



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)**

DENDROECOLOGIA DE TRÊS ESPÉCIES DO CERRADO BRASILEIRO

PATRICIA TIEMI DE PAULA LEITE

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Agosto - 2017



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)**

DENDROECOLOGIA DE TRÊS ESPÉCIES DO CERRADO BRASILEIRO

PATRICIA TIEMI DE PAULA LEITE

Orientadora: Profa. Dra. Leonor Patricia Cerdeira Morellato

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Agosto - 2017

581.5 Leite, Patricia Tiemi de Paula
L533d Dendroecologia de três espécies do Cerrado brasileiro /
Patricia Tiemi de Paula Leite. - Rio Claro, 2017
93 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro

Orientadora: Leonor Patrícia Cerdeira Morellato

1. Ecologia vegetal. 2. Anéis de crescimento. 3.
Dendrocronologia. 4. Floresta tropical seca. 5. Mudanças
climáticas. 6. Manejo. 7. ENSO. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Rio Claro



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Dendroecologia de três espécies do cerrado brasileiro

AUTORA: PATRICIA TIEMI DE PAULA LEITE

ORIENTADORA: LEONOR PATRICIA CERDEIRA MORELLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof.^a. Dr.^a. LEONOR PATRICIA CERDEIRA MORELLATO
Departamento de Botânica / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. MARIO TOMAZELLO FILHO
Departamento de Ciências Florestais / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA

Prof. Dr. GIULIANO MASELLI LOCOSSELLI
Faculdade de Medicina / USP

Prof.^a. Dr.^a. ANA CAROLINA MAIOLI CAMPOS BARBOSA
Departamento de Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. CLAUDIO SERGIO LISI
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde / Universidade Federal de Sergipe

Rio Claro, 18 de setembro de 2017

“O saber a gente aprende com os mestres e com os livros. A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes”

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

E assim finalizo mais um ciclo em minha vida. Agradeço imensamente a todos que contribuíram, esta tese é resultado do trabalho, do exemplo e incentivo de muitas pessoas.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, ao Instituto de Biociências da UNESP – Campus de Rio Claro. Ao departamento de Botânica e a Coordenação do curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - proc. #2010/51307-0 e #2013/50155-0) pelo apoio financeiro.

À minha orientadora Profa. Dra. Patricia Morellato, pela oportunidade e confiança na minha proposta de projeto, mesmo não sendo sua linha de pesquisa. E pelo direcionamento assertivo quando foi necessário mudar.

Ao prof. Dr. Mario Tomazello Filho, por todo o apoio nessa caminhada. Expresso minha imensa admiração pelo profissional que és.

A todos os alunos e funcionários do Laboratório de Anatomia e Identificação e Raio-X da Madeira (ESALQ/USP), dentre eles à Nayara Marcon, Roger Legoas, José Luiz Peña, Tássio Trevizor, Luciana Sousa, Maria Bermudez e em especial ao amigo Aparecido Siqueira, pessoa fundamental para realização da parte técnica deste trabalho!

Aos professores e funcionários do departamento de Botânica (UNESP/RC), especialmente a Profa. Dra. Alessandra Ike Coan, por toda ajuda com a parte de anatomia da madeira e pelo incentivo e positivismo para que eu fizesse mais um teste! Ao Prof. Dr. Gustavo Habermann pela oportunidade de realizar o estágio docência, mas principalmente pelos conselhos e pelo exemplo de professor a

ser seguido. Ao Prof. Dr. Marco Antônio de Assis, pelas correções dos relatórios e pela amizade durante o Ciclo de Palestra e Simpósio.

À técnica Naiara David de Souza pela amizade, por me apresentar a microfisioterapia e pela competência em me ajudar no estágio docência e com os materiais da tese.

Agradeço a toda minha família, em especial: Mãe, Pai (*in memoriam*), André e Ana Paula, Nelson, Batian, Christina, Tia Paula, Tia Dulce, Tio Jorge, Tia Cris e Aninha, vocês sempre me deram forças, me incentivaram, amo vocês!

Ao Danilton Luiz Flumignan, meu grande amigo, companheiro e incentivador de mais esta jornada. Te agradeço por toda ajuda com a tese, pelas coletas em MS com o “frescor” de 40°C, com as correções e críticas sempre muito pertinentes. Agradeço por acreditar e apoiar todas as minhas escolhas, te amo imensamente!

À minha amiga Eliana Paixão e ao amigo Victor Hugo Andrade, vocês foram fundamentais para a conclusão deste trabalho! Agradeço a disponibilidade, todas as discussões, risadas e desespero via skype, whatsapp, e-mail, sem vocês a dendrocronologia não seria tão legal!

À Flávia e Danilo pela amizade e carinho nessa fase de altos e baixos, desde a seleção do doutorado até nos momentos de refúgio em Araraquara para recarregar as baterias.

A todos que passaram pelo LabFeno nestes quatro anos, foi muito bom conviver com vocês!! Amanda, Betânia, Beatriz, Bruna, Bruno, Carol, Daniel e Naty, Diego, Gabi, Gustavo, Irene, Léo, Marcel, Marina, Natinha, Renan, Rosane, Vanessa, Soizig e Swanni!

Aos que me ajudaram com a anatomia: Anna Carolina, Arthur, Kaire, Kleber e principalmente à Blanca, Letícia e Thales, muito obrigada por todas as dicas!

Às minhas queridas amigas Betânia Vargas e Letícia Poli! Obrigada por todos os momentos que compartilhamos, sem vocês RC teria sido muito mais difícil! =)

À querida amiga Lorena Egídio, agradeço por todas as nossas conversas, foram muitos aprendizados compartilhados e apesar de tudo que já passamos, o saldo agora é positivo! =)

A todos aqueles que pude conviver durante esses quatro anos, meu muito obrigada!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS.....	13
Capítulo 1: Management of cerrado trees using growth rings.....	15
Abstract	16
Introduction	17
Material and Methods	18
Study area.....	18
Selection of forest species.....	19
Characterization of the wood anatomic structure and growth rings	19
Core extraction and preparation for tree rings analysis	20
Determination of apparent wood density using X-ray densitometry	20
Dendrochronological analyses and growth modeling.....	21
Results.....	23
Discussion	26
Conclusion	27
Acknowledgements	28
References.....	28
Tables.....	33
Figures	34
Capítulo 2: Dendroecologia de três espécies arbóreas do cerrado: influência climática na fenologia e no incremento radial do tronco.....	41
Resumo	42
Introdução	44
Material e Métodos.....	45
Área de estudo.....	45
Espécies estudadas	46
Dados dendrométricos	46
Observações fenológicas e banco de dados	47

Coleta e preparação dos anéis de crescimento	47
Construção da cronologia	48
Séries históricas climáticas	49
Resultados.....	50
Discussão.....	53
Conclusões	58
Agradecimentos	59
Referências	59
Tabela	67
Figuras	68
Material Suplementar	75
Nota Técnica: Sobre o uso da anatomia cambial de espécies arbóreas do cerrado.....	76
Introdução	77
Métodos.....	79
Protocolos utilizados	80
Metodologias aplicadas e adaptações.....	82
Considerações.....	83
Agradecimentos	86
Referências	87
Figuras	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

RESUMO

O conhecimento a respeito do crescimento e da formação estrutural da madeira em árvores, são preceitos básicos para entender como o clima influencia o desenvolvimento arbóreo, aqui exemplificadas pelo estudo das populações de *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae) e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae). O objetivo deste estudo foi investigar a influência do clima no desenvolvimento do tronco das árvores de três espécies nativas do Cerrado, contribuindo assim para a sua conservação e manejo. Para alcançar esses objetivos foram realizados estudos dendrocronológicos, associados ao uso de técnicas de raios-X aplicados no lenho, utilização do conceito de manejo GOL (exploração orientada pelo crescimento), utilização de faixas dendrométricas, fenologia e anatomia cambial. Cada espécie apresentou individualidade no crescimento e houve evidente variação interespecífica. Mesmo considerando o lento crescimento cambial detectado, o incremento radial do tronco foi influenciado pelo déficit hídrico sazonal, reduzindo as taxas de crescimento nos períodos secos, e a fenologia apresentou sazonalidade nas fenofases estudadas. Por meio da construção das cronologias foi verificada a existência de correlação entre as larguras dos anéis de crescimento e clima. O crescimento das espécies foi influenciado pelas variáveis climáticas regionais (precipitação e temperatura) e possuem teleconexão com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do *El Niño* Pacífico, mas não apresentou relação com a TSM do Atlântico Sul. Nossos dados mostram informações importantes sobre as taxas de incrementos para o manejo sustentável das três espécies. Verificamos que o déficit hídrico foi determinante para o incremento radial do tronco no período de 2014 a 2016 e para fenologia, esse déficit afetou a duração das fenofases. Verificamos também que as variáveis climáticas (regionais e globais) modularam o crescimento das três espécies. E finalmente, as dificuldades encontradas no processamento adequado das microamostras de madeira interferiram na qualidade e o resultado final do estudo da anatomia cambial.

Palavras-chave: dendrocronologia, floresta tropical seca, mudanças climáticas, manejo, ENSO

ABSTRACT

The knowledge about the tree growth and wood formation is has a fundamental role for the understanding of how environment and climate have influenced the development of tree populations, here explored sstuding three cerrado species: *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae) and *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae). The objective of this study was to investigate how climate influenced the development of these three species of trees native from Cerrado, contributing for their conservation and logging management. For that end, we conducted conventional dendrochronological studies associated to other techniques: wood X-ray, the management concept GOL (Growth Oriented Logging), the use of dendrometric bands, all associated to phenology and cambium anatomy. Each species showed particularities related to growth patterns and evident interspecific variation. The slow growth rate and the radial increment were influenced by the seasonal water deficit, reducing the growth rates during the dry seasons, and matched the seasonality of the observed leafing and reproductive phenology. The recovered chronologies indicated a correlation between the growth rings and the climatic variables. The growth was influenced by regional climatic variables (precipitation and temperature) and the teleconnection with the *El Niño* Pacific SST (Sea Surface Temperature) anomalies, but it was not related to the South Atlantic SST. Our data show adequate information on the incremental rates at the sustainable management of the three species. It was verified that the water deficit was determinant for the radial increase in the period from 2014 to 2016 and for phenology, this deficit affected the duration of the phenophases. It was also verified that the climatic variables (regional and global) modulated the growth of the three species. Finally, the difficulties in the processing of microcores of wood interfered with the quality and the result of the exchange anatomy study.

The difficulties in the processing of high-density wood samples interfered on the quality and the result of the exchange anatomy study.

Key-words: dendrochronology, tropical dry forest, climate change, management, ENSO

INTRODUÇÃO GERAL

A compreensão a respeito do crescimento e da formação da estrutura da madeira é considerado preceito básico para o entendimento das relações entre os fatores ambientais e as características anatômicas dos anéis de crescimento das árvores (Fritts, 1976). O crescimento arbóreo pode variar de acordo com o dia, com a estação do ano e o tempo de vida da árvore, podendo ser acessados através de métodos fenológicos e dendrocronológicos (Schweingruber, 1988). A verificação destas relações e a descoberta de quais fatores (endógenos e exógenos) atuam no desenvolvimento das árvores, contribuem para o conhecimento das comunidades vegetais (Schweingruber, 1996).

As primeiras informações a respeito dos anéis de crescimento foi de Theophrastus, aprendiz de Aristóteles (372-287 AC), considerado o pai da Botânica. Mas foi no século XVI que Leonardo da Vinci fez as primeiras referências sobre os anéis de crescimento estimarem a idade das árvores, verificando que as espessuras dos anéis indicavam anos mais ou menos secos (Corona, 1986; Speer, 2010). Apesar dessa referência histórica, a dendrocronologia passou a ser reconhecida como ciência somente na Alemanha do século XIX, por meio de trabalhos de Theodor e Robert Harting (Schweingruber, 1996). Entretanto, apenas a partir do século XX houve um aumento expressivo nas pesquisas com dendrocronologia. Foi nesse período que o pesquisador Andrew E. Douglass desenvolveu a metodologia de datação cruzada dos anéis de crescimento, método fundamental aplicado aos trabalhos que utilizam a dendrocronologia até os dias atuais (Stokes & Smiley, 1996).

A dendrocronologia passou a ser então reconhecida como a ciência que estuda a idade das árvores, o que permite obter as taxas de incremento radial e também avaliar a relação entre fatores climáticos e o crescimento utilizando os anéis de crescimento (Schweingruber, 1988; Worbes, 2004). Os anéis de crescimento das árvores são formados pelas estruturas anatômicas da madeira, resultantes da atividade cambial em dois períodos, o de crescimento vegetativo e o relativo ao repouso fisiológico, podendo ser observados através do corte transversal da madeira (Botosso & Mattos, 2002; Imaña-Encinas et al., 2002).

Os estudos dendrocronológicos em áreas de clima temperado tem sido utilizado há dezenas de anos, no entanto, a existência de anéis de crescimento em regiões tropicais sempre foi muito questionada (Lieberman et al., 1985; Schweingruber, 1996; Ohashi et al., 2009). Apesar disso, diversos países tropicais têm apresentado trabalhos que comprovam a anualidade, a distinção dos anéis de crescimento e a sua relação com os fatores ambientais (Worbes, 1999, 2002; López et al., 2013; Zuidema et al., 2012; Brienen et al., 2016). Existe um aumento recente considerável dos estudos dendrocronológicos nos trópicos, demonstrando que a utilização da dendrocronologia e das diversas análises dos anéis de crescimento apresentam eficiência e confiabilidade (Schöngart et al., 2008; Rosa et al., 2016; Assahira et al., 2017; López et al., 2015; 2017; Locosselli et al., 2016, 2017).

A dendrocronologia se diversificou e diversas sub áreas de estudo foram criadas. Uma das áreas mais exploradas atualmente é a dendroclimatologia, que utiliza a datação dos anéis de crescimento para reconstruir e estudar o clima passado e presente (Fritts, 1976; Schweingruber, 1996; Speer, 2010). Outra sub área bastante utilizada é a dendroecologia, que por meio da datação dos anéis de crescimento busca entender os fatores que afetam o ecossistema, como poluição, inundações e queimadas, como também acessar informações sobre os acontecimentos ambientais registrados ao longo do tempo, por meio da determinação dos isótopos estáveis e das relações entre clima-crescimento (Speer, 2010).

Neste contexto a presente tese utilizou a dendrocronologia e a dendroecologia para investigar o crescimento de três espécies arbóreas (*Qualea grandiflora* Mart. - Vochysiacaceae, *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. – Sapotaceae e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. - Lauraceae), abundantes em Cerrado *sensu stricto* (cerrados no estado de São Paulo e no estado de Mato Grosso do Sul, na transição cerrado-pantanal), buscando entender os padrões de crescimento cambial e se estes respondem às variações climáticas. Para isso associamos às análises dendrocronológicas tradicionais, técnicas de Raios-X, utilização de faixas dendrométricas, dados de fenologia e coletas

anatômicas, empregadas com a finalidade de extrair o máximo de informações sobre o crescimento destas espécies.

No primeiro capítulo foi aplicada a dendrocronologia na construção dos modelos de crescimento das espécies e análises de raios-X para a determinação da densidade da madeira. O objetivo principal foi definir critérios de manejo espécie-específico e oferecer as bases para um sistema de exploração florestal sustentado, contribuindo para a conservação das três espécies estudadas.

O segundo capítulo utilizou os métodos dendroecológicos, analisando como os fatores climáticos influenciaram o crescimento destas espécies. Para isso foi verificado o incremento radial do tronco por meio de faixas dendrométricas, relacionando este crescimento com a precipitação e as variações fenológicas atuais. Além disso, foram construídas as cronologias das três espécies para verificar como as variáveis climáticas regionais e globais afetaram o crescimento das três espécies.

O terceiro capítulo se fez no formato de nota técnica, expondo a técnica de amostragem cambial, onde foi utilizado o Trephor, equipamento que propiciou a retirada de pequenas amostras do câmbio, causando mínimas injúrias e proporcionando agilidade no processo de coleta (Rossi et al., 2006b) e as dificuldades encontradas no adequado processamento da madeira de alta densidade das espécies de cerrado. Foram discutidos os problemas encontrados na obtenção das amostras de anatomia cambial das três espécies e como isso afetou o resultado final alcançado.

REFERÊNCIAS

- Assahira, C.; Piedade, M. T. F.; Trumbore, S. E; Wittmann, F.; Cintra, B. B. L.; Batista, E. S.; Resende, A. F.; Schöngart, J. 2017. Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. *Forest Ecology and Management*, 396, 113–123.
- Botosso, P. C.; Mattos, P. P. de. 2002. A idade das árvores: importância e aplicação. Colombo: Embrapa Florestas, 25 pp.
- Brienen, R. J. W.; Schöngart, J.; Zuidema, P. 2016. Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. In: Goldstein G., Santiago L. (eds) *Tropical Tree Physiology*. *Tree Physiology*, 6, 439-461.
- Corona, E. 1986. Dendrocronologia: principi e applicazioni. In: *Dendrocronologia: Principi e Applicazioni*. Atti del Seminario a Verona nei giorni 14 e 15 November 1984. Istituto Italiano de Dendrocronologia, Verona, Italy, 7-32.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree ring and climate*. London: Academic Press. 567 pp.
- Imaña-Encinas, J. 2002. Variáveis dendrométricas. Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Florestal, Brasília. 102 pp.
- Larson, P. R. 1994. *The vascular cambium: development and structure*. Springer series in wood science, 736 pp.
- Lieberman, D.; Lieberman, M.; Hartshorn G.; Peralta, R. 1985. Growth Rates and Age-Size Relationships of Tropical Wet Forest Trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 1(2), 97-109.
- Locosselli, G. M.; Schöngart, J.; Ceccantini, G. 2016. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. *Trees*, 30:1127–1136.
- Locosselli, G. M.; Krottenthaler, S.; Pitsch, P.; Anhuf, D.; Ceccantini, G. 2017. Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp. – Leguminosae) inhabiting different tropical biomes. *Erdkunde*, 71(1), doi.org/10.3112/erdkunde.2017.01.03
- Lopez, L.; Villalba, R.; Bravo, F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology and Management*, 292, 49-55.
- Lopez, L.; Villalba, R. 2015. Criterios de gestión forestal para 12 especies de los Bosques Nativos Tropicales de Bolivia a través de métodos dendrocronológicos. *Ecosistemas*, 24(2): 24-29.

- Lopez, L.; Stahle, D.; Villalba, R.; Torbenson, M.; Feng, S.; Cook, E. 2017. Tree ring reconstructed rainfall over the southern Amazon Basin. *Geophysical Research Letters*, 44, doi:10.1002/2017GL073363.
- Ohashi, S.; Okada, N.; Nobuchi, T.; Siripatanadilok, S.; Veenin, T. 2009. Detecting invisible growth rings of trees in seasonally dry forests in Thailand: isotopic and wood anatomical approaches. *Trees*, 23, 813–822.
- Rosa, S. A.; Barbosa, A. C. M. C.; Junk, W. J.; Nunes da Cunha, C.; Piedade, M. T. F.; Scabin, A. B.; Ceccantini, G. C. T.; Schöngart, J. 2017. Growth models based on tree-ring data for the Neotropical tree species *Calophyllum brasiliense* across different Brazilian wetlands: implications for conservation and management. *Trees*, doi:10.1007/s00468-016-1503-5.
- Rossi, S.; Anfodillo, T.; Menardi, R. 2006b. Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal*, 27(1), 89-97.
- Schöngart, J. 2008. Growth–Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management*, 256, 46-58.
- Schweingruber, F. H. 1988. *Tree rings. Basic and applications of dendrochronology*. Luwer, Dordrecht.
- Schweingruber, F. H. 1996, *Tree rings and environment dendroecology*, Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 pp.
- Speer, J. H. 2010. *The fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press. 368 pp.
- Stokes, M. A. & Smiley, T. L. 1996. *Introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press, 73 pp.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, 87, 391–403.
- Worbes, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20/1-2, 217-231.
- Worbes, M. 2004. Tree-ring analysis: En: Burley, J., Evans, J.; Quist, J. Y. (Eds.) *encyclopedia of forest science*. Academic press Elsevier. The Netherlands, 586-599.
- Zuidema, P. A.; Brien, R. J. W.; Schöngart, J. 2012. Tropical forest warming: looking backwards for more insights. *Trends in Ecology and Evolution*, 27(4): 193-194.

Capítulo 1

Management of Cerrado Trees Using Growth Rings¹

Patricia Tiemi de Paula Leite^{2*}, Mario Tomazello Filho³, Leonor Patrícia Cerdeira Morellato²

²UNESP - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, Laboratório de Fenologia, Rio Claro, São Paulo, Brazil

³USP - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba, São Paulo, Brazil

*Corresponding author: patricialeite.bio@gmail.com

¹Artigo publicado no periódico: **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 2016, 10 (16): 92-103

Abstract

Together with the continuous forest suppression in tropical regions, the concern about the adoption of sustainable forest management that rests on low impact principles has been increasing, and the expectations are that this management contemplates the peculiarity of each environment and each species. In this paper, we analyzed growth rings of three woody native species of the Brazilian cerrado in São Paulo State (SP) and cerrado-pantanal transition in Mato Grosso do Sul State (MS): *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), a decidual specie; *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae), a semi-decidual specie and *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae), an evergreen specie. We further used management criteria (GOL concept) and X-ray densitometry analysis to evidenciate their allometric growth in terms of diameter at the breast height, height, volume and biomass. Our analyses are expected to contribute to a better forest management by providing reliable information about the species growth pattern. Wood density varied from 0.67 to 0.78 g cm⁻³, diameter at the breast height from 18 to 51 cm and the felling cycle from 11 to 18 years. We demonstrated that each species has particularities evident interspecific variation. The minimum logging diameter and cutting cycle values found for each species constitute subsidies required for their conservation and sustainable forest management. The biomass models reveal important information regarding plans of carbon stock and sequestration for both study sites.

Keywords: growth rings, tropical dendrochronology, Cerrado, forest management

1. Introduction

The continuous forest suppression in tropical and subtropical regions (FAO, 2015) stimulates the academic forum and those related to the environmental legislation to discuss the importance of applying sustainable management strategies, aiming to promote wood production, while conserving biodiversity (Schöngart, 2010; De Ridder et al., 2013; Junk et al., 2013).

