrela fissilis* (Meliaceae) for Southern Brazil: combining classical dendrochronology and radiocarbon dating. *Dendrochronologia*, v. 85, 2024.

FRITTS, H. C. *Tree rings and climate*. Amsterdam: Elsevier, 2012.

FRITTS, H. C. *Tree rings and climate*. London: Academic Press, 1976.

GASTON, K. J. Global patterns in biodiversity. *Nature*, v. 405, n. 6783, p. 220–227, 2000.

GASSON, P. How precise can wood identification be? The role of wood anatomy in supporting the legal timber trade, especially CITES. *IAWA Journal*, v. 32, n. 2, p. 137–154, 2011.

GHAHREMANINEJAD, F.; KHALILI, Z.; MAASSOUMI, A. A.; MIRZAIE-NODOUSHAN, H.; RIAHI, M. Leaf epidermal features of *Salix* species (Salicaceae) and their systematic significance. *American Journal of Botany*, St. Louis, v. 99, n. 4, p. 1–10, 2012.

HUGHES, M. K. Dendrochronology in climatology: the state of the art. *Dendrochronologia*, v. 20, n. 1–2, p. 95–116, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/pdf/Lim08_BiomSist.pdf>. Acesso em: 20/01/2026.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob matas ciliares. In: Matas ciliares. Conservação e recuperação. Rodrigues, R.R. e Leitão Filho H.F. 2 ed. São Paulo. *Editora da Universidade de São Paulo*, FAPESP, p. 27-31, 2004.

JOLY, C. A.; CRAWFORD, R. M. M. Variation in tolerance and metabolic responses to flooding in some tropical trees. *Journal of Experimental Botany*, v. 33, n. 135, p. 799–809, 1982.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 106, p. 110–127, 1989.

JARDIM, G. F.; CARVALHO, L. G. de; LIMA, J. E. D.; SANTOS, P. A. B. dos; SCHWERZ, F. Evaluation of rainfall patterns in Lavras, Minas Gerais, before and after the formation of the Funil Lake. *Agrometeoros*, v. 28, 2020.

KARRENBERG, S.; EDWARDS, P.; KOLLMANN, J. The Life History of Salicaceae Living in the Active Zone of Floodplains. *Freshwater Biology*, 47, 733-748, 2002.

KOZLOWSKI, T. T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. *Wetlands*, v. 22, n. 3, p. 550–561, 2002.

LAURON-MOREAU, A.; PITRE, F. E.; ARGUS, G. W.; LABRECQUE, M.; BROUILLET, L. Phylogenetic relationships of American willows (*Salix* L., Salicaceae). *PLoS One*, v. 10, n. 4, e0121965, 2015.

LE MOULLEC, M.; BUCHWAL, A.; VAN DER WAL, R.; SANDAL, L.; HANSEN, B. B. Annual ring growth of a widespread high arctic shrub reflects past fluctuations in community-level plant biomass. *Journal of Ecology*, v. 107, n. 1, p. 436–451, 2019.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Tolerance to hypoxia and anoxia in neotropical tree species. In: SCARANO, F. R.; FRANCO, A. C. (eds.). *Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the neotropics*. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, p. 137–156, 1998.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p. 386, 2002.

MARCHELLI, P. et al. *Salix humboldtiana*: a very ancient willow and the only native willow of Argentina. In: *Low intensity breeding of native forest trees in Argentina*. *Springer*, p. 231–246, 2021.

MORENO, F.; LARA-BORRERO, J.; ROJAS, L.; VERA-PUERTO, I. Analysis of *Salix humboldtiana* to be used as the plant species in evapotranspirative willow systems in Latin American highland climate conditions. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 54, n. 13, p. 1302–1310, 2019.

MOTA, H. R. *Análise da influência da geoquímica do ambiente e das características do substrato na estruturação da população de Corbicula fluminea* (Müller, 1974) (Mollusca, Bivalvia) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Volta Grande, MG/SP. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, 2006.

NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 28, p. 631–658, 1997.

NEPOMUCENO, Á.; ALVES, M. Salicaceae na porção norte da Mata Atlântica. *Rodriguésia*, v. 71, p. e01232018, 2020.

NILSSON, C.; BERGGREN, K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. *BioScience*, v. 50, n. 9, p. 783–792, 2000.

ORTEGA RODRIGUEZ, D. R.; SÁNCHEZ-SALGUERO, R.; HEVIA, A.; GRANATO-SOUZA, D.; CINTRA, B. B. L.; HORNINK, B.; ANDREU-HAYLES, L.; ASSIS-PEREIRA, G.; ROIG, F. A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Climate variability of the southern Amazon inferred by a multi-proxy tree-ring approach using *Cedrela fissilis* Vell. *Science of the Total Environment*, v. 871, p. 162064, 2023.

PAES, C. F. C. Urbanismo regenerativo: novos paradigmas para sustentabilidade urbana. In: *Seminário Internacional de Arquitetura e Urbanismo (SIAU)*. v. 1, p. e28081–e28081, 2021.