Among the Brazilian ecosystems, cerrado is characterized by a significant plant diversity, many of the species are considered endemic (Coutinho, 2006; Silveira et al., 2016). The cerrado represents 34% of Brazil territory, but during the last decades it has been drastically converted to cattle ranching and agriculture (Silva et al., 2006; Durigan et al., 2007). Cerrado exploitation is also characterized by a selective extraction of hardwood species or, eventually, by trees cutting for charcoal production (Pivello & Coutinho, 1996; Klink & Machado, 2005; Ribeiro et al., 2011; Venturoli et al., 2014).

This traditional predatory exploitation contrasts to the sustainable forest management technique that has been implemented in some tropical forests, for example, some areas of the Brazilian Amazon, where the adoption of rotation cycles is promoting a sustainable forest management that is grounded in low impact (Putz et al., 2008). In general, in tropical forests there is a concern that the minimum logging diameter has to vary between 40 and 70 cm, and the cutting cycle from 20 to 35 years (Schöngart et al., 2003, 2007; Brienen & Zuidema, 2006, 2007; Lopez et al., 2013). According to the authors, the adoption of these parameters can result in both overexploitation or under exploitation of the timber potential, because they do not take into account the specificity of each tree species.

The dendrochronology, a science that analyses tree rings (Worbes, 2004), has produced valuable information about the radial growth pattern of forest trees. This information has allowed a reasonable estimate of the better age and logging diameter that promotes a sustainable forest

management, which contemplates all the singularities of the environment and economic potential (Boltz et al., 2001; Brienen & Zuidema, 2007; Leoni et al., 2011; Schöngart et al., 2007, 2015).

In the present study, we investigated growth rings of three species of trees occurring in the Brazilian cerrado and in the cerrado-pantanal transition. In addition, we used GOL concept (growth-oriented logging), developed by Schöngart (2008), to obtain growth models and cutting forecasts that provide subsidies for sustainable exploitation and conservation. We selected three woody species that have the potential for management and conservation: *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), a deciduous species of primary and secondary formation, and with potential for restoration of degraded lands (Almeida et al., 1998; Lorenzi, 1992). *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae), a semi-deciduous species from rainforest and cerrado also indispensable for restoration programs (Gama et al., 2011; Lorenzi, 1992; Roderjan & Kuniyoshi, 1995); and *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae), an evergreen species, late secondary and shade tolerant, that has a potential for reforestation (Spathelf et al., 2010; Lorenzi, 1998; Reitz et al., 1979; Rizzini, 1971; Guimarães, 2012).

2. Material and Methods

2.1 Study area

The study was developed in two areas, the cerrado of São Paulo State, and a cerrado-pantanal transition of Mato Grosso do Sul State, both in Brazil as follows:

Cerrado in São Paulo State (SP): an area of 260 ha of cerrado *sensu stricto* located in the municipality of Itirapina (22°13'S and 47°53'W), the altitude of 610 meters. As pointed out by Alvares et al. (2014), the climate is subtropical humid with dry winter and with hot and rainy summer and Cwa type according to Köppen-Geiger climate classification. Mean annual temperature ranges from 20 to 22 °C and total annual precipitation from 1,300 to 1,600 mm (Figure 1a and b).

Transition cerrado-pantanal in Mato Grosso do Sul State (MS): a permanent preservation area with 160 ha in the Paxixi valley, the municipality of Aquidauana (20°26'S and 55°39'W), where altitude varies from 232 to 408 meters. This area belongs to the Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Accordingly to Alvares et al. (2014), climate is tropical with dry winter and rainy summer, Aw type in Köppen-Geiger climate classification. Mean annual temperature ranges from 24 to 26 °C and total annual precipitation from 1,300 to 1,600 mm (Figure 1a and c).

2.2 Selection of forest species

In this study, we selected 105 trees of three species that are abundant in the studied areas (Fina & Monteiro 2013; Reys et al., 2013). In addition, all species were previously tested and proved to produce growth rings (Marcati et al., 2006; Spathelf et al., 2010), what is a fundamental requirement for the present study. The species chosen were: the “pau-terra” *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), sampled in both locations, the cerrado of São Paulo hereafter cerrado-SP and in the cerrado-pantanal transition in Mato Grosso do Sul, hereafter cerrado-MS; and the “abiupiloso” *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae) and the “canela-lageana” *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae), both sampled only in the cerrado-SP.

For all trees sampled we measured the diameter at the breast height (DBH) using a diameter tape and the height using laser tape and Blume-Leiss hypsometer (Table 1).

2.3 Characterization of the wood anatomic structure and growth rings

Qualea grandiflora has well-defined growth rings, with thick walls and radially flattened latewood fibers (Marcati et al., 2006). The marginal lines of axial parenchyma observed in such a tangential way to these fibers (Gonçalves, 2010; Marcati et al., 2006). Has a diffuse porosity, without distinct adjustment, tylose, ray vascular punctuations with distinct borders (Gonçalves, 2010).

Pouteria torta has well defined growth rings, delimited by a fibrous zone and straighter and thinner lines of marginal parenchyma (Gama et al., 2011; Marcati et al., 2006; Roderjan & Kuniyoshi, 1995). Diffuse porous, solitary or numerous grouping in two, three or four porous, big and little punctuations at the same cell (Gonçalvez, 2010; Marcati et al., 2006).

Ocotea pulchella has well-defined growth rings, characterized by tangential fibrous zones with the darker zone; the latewood tends to be color chocolate-brown, contrasting with the earlywood, which has a pale yellow color. Has diffuse porous, predominating solitary vessel elements or in a small radial group. On the latewood can be noted a reduction in the diameter and number of vessels, contrasting with an increase in the concentration of fibers (Guimarães, 2012; Spathelf et al., 2000).

2.4 Core extraction and preparation for tree rings analysis

Cores were extracted at the breast height by a nondestructive method using increment borer with 5 mm in diameter (Imaña-Encinas et al., 2005). The holes opened after sample collection was closed using bee wax to avoid pathogens attack (Pilcher, 1990).

In a laboratory, samples were air dried to avoid twist and crack. Then, the samples were glued over a wood support and finally, all transversal sections were polished by different granulations (from 80 to 2,000). This procedure promotes a good contrast in the sample and allows a clear visualization of the growth rings (Stokes & Smiley, 1996; Asherin & Mata, 2001).

2.5 Determination of apparent wood density using X-ray densitometry

For the X-ray densitometry analysis, 67 of the 105 trees sampled was selected: 31 of *Q. grandiflora* (15 from cerrado-SP and 16 from cerrado- MS); 20 of *P. torta* (cerrado- SP) and 16 *O. pulchella* (cerrado-SP).

The samples were cut in the transverse orientation (2 mm thickness) with double circular saws as described in Tomazello Filho et al. (2008). The thin wood samples were stored inside an air-controlled chamber set to 20°C and 50% air moisture during 12 hours or until reach 12% wood moisture.

Samples were then scanned in the radial direction by a collimated X-ray beam (80 µm). This procedure was done using the QTRS-01X and data were analyzed using the software QMS as described in Tomazello Filho et al. (2008) and Lobão et al. (2012). The values of apparent wood density (ρ) allowed the confection of graphs of the radial profile of each tree and the inventory of the minimum, mean and maximum values as described in Polge (1965a) and Parker & Meleskie (1970).

2.6 Dendrochronological analyses and growth modeling

The tree rings of the transversal sections of the samples of the three species were marked, counted and the width of the growth rings measured. The ring width was measured to the nearest 0.01 mm using a digital measuring device (LINTAB) supported by additional software TSAP-Win™ for time series analyses and presentation (TSAP-Win, 2003). The values of ring-widths were used to construct the diameter growth cumulative curves of all 105 trees. These curves adjusted, indicating the existing relation between DBH and the chronological age of sampled trees (Brienen & Zuidema, 2007; Schöngart et al., 2007, Schöngart, 2008).

The growth modeling used in this study was based on the GOL concept (Growth-Oriented Logging), which was developed by Schöngart (2008) using trees rings. The cumulative growth and the mean characteristic curve for each species adjusted by a sigmoidal regression (Equation 1), given as:

$$DBH = \left(\frac{a}{1 + \left(\frac{b}{year} \right)^c} \right) \quad (1)$$

where: DBH is the diameter at the breast height (cm); the year is how old is the tree (years); a, b and c are equation parameters obtained during the sigmoidal adjustment.

Height growth curves adjusted by a nonlinear regression analysis, producing two parameters (d and e), as given in Equation 2:

$$H = \frac{DBH \times d}{DBH + e} \quad (2)$$

where: H is the tree height (m); DBH is the diameter at the breast height (cm); d and e are equation parameters obtained during the nonlinear adjustment.

Total volume for the trees (V_t) was calculated for every year, through a relation between diameter and height and a reduction factor (0.6) that was previously determined by Cannell (1984) for tropical forests trees, as given in Equation 3:

$$V_{t=} \left[\pi \times \left(\frac{DBH_t}{2} \right)^2 \right] \times H_t \times f \quad (3)$$

where: V_t is the volume (m^3); DBH_t is the diameter at the breast height (m); H_t is tree height (m); f is the form factor of 0.6 as Cannel (1984). As showed in the above equation, V values can be calculate for every t year, by using the DBH and H values for the specific t year.

From the volume growth, we obtained the current annual increment rates (CAI_v) and the mean annual increment rates (MAI_v). To do this, we used the cumulative growth in different years (CGW_v) over the entire life span, accordingly to the Equations 4 and 5:

$$CAI_v = CGW_v(t+1) - CGW_v(t) \quad (4)$$

$$MAI_v = \frac{CGW_v(t)}{t} \quad (5)$$

where: CAI_v is the volume current annual increment rate ($dm^3 year^{-1}$); CGW_v is the volume cumulative growth in different years (m^3); MAI_v is the volume mean annual increment rate ($dm^3 year^{-1}$); t is the total tree life cycle (years).

The minimum logging diameter (MLD) was defined as the age of the tree that results in a maximum current increment in volume (IC), and this age was used in the Equation 1 to inversely

derive the value of DBH that corresponds to the MLD (Schöngart, 2008). After the MLD values were known, we obtained the cutting cycle (CC), by estimating the average of the time required for each species to reach the diametric classes of 10 cm, until achieving the specific MLD. The CC is given by Equation 6:

$$CC = \frac{Age_{(MLD)}}{MLD \times 0.1} \quad (6)$$

where: CC is the cutting cycle (years); $Age_{(MLD)}$ is the age in which trees reach the diameter that corresponds to the MLD - minimum logging diameter (cm).

The independent parameters DBH, H and ρ were applied to estimate the aboveground biomass (kg) for tropical forest trees (Chave et al., 2005) as described by the Equation 7:

$$Biomass = 0,1128 \times \rho \times DBH^2 \times H \quad (7)$$

where: Biomass (kg); ρ is the apparent wood density ($g\ cm^{-3}$); DBH is the diameter at the breast height (cm); H is tree height (m).

3. Results

3.1 Apparent core density using X-ray densitometry

The X-ray analyses showed that the mean apparent wood density (ρ) was equal to $0.78\ g\ cm^{-3}$ for *Q. grandiflora*, independently of the study site (SP or MS). The mean apparent wood density (ρ) of *P. torta* was $0.67\ g\ cm^{-3}$ and of *O. pulchella* was $0.73\ g\ cm^{-3}$ (Table 2).

In this study, the utilization of the X-ray densitometry technique incremented the reliability on the determination of the ρ values and on the delimitation of the growth rings for both cerrado-SP and cerrado-MS species. The radial wood densitometric profiles are presented in Figure 2 (a, b, c, and d).

3.2 Growth models

The parameters (a, b and c) obtained in the cumulative growth and the mean characteristic curve (equation 1): for *Q. grandiflora* of the cerrado-SP (a= 36.2908; b= 19.6352; c= 1.6078) and

for cerrado-MS (a= 33.5237; b= 19.3014; c= 1.5767). For *P. torta* (a= 54.8197; b= 51.2262; c= 1.2559) and for *O. pulchella* (a= 120.3962; b= 79.6071; c= 1.2972).

The height growth curves adjusted by non-linear regression analysis, and two parameters (d and e) was obtained in equation 2: for *Q. grandiflora* of the cerrado-SP (d= 10.8123; e= 10.5935) and for the transition cerrado-MS (d= 18.9043; e= 24.4854). For *P. torta* (d= 9.7364; e= 9.6874) and for *O. pulchella* (d= 13.2686; e= 6.1256).

Based on the marking, counting and measuring of tree rings we estimate how old are each tree species. *Qualea grandiflora* of the cerrado-SP State estimated minimum age was 24 years and maximum of 52 years, while this same specie at the cerrado-MS showed 31 and 59 years as minimum and maximum ages, respectively. *Pouteria torta* estimated minimum age as 47 years and maximum of 99, while *O. pulchella* showed 23 and 51 years, as minimum and maximum ages, respectively.

Based on the results of estimated age we calculated some correlations between the trees age and DBH. The correlations were significant ($p \leq 0.001$) for all three species. For *Q. grandiflora* of the cerrado-SP the correlation was $r= 0.95$, while for *Q. grandiflora* cerrado-MS, the correlation was also high and equal to $r= 0.90$. Similar results were found for *P. torta* ($r= 0.95$) and *O. pulchella* ($r= 0.94$). Our findings allowed the construction of cumulative diameter growth curves (Figure 3 a, b, c, and d).

The interspecific variation in tree growth was also observed on maximum diameter increment rate (Figure 6 a, b, c, and d) and on maximum height increment rate (Figure 7 a, b, c, and d). For *Q. grandiflora* of cerrado-SP the maximum diameter increment rate was $1.12 \text{ cm year}^{-1}$ when trees are 8 years old. For the same species, in the cerrado-MS the maximum diameter increment rate was $1.05 \text{ cm year}^{-1}$, also at 8 years. For *P. torta* maximum diameter increment rate was $0.69 \text{ cm year}^{-1}$ when trees are 10 years, while for *O. pulchella* it was $0.96 \text{ cm year}^{-1}$ at 17 years (Figure 4 a, b, c, and d).

The nonlinear regression analysis between DBH and height was significant for *Qualea grandiflora* of cerrado-SP ($r= 0.4$ and $p \leq 0.03$) and for *Qualea grandiflora* of cerrado-MS ($r= 0.6$ and $p \leq 0.001$). On the other hand, this correlation was not significant for *Pouteria torta* ($r= 0.33$ and $p \leq 0.09$) and *Ocotea pulchella* ($r= 0.31$ and $p \leq 0.11$).

For *Q. grandiflora* of cerrado-SP the maximum height increment rate was 0.65 m year^{-1} when trees are 4 years old. For trees of the same species of cerrado-MS, the rate was 0.59 m year^{-1} , when trees are 5 years old. For *P. torta* maximum height increment rate was 0.47 m year^{-1} when trees are 3 years old, while for *O. pulchella* it was 1 m year^{-1} at 3 years old (Figure 5 a, b, c, and d).

From the combination of the results of cumulative growth in diameter and height, we derived the models of cumulative volume growth (CGW_v). The age and the DBH of the species when trees produce their maximum current increment in volume (CAI_v) was equal to the minimum logging diameter (MLD) for each species (Figure 6 a, b, c, and d). The MLD represents the moment when the species reach its maximum volume increment rate, and thenceforth initiates a progressive reduction on increment, what characterizes tree senescence (Figure 6 a, b, c, and d). Age values found at the moment of the MLD is presented in Table 3, together with the data of maximum current incremented in volume, MLD and cutting cycle (CC) for all three species.

For the above ground biomass production models, the higher rates were found for *Qualea grandiflora* of cerrado-SP with 9 kg year^{-1} when trees are 19 years old. For *Qualea grandiflora* of cerrado-MS these values were very similar: 10 kg year^{-1} and 20 years, respectively. *Pouteria torta* resulted in 6 kg year^{-1} when trees are 38 years old, while 25 kg year^{-1} and 56 years were the values observed for *Ocotea pulchella* (Figure 7a, b, c and d).

4. Discussion

The variation in mean apparent wood density (ρ) among the species studied might be associated with their light demand, to the diameter growth rates and to their life span, where shadow tolerant species shows higher density as compared to light demanding species (Whitmore, 1998). Wood density values may vary accordingly to the environment where trees grow. For instance, the mean apparent wood density for species of *Pouteria* in Neotropical region varies from 0.63 to 0.77 g cm⁻³ being this variation strongly observed when considering the same genus (Baker et al., 2004; Chave et al., 2006).

Tree rings are a good alternative approach to develop sustainable management techniques and conserve tropical forests since the cumulative growth exhibits intra and interspecific variations (De Ridder et al., 2013; Brienen & Zuidema, 2006, 2007; Schöngart et al., 2007). The models we produced in this study demonstrated that every species has some growth peculiarities, indicating an interspecific variation. The observed relationship between age and DBH demonstrated that as trees become older they also increase in DBH. Volume growth models are known as a tool that allows the determination of MLD of each species. This type of characterization is still poorly used at the cerrado (Venturolli et al., 2015), and has been more applied in the Amazonian vegetation (Schöngart et al., 2007; Schöngart et al., 2008, Schöngart et al., 2015; Brienen & Zuidema, 2007). The MLD and the felling cycle of the species here studied also confirmed the existence of an interspecific variation and revealed the necessity of establishing some technical parameters that can provide the required subsidies for conservation and proper specific management of each species. In the Brazilian Amazon, specific arboreal growth models were used for the creation of the Normative Instruction N° 5, from December 11, 2006 of the Ministry of Environment. This Instruction approaches the technical procedures for the elaboration, presentation, execution and technical evaluation of Sustainable Forest Management Plans at the Legal Amazon. This produced a great improvement for forest management in wetlands of the Central Amazon as pointed out by Schöngart (2008). The

possibility of implementing other new Normative Instructions that supports the sustainable forest management of other species, in other Brazilian biomes, endorses the relevance of studies like the present one, where arboreal growth model works as a foundation for sustainable cerrado management plans. However, the implementation of such plans requires information regarding regeneration and population structure of the species willing to be managed (Schöngart et al., 2007; Leoni et al., 2011).

The results of the biomass production models are of fundamental importance for a better comprehension of future studies related to carbon stocks and carbon sequestration. The application of this methodology seems to be efficient, allowing the verification of the biomass production in such a fast way, faster than monitoring permanent plots. Besides that, the use of the three independent parameters (diameter, height, and ρ) produced more reliable and adequate estimates (Chave et al., 2005; Schöngart et al., 2011).

5. Conclusions

All three studied species showed high wood density, besides of the *Qualea grandiflora* that, although collect in two different regions, showed similar values. The X-ray densitometry promoted reliability on the delimitation of growth rings. Growth rates of *Qualea grandiflora* were similar in both regions where samples were collected. All three species showed particularities on the cumulative growth, what demonstrates an interspecific variation. The minimum logging diameter and the felling cycle of each species can subsidies a better conservation and sustainable management of these species. Biomass models presented can contribute with important information for future works about carbon stock and sequestration for both studied areas.

6. Acknowledgements

We thank Dr. Danilton Luiz Flumignan, Victor Hugo Andrade, Eliana Paixão and Aparecido Siqueira for support in the field, discussions and reading early versions of this manuscript. PTPL received a fellowship from CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior) through the Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal — UNESP, Rio Claro, and LPCM receives a research productivity fellowship from CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Our research was supported by São Paulo Research Foundation (FAPESP) grants #2010/51307-0 and #2013/50155-0. CAPES and UNESP provided additional funds. We thank Dr. Norton Hayd Rêgo of the Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul for supporting tree rings sampling. Finally, thanks to the Dendroecological Laboratory of Brazilians Central-West Biome – UFMT/INAU.

7. References

- Almeida, S.P., C.E.B. Proença, S.M. Sano, J.F. Ribeiro, 1998. Cerrado: espécies vegetais úteis. Planaltina: EMBRAPA-CPAC.
- Alvares, C.A., J.L. Stape, P.C. Sentelhas, J.L.M. Gonçalves, G. Sparovek, 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Asherin, L.A. and S.A. Mata, 2001. Basic tree ring sample preparation techniques for aging Aspen. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-18*, pp: 347-353.
- Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeidas, L. Arroyo, A. Fiore, T. Erwin, T.J. Killeen, S.G. Laurance, W.F. Laurance, S.L. Lewis, J. Lloyd, A. Monteagudos, D.A. Neill, S. Patino, N.C.A. Pitman, R.V. Martinez, 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, (10): 545-562.
- Boltz, F., D.R. Carter, T.P. Holmes, R. Pereira Jr, 2001. Financial returns under uncertainty for conventional and reduced-impact logging in permanent production forests of the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*, 39: 387-398.
- Brienen, R.J.W. and P.A. Zuidema, 2006. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology*, 94: 481-493.
- Brienen, R.J.W. and P.A. Zuidema, 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5: 302-306.

- Cannell, M.G.R., 1984. Woody biomass of forest stands. *Forest Ecology and Management*, 8: 299-312.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromad, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra, T. Yamakura, 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.
- Chave, J., H.C. Landau-Muller, T.R. Baker, T.A. Easdale, H.T. Steege, C.O. Webb, 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16(6): 2356-2367.
- Coutinho, L.M., 2006. O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, 20: 13-23.
- De Ridder, M., J. Van Den Bulcke, J.V. Acker, H. Beeckman, 2013. Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 304: 417-426.
- Durigan, G., M.F. Siqueira, G.A.D.C. Franco, 2007. Threats to the cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. *Scientia Agrícola*, 64(4): 355-363.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://foris.fao.org/static/idf/RSS_2010update.pdf>. Acesso em: novembro de 2015.
- Fina, B.G. and R. Monteiro, 2013. A woody community structure in a Cerrado sensu stricto area, municipality of Aquidauana - Mato Grosso do Sul. *Revista Árvore*, 37(4): 577-585.
- Gama, L.U., A.A.A. Barbosa, P.E.A.M. Oliveira, 2011. Sistema sexual e biological floral de *Pouteria ramiflora* e *P. torta* (Sapotaceae). *Revista Brasileira de Botânica*, 34(3): 375-387.
- Gonçalves, T.A.P., 2010. Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do cerrado no estado de São Paulo, Brasil. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas – Ciência Florestal). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo.
- Guimarães, F.B., 2012. Anatomia do lenho de árvores de espécies de canela, *Ocotea* Aubl. e *Nectandra* Rol. Ex. Rottb. (Lauraceae) ocorrentes no Estado de Santa Catarina, 73p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- Imaña-Encinas, J., G.F. Silva, J.R.R. Pinto, 2005. Idade e crescimento das árvores. *Comunicações Técnicas Florestais*, 7(1): 1-43.
- Junk, W., M.T.F. Piedade, R. Lourival, F. Wittmann, P. Kandus, L.D. Lacerda, R.L. Bozelli, F.A. Esteves, C. Nunes da Cunha, L. Maltchik, J. Schöngart, Y. Schaeffer-Novelli, A.A. Agostinho, 2013. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*.

- Klink, C.A. and R.B. Machado, 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19(3): 707-713.
- Leoni, J.M., J.R.S.F. Fonseca, J. Schöngart, 2011. Growth and population structure of the tree species *Malouetia tamaquarina* (Aubl.) (Apocynaceae) in the central Amazonian floodplain forests and their implication for management. *Forest Ecology and Management*, 261: 62-67.
- Lobão, M. S., D.P. Costa, M.A.A. Almonacid, M. Tomazello Filho, 2012. Qualidade do Lenho de Árvores de *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum*, Acre, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 19(3): 374-384.
- López, L., R. Villalba, F. Bravo, 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology and Management*, 292: 49-55.
- Lorenzi, H., 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Ed. Plantarium.
- Lorenzi, H., 1998. Árvores brasileiras - Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP, Editora Plantarum.
- Marcati, C.R., V. Angyalossy, R.F. Evert, 2006. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *IAWA journal*, 27(2): 199-211.
- Parker, M.L. and K.R. Meleskie, 1970. Preparation of x-ray negatives of tree ring specimens for dendrochronological analysis. *Tree Ring Bulletin*, 30(14): 11-22.
- Pilcher, J. R., 1990. Sample preparation, cross dating, and measurement. In: Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. (Eds) *Methods of dendrochronology, applications in the environmental sciences*. Kluwer, Dordrecht Boston London.
- Pivello, V.R. and L.M. Coutinho, 1996. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 87: 127-138.
- Polge, H., 1965a. Study of wood density variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a Presslet Auger. In: *Symposium of I.U.F.R.O., Melbourne*. 41: 19.
- Putz, F.E., P. Sist, T. Fredericksen, D. Dykstra, 2008. Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 256: 1427-1433.
- Reitz, R., M.R. Klein, A. Reis, 1979. *Madeiras do Brasil: Santa Catarina*. Lunardelli: Florianópolis.
- Reys, P., M.G.G. Camargo, M.T. Grombone-Guaratini, A.P. Teixeira, M.A. Assis, L.P.C. Morellato, 2013. Estrutura e composição florística de um Cerrado *sensu stricto* e sua importância para propostas de restauração ecológica. *Hoehnea*, 40(3): 449-464.

- Ribeiro, S.C., L. Fehrmann, C.P.B. Soares, L.A.G. Jacovine, C. Kleinn, R.O. Gaspar, 2011. Above and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 262: 491-499.
- Rizzini, C.T., 1971. *Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Roderjan, C.V. and Y.S.Y.S. Kuniyoshi, 1995. Guapeva (*Pouteria torta* (Mart.) Radlk.). *Revista Floresta*, Curitiba, 22: 98-102.
- Schöngart, J., M.T.F. Piedade, M. Worbes, 2003. Successional differentiation in structure, floristic composition and wood increment of whitewater floodplain forests in Central Amazonia. German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research Hamburg.
- Schöngart, J., F. Wittmann, M. Worbes, M.T.F. Piedade, H.J. Krambeck, W. Junk, 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science*, 64: 657-664.
- Schöngart, J., 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management*, 256: 46-58.
- Schöngart, J., 2010. Growth-Oriented Logging (GOL): The use of species-specific growth information for forest management in Central Amazonian floodplains, in: Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Wittmann, F.; Schöngart, J.; Parolin, P. (Eds.), *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*, Ecological Studies. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, pp: 437-462.
- Schöngart, J., J. Arieira, F. Fortes, E. Cezarine de Arruda, C. Nunes da Cunha, 2011. Age-related and stand-wise estimates of carbon stocks and sequestration in the aboveground coarse wood biomass of wetland forests in the northern Pantanal, Brazil. *Biogeosciences*, 8: 1-15.
- Schöngart, J., R. Gribel, S.F. Fonseca-Junior, T. Hugaasen, 2015. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. *Biothropica*, 47(5): 550-558.
- Silva, J.F., M.R. Farias, J.M. Felfilli, C.A. Klink, 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, 33: 236-548.
- Silveira, F.A.O., D. Negreiros, N.P.U. Barbosa, E. Buisson, F.F. Carmo, D.W. Cartensen, A.A. Conceição, T.G. Cornelissen, L. Echternacht, G.W. Fernandes, Q.S. Garcia, T.J. Guerra, C.M. Jacobi, J.P. Lemos-Filho, S. Le Stradic, L.P.C. Morellato, F.S. Neves, R.S. Oliveira, C.E. Schaefer, P.L. Viana, H. Lambers, 2016. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. *Plant and Soil*, 403: 129-152.

- Spathelf, P., M. Tomazello Filho, H. Tonini, 2010. Dendroecological analysis of *Ocotea pulchella* and *Nectandra megapotamica* on two sites near Santa Maria, Rio Grande do Sul (Brazil). *Floresta*, 40(4): 777-788.
- Spathelf, P., F.D. Fleig, S.Vaccaro, L.M. Esber, 2000. Dendroecological analysis of *Ocotea pulchella* Nees et Mart. ex Nees (Canela lageana) in the Serra Geral of Santa Maria, RS, Brazil. *Ciência Florestal*, 10(1): 95-108.
- Stokes, M. A. & Smiley, T. L. 1996. Introduction to tree-ring dating. University of Arizona Press, 73 pp.
- Tomazello-Filho, M., S. Brazolin, M.P. Chagas, J.T.S. Oliveira, A.W. Ballarin, C.A. Benjamin, 2008. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt wood. *Maderas: Ciência y Tecnología, Concepción*, 10(2): 139-145.
- Venturolli, F., A.C. Franco, C. Fagg, 2014. W. Tree diameter growth following silvicultural treatments in a semi deciduous secondary forest in Central Brazil. *Cerne*, 21(1): 117-123.
- Venturolli, F., F.A. Carvalho, C.M. Silva Neto, D.C. Moraes, T.O. Martins, D.M. Souza, 2015. Manejo florestal no bioma Cerrado: uma opção para conservar e lucrar. *Scientia Forestalis*, 43(107): 617-626.
- Worbes, M., 2004. Tree-ring analysis. University of Göttingen, Göttingen, Germany.

Table 1. Number of trees sampled and total number of radial samples (radius) collected at each study site: cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS); minimum, mean and maximum values of diameter at the breast height (DBH) and height of sampled trees

Characteristics	Species			
	<i>Q. grandiflora</i> (SP)	<i>Q. grandiflora</i> (MS)	<i>P. torta</i> (SP)	<i>O. pulchella</i> (SP)
Trees	27	27	26	25
Radius	47	55	45	46
Distribution	Minimum / Mean / Maximum			
DBH (cm)	14 / 23 / 32	15 / 23 / 39	16 / 25 / 35	14 / 24 / 40
Height (m)	4 / 7 / 10	6 / 9 / 12	5 / 7 / 11	8 / 11 / 13

Table 2. Analyses of the apparent wood density of the species: cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). *Qualea grandiflora* (SP and MS), *Pouteria torta* (SP) and *Ocotea pulchella* (SP)

Characteristics	Species			
	<i>Q. grandiflora</i> (SP)	<i>Q. grandiflora</i> (MS)	<i>P. torta</i> (SP)	<i>O. pulchella</i> (SP)
Minimum wood density (g cm ⁻³)	0.49	0.51	0.44	0.43
Maximum wood density (g cm ⁻³)	1.03	1.02	0.89	0.97
Mean wood density (g cm ⁻³)	0.78	0.78	0.67	0.73
Standard deviation	0.04	0.04	0.03	0.04
Coefficient of variation (%)	5	6	5	6

Table 3. Age, maximum current increment in volume, minimum logging diameter (MLD), and cutting cycle (CC) for all three studied species of the cerrado of São Paulo State (SP) and transition cerrado-pantanal of the Mato Grosso do Sul State (MS).

Species	Tree age at MLD (year)	Current increment max (dm ³ yr ⁻¹)	MLD (cm)	CC (years)
<i>Qualea grandiflora</i> (SP)	20	10.27	18	11
<i>Qualea grandiflora</i> (MS)	21	10.84	18	12
<i>Pouteria torta</i> (SP)	43	7.24	24	18
<i>Ocotea pulchella</i> (SP)	63	36.43	51	12

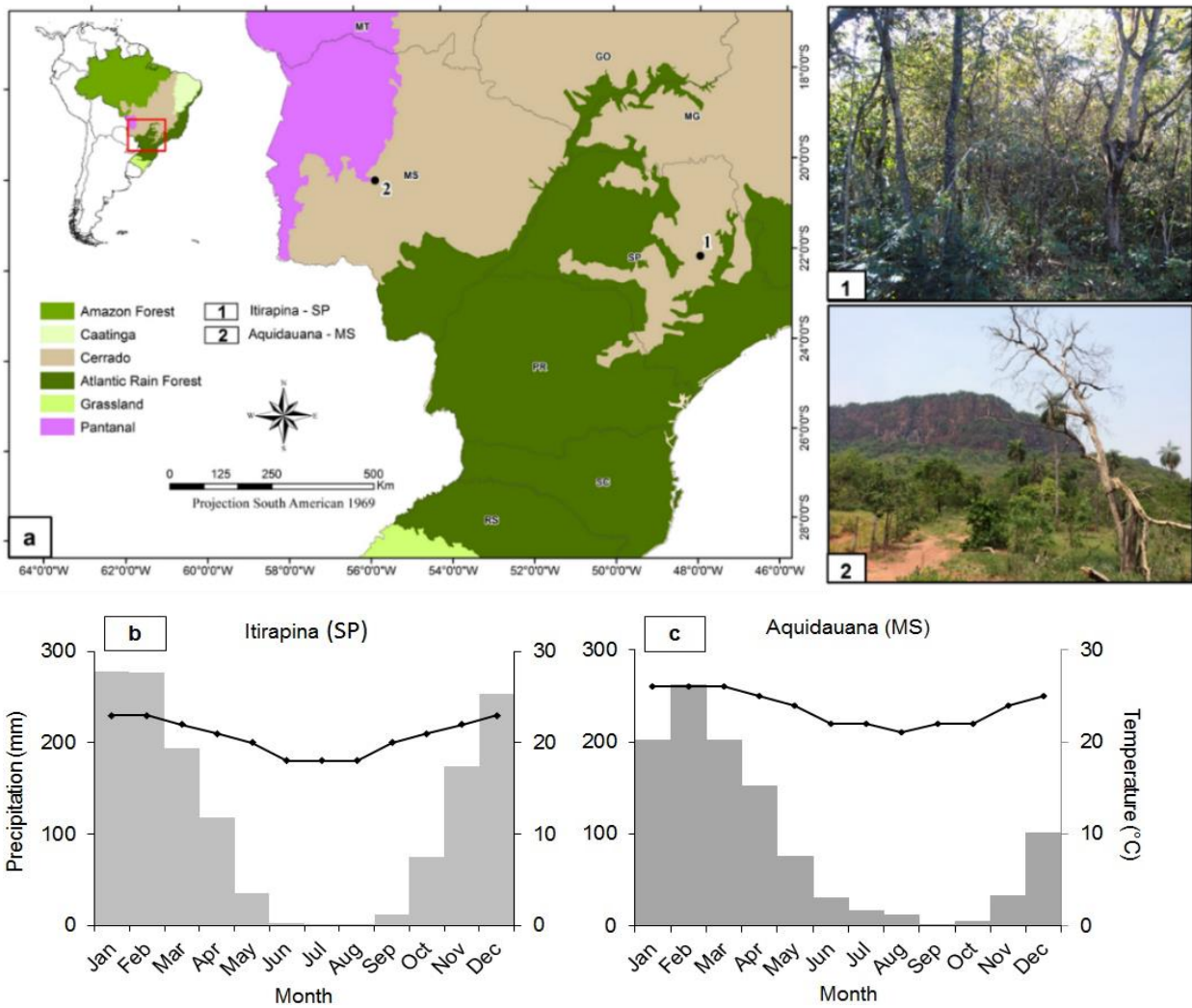


Figure 1. Location of the study sites (a) in Brazil (left upper map) showing the main vegetation domains and, on the right-hand side, detail of the cerrado in São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal in Mato Grosso do Sul State (MS); climate graphs of monthly precipitation (grey bars) and mean temperature (black line) from 1948 to 2015 for (b) the cerrado in São Paulo State (SP) and (c) the transition cerrado-pantanal in Mato Grosso do Sul State (MS); (Source: NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration).

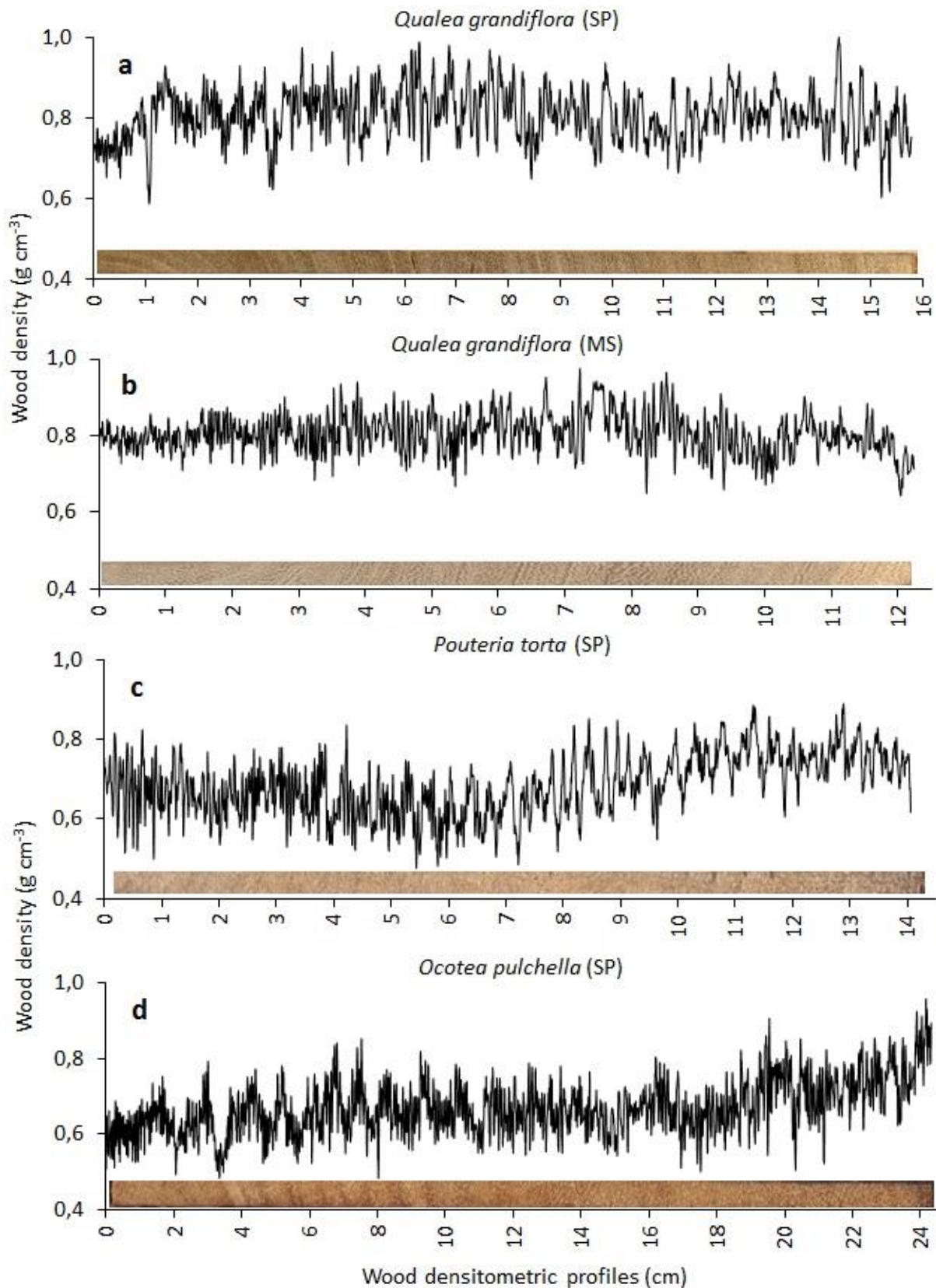


Figure 2. Dendrometrical profile of three cerrado species collected in cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). (a) *Qualea grandiflora* (SP), (b) *Q. grandiflora* (MS); (c) *Pouteria torta* (SP) and (d) *Ocotea pulchella* (SP).

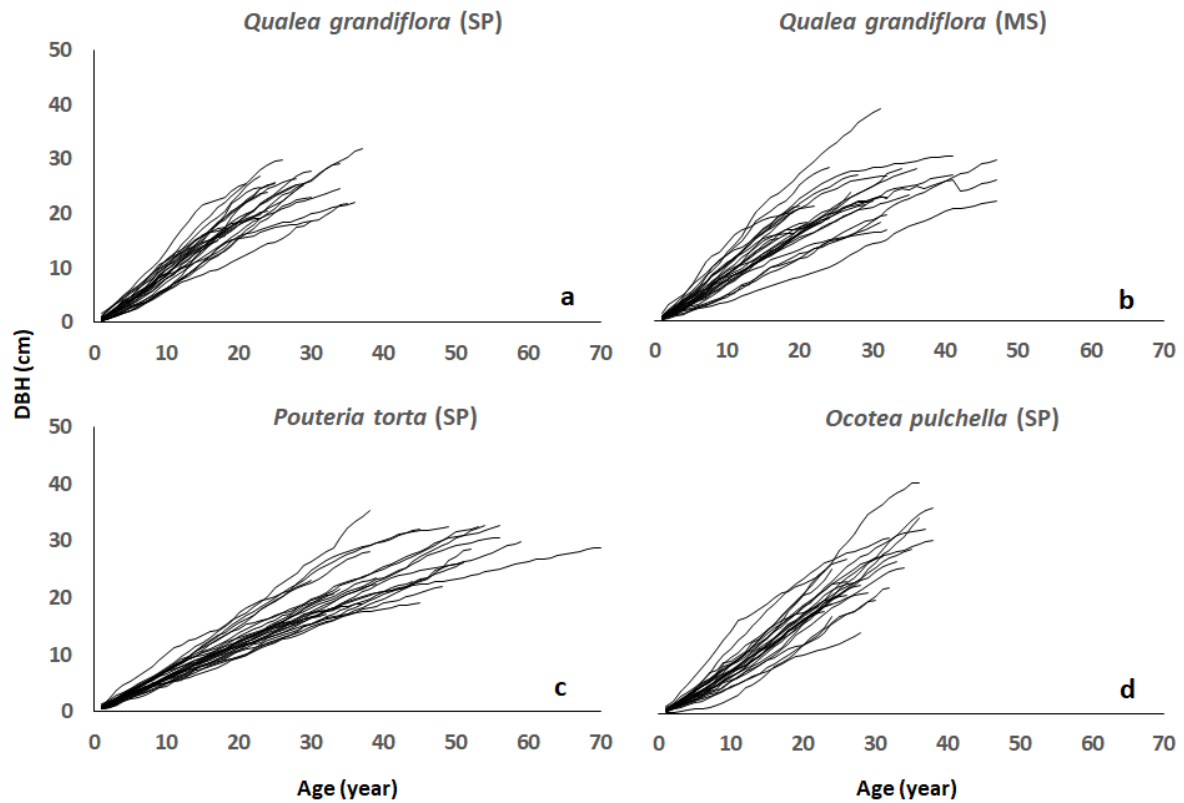


Figure 3. Relation between age and diameter at the breast height (DBH) growth for the three species collected in the cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). (a) *Qualea grandiflora* (SP), number of sample trees (n= 27); (b) *Qualea grandiflora* (MS), number of sample trees (n= 27); (c) *Pouteria torta* (SP), number of sample trees (n= 26) and (d) *Ocotea pulchella* (SP), number of sample trees (n= 25). Each line represents the cumulative growth of one tree.