- PALERMO, G. P. L.; 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. 1–10, 2002.
- PAROLIN, P. Morphological and physiological adjustments to waterlogging and drought in seedlings of Amazonian floodplain trees. *Oecologia*, v. 128, n. 3, p. 326–335, 2001.
- PAROLIN, P.; OLIVEIRA, A. C.; PIEDADE, M. T. F. *et al* Pioneer trees in Amazonian floodplains: Three key species form monospecific stands in different habitats. *Folia Geobot*, 37, 225–238, 2002.
- PEZESHKI, S. R. Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, v. 46, p. 299–312, 2001.
- PEREIRA, G. A.; 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, p. 162–171, 2018.
- REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. *Terrae Didactica*, v. 8, n. 1, p. 34–50, 2015.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira do Rio Grande do Sul. *Sellowia*, Itajaí, n. 34/35, p. 1–525, 1983.
- ROMARIZ, D. A. *Humboldt e a fitogeografia*. São Paulo: Lemos Editorial, 1996.
- ROQUETTE, J. G.; LOBO, F. A.; CURADO, L. F. Dendroclimatologia na Amazônia: aplicações e potencialidades. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 1–15, 2019.
- SANTOS, L. D. S. B.; CARVALHO, L. S.; ROQUETTE, J. G.; SOUZA, M. M. X.; AGOSTINI, G. B.; DRESCHER, R.; MILANI, J. E. F.; FAVALESSA, C. M. C. Dendroclimatology of *Cedrela fissilis* Vell. and *Copaifera langsdorffii* Desf. in an urban forest under Cerrado domain. *Forests*, v. 16, p. 289, 2025.
- SCHÖNGART, J.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; AYRES, J. M.; HÜTTERMANN, A.; WORBES, M. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, p. 683–692, 2004.
- SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicities of trees in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*, v. 18, n. 4, p. 581–597, 2002.
- SCHWEINGRUBER, F. H. *Tree rings and dendroecology*. Bern: Haupt, p. 609, 1996.
- SCHWEINGRUBER, F. H. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. New York: Springer Science & Business Media, 2012.
- SPEER, J. H. Fundamentals of tree-ring research. Tucson: University of Arizona Press, 2010.

SILVA, M. S.; FUNCH, L. S.; SILVA, L. B. The growth ring concept: seeking a broader and unambiguous approach covering tropical species. *Biological Reviews*, v. 96, n. 3, p. 1161–1178, 2019.

SILVA, M. S.; SILVA, L. B. Anéis de crescimento: as árvores também contam histórias. In: MEDEIROS, A. O.; SÁ, T. S.; BELLINTANI, M. C.; SANTOS, E. G. S.; OLIVEIRA, C. P. (org.). *O Instituto de Biologia conta suas histórias*. Salvador: EDUFBA, p. 72–78, 2024.

STAHL, D. W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA Journal*, v. 20, n. 3, p. 249–253, 1999.

STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. *An introduction to tree-ring dating*. Tucson: University of Arizona Press, p. 73, 1968.

SUTILI, F.; DA SILVA DORNELES, R.; VARGAS, C.; KETTENHUBER, P. Avaliação da propagação vegetativa de espécies utilizadas na estabilização de obras de terra com técnicas de engenharia natural. *Ciência Florestal*, v. 28, p. 1–12, 2018.

TAPE, K.; STURM, M.; RACINE, C. The evidence for shrub expansion in northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology*, v. 12, n. 4, p. 686–702, 2006.

TORTORELLI, L. A. *Maderas y bosques argentinos*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora, 2009.

TORTORELLI, L. A. *Maderas y bosques argentinos*. Acme S.A.C.I. Buenos Aires, p. 910, 1956.

VILAS, D. L.; PENNA, L. R. P.; COLCHETE FILHO, A. F. A revitalização de águas urbanas: ensaios sobre o Córrego do Feijão Cru. *Cidades Verdes*, v. 9, n. 25, 2021.

WARD, J. V. et al. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, v. 47, n. 4, p. 517–539, 2002.

WHEELER, E. A.; BAAS, P.; GASSON, P. E. (eds.). *IAWA list of microscopic features for hardwood identification*. Leiden: IAWA, v. 10, p. 219–332, 1989.

WIEDENBRUG, G. W. *Maderas chilenas: contribución a su anatomía e identificación*. Lilloa, p. 263–376, 1949.

WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R.; JONES, P. D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v. 23, n. 2, p. 201–213, 1984.

WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; MONTERO, J. C.; MOTZER, T.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; QUEIROZ, H. L.; WORBES, M. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests throughout the Amazon Basin. *Biotropica*, v. 36, n. 1, p. 8–21, 2004.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics: a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, v. 20, p. 217–231, 2002.

WORBES, M.; FICHTLER, E. Wood anatomy and tree-ring structure and their importance for tropical dendrochronology. In: JUNK, W. J. et al. (eds.). *Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management*. Dordrecht: Springer, p. 329–346, 2010.

WORBES, M. Mensuration/Tree-Ring Analysis. In: BURLEY, J.; EVANS, J.; YOUNGQUIST, J. A. (org.). *Encyclopedia of Forest Sciences*. New York: Academic Press, Elsevier Sciences, 2004.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. *Identificação macroscópica de madeiras*. São Paulo: IPT, 2007.