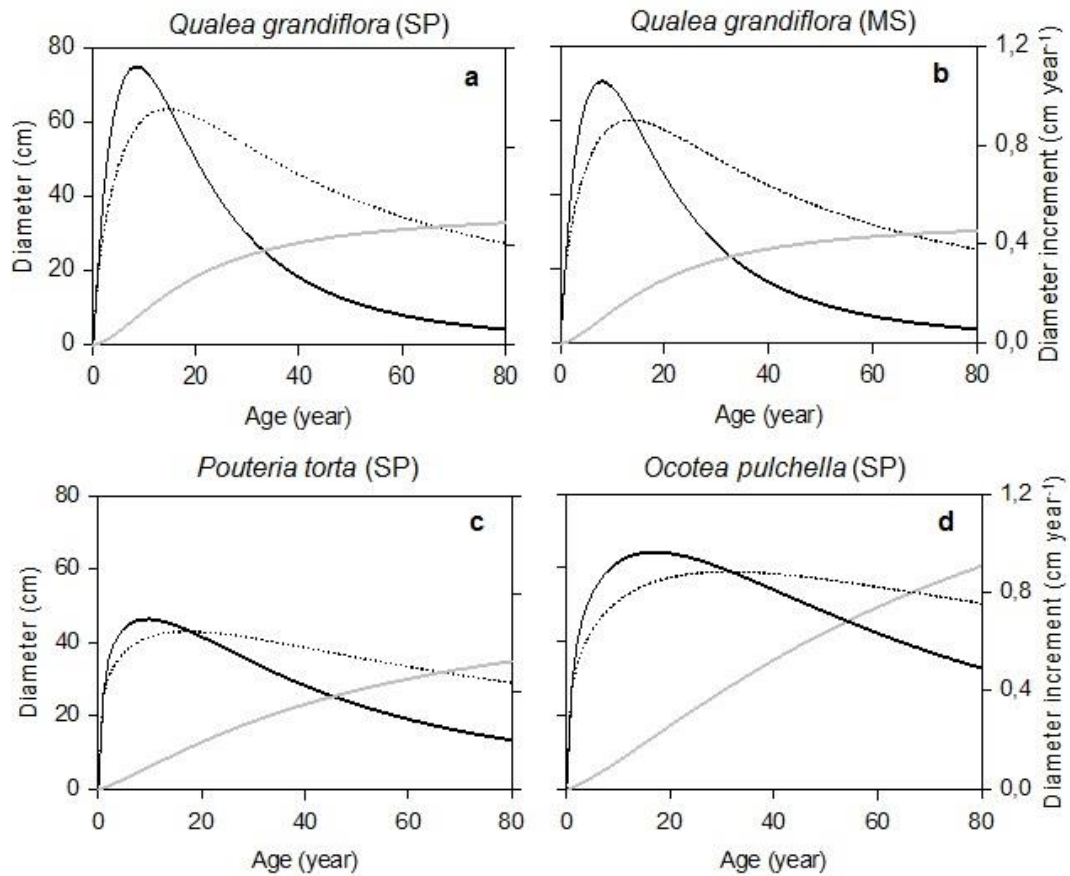


Figure 4. Diameter growth curves of the three species cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). (a) and (b) are *Qualea grandiflora* (SP and MS), respectively; (c) is *Pouteria torta* (SP); (d) is *Ocotea pulchella* (SP). Gray line: diameter cumulative increment, black line: current increment and dashed line: mean increment.

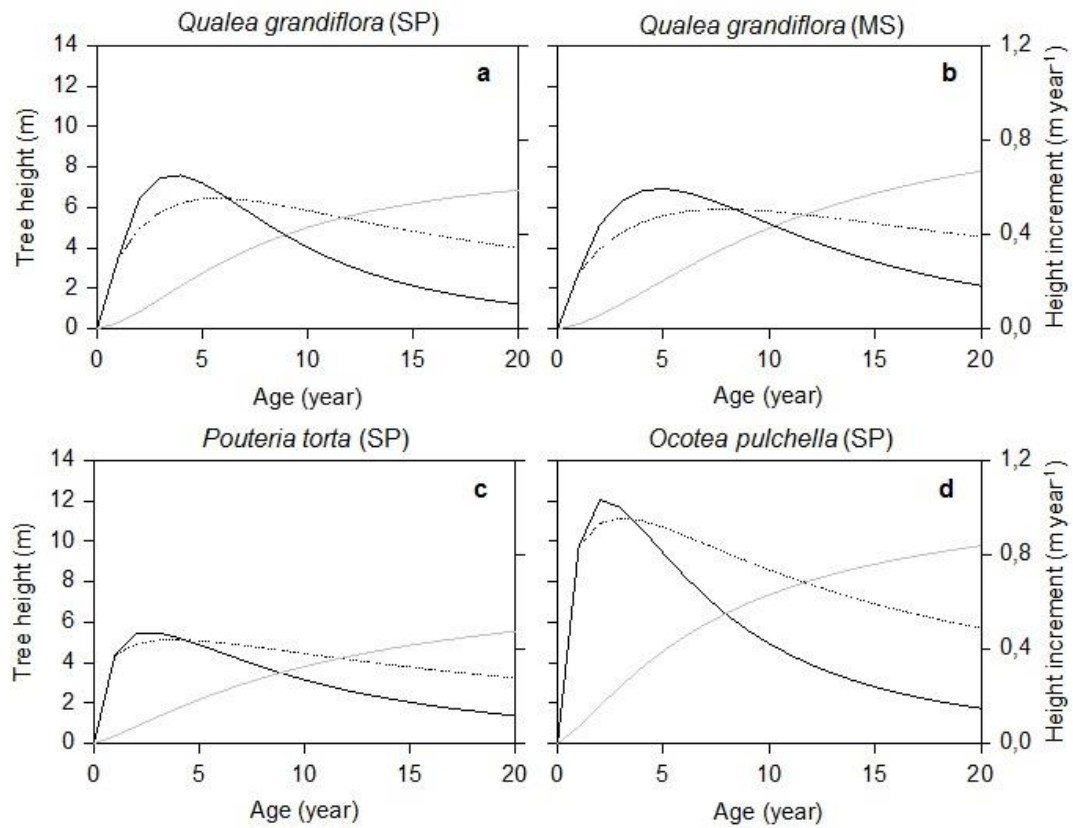


Figure 5. Height growth curves of the three species cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). (a) and (b) are *Qualea grandiflora* (SP and MS), respectively; (c) is *Pouteria torta* (SP); (d) is *Ocotea pulchella* (SP). Height cumulative increment is represented by the gray line, current increment by the black line and mean increment by the dashed line.

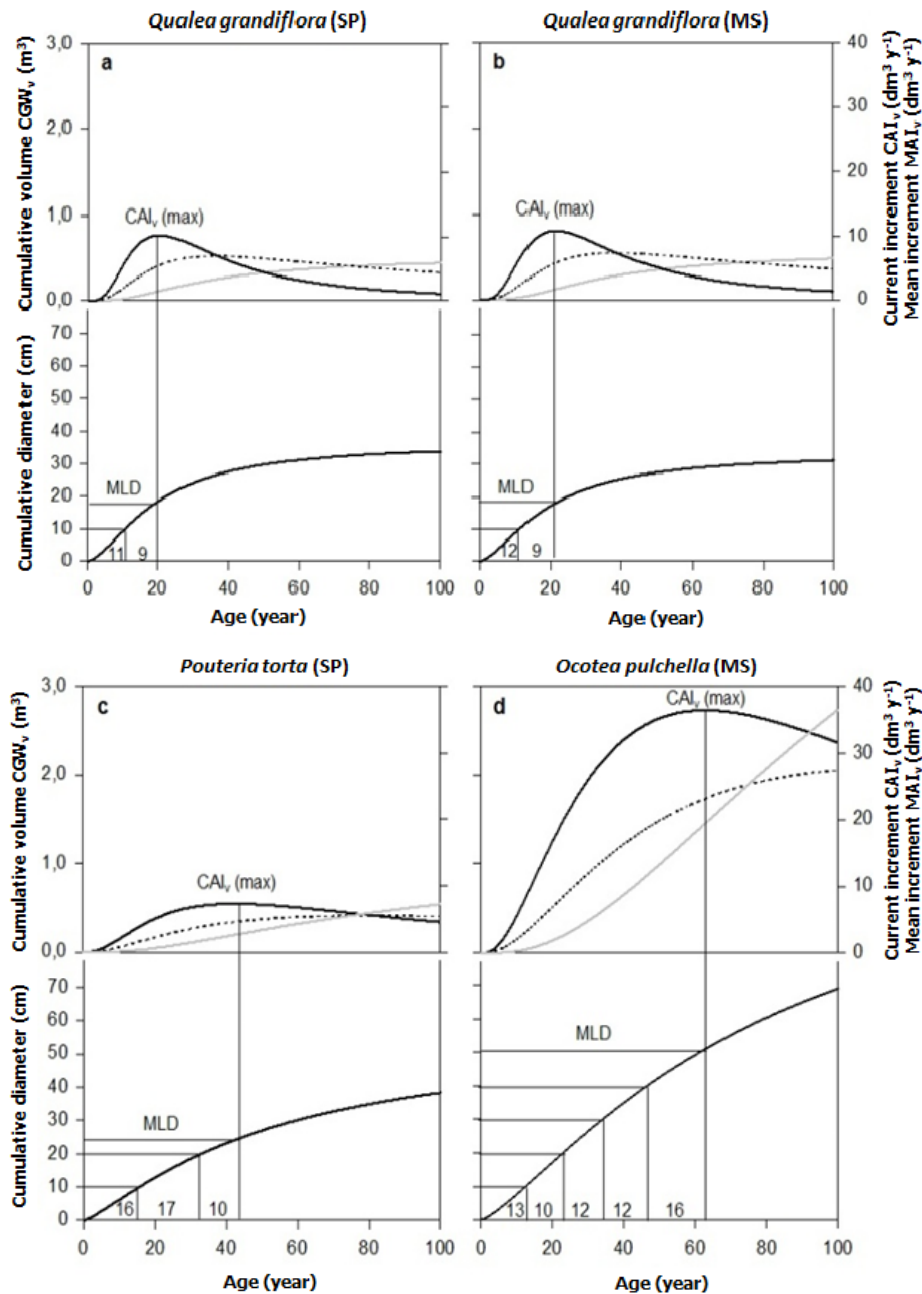


Figure 6. Growth modeling of tree species of cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). (a) and (b) are *Qualea grandiflora* (SP and MS), respectively; (c) is *Pouteria torta* (SP); (d) is *Ocotea pulchella* (SP). Volume growth curve (CGW_v) is represented by the gray line. Minimum logging diameter (MLD) is found by identifying the age when the maximum current increment (CAI_v ; black line) occurs and then matching this age to the graph of cumulative diameter, finding then the MLD. Mean current increment (MAI_v) is represented by the dashed line. Felling cycle is estimated by the time required by each species to reach the 10 cm increment in diameter until the MLD is reached. Values above the x axis indicates the mean passage time in years of each species to reach increments of 10 cm in the DBH until reaching the defined MLD.

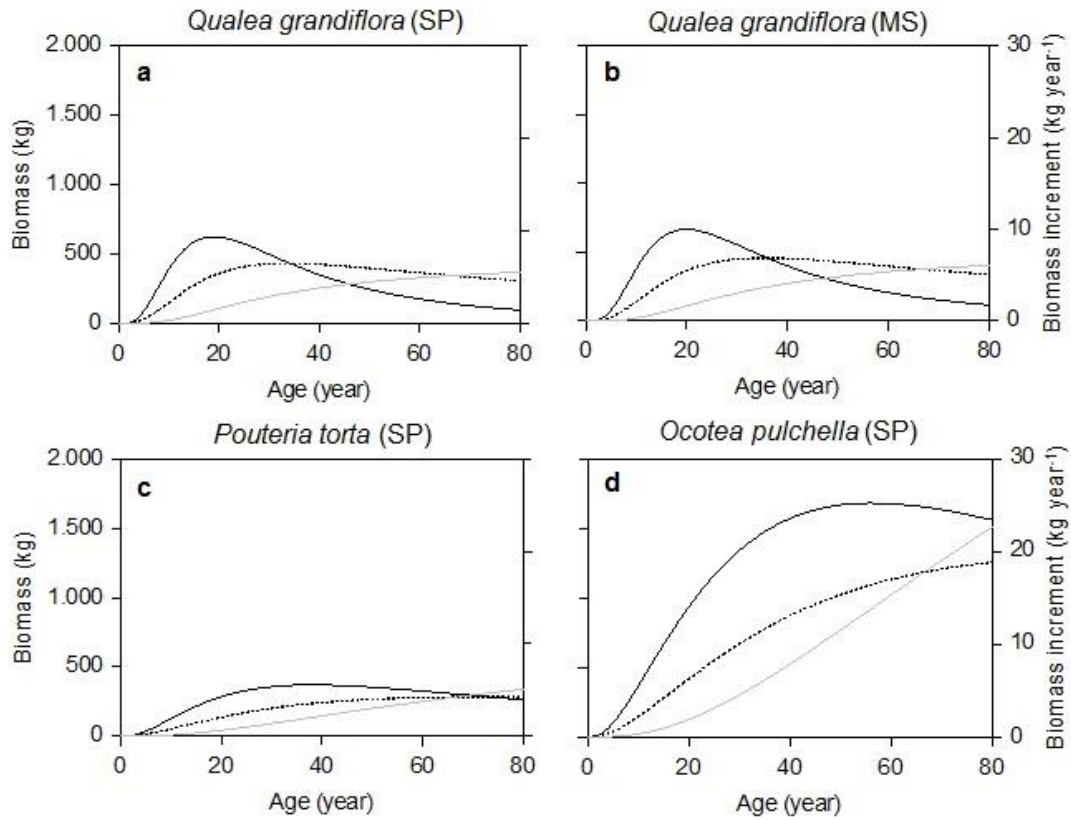


Figure 7. Above ground biomass production of tree species of cerrado of São Paulo State (SP) and in the transition cerrado-pantanal of Mato Grosso do Sul State (MS). (a) *Qualea grandiflora* (SP and MS), respectively; (c) is *Pouteria torta* (SP); (d) is *Ocotea pulchella* (SP). The gray line, the current increment by the black line and mean increment by the dashed line represents cumulative growth.

Capítulo 2

Dendroecologia de três espécies arbóreas do cerrado: influência climática na fenologia e no incremento radial do tronco

Patricia Tiemi de Paula Leite^{1*}, Danilton Luiz Flumignan², Mario Tomazello Filho³, Leonor Patrícia Cerdeira Morellato¹

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP - Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, Laboratório de Fenologia, Rio Claro, São Paulo, Brasil

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE – Rodovia BR 163, km 253,6, Caixa Postal 449, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil

³Universidade de São Paulo – ESALQ/USP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba, São Paulo, Brasil

Resumo

O conhecimento acerca de como se dá o crescimento das árvores e a sua interação com fatores do ambiente ainda apresenta lacunas importantes a serem respondidas, especialmente nos trópicos. O presente trabalho teve por objetivo investigar a dendroecologia de três espécies arbóreas do cerrado, buscando entender como ocorre a formação dos anéis de crescimento, e como os fatores climáticos históricos influenciam a fenologia e o incremento radial do tronco. Foram estudadas as espécies *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae) e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae), coletadas no cerrado do estado de São Paulo, buscando especificamente: (1) relacionar o incremento radial do tronco com a precipitação e associar com as variações fenológicas; (2) construir a cronologia dessas espécies e verificar se as variáveis climáticas (precipitação e temperatura) afetam o crescimento e se existe teleconexão com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) *El Niño* e Atlântico Sul. As coletas de lenho foram não destrutivas a partir de 105 árvores e no total de 193 cilindros do tronco. Foram colocadas bandas dendrométricas nos indivíduos amostrados para verificar o incremento radial do tronco durante 25 meses. O incremento radial do tronco foi relacionado com observações fenológicas mensais nos indivíduos monitorados e com a precipitação local no mesmo período. Para a construção das cronologias das três espécies utilizamos as técnicas dendrocronológicas de medição, datação cruzada e padronização dos anéis de crescimento. A partir dessa construção foi feita a correlação entre o crescimento e as variáveis climáticas. Observamos que mesmo com o lento incremento radial do tronco das espécies estudadas, este incremento foi influenciado pela precipitação sazonal, reduzindo as taxas nos períodos secos. Quanto à fenologia, as três espécies tiveram senescência foliar durante a estação seca e brotamento iniciando no final desta. A floração de *Q. grandiflora* e *O. pulchella* ocorreu na estação chuvosa e de *P. torta* na estação seca, enquanto a frutificação variou de acordo com a espécie. A precipitação de novembro do ano anterior e agosto do ano corrente favoreceu o crescimento *O. pulchella*. Temperaturas mínimas foram desfavoráveis ao crescimento nos meses de

março e abril do ano corrente para *Qualea grandiflora*. Temperaturas máximas elevadas em junho do ano corrente desfavoreceram o crescimento da *Pouteria torta* e o mesmo ocorreu para *Ocotea pulchella* nos meses de maio e junho do ano anterior. Foram observadas teleconexões positivas no ano anterior entre o crescimento de *Pouteria torta* com as quatro regiões de *El Niño* (1+2, 3, 3.4 e 4) nos meses de setembro a março. Podemos concluir que o incremento radial do tronco foi influenciado pela baixa precipitação, reduzindo as taxas de crescimento na ocorrência de períodos secos e que as fenofases destas três espécies tiveram interferência na duração, mas não influenciou a sazonalidade. Por meio da correlação entre as cronologias e as variáveis climáticas regionais e globais, observamos que o clima afetou os padrões de crescimento das espécies em nível global e local, no entanto, com respostas particulares para cada espécie estudada.

Palavras-chave: Dendrocronologia, Cerrado, Floresta seca, ENSO, Clima

1. Introdução

O Brasil é conhecido como um país megadiverso e, dentre os ecossistemas mais ameaçados do território brasileiro está o Cerrado (Mittermeier et al., 1988; 1997), considerado como uma das áreas prioritárias para conservação e um dos hotspots mundiais de biodiversidade (Mittermeier et al., 1998; Myers et al., 2000).

Para a conservação de áreas prioritárias é necessário conhecer e entender quais os fatores que interferem na manutenção da biodiversidade (Klink & Machado, 2005). Dentre os fatores atualmente estudados temos os efeitos causados pelas mudanças climáticas (IPCC, 2014). Os cenários de previsão do clima para este século apontam para o aumento da temperatura, além de mudanças no regime pluviométrico e hidrológico para muitas regiões tropicais, as quais são fortemente controladas pelas anomalias de temperaturas nos oceanos (Marengo et al., 2012), especialmente aquelas relacionadas ao fenômeno *El Niño*.

As alterações climáticas têm afetado o clima na América do Sul e causado modificações importantes nos ecossistemas brasileiros, acelerando perdas da biodiversidade e diminuindo os serviços ambientais oriundos destes ecossistemas (IPCC, 2014). Uma das formas de acessar essas modificações ocorridas é por meio da dendroecologia. Através da datação dos anéis de crescimento podemos acessar os fatores que afetam o crescimento das plantas, e em consequência, o ecossistema, como poluição, inundações, queimadas, e outros fenômenos ambientais, que ficam registrados ao longo do tempo no lenho das árvores (Fritts, 1976; Speer, 2010).

A dendroecologia possibilita, também investigar a relação entre o incremento dos anéis de crescimento com os eventos climáticos e fenológicos das espécies (Schöngart et al., 2002; Lisi et al., 2008; Locosselli et al., 2016; Reis-Avila & Morales, 2017). As estratégias de crescimento e a relação com a formação dos anéis podem ser comparadas com a fenologia em conjunto a sazonalidade climática (Worbes et al., 2013; Brienen et al., 2016; Mendivelso et al., 2016), permitindo inferir sobre o comportamento do câmbio das espécies de árvores ao longo de suas vidas (Schöngart et al.,

2002; Lisi et al., 2008; Worbes et al., 2013). Alguns estudos demonstram como o crescimento cambial e os eventos fenológicos recorrentes, como produção e queda de folhas estão diretamente relacionados ao estresse climático periódico, ao tipo de solo e nutrientes, com também a outros fatores ambientais, como fotoperíodo e insolação (Schöngart et al., 2002; Lisi et al., 2008; O'Brien et al., 2008; Cardoso et al., 2012; Borchert et al., 2015; Estiarte & Peñuelas, 2015; Shimamoto et al., 2016).

Assim, estudos dendroecológicos têm demonstrado a importância da precipitação e da temperatura no crescimento de espécies arbóreas em florestas tropicais secas ou outras vegetações sazonais, como é o caso do cerrado (Lopez & Villalba, 2011; Locosselli et al., 2013; Mendivelso et al., 2014). Algumas investigações vão além, indicando a existência de teleconexões, demonstrando que as anomalias causadas pelos eventos de *El Niño* são capazes de modular o crescimento das árvores (Schöngart et al., 2004; Brienen et al., 2010; Locosselli et al., 2016; Paredes-Villanueva et al., 2013; Pagotto et al., 2015).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar a dendroecologia de três espécies arbóreas do cerrado buscando: (1) relacionar o incremento radial do tronco com a precipitação e associar com as variações fenológicas; (2) construir a cronologia dessas espécies e verificar se as variáveis climáticas (precipitação e temperatura) afetam o crescimento e se existe teleconexão com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) *El Niño* e Atlântico Sul.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado em uma área de 260 ha de cerrado *sensu stricto* no estado de São Paulo (Figura 1 a), localizado no município de Itirapina (22°13'S, 47°53'W), altitude de 610 metros (Reys et al., 2013). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2014) o clima

da região é definido como zona subtropical úmida com inverno seco e verão quente e chuvoso (Cwa), com temperatura média anual de 21,3°C e com precipitação média anual de 1418 mm (Figura 1b).

2.2 Espécies estudadas

As espécies selecionadas para este estudo foram escolhidas devido a sua ampla distribuição e frequência no Cerrado em geral (Bridgewater et al., 2004) e sua elevada ocorrência na área de estudo (Reys et al., 2013) e pela comprovada formação dos anéis de crescimento (Figura 2, Tabela 1) (Marcati, et al., 2006; Sonsin, 2010).

As três espécies foram: o pau-terra *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), espécie decídua; o abiu-piloso *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae), espécie semi-decídua a canela lageana *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae), espécie sempre-verde, as três espécies apresentam queda foliar na estação seca (Tabela 1).

2.3 Dados dendrométricos

Foram construídas e instaladas faixas dendrométricas, para isso foram utilizadas fitas de aço inoxidável, graduadas com escala em mm e nônio (precisão de 0,2 mm) e com molas de tensão (Worbes, 1995; Botosso & Tomazello, 2001). Para realizar o acompanhamento do incremento radial do tronco, foram selecionados 25 indivíduos de cada espécie. As leituras do incremento radial do tronco ocorreram mensalmente, sempre no período da manhã, durante o intervalo de tempo de 25 meses (setembro de 2014 até setembro 2016). Previamente, em agosto de 2014, foram realizados os testes de calibração e ajustes dos equipamentos nos troncos. Nesse período foram feitas duas leituras quinzenais e a partir do mês de setembro de 2014 iniciaram-se as leituras mensais.

2.4 Observações fenológicas e banco de dados

Durante os 25 meses de monitoramento das faixas dendrométricas foi realizado o acompanhamento fenológico de cada árvore monitorada, com observação direta e registro das fenofases: floração (botão e antese), frutificação (frutos verdes e maduros), brotamento e queda foliar (Camargo et al., 2011, Vogado et al., 2016).

Estas informações fazem parte do banco de dados do Laboratório de Fenologia do Departamento de Botânica e Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro (SP). Este banco (Fenologia Cerrado) possui informações mensais com mais de 10 anos de duração. Todas as plantas que foram monitoradas no presente estudo (faixas dendrométricas e fenologia) fazem parte do referido banco de dados. Detalhes da coleta e amostragem podem ser encontrados em Camargo et al. (2013; 2015) e Vogado et al. (2016).

2.5 Coleta e preparação dos anéis de crescimento

A coleta dos materiais destinados às análises dos anéis de crescimento consistiu no método não destrutivo, por meio da extração de cilindros do tronco a uma altura de 1,3 m da base, utilizando trados de incremento de 5 mm de diâmetro (Imaña-Encinas et al., 2005), as três espécies possuem alta densidade da madeira (Leite et al., 2016) e o número amostral variou de acordo com a espécie (Tabela 1).

Todas as árvores tiveram suas posições geográficas marcadas com um receptor de GPS de navegação, suas alturas medidas com trena a laser e hipsômetro blume leiss e medidos os diâmetros dos troncos à altura do peito (DAP), com fita diamétrica (Tabela 1). Após a retirada dos cilindros, utilizamos cera de abelhas ou a própria casca para vedação do orifício formado a fim de evitar o ataque de fitopatógenos (Pilcher, 1990).

Todas as amostras coletadas foram fixadas com cola a base d'água em suporte de madeira e secas em temperatura ambiente para evitar rachaduras. Posteriormente os cilindros receberam

polimento sucessivo com lixas de diferentes granulações (n° 80 a 2000) para possibilitar a visualização dos anéis de crescimento (Stokes & Smiley, 1996; Asherin & Mata, 2001).

2.6 Construção da cronologia

Em cada amostra foi realizada a identificação, marcação dos anéis de crescimento e verificação de possíveis anéis falsos ou faltantes (Pilcher, 1990). Após este processo, a medição da largura dos anéis de crescimento foi realizada utilizando Lintab 6, um sistema de medição digital com precisão de 0,01 mm (Rinntech, 2012).

Após a medição de todos os indivíduos foi realizada a datação cruzada (crossdating) entre as séries temporais, este método utiliza a sobreposição de séries para averiguar o grau de semelhança entre elas (Pilcher, 1990). Posteriormente foi realizado o processo de padronização das larguras dos anéis de crescimento, que visa eliminar as possíveis tendências associadas a idade das árvores, para isso é utilizado cálculo da média móvel de cinco anos (Cook & Briffa, 1990), esse procedimento gera índices das larguras dos anéis de crescimento, que é condição básica para se correlacionar com dados climáticos (Fritts, 1976; Cook & Briffa, 1990).

A qualidade da datação cruzada foi validada visualmente e estatisticamente por meio do coeficiente de coincidência *Gleichlaufigkeit* (GLK) e o valor T (Baillie & Pilcher, 1973; Pilcher, 1990; Schweingruber, 1996), utilizando o programa TSAP-WinTM Scientific (Rinntech, 2012).

Estes dois conceitos são utilizados para verificar a qualidade de concordância entre as séries temporais, sendo o GLK desenvolvido especialmente para datação cruzada dos anéis de crescimento (Pilcher, 1990; Rinntech, 2012). Após esse processo, as melhores séries temporais individuais de cada espécie foram selecionados para a construção da série temporal média (cronologia) para cada uma das três espécies. As amostras foram selecionadas a partir dos melhores valores de GLK (%) obtidos na datação cruzada, foram selecionados apenas os valores que ficaram entre 65 e 77%, cujo nível de significância corresponde a 95% .

2.7 Séries históricas climáticas

As séries históricas de precipitação e temperatura das áreas de coleta foram obtidas junto a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do site HidroWeb - Sistemas de Informações Hidrológicas (<http://hidroweb.ana.gov.br>) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Devido à falta de dados consistentes e às falhas nas séries históricas, optamos por utilizar o maior número possível de estações disponíveis e que fossem próximas das regiões estudadas. Os dados foram inicialmente analisados, corrigidos quanto a sua qualidade e as séries consideradas adequadas foram utilizadas para compor um valor médio correspondente da região estudada.

Para a construção da série histórica de precipitação (Figura 1 b) foram utilizadas 11 estações pluviométricas (1956 a 2016) e para a série histórica de temperatura, apenas uma estação (1961 a 2016) (Tabela 2 – material suplementar). Estas estiveram localizadas dentro de um raio de aproximadamente 100 km de distância da área de coleta.

Durante o período de monitoramento (setembro de 2014 até setembro de 2016), e também no período que antecedeu este, o Estado de São Paulo passou por uma seca que foi considerada uma das maiores de sua história (Nobre et al., 2016). A precipitação média anual histórica na região de Itirapina é de 1418 mm. Os anos de 2011 e 2012 apresentaram precipitação total anual acima da média, mas em 2013 foi iniciado um período mais seco, com a precipitação total anual reduzida para 1387 mm e para 1074 mm em 2014 (ano mais seco), 1238 mm em 2015 e 1205 mm em 2016.

A seca se estabeleceu em dezembro de 2013 e se estendeu até junho de 2015. Foram 19 meses, dos quais 14 com precipitação abaixo da média histórica. No acumulado, neste período de 19 meses choveu 1866 mm, quase 23% abaixo dos 2426 mm esperados pelos dados médios. Depois desse período a oferta de chuvas melhorou sistematicamente, principalmente em decorrência das chuvas nos meses de julho, setembro e novembro de 2015, que combinados esteve 66% acima da média histórica. De julho de 2015 até dezembro de 2016 foram 1783 mm (esperado de 2045 mm), apenas 12% abaixo do esperado.

As informações sobre as anomalias de temperatura na superfície do mar (TSM) do Oceano Pacífico Equatorial (*El Niño* 1+2, 3, 3.4 e 4) e Atlântico Tropical Sul (ATS) foram obtidas na base de dados do NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>). O banco de dados das regiões de *El Niño* possui séries históricas mensais do ano de 1870 até os dias atuais, e para a região do ATS a série se inicia em 1940 com o mesmo término.

Os dados da cronologia média e todas as variáveis climáticas mensais foram correlacionados analisando tanto o ano corrente, quanto o ano anterior. Adicionalmente, com intuito de verificar se houve um período climático de maior influência no crescimento das espécies, os dados climáticos foram divididos em dois períodos: um representando a estação chuvosa (outubro a março) e o outro para estação seca (abril a setembro). Para as análises de correlação consideramos o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, sempre testado nos níveis de significância 0,05 e 0,01.

3. Resultados

3.1 Incremento radial do tronco e fenologia

A leitura das faixas dendrométricas no período de setembro/2014 a setembro/2016 mostrou os efeitos da baixa precipitação no incremento radial do tronco das espécies (Figura 3 a, b, c). Entretanto, mesmo com período de baixa precipitação as três espécies apresentaram periodicidade nas fenofases observadas (Figura 3 a, b, c).

Qualea grandiflora apresentou incremento acumulado de 1,1 mm em 25 meses. Os picos de incremento radial do tronco (novembro/2014 e dezembro/2015) coincidiram com a ocorrência da floração e brotamento, que corresponderam a estação chuvosa (Figura 3 a). Na estação seca o incremento diminuiu, coincidindo com a queda foliar e em 2015 houve frutificação (Figura 3 a).

Para *P. torta* o incremento acumulado foi de 1,3 mm em 25 meses. O período de queda foliar coincidiu com o de menor precipitação, e também foi relacionado ao período de estagnação

no crescimento. A reativação do incremento radial do tronco ocorreu logo após o início da estação chuvosa, no mês de novembro de 2015 (Figura 3 b).

Das três espécies, *O. pulchella* foi a que apresentou o maior incremento acumulado do tronco, 5,0 mm em 25 meses (quase quatro vezes maior que o das outras duas espécies). No intervalo entre setembro a dezembro de 2014 a espécie manteve seu incremento estagnado. A partir desse período houve um aumento do incremento radial do tronco. Nos meses de julho/2015 e junho/2016 houve queda no incremento, podendo indicar o período de dormência cambial, que corresponde ao período de maior estiagem da região (Figura 3 c).

A fenologia das três espécies foi sazonal para todas as fenofases observadas no período de setembro de 2014 a setembro de 2016 (Figura 3 a, b, c). *Qualea grandiflora* e *O. pulchella* apresentaram floração na estação chuvosa e tiveram variação entre anos na duração desta fenofase, enquanto *P. torta* floresceu durante a estação seca.

A frutificação foi a fenofase em que as três espécies apresentaram menor regularidade. *Qualea grandiflora* apresentou frutos apenas na estação seca em 2015, nos meses de abril a setembro; e mesmo com a produção de flores em 2015, não foi observada posterior. *Pouteria torta* apresentou frutos no final da estação seca e em parte da estação chuvosa nos três anos. A frutificação da *O. pulchella* ocorreu sempre na estação chuvosa, de novembro/2014 a janeiro/2015 e de novembro/2015 a março/2016.

O brotamento das três espécies teve início no período de transição da estação seca para a estação úmida ou na estação úmida, com duração no máximo até o mês de janeiro. Para *Q. grandiflora* e *P. torta* o brotamento teve início no final da estação seca, em agosto e setembro, e sua duração variou de novembro a dezembro. Para *O. pulchella* o brotamento ocorreu durante a estação úmida, nos meses de outubro a janeiro.

A queda foliar foi a fenofase mais regular dentre todas as observadas, ocorrendo nas três espécies sempre durante a estação seca.

3.2 Cronologia, influência climática e teleconexão

Para a construção da cronologia média da espécie *Q. grandiflora* foram utilizados sete dos 27 indivíduos, abrangendo o período de 1979 a 2014, com extensão de 36 anos (Figura 4 a). Para *P. torta* foram utilizados 10 dos 26 indivíduos, abrangendo o período de 1957 a 2014, com comprimento de 58 anos (Figura 4 b). Por fim, para *O. pulchella* a cronologia média utilizou nove dos 25 indivíduos, totalizando 33 anos que corresponde ao período de 1982 a 2014 (Figura 4 c).

A partir de cada cronologia, foi feita a correlação entre o crescimento das espécies e as variáveis climáticas. Para *Q. grandiflora* a correlação foi significativa e negativa para temperatura mínima nos meses de março ($r = -0,36$) e abril ($r = -0,37$) do ano corrente (Figura 5 a), indicando que a temperatura mínima desfavoreceu o crescimento da espécie nestes meses.

Para a espécie *P. torta* houve teleconexão positiva no ano anterior com as quatro regiões de *El Niño* (1+2, 3, 3.4 e 4). A correlação com *El Niño* 1+2 (Figura 6 a) ocorreu nos meses de setembro a janeiro do ano anterior, com maior correlação no mês de outubro ($r = 0,36$). Para *El Niño* 3 (figura 6 b) a correlação ocorreu de setembro a fevereiro do ano anterior, com maior correlação no mês de dezembro ($r = 0,38$). O *El Niño* 3.4 (Figura 6 c) e *El Niño* 4 (Figura 6 d) apresentaram correlação entre os meses de setembro a março. O maior valor de correlação do *El Niño* 3.4 ($r = 0,38$) e *El Niño* 4 ($r = 0,31$) ocorreu no mês de dezembro. E para a correlação entre o crescimento e a temperatura máxima, houve resposta negativa ($r = -0,30$) no mês de junho do ano corrente, desfavorecendo o crescimento da espécie (Figura 6 e).

A correlação entre a cronologia da *O. pulchella* e a temperatura máxima foi significativa e negativa em maio ($r = -0,35$) e junho ($r = -0,36$) do ano anterior (Figura 7 a). E a correlação entre a cronologia e precipitação foi significativa e positiva nos meses de novembro ($r = 0,37$) do ano anterior e agosto ($r = 0,36$) do ano corrente (Figura 7 b).

Para este estudo, nenhuma das espécies apresentaram teleconexão entre o crescimento e as anomalias do ATS.

4. Discussão

4.1 Análise entre o incremento radial do tronco e fenologia

Mesmo com a lentidão no incremento radial do tronco das três espécies estudadas, a utilização das faixas dendrométricas apresentou bons resultados no que diz respeito à verificação do incremento radial do tronco e os efeitos da baixa precipitação. Este equipamento ocasionalmente pode apresentar variações ao longo do ano, devido a retração e dilatação térmica da fita de aço (Drew & Dones et al., 2009). Por isso, as medições e leituras das faixas dendrométricas precisam ser criteriosamente avaliadas, a fim de se obter resultados confiáveis (Worbes 1995; Botosso & Tomazello Filho 2001; Schöngart et al., 2002; Lisi et al., 2008; Shimamoto et al., 2016).

Neste trabalho, o acompanhamento das leituras dendrométricas mostrou que as três espécies reduziram ou estagnaram o crescimento cambial nos períodos com baixa precipitação. De acordo com Worbes (1995), em áreas tropicais, a estação seca com duração de dois a três meses com precipitação mensal inferior a 60 mm causa a estagnação no crescimento cambial. Para *Q. grandiflora* e *P. torta* ficou evidente que elas só reativaram o crescimento cambial quando as chuvas ficaram próximas da normalidade. As espécies decíduas e semi-decíduas reduzem suas folhas e aumentam a eficiência no uso da água durante o estresse hídrico (Hasselquist et al., 2010; Locosselli et al., 2013). Adicionalmente, podem investir na produção de raízes mais profundas, alcançando águas subterrâneas, fato conhecido para as espécies de cerrado (Canadell et al., 1996; Hoffmann & Franco 2003; Oliveira et al., 2005), mas que não evitou a estagnação de crescimento em *Qualea* ou *Pouteria*. Ao contrário, *O. pulchella* manteve o incremento radial do tronco mesmo com as chuvas abaixo da média. Para esta espécie, o estresse hídrico parece não ser um fator limitante do crescimento (Spathelf et al., 2010). De acordo com Worbes (1999) as espécies sempre verdes, que é o caso da *O. pulchella*, mesmo em período de seca podem utilizar pequenas quantidades de água na produção de madeira e fazem uma interrupção pequena no crescimento cambial durante a estação seca, formando os anéis de crescimento. As espécies sempre verdes possuem zonas de crescimento

menos pronunciadas do que as espécies decíduas, no entanto elas apresentam uma alta porcentagem de espécies com anéis distintos (Worbes 1999), como é o caso das espécies da família Lauraceae (Reis-Avila & Oliveira, 2017).

Para as três espécies, o padrão de queda foliar correspondeu ao período da estação seca, e o brotamento, ocorreu na transição da estação seca para a estação chuvosa, encerrando o brotamento até o pico da estação úmida (janeiro), padrão relatado em outros trabalhos para espécies de cerrado e florestas secas (Borchert 1994; Batalha et al., 1997; Gama et al., 2011).

Para *Q. grandiflora* e *O. pulchella* a floração seguiu o mesmo padrão de outro estudo com a espécie *Xylopia aromática*, ou seja, a floração iniciou na transição da estação seca para úmida, predominando na estação chuvosa (Camargo et al., 2011). De acordo com Morellato et al., (2013) em áreas de cerrado a floração ocorre de maneira sazonal, com pico de floração ocorrendo na transição da estação seca para a úmida. No entanto, para *P. torta* a floração ocorreu durante a estação seca, característica que pode estar relacionada ao armazenamento de água decorrente da reidratação no período de queda foliar, possibilitando a floração, mesmo em períodos de seca prolongada (Borchert, 1999). Este comportamento portanto pode estar associado à capacidade de reidratação dos tecidos celulares, realizando com eficiência o armazenamento de água no tronco (Borchert, 1994a; Borchert, 1999; Silberbauer-Gottsberger, 2001).

Para a frutificação, *Q. grandiflora* não apresentou frutos em 2014 e 2016. De acordo com o banco de dados do Laboratório de Fenologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), *Q. grandiflora* apresenta baixa produção de frutos, não havendo regularidade anual. Foi observada a produção de frutos apenas em 2015, entre os meses de abril a setembro, durante a estação seca, período que favorece a dispersão anemocórica (Lenza & Klink, 2006; Silvério & Lenza, 2010), que nos períodos mais secos é mais eficiente (Batalha et al., 1997; Massi, 2016). De acordo com Stephenson (1981) e Custódio et al. (2014) o sucesso reprodutivo tem relação com fatores bióticos

e abióticos, como por exemplo, condições climáticas, controle de predação, abortamento, capacidade da planta mãe selecionar os frutos e da síndrome de dispersão.

O período de produção de frutos de *P. torta* e *O. pulchella*, nos 25 meses de avaliação, ocorreu de agosto a janeiro, correspondendo ao final da estação seca e principalmente, durante a estação chuvosa. Estas duas espécies apresentam frutos carnosos e são zoocóricas (Stefanello et al., 2009; Francisco & Galetti 2002), cujo desenvolvimento e maturação é favorecido pela maior umidade durante a estação chuvosa. Essas características da dispersão garantem a manutenção do fruto por mais tempo na planta, permanecendo atraentes para os dispersores e dessa forma, possibilitando a dispersão por um período maior de tempo (Batalha et al., 1997; Batalha & Martins 2004).

Outros fatores que podem controlar a fenologia das espécies em florestas tropicais e também são determinantes para a ocorrência periódica das fenofases, como o comprimento do dia, a insolação, e as características do solo (Calle et al., 2010; Borchert 2015; Estiarte & Peñuelas 2015; Shimamoto et al., 2016), entretanto, essas condições não foram avaliadas nesse estudo.

4.2 Relações dendroecológicas de clima-crescimento e teleconexão

As três espécies estudadas apresentaram variações no crescimento cambial ao longo dos anos relacionadas a fatores climáticos regionais e globais. No entanto, cada espécie respondeu de forma individualizada a esses fatores. É necessário ressaltar a importância de se diversificar as variáveis climáticas em estudos associados aos anéis de crescimento, facilitando o entendimento da resposta dessa relação (Brienen et al., 2010). No presente estudo, a precipitação, representada pelas chuvas que ocorreram na estação seca do ano corrente, favoreceu o crescimento de *O. pulchella*. Comportamento semelhante foi verificado em área de cerrado com a espécie *Hymenaea stigonocarpa*, que respondeu positivamente às chuvas do mês de agosto, indicando que pequenas quantidades de chuvas antes do início da estação de crescimento podem determinar quanto as plantas

crescerão (Locosselli et al., 2013). Esta sensibilidade ao período de seca também é relatada no trabalho de Borchert (1994), onde espécies tropicais de florestas secas, após as primeiras chuvas, apresentam rápida reidratação e sincronia no brotamento foliar.

A espécie *O. pulchella* apresentou resposta positiva ao crescimento no mês de novembro do ano anterior, período de chuvas na região e com temperatura média de 23°C. De acordo com Dünish (2005), o aumento do incremento em períodos com disponibilidade hídrica e temperaturas mais elevadas pode estar relacionado ao prolongamento das divisões celulares cambiais. Este comportamento pode indicar que a água é o fator determinante para o crescimento e simboliza também a formação das reservas de nutrientes que serão disponibilizadas no início da próxima estação de crescimento (Dünish, et al., 2003; Dünish, 2005). No estudo de Reis-Avila & Oliveira (2017) para duas espécies de Lauraceae (*O. pulchella* e *Cinnamomum amoenum*), o crescimento foi favorecido pelas chuvas nos meses de setembro a fevereiro, período que corresponde a estação de crescimento na região do estudo. Este desempenho também foi verificado em algumas espécies na Bolívia, onde no início da estação chuvosa (novembro e dezembro) o crescimento foi reativado de forma rápida, pois este processo está relacionado aos eficientes sistemas hidráulicos da planta, os quais favorecem a produção de novas células do xilema (Mendivelso et al., 2014).

Quanto a correlação entre o crescimento das espécies e a temperatura, foi observado que todas tiveram influências significativas para temperaturas máximas ou mínimas. Para *Q. grandiflora* as temperaturas mínimas desfavoreceram o crescimento nos meses de março e abril, período de transição da estação chuvosa para estação seca. De acordo com Dünish (2005) as temperaturas podem controlar a divisão cambial proporcionando o crescimento ou a diminuição do mesmo, e este efeito está relacionado ao início e fim da temporada de crescimento.

Para *P. torta* e *O. pulchella* as temperaturas mais elevadas juntamente ao período de baixa precipitação desfavoreceram o crescimento das espécies. Em florestas secas, períodos com pouca disponibilidade hídrica e temperaturas mais altas podem ocasionar um aumento da demanda

evaporativa, resultando na resposta inversa do crescimento (Roig & Villalba, 2008). Este comportamento foi verificado no trabalho de Locosselli et al. (2013) em área de cerrado, onde a espécie *Hymenea stigonocarpa* apresentou tamanho dos vasos celulares reduzidos e diminuição na largura do anel de crescimento. Segundo os autores, essa formação dos vasos celulares foi determinante para a condutância hidráulica em períodos de alta demanda evaporativa. No trabalho de Reis-Avila & Oliveira (2017) as espécies *O. pulchella* e *C. amoenum* também tiveram correlação negativa entre o crescimento e a temperatura, no entanto, este comportamento ocorreu nos meses da estação chuvosa.

Em áreas tropicais, os estudos que abordam os efeitos no desenvolvimento das plantas por meio das mudanças climáticas ainda são escassos (Mendoza et al 2017; Brienen et al. 2016). Os efeitos causados pelo *El Niño* na região de estudo, como também nas comunidades vegetais de Cerrado ainda são incertos, havendo a necessidade de estudos que utilizem dados de longa duração, como por exemplo os anéis de crescimento e bancos de dados de fenologia.

Alguns estudos têm abordado os efeitos da precipitação no incremento em diâmetro de espécies arbóreas e também demonstram como ocorre a associação com as anomalias de TSM do Pacífico e do Atlântico (Schöngart et al., 2004; 2006; Brienen et al., 2009). A exemplo disso, em floresta tropical da Amazônia foi verificado que o *El Niño* foi responsável por causar variações na largura dos anéis de crescimento das árvores (Schöngart et al., 2004). Este estudo demonstrou que em áreas de várzea e igapó, a ocorrência do fenômeno causou a diminuição da precipitação favorecendo o aumento da largura dos anéis de crescimento. No entanto, para as áreas de florestas de terra firme essa redução na precipitação desfavoreceu o crescimento dos anéis (Schöngart et al., 2004). Uma outra abordagem utilizando dados de longa duração, foi a análise fenológica de espécies da Ilha de Barro Colorado (Panamá), onde foi comparado os anos de ocorrência do fenômeno *El Niño/La Niña* aos anos de neutralidade dos eventos climáticos, este estudo constatou um aumento

na produção de flores e sementes durante os anos de ocorrência do *El Niño* e uma diminuição dessa produção em anos de *La Niña* (Wright & Calderón, 2006).

Para o presente estudo, apenas a espécie *P. torta* apresentou teleconexão positiva no crescimento quando relacionada aos eventos de anomalias de TSM *El Niño*. No entanto, esta espécie não apresentou correlação significativa entre a precipitação e o crescimento radial, sendo necessárias mais investigações a respeito da influência das variáveis climáticas no crescimento. Uma das alternativas é a verificação dos isótopos estáveis (^{13}C e ^{18}O) junto às medições, possibilitando compreender as respostas fisiológicas frente as variações climáticas (McCarroll & Loader, 2004; Rozendaal & Zuidema, 2011).

5. Conclusões

O presente trabalho mostrou que períodos ou anos mais secos, como ocorrido durante o presente estudo, afetaram o incremento radial do tronco, reduzindo o crescimento das espécies, embora não tenhamos evidências de efeitos no ritmo das atividades reprodutiva ou vegetativa. A queda foliar das espécies esteve relacionada aos períodos de menor precipitação, e o brotamento iniciou no final da estação seca ou início da estação chuvosa, mas as correlações aos fatores climáticos foram diferentes para cada espécie. Esses anos ou períodos mais secos, com início em dezembro de 2013 até junho de 2015, englobaram uma parte do período de forte ocorrência do fenômeno *El Niño*, esta seca certamente produziu alterações na largura dos anéis de crescimento, como também na formação dos vasos celulares. Estas alterações poderão ser acessadas por meio das análises da largura dos anéis de crescimento e dos vasos celulares em estudos dendroecológicos futuros. Por fim, cada espécie apresentou relação entre o crescimento arbóreo e os fatores climáticos regionais e globais de forma singular, sendo assim, mais estudos sobre o crescimento destas espécies frente à variabilidade climática são fundamentais para a conservação das comunidades do Cerrado.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao Victor Hugo Andrade, Eliana Paixão e Aparecido Siqueira pelo suporte em campo, discussões e leitura prévia deste manuscrito. PTPL recebeu bolsa de estudo da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) por meio do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal — UNESP, Rio Claro, e LPCM recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Toda a pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos #2010/51307-0 e #2013/50155-0. CAPES e UNESP proveram fundos adicionais. Finalmente, agradecemos ao Laboratório de Dendroecologia do Centro-Oeste Brasileiro – UFMT/INAU.

Referências

- Alvares, C.A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Asherin, L. A.; Mata, S. A. 2001. Basic tree-ring sample preparation techniques for aging aspen. *Sustaining Aspen in Western Landscapes, Proceedings RMRS-P-18*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, *Fort Collins, CO*, 347-351.
- Avila-Reis, G.; Oliveira, J. M. 2017. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. *Dendrochronologia*, 44, 103–116.
- Baillie, M. G. L.; Pilcher, J. R.. 1973. A simple cross-dating program for tree-ring research. *Tree-rings bulletin*, 33, 7–14.
- Batalha, M. A.; Aragaki, S.; Mantovani, W. 1997. Variações fenológicas das espécies do cerrado em Emas (Pirassununga, SP). *Acta Bot. Bras*, 11(1), 61-78.
- Batalha, M. A.; Martins, F. R. 2004. Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil). *Australian Journal of Botany*, 52, 149-161.
- Boninsegna, J. A.; Argollo, J.; Aravena, J. C.; Barichivich, J.; Christie, D.; Ferrero, M. E. 2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3), 210-228.
- Borchert, R. 1994. Induction of rehydration and bud break by irrigation or rain in deciduous trees of a tropical dry forest in Costa Rica. *Trees-Structure and Function*, 8(4), 198-204.

- Borchert, R. 1999. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. *Iawa Journal*, 20(3), 239-247.
- Borchert, R.; Calle, Z.; Strahler, A. H.; Baertschi, A.; Magill, R. E.; Broadhead, J. S.; Muthuri, C. 2015. Insolation and photoperiodic control of tree development near the equator. *New Phytologist*, 205(1), 7-13.
- Botosso, P. C.; Tomazello Filho, M. 2001. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: N.B. Maia, H.L. Martos & W. Barella (eds.), *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*: 145–171. EDUC, São Paulo.
- Bridgewater, S.; Ratter, J. A.; Ribeiro, J. F.; 2004. Biogeographic patterns, diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 13, 2295-2318.
- Brienen, R. J.; Zuidema, P. A.; Martínez-Ramos, M. 2010. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. *Oecologia*, 163(2), 485-496.
- Brienen, R. J.; Lebrija-Trejos, E. D. W. I. N.; Zuidema, P. A.; Martinez-Ramos, M. 2010. Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. *Global Change Biology*, 16(7), 2001-2012.
- Brienen, R.J.W.; Schöngart, J.; Zuidema, P.A. 2016. Tree rings in the tropics: Insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. *Tropical Tree Physiol*, 6, 439–461.
- Calle, Z.; Schlumpberger, B. O.; Piedrahita, L.; Leftin, A.; Hammer, S. A.; Tye, A.; Borchert, R. 2010. Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. *Trees*, 24(5), 865-877.
- Camargo, M. G. G.; Souza, R. M.; Reys, P.; Morellato, L. P. C. 2011. Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatica* (Annonaceae). *Anais da Academia Brasileira De Ciências*, 83, 1007-1019.
- Camargo, M. G. G.; Cazetta, E.; Schaefer, M. H.; Morellato, L. P. C. 2013. Fruit color and contrast in seasonal habitats – a case study from a cerrado savana, *Oikos* 122: 1335–1342.
- Camargo, M. G. G.; Schaefer, H. M.; Habermann, G.; Cazetta, E.; Soares, N. C.; Morellato, L. P. C. 2015. Bicolored display of *Miconia albicans* fruits: Evaluating visual and physiological functions of fruit colors. *American Journal of Botany*, 102, 1453-1461.
- Canadell, J.; Jackson, R. B.; Ehleringer, J. R.; Mooney, H. A.; Sala, O. E.; Schulze, E. D. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108: 583-595.

- Cardoso, F. C. G.; Marques, R.; Botosso, P. C.; Marques, M. C. M. 2012. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. *Plant and Soil*, 354(1-2), 269-281.
- Cook, E. R.; Briffa, K. 1990. Data analysis. In: *Methods of Dendrochronology, Applications in the Environmental Sciences* (eds Cook, E. R., Kairiukstis, L. A.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 97–162.
- Custódio, L. N.; Carmo-Oliveira, R.; Mendes-Rodrigues, C.; & Oliveira, P. E. 2014. Pre-dispersal seed predation and abortion in species of *Callisthene* and *Qualea* (Vochysiaceae) in a Neotropical savanna. *Acta Botanica Brasilica*, 28(3), 309-320.
- Dias, P. L. S.; Ribeiro, W. C.; Nunes, L. H. 2007. A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America, 418 p.
- Drew, D. M.; Downes, G. M. 2009. The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: a review. *Dendrochronologia*, 27(2), 159-172.
- Dünish, O.; Montóia, V. R.; Bauch, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, 17:244–250.
- Dünish, O. 2005. Influence of the El-niño southern oscillation on cambial growth of *Cedrela fissilis* Vell. In *tropical and subtropical Brazil. Journal of Applied Botany and Food Quality*.
- Eiten, G. 1993. Vegetação do cerrado. In *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas* (M.N. Pinto, ed.). Universidade de Brasília, Brasília, p. 17-73.
- Estiarte, M.; Peñuelas, J. 2015. Alteration of the phenology of leaf senescence and fall in winter deciduous species by climate change: effects on nutrient proficiency. *Global change biology*, 21(3), 1005-1017.
- Fina, B.G. and R. Monteiro, 2013. A woody community structure in a Cerrado sensu stricto area, municipality of Aquidauana - Mato Grosso do Sul. *Revista Árvore*, 37(4): 577-585.
- Francisco, M. R.; Galetti, M. 2002. Aves como potenciais dispersoras de sementes de *Ocotea pulchella* Mart.(Lauraceae) numa área de vegetação de cerrado do sudeste brasileiro. *Brazilian Journal of Botany*, 11-17.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree ring and climate*. London: Academic Press, 567 pp.
- Gama, L. U.; Barbosa, A. A. A.; De Oliveira, P. E. A. M. 2011. Sistema sexual e biologia floral de *Pouteria ramiflora* e *P. torta* (Sapotaceae). *Revista Brasil. Bot.* 34(3), 375-387.
- Grissino-Mayer, H. D. 1996. A 2129-year reconstruction of precipitation for northwestern New Mexico, USA. *Tree rings, environment, and humanity*, 191-204.
- Hasselquist, N. J.; Allen, M. F.; Santiago, L. S. 2010. Water relations of evergreen and drought-deciduous trees along a seasonally dry tropical forest chronosequence. *Oecologia*, 164, 881-890.

- Hoffmann, W. A.; Franco, A. C. 2003. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology*, 91(3), 475-484.
- Hughes, M. K. 2002. Dendrochronology in climatology—the state of the art. *Dendrochronologia*, 20(1-2), 95-116.
- Imaña Encinas, J., Silva, G. F. D., & Pinto, J. R. R. (2005). Idade e crescimento das árvores. Departamento de Engenharia Florestal, Comunicações técnicas florestais; 7(1), 43 pp.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. White (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- Kanieski, M. R. 2013. Estudo dendroecológico de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & R. J Downs e de arbóreas invasoras em uma floresta ombrófila mista aluvial, sul do Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 128 pp.
- Klink, C. A.; Machado, R. B. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19(3), 707–713.
- Lenza, E.; Klink, C.A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Revista Brasileira de Botânica*, 29(4), 627-638.
- Lisi, C. S.; Tomazello Filho, M.; Botosso, P. C.; Roig, F. A.; Maria, V. R. B.; Ferreira-Fedele, L. 2008. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA Journal*, 29, 2, 189–207.
- Locosselli, G. M.; Buckeridge, M. S.; Moreira, M. Z.; Ceccantini, G. 2013. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea spp.*, Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. *Trees*, 27(1), 25-36.
- Locosselli, G. M.; Schöngart, J.; Ceccantini, G. 2016. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. *Trees*, 30:1127–1136.
- Longhi-Santos, T.; Milani, J. E. F.; Miranda, B. P.; Andrade, V. H. F.; Galvão, F.; Kanieski, R.; Roderjan, C. V. 2015. Dendroecological study of *Myrceugenia glaucescens* (Cambes.) D. Legrand & Kausel. In alluvial mixed ombrophilous forest, Paraná, Brazil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9 (20): 20-26.
- Lopez, L.; Villalba, R. 2011. Climate influences on the radial growth of *Centrolobium microchaete*, a valuable timber species from the tropical dry forests in Bolivia. *Biotropica*, 43(1), 41-49.
- McCarroll, D., Loader, N. J. 2004 Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23, 771–801.

- Marcati, C. R.; Angyalossy, V.; Evert, R. F. 2006. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *IAWA Journal*, 27 (2), 199-211.
- Marengo, J. A.; Chou, S. C.; Kay, G.; Alves, L. M.; Pesquero, J. F.; Soares, W. R.; Santos, D. C.; Lyra, A. A.; Sueiro, G.; Betts, R.; Chagas, D. J.; Gomes, J. L.; Bustamante, J. F.; Tavares, P. 2012. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics*, 38, 1829–1848.
- Massi, K. G. 2016. Asas, plumas e paetês: como é a frutificação das espécies anemocóricas de uma área de cerrado, de acordo com o tipo de diásporo? *Neotropical Biology and Conservation*, 11(2):86-93.
- Mendivelso, H. A.; Camarero, J. J.; Gutiérrez, E.; Zuidema, P. A. 2014. Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: Short-term tolerance vs. long-term sensitivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 188, 13-23.
- Mendivelso, H. A.; Camarero, J. J.; Gutierrez, E.; Castaño-Naranjo, A. 2016. Climatic influences on leaf phenology, xylogenesis and radial stem changes at hourly to monthly scales in two tropical dry forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216, 20–36.
- Mittermeier, R. A.; Robles Gil, P.; Mittermeier, C. G. 1997. Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations. CEMEX and Agrupación Sierra Madre.
- Mittermeier, R. A.; Myers, N.; Thomsen, J. B.; Da Fonseca, G. A.; & Olivieri, S. 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation biology*, 12(3), 516-520.
- Mittermeier, R. A. 1988. Primate diversity and the tropical forest. *Biodiversity*, 145-154.
- Morellato, L.P.C.; et al. 2010. The influence of sampling method, sample size, and frequency observations on plant phenological patterns and interpretation in tropical forest trees. *Phenological Research: Methods for Environmental and Climate Change Analysis*, 99-121.
- Morellato, L. P. C.; Camargo, M. G. G.; Gressler, E. 2013. South and Central America: Phenology overview and perspectives. In: *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ed Schwartz, M. D.). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 91-113.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Da Fonseca, G. A.; & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- Nobre, C. A.; Marengo, J. A.; Seluchi, M. E.; Cuartas, L. A.; Alvez, L. M. 2016. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 252-262.

- O'Brien, J. J.; Oberbauer, S. F.; Clark, D. B.; Clark, D. A. 2008. Phenology and stem diameter increment seasonality in a Costa Rican wet tropical forest. *Biotropica*, 40(2), 151-159.
- Oliveira, R.S.; Bezerra, L.; Davidson, E. A.; Pinto, F.; Klink, C. A.; Nepstad, D. C.; Moreira, A. 2005. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. *Functional Ecology*, 19, 574-581.
- Oyama, M. D.; Nobre, C. A. 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South América. *Geophysical Research Letters*, 30(23), 2199.
- Pagotto, M. A.; Roig, F. A.; de Souza Ribeiro, A.; Pago, C. S. 2015. Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. *Dendrochronologia*, 35, 14-23.
- Paredes-Villanueva, K.; Sánchez-Salguero, R.; Manzanedo, R. D.; Sopepi, R. Q.; Palacios, G.; Navarro-Cerrillo, R. M. 2013. Growth rate and climatic response of *Machaerium scleroxylon* in a dry tropical forest in southeastern Santa Cruz, Bolivia. *Tree-Ring Research*, 69(2), 63-79.
- Pilcher, J. R. 1990. Sample preparation, cross dating, and measurement. In: Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. (Eds) *Methods of dendrochronology, applications in the environmental sciences*. Kluwer, Dordrecht Boston London, 40-51.
- Rego, N, H. 2008. Variação na estrutura arbórea em uma topossequência num vale da Serra de Maracaju, Aquidaua, MS. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, 116 pp.
- Reis-Ávila, G.; Oliveira, J. M. 2017. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. *Dendrochronologia*, 44: 103-116.
- Reys, P.; Camargo, M. G. G.; Grombone-Guaratini, M. T.; Teixeira, A.P.; Assis, M.A.; Morellato, L.P.C. 2013. Estrutura e composição florística de um Cerrado *sensu stricto* e sua importância para propostas de restauração ecológica. *Hoehnea*, 40(3): 449-464.
- Rinntech, 2012. Precision - For Every Single Tree Ring. <http://www.rinntech.de/content/view/16/47/lang.english/> acessado em 21 junho 2016.
- Roig, F. A.; Villalba, R. 2008. Understanding climate from Patagonian tree rings. *Developments in Quaternary Sciences*, 11, 411-435.
- Rozendaal, D. M. A.; Soliz-Gamboa, C.; Zuidema, P. A. 2011. Assessing long-term changes in tropical forest dynamics: a first test using tree-ring analysis. *Trees*, 25, 115-124.
- Schöngart, J.; Piedade, M. T. F.; Ludwigshausen, S.; Horna, V.; Worbes, M. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18(4), 581-597.

- Schöngart, J.; Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Ayres, J. M.; Hüttermann, A.; Worbes, M. 2004. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplain and El Niño-Southern Oscillation Effect. *Global Change Biology*, 10, 683-692.
- Schöngart, J.; Piedade, M. T. F.; Wittmann, F.; Junk, W. J.; Worbes, M. 2005. Wood growth patterns of *Macaranga acaciifolia* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white water floodplain forests. *Oecologia*, 145, 454- 461.
- Schöngart, J.; Orthmann, B.; Hennenberg, K. J.; Porembki, S.; Worbes, M. 2006. Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. *Global Change Biology*, 12, 1139–1150.
- Schweingruber, F. H. 1996, *Tree rings and environment dendroecology*, Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 pp.
- Shimamoto, Y. C.; Botosso, P. C.; Amano, E.; Marques, M. C. M. 2016. Stem growth rhythms in trees of a tropical rainforest in Southern Brazil. *Trees*, 30: 99-111.
- Silberbauer-Gottsberger, I. 2001. A hectare of Cerrado. II. Flowering and fruiting of thick-stemmed woody species. *Phyton*, 41(1), 129-158.
- Silvério, D. V.; Lenza, E. 2010. Fenologia de espécies lenhosas em um cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotropica*, 10(3).
- Sonsin-Oliveira, J. 2010. Anatomia da madeira de espécies de cerrado *sensu lato* do estado de São Paulo. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, 161 pp.
- Spathlef, P.; Tomazello Filho, M.; Tonini, H. 2010. Dendroecological analysis of *Ocotea pulchella* and *Nectandra megapotamica* on two sites near Santa Maria, Rio Grande do Sul (Brazil). *Floresta*, 40(4): 777-788
- Speer, J. H. 2010. *The fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press, 368 pp.
- Stefanello, D.; Fernandes-Bulhão, C.; Martins, S. V. 2009. Síndromes de dispersão de sementes em três trechos de vegetação ciliar (nascente, meio e foz) ao longo do rio Pindaíba, MT. *Revista Árvore*, 33(6).
- Stephenson, A. G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual review of ecology and systematics*, 12(1), 253-279.
- Stokes, M. A.; Smiley, T. L. 1996. *Introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press, 73 pp.
- Tomazello Filho, M.; Botosso, P. C.; Lisi, S. C. 2000. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: Roig, F. A. *Dendrocronologia em América Latina*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo, 381-431.

- Villalba, R. 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quaternary Research*, 34(3), 346-360.
- Vogado, N. O.; Camargo, M. G. G.; Locosselli, G. M.; Morellato, L. P. C. 2016. Edge effects on the phenology of the guamirim, *Myrcia guianensis* (Myrtaceae), a cerrado tree, Brazil. *Tropical Conservation Science*, 9(1): 291-312.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal*, 16: 337-351.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, 87, 391–403.
- Worbes, M.; Blanchart, S.; Fichtler, E. 2013. Relations between water balance, wood traits and phenological behavior of tree species from a tropical dry forest in Costa Rica - a multifactorial study. *Tree Physiology*, 00, 1-10.
- Wright, S. J.; Calderón, O. 2006. Seasonal, *El Niño* and longer term changes in flower and seed production in a moist tropical forest. *Ecology Letters*, 9, 35-44.

Tabela 1. Espécies arbóreas coletadas no Cerrado do estado de São Paulo e suas características anatômicas

Espécies	Localidade	Fenologia foliar	N	Cilindros	DAP	Altura	Características do anel				
							A	LA	PP	V	P
<i>Qualea grandiflora</i> Mart. (Vochysiaceae)	Itirapina - SP	D	27	47	23 ± 4,83	7 ± 1,42	D	PM	L, F, AL, AC	G, S	D
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk. (Sapotaceae)	Itirapina - SP	SD	26	45	25 ± 5,83	7 ± 1,52	D	ZF	L, F	G, S	D
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees) Mez. (Lauraceae)	Itirapina - SP	SV	25	46	24 ± 6,11	11 ± 1,66	D	ZF	U, E, V	G, S	D

Fenologia foliar: D = decídua, SD = semidecídua, SV = sempre verde. **N:** número de árvores. **DAP:** diâmetro altura do peito médio (cm) e desvio padrão. **Altura:** Altura média (m) e desvio padrão. **A:** anéis de crescimento, D = distinto. **LA:** limite do anel, PM = parênquima marginal, ZF = zona fibrosa. **PP:** parênquima paratraqueal, AC = aliforme confluyente, AL = aliforme losangular, E = escasso, F = faixas, L = linhas, U = unilateral, V = vasicêntrico. **V:** vasos, G = grupo, S = solitário. **P:** porosidade, D = difusa não uniforme.

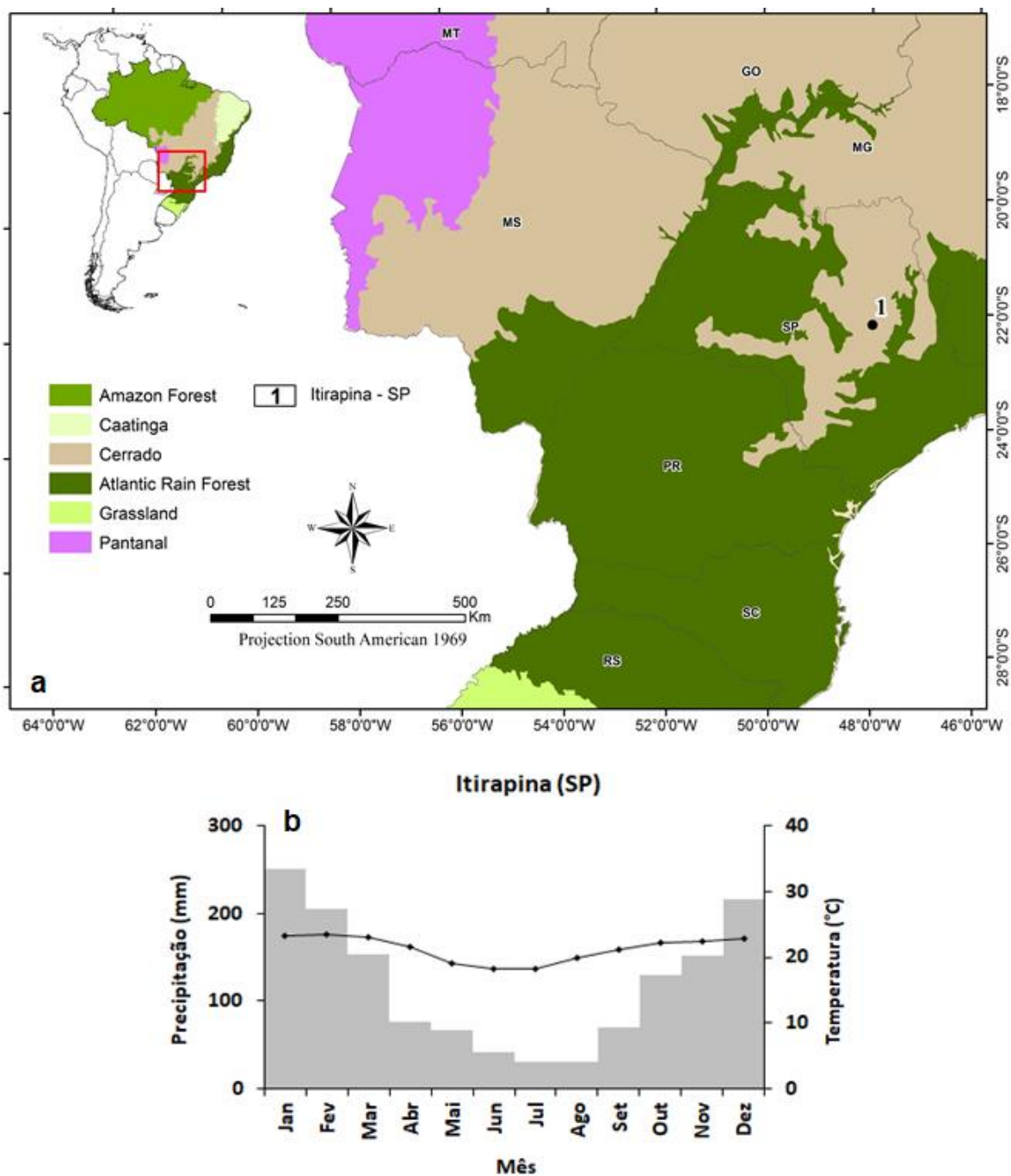


Figura 1. Mapas do Brasil (a) mostrando com destaque o local de coleta das amostras de madeira para análises dendroecológicas. Valores médios mensais de precipitação (barras cinza) e temperatura (linha preta) para a região de estudo em (b) Itirapina (SP) no período de 1956 a 2016. Dados obtidos de múltiplas estações dos sites Hidroweb - Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

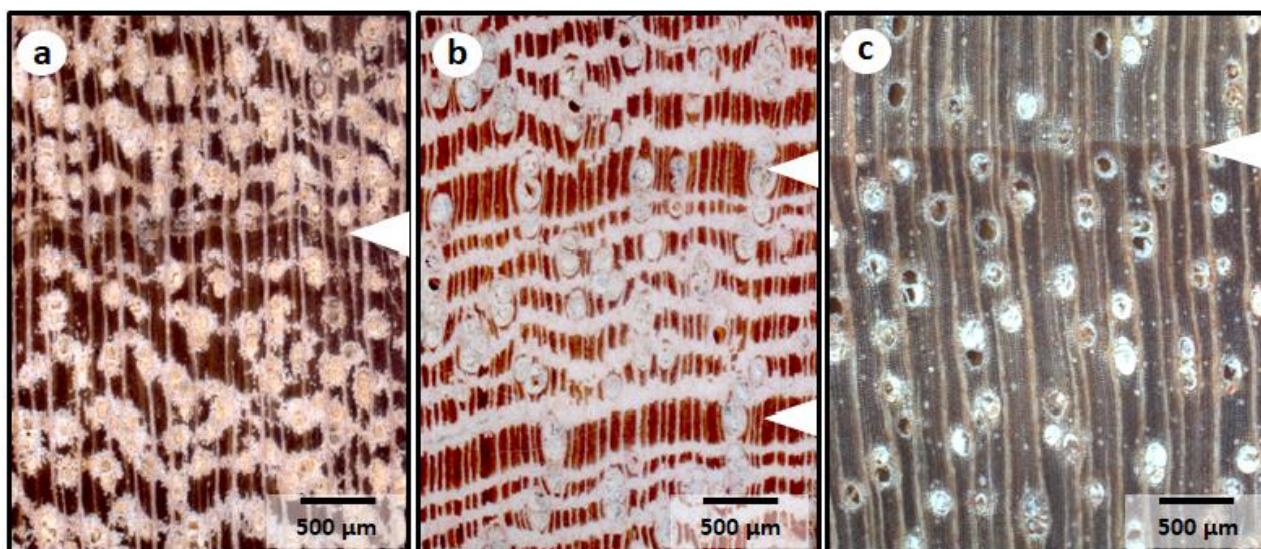


Figura 2. Seção transversal macroscópica dos anéis de crescimento de três espécies do cerrado (25x) (Barra = 500 µm). (a) *Qualea grandiflora*. (b) *Pouteria torta*. (c) *Ocotea pulchella*.

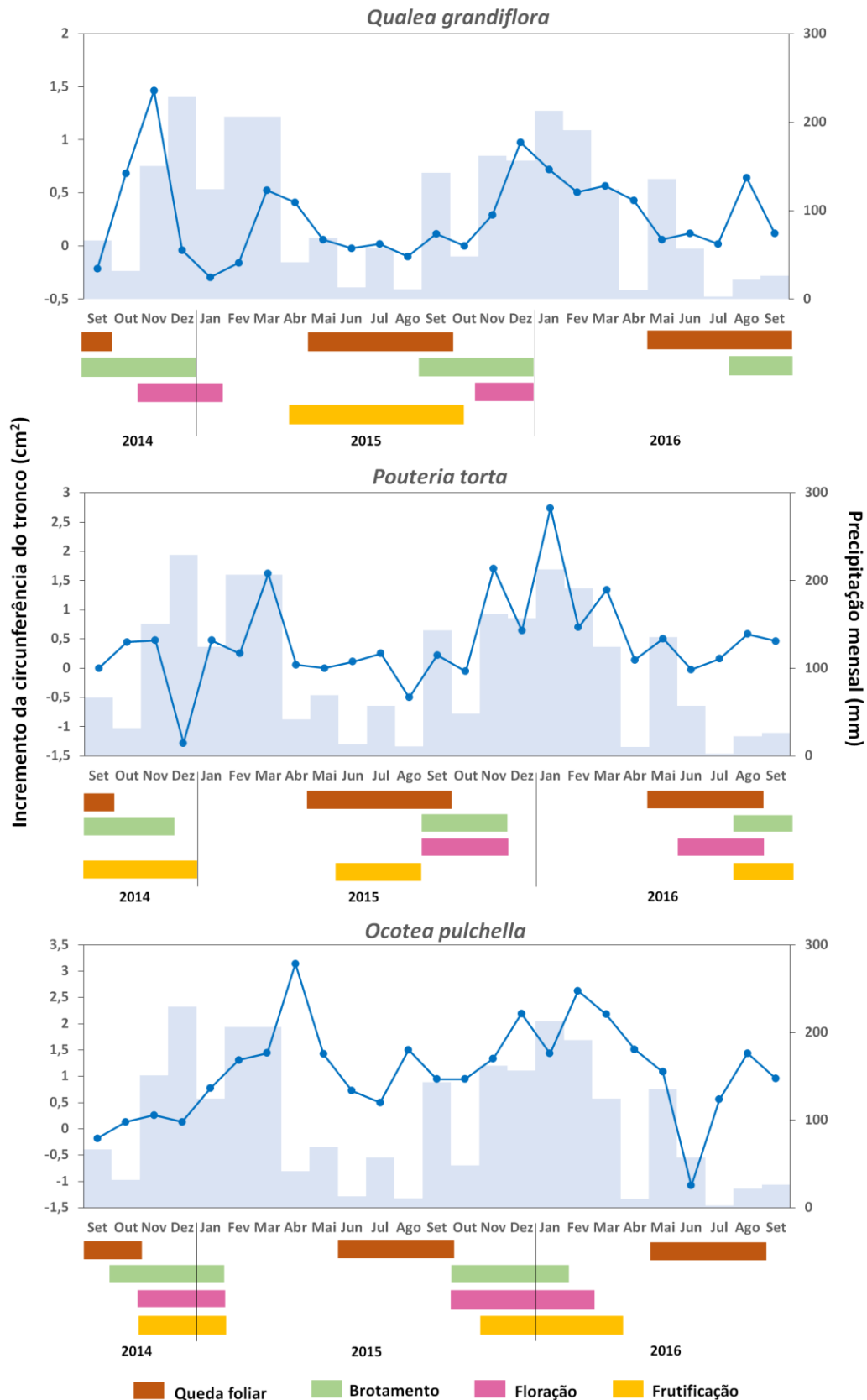


Figura 3. Incremento radial do tronco obtido por meio de leituras das faixas dendrométricas e fenologia observada das três espécies do cerrado de Itirapina (SP) durante 25 meses. Área sombreada em azul representa a precipitação mensal (mm) para o período de estudo.

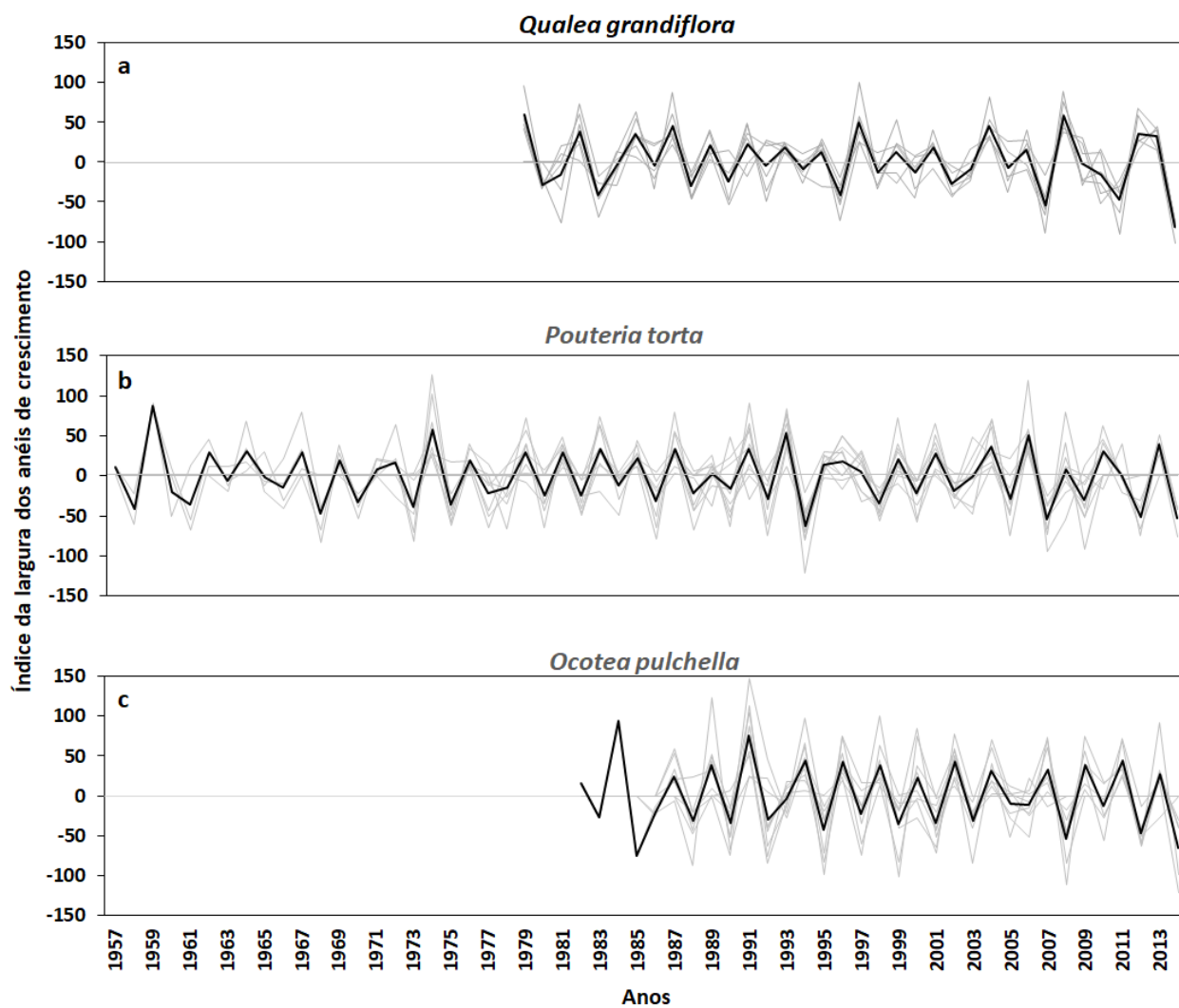


Figura 4. Cronologia média das espécies: (a) *Qualea grandiflora*; (b) *Pouteria torta*; (c) *Ocotea pulchella*. As linhas pretas representam a cronologia média e as cinzas são as séries temporais de cada indivíduo utilizadas para compor a média.

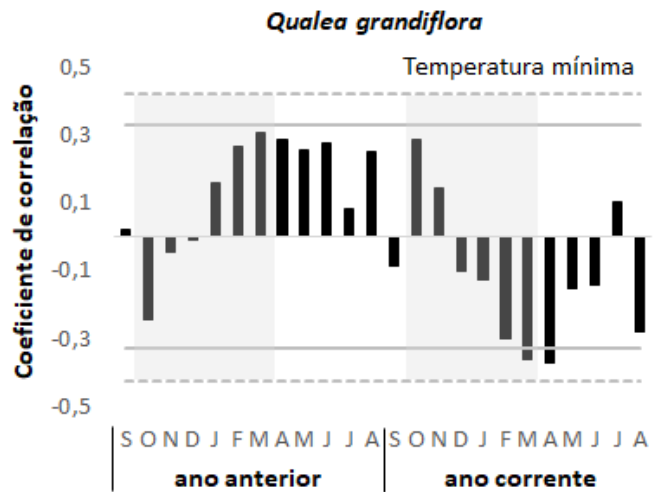


Figura 5. Correlação entre a cronologia da espécie *Qualea grandiflora* e temperatura mínima. Barras pretas representam o coeficiente de correlação de Pearson. Área sombreada em cinza representa as estações chuvosas e em branco as secas. Linha cinza contínua indica $p < 0,05$ e linha pontilhada $p < 0,01$.

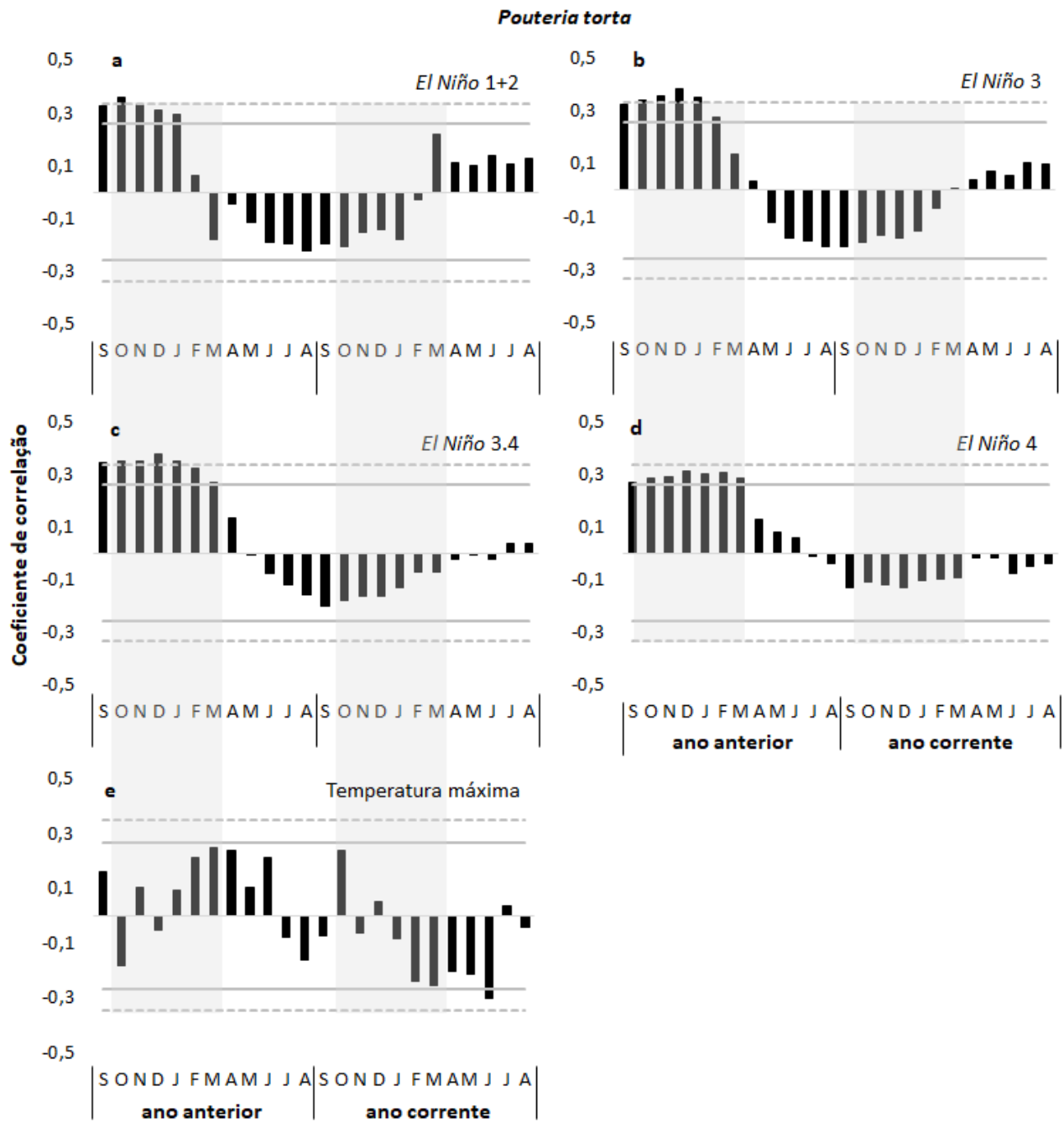


Figura 6. Correlação entre a cronologia da espécie *Pouteria torta* e as anomalias da TSM do Pacífico para todas as regiões de *El Niño* (a, b, c, d); e correlação com a temperatura máxima (e). Barras pretas representam o coeficiente de correlação de Pearson. Área sombreada em cinza representa as estações chuvosas e em branco as secas. Linha cinza contínua indica $p < 0,05$ e linha pontilhada $p < 0,01$.

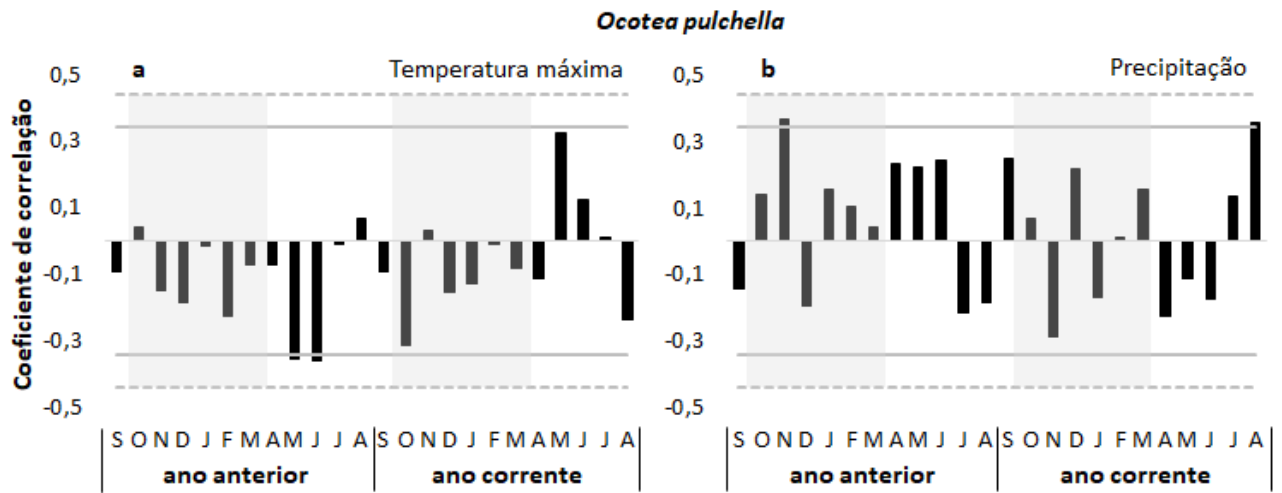


Figura 7. Correlação entre a cronologia da espécie *Ocotea pulchella* e a temperatura máxima (a) e a precipitação (b). Barras pretas representam o coeficiente de correlação de Pearson. Área sombreada em cinza representa as estações chuvosas e em branco as secas. Linha cinza contínua indica $p < 0,05$ e linha pontilhada $p < 0,01$.

Material Suplementar

Tabela 2. Conjunto de dados obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para construção das séries históricas de precipitação e temperatura de Itirapina- São Paulo

Código da estação	Município - Estado	Banco de dados
Precipitação (Série Histórica de 1956 a 2016)		
2247006	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247008	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247012	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247015	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247126	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247180	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247181	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247184	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247196	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
2247198	Itirapina – SP	Agência Nacional das Águas
83726	São Carlos - SP	Instituto Nacional de Meteorologia
Temperatura (Série Histórica de 1961 a 2014)		
83726	São Carlos - SP	Instituto Nacional de Meteorologia

Nota Técnica

Sobre o uso da anatomia cambial em espécies arbóreas do cerrado

Patricia Tiemi de Paula Leite¹, Leonor Patrícia Cerdeira Morellato¹

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP - Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, Laboratório de Fenologia, Rio Claro, São Paulo, Brasil

1. Introdução

Estudos sobre anatomia da madeira são muito importantes para auxiliar a elucidar o funcionamento fisiológico e ecológico das plantas (Carlquist, 2001; Schweingruber, 2007; Fonti et al., 2010). A divisão, a diferenciação, o tempo e as taxas de produção celular cambial (xilogênese), podem variar de acordo com as condições ambientais locais (Barnerr, 1981; Savidge, 1996), e estas informações são essenciais para entender a dinâmica da formação da madeira (Fonti et al., 2006; Vieira et al., 2014). Finalmente, relacionar a xilogênese aos eventos fenológicos contribuem para compreender como e quando são formadas as células cambiais e a relação sazonal com as fenofases reprodutivas e vegetativas (Mendivelso et al., 2016; Lugo et al., 2012; Rossi et al., 2016).

Estudos que abordam a formação cambial são mais comuns em áreas de clima temperado, onde as temperaturas são responsáveis por controlar a atividade cambial, possibilitando a observação da formação do lenho inicial e lenho tardio com mais facilidade (Schweingruber, 2007). A exemplo disso, temos um estudo pioneiro em florestas do Canadá com a espécie *Picea mariana*, onde são abordadas as fases do desenvolvimento cambial, possibilitando reconstruir a fenologia do câmbio no período de 1950 a 2010. Este estudo encontrou consistência na relação entre as variações na fenologia das folhas e flores com a fenologia do câmbio, demonstrando que esta relação é uma resposta ao aumento de temperatura e pode ser um efeito do aquecimento global (Lugo et al., 2012)

Em regiões de clima tropical e subtropical ainda faltam conhecimentos a respeito dos eventos que determinam a produção de células do câmbio, pois as características anatômicas são mais complexas e variáveis (Worbes, 1989, 1995; Stahle, 1999; Callado et al., 2014). Além disso, a grande diversidade de plantas e biomas aumentam a individualidade na atividade cambial (Callado et al., 2013). As pesquisas em áreas tropicais necessitam do envolvimento de diversos fatores para poder responder sobre a dinâmica na formação do câmbio (Worbes et al., 2013; Morel et al., 2015; Mendivelso et al., 2016). Nesse sentido, Worbes et al. (2013) desenvolveram um estudo com abordagem multifatorial do crescimento de dozes espécies arbóreas em área de floresta seca na Costa

Rica. Neste estudo foi verificado que a condutividade hídrica é controlada pelo tamanho dos vasos cambiais e pela densidade da madeira, e que esta relação influencia intimamente o controle estomático, afetando portanto o comportamento fenológico foliar (Worbes et al., 2013).

Para verificar a periodicidade da formação das células cambiais são necessárias coletas sistemáticas de amostras de madeira (Callado et al., 2013; Marcati et al., 2006, 2016; Shimamoto et al., 2016). Os métodos de coleta mais comuns são aqueles que extraem pequenas amostras do tronco a uma altura de 1,3 m acima do solo, com equipamentos como trado de pressler (5 mm e 10 mm diâmetro), trados manuais (*increment puncher* - de 1,5 a 2,5 mm diâmetro), sondas metálicas acopladas em perfuradores elétricos (5 mm e 10 mm de diâmetro), ou também, por meio da extração de blocos de madeira de tamanhos variados com serrote ou formão (Pressler, 1866; Forster et al., 2000; Marcati et al., 2006; Giagli et al., 2016; Peña, 2017).

Um equipamento que tem sido amplamente utilizado em regiões temperadas é o Trephor, que proporciona coletas precisas, é de fácil manuseio e a extração das microamostras ocorre de forma pouco invasiva (Rossi et al., 2006a). Este equipamento tem sido usado em estudos que necessitam de amostragens repetidas ao longo do ano na mesma árvore, sem influenciar significativamente no crescimento do caule, possibilitando o acompanhamento do crescimento cambial de forma precisa (Vavrcik et al., 2013; Gricar et al., 2014; Steppe et al., 2015; Mendivelso et al., 2016; Rossi et al., 2016). Essas coletas das microamostras focam no entendimento da atividade cambial atual e no acompanhamento da formação do anel de crescimento em nível celular (Lenz et al., 2013; Güney et al., 2015).

Portanto, utilizar a anatomia cambial para acompanhar a formação periódica de células do câmbio e relacionar com as fases da fenologia e clima local, tem sido de fundamental importância para entender como se dá a formação e diferenciação dos vasos nas diferentes fases reprodutivas e vegetativas das plantas, permitindo fazer uma relação mais precisa entre os anéis de crescimento e os estágios fenológicos das plantas (Sass-Klaassen et al., 2011; Güney et al., 2015). A possível

reconstrução da fenologia passada pode, potencialmente ser relacionada ao clima histórico local, permitindo entender quais fatores afetam a fenologia em uma escala temporal ampla e se as mudanças no clima estão modificando a fenologia das espécies (Gricar et al., 2014; Péres-de-Lis et al., 2015). Para isso, a presente nota visa relatar a utilização de amostragens repetidas do câmbio pelo método de coletas sistemáticas com Trephor em vegetação de cerrado. Nós discutimos as dificuldades encontradas para o processamento adequado das microamostras e a importância da utilização técnica em regiões tropicais.

2. Métodos

2.1 Coletas e armazenamento

As amostras do câmbio foram coletadas mensalmente em árvores de cerrado no município de Itirapina (SP), por um período de 12 meses, a partir de setembro de 2014. Para isso, foram coletadas sistematicamente microamostras de três espécies nativas do cerrado (Cap 1 e 2): *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae); *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (Sapotaceae) e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez. (Lauraceae), com diâmetro do caule a altura do peito acima de 15 cm, que estivessem incluídas no monitoramento fenológico a longo prazo e, portanto, fizessem parte do banco de dados do Laboratório de Fenologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro (SP).

Foram extraídas quatro microamostras mensais de cada indivíduo, além de algumas amostras adicionais retiradas para a realização de testes prévios. Cada microamostra (1.8 mm diâmetro e 15 mm de comprimento) da casca e câmbio, foi extraída utilizando o Trephor (Rossi et al., 2006b), causando mínimas injúrias nas árvores (Figuras 1 a, b, c, d). As amostras foram coletadas mensalmente na vertical (fileira) e a cada mês calculava-se um espaçamento horizontal de aproximadamente 5 cm para a nova amostragem.

Em campo, logo após a extração das microamostras estas foram fixadas em formaldeído, ácido acético e álcool etílico (FAA 70%) e depois, em laboratório, armazenadas em álcool 70% a

5°C (Rossi et al., 2006b, Yeung et al., 2015). As três espécies coletadas possuem alta densidade da madeira, que varia de 0,67 a 0,78 g.cm⁻³ (Leite et al., 2016). O processamento do material anatômico foi realizado no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Botânica da UNESP, Rio Claro - SP.

A cada coleta foi observada a fenologia de cada indivíduo, com observação direta e registro das fenofases: floração (botão e antese), frutificação (frutos verdes e maduros), brotamento e queda foliar, com classificação de intensidade de 0, 1 e 2 (Camargo et al., 2011, Vogado et al., 2016).

3. Protocolos utilizados

a. Protocolo de Wegner (Wegner et al., 2013)

Esta metodologia consiste no rápido processamento das microamostras e utilização de poucos materiais visando agilidade e eficiência. Os materiais sugeridos são: pequeno suporte de madeira para colagem da microamostra e posterior fixação no micrótomo, cola em gel de alta fixação e micrótomo de deslize. O processamento consiste na fixação da microamostra no suporte de madeira e após 24 horas realizar os cortes em micrótomo de deslize

b. Protocolo do uso de Parafina (Anderson & Bancroft, 2002; Rossi et al., 2006b)

No trabalho de apresentação do equipamento Trephor (Rossi et al., 2006b), os autores utilizam a técnica desenvolvida por Anderson & Bancroft (2002) na preparação das microamostras para verificação da anatomia cambial. A técnica consiste na desidratação sucessiva das microamostras em álcool nas proporções de 70%, 90%, 95% e 100% respectivamente, por um período total de aproximadamente 12 horas e posterior desidratação em D-Limonene por 5 horas (o D-Limonene é encontrado no Brasil com a nomeação “Terpeno de Laranja”). Após esse procedimento, as amostras passaram por sucessivos processos de imersão em parafina líquida a 65°C por 4 horas. Após estes processos as amostras estão em fase de acabamento para receber o corte em micrótomo rotatório.

c. Protocolo do uso de Polyetilenoglicol 1500 (Rupp, 1964; Barbosa et al., 2010)

A utilização do Polyetilenoglicol 1500 (PEG) é recomendada na substituição de parafina e/ou historesina, pois além de ser solúvel em água, consegue suavizar os tecidos duros e pode ser lentamente incorporado em grandes amostras de madeira (Barbosa et al., 2010). O procedimento consiste em imergir as amostras em soluções cada vez mais concentradas de PEG. A proporção inicial consiste em 10% de PEG e 90% de água destilada, aumentando sucessivamente até chegar em 100% de PEG, permitindo 24 horas ou mais em cada solução. Para a proporção de 100% de PEG é recomendado utilização de forno a vácuo para melhorar a incorporação. Como o PEG é um material sólido e seu ponto de fusão ocorre a partir de 48°C, é recomendado que as amostras nestas soluções permaneçam em estufa entre 50 e 60°C. Após todas estas etapas, as amostras podem ser emblocadas em PEG 100% e posteriormente coladas em suporte, possibilitando o corte em micrótomo rotatório.

d. Amolecimento da madeira

As espécies estudadas possuem alta densidade da madeira (Leite et al., 2016), e devido a essa característica, realizamos diversos testes para o amolecimento prévio da madeira. Para este procedimento as microamostras foram imersas em glicerina e água na proporção de 1:10 e estas foram submetidas a temperatura de 90°C em banho-maria (Figura 2 a), em diferentes períodos de tempo (25; 35; 45; 55 e 60 horas) (Jansen et al., 1998; Schweingruber, 2007).

e. Montagem das lâminas

Para a montagem das lâminas histológicas temporárias, as amostras receberam dupla coloração de safranina e azul de astra (30:70%), posterior lavagem em água destilada e montagem com glicerina, coberta por lamínula, vedada com esmalte incolor (Johansen, 1940; Burger & Richter, 1991).

4. Metodologias aplicadas e adaptações

a) O primeiro teste consistiu na aplicação da metodologia de Wegner et al. (2013) – com adaptações: para isso as microamostras foram fixadas em suporte de madeira com cola em gel de alta fixação e após 24 horas foram cortadas em micrótomo rotatório (Reichert Jung 2040) com navalha permanente. Apesar disso o resultado não foi satisfatório, pois as amostras se fragmentavam ao corte.

Como as espécies possuem alta densidade da madeira, optamos por refazer o teste e para isso utilizamos o procedimento de amolecimento da madeira por 25 horas. Mesmo assim o resultado continuou insatisfatório, ficando evidente a necessidade de continuar os testes aumentando o tempo de amolecimento da madeira. Como a metodologia proposta por Wegner et al. (2013) tinha como vantagem ser de rápida execução, a dificuldade de se encontrar o ponto correto para o amolecimento inviabilizou a continuidade dos testes e por isso essa metodologia foi descartada.

b) A segunda metodologia avaliada seguiu o protocolo de Anderson & Bancroft (2002) e Rossi et al. (2006b) – com adaptações: os procedimentos iniciais consistiram na desidratação das amostras com etanol e o Terpeno de Laranja, estes obedeceram fielmente ao sugerido no protocolo, no entanto a técnica de inclusão em parafina foi substituída pela técnica de inclusão em PEG, obedecendo a metodologia de Barbosa et al. (2010).

Para a realização desta técnica de inclusão, as amostras ficavam imersas em solução de PEG e eram acondicionadas em estufa a 50°C; todo esse processo demandava dez dias para finalização (24 horas em cada proporção de PEG). Após este período as amostras foram emblocadas em PEG 100%, coladas em suporte de madeira para receberem os cortes em micrótomo rotatório com navalha permanente (Figura 2 b). No entanto, o resultado final foi inadequado pois as amostras se quebraram ao corte.

Assim, optamos por refazer o teste e para esse novo experimento fizemos o amolecimento da madeira por 35 horas e posterior aplicação da metodologia de Anderson & Bancroft (2002) e

Barbosa et al. (2010). Ainda assim nenhuma das espécies apresentaram ponto adequado de amolecimento e infiltração em PEG, conseqüentemente esta metodologia foi descartada.

- c) A terceira metodologia avaliada consistiu na utilização do amolecimento da madeira e protocolo de Barbosa et al. (2010). Para isso foram divididos em cinco tratamentos, para cada tratamento foi utilizado um período de tempo de amolecimento da madeira: 25; 35; 45; 55 ou 60 horas (Jansen et al., 1998; Schweingruber, 2007; Tamaio, 2011). Para estes testes foram adicionados a utilização de um dessecador a vácuo em temperatura ambiente, na tentativa de facilitar a infiltração do PEG nas amostras.

Os novos cinco procedimentos ocorreram da seguinte forma: amolecimento da madeira em glicerina e água (1:10) por período de 25; 35; 45; 55 ou 60 horas, inclusão nas proporções crescentes de PEG (neste ponto as amostras eram imersas em PEG e colocadas no dessecador a vácuo por aproximadamente 30 minutos), em seguida eram acondicionadas em estufa a 50°C por no mínimo 24 horas, após estes procedimentos de inclusão as amostras foram emblocadas em PEG 100%, receberam o corte em micrótomo rotatório, e foram montadas lâminas histológicas temporárias. Vale ressaltar que cada um dos cinco tratamentos foi realizado de forma individualizada, para cada espécie.

Dentre estes cinco tratamentos o mais satisfatório foi o que utilizou o amolecimento da madeira por 60 horas. No entanto, este tempo foi adequado apenas para a espécie *Ocotea pulchella*; para *Qualea grandiflora* e *Pouteria torta* não conseguimos adequar a metodologia.

5. Considerações

Dentre todas as metodologias empregadas na tentativa de se verificar a formação cambial das espécies, nenhuma se mostrou adequada para a visualização anatômica de *Qualea grandiflora* e *Pouteria torta*. Para os testes realizados com *Ocotea pulchella* foi possível observar que a metodologia de amolecimento da madeira por 60 horas e inclusão em PEG, foi a mais adequada. No

entanto é importante salientar que esta metodologia foi adequada para visualização de células com paredes mais espessas (xilema), enquanto para visualização das células com paredes mais delgadas (floema e câmbio), existiram problemas para uma perfeita execução. Em quase todas as amostras, foi observado o rompimento destas estruturas e muitos ainda ficaram colapsados, não apresentando correta infiltração do PEG (Figura 3 a, b). Além disso, um problema recorrente foi a perda de material não lignificado (Figura 3 c), impossibilitando alcançar os objetivos intencionados para este estudo, que consistia na verificação da formação periódica de células do câmbio e da relação com a fenologia e clima local. A utilização do PEG em estudos com anatomia cambial em regiões tropicais é bastante comum e apresenta bons resultados, sendo utilizado em espécies com diversas densidades da madeira, no entanto, normalmente o material é coletado com trado de pressler ou pequenos blocos de madeira, sendo pouco utilizadas as microamostras (Barbosa et al., 2010; Tamaio, 2011; Callado et al 2013; Worbes et al. 2013).

Em testes prévios com seis espécies arbóreas do cerrado, foram avaliadas a extração de microamostras com o Trepbor, como também a utilização do processo de infiltração em resina plástica (Historesin[®]). Para estes testes, a extração com o Trepbor e a infiltração em resina plástica foram satisfatórias, no entanto, a visualização não foi realizada em áreas de zona cambial, visualizando apenas as células do xilema, além disso, algumas espécies apresentaram descolamento da casca (Schuster, C. & Morellato, L. P, C. comunicação pessoal). Apesar das três espécies do presente estudo apresentarem alta densidade da madeira (Leite et al, 2016), foi constatado que o equipamento Trepbor foi de fácil manuseio, o que trouxe praticidade e agilidade nas coletas em campo, no entanto as microamostras nem sempre saíam com perfeição, devido o constante descolamento da casca. Forster et al. (2000) relataram que a utilização do equipamento *increment puncher* (1,5 a 2,5 mm de diâmetro) não é viável para madeiras de alta densidade, pois o equipamento não penetra adequadamente no tronco, principalmente em algumas árvores de áreas tropicais, este problema parece não ocorrer com o Trepbor.

Embora a extração das microamostras não tenha gerado dificuldades relativas a densidade da madeira, a escolha da utilização das microamostras para este estudo pode ter desfavorecido o resultado final, como as microamostras apresentam pequeno calibre (1.8 mm de diâmetro) isso pode ter facilitado o desprendimento da casca causando a perda de material não lignificado. Esse descolamento da casca foi observado nos procedimentos em campo, como também em laboratório. Uma sugestão seria a coleta de amostras com diâmetros maiores (Pressler, 1866, Grissino, 2003; Worbes et al., 2013), pois isso aumentaria a área de contato do tecido vivo com o lignificado, dificultando o desprendimento da casca e conseqüente perda de material. No trabalho de Worbes et al. (2013) em floresta seca da Costa Rica, os autores utilizaram trado de pressler para as coletas sequenciais de anatomia cambial e posterior inclusão em PEG, não relatando nenhuma dificuldade para esta execução. Além disso, um estudo realizado na Mata Atlântica com espécies de alta densidade da madeira, foi verificado que a coleta de microamostras com o Trephor e utilização de inclusão em resina plástica (Historesin[®]) não apresentaram bons resultados, isso ocorreu devido ao constante descolamento da casca e perda de material da zona cambial. Para este caso, o problema foi solucionado com a coleta de amostras com diâmetros maiores (5 mm), extraídas com um trado de pressler adaptado e posterior utilização de resina plástica (Campbell, G., comunicação pessoal).

Os estudos em áreas temperadas utilizando o Trephor e posterior protocolo de Anderson & Bancroft (2002) e Rossi et al. (2006b) são amplamente utilizados, proporcionando o entendimento da formação periódica do câmbio e da relação existente entre as fases da fenologia e do clima local (Lenz et al., 2013; Perez-de-Lis et al., 2015; Rossi et al., 2011, 2016). Nestes locais, como as temperaturas são responsáveis por controlar a atividade cambial, facilitando a distinção das estruturas da madeira, os estudos com espécies arbóreas de gimnospermas e angiospermas são amplamente explorados (Speer, 2010; Kufar et al., 2011; Gori et al., 2014; Gricar et al., 2014; Castagneri et al., 2016).

Embora o presente estudo não tenha sido finalizado com sucesso, é importante ressaltar que a verificação periódica da atividade cambial em áreas tropicais e subtropicais ainda estão em expansão, e a existência de respostas das relações entre a atividade cambial, a fenologia e os fatores ambientais, como também do tempo de duração desta atividade, ainda são pouco exploradas (Callado et al., 2014; Dong, et al., 2016; Lara & Marcati, 2016). No Brasil, além da limitada quantidade de estudos referentes a atividade cambial, ainda falta consenso nas escolhas das metodologias empregadas, tornando um desafio a aplicação e obtenção de resultados efetivos nesta área (Callado et al., 2014).

Assim, as espécies que possuem confirmação da formação anual dos anéis de crescimento e relação com os fatores climáticos, podem ser consideradas espécies promissoras para a aplicação das técnicas de verificação periódica da atividade cambial, possibilitando entender como ocorre a formação e diferenciação dos vasos nas diferentes fases reprodutivas e vegetativas das plantas. Concluímos que a utilização de microamostras para verificação da anatomia cambial destas três espécies do cerrado, coletadas com o equipamento Trephor, não foram satisfatórias para alcançar o objetivo deste estudo. A sugestão para trabalhos futuros com estas espécies é a coleta de amostras com diâmetros maiores, pois isso dificultaria o desprendimento da casca e perda de material cambial. Sugerimos também a utilização de inclusão do material em Polietilenoglicol 1500 (PEG 1500), pois este composto é de fácil manuseio, baixa toxicidade, baixo custo e indicado para madeiras de alta densidade.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao Victor Hugo Andrade, Eliana Paixão e Aparecido Siqueira pelo suporte em campo, discussões e leitura prévia deste manuscrito. Agradecemos à Profa. Dra. Alessandra Ike Coan pelo suporte no Laboratório de Anatomia Vegetal (UNESP/Rio Claro). PTPL recebeu bolsa de estudo da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) por meio

do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal (UNESP/Rio Claro), e LPCM recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Toda a pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos #2010/51307-0 e #2013/50155-0. CAPES e UNESP proveram fundos adicionais. Finalmente, agradecemos aos funcionários e alunos do Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira e de Anéis de Crescimento (ESALQ/USP).

7. Referências

- Barbosa, A. C. F.; Pace, M. R.; Witovisk, L.; Angyalossy, V. 2010. A new method to obtain good anatomical slides of heterogeneous plant parts. *IAWA Journal*, 31(4), 373-383.
- Barnerr, J. R. 1981. Xylem cell development. Castle House Publications, Tunbridge Wells.
- Burger, L.M., Richter, H.G., 1991. Anatomia da Madeira. Nobel, São Paulo, 154 pp.
- Callado, C. H.; Roig, F. A.; Tomazello-Filho, M.; Barros, C. F. 2013. Cambial growth periodicity studies of South American woody species – A review. *IAWA Journal*, 34(3), 213-230.
- Callado, C. H.; Vasconcellos, T. J.; Costa, M. S.; Barros, C. F.; Roig, F. A.; Tomazello-Filho, M. 2014. Studies on cambial activity: advances and challenge in the knowledge of growth dynamics of Brazilian woody species. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(1), 277 – 283.
- Camargo, M. G. G.; Souza, R. M.; Reys, P.; Morellato, L. P. C. 2011. Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatica* (Annonaceae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83, 1007-1019.
- Carlquist, S. J. 2001. Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2nd ed. New York: Springer.
- Castagneri, D.; Fonti, P.; Arx, G. V.; Carrer, M. 2016. How does climate influence xylem morphogenesis over the growing season? Insights from long-term intra-ring anatomy in *Picea abies*. *Annals of Botany*. doi:10.1093/aob/mcw274.
- Cufar, K.; Cherubini, M.; Gricar, J.; Prislán, P.; Spina, S.; Romagnoli, M. 2011. Xylem and phloem formation in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) during the 2008 growing season. *Dendrochronologia*, 29: 127-134.

- Dong, M.; Xu, Y.; Lin, H.; Li, X.; Xia, Q. 2016. Seasonal dynamics in cambial activity and the formation of xylem and phloem in the branches of *Cinnamomum camphora*. *Dendrobiology*, 75, 13-21.
- Fonti, P.; Arx, G. V.; García-González, I.; Eilmann, B.; Sass-Klaassen, U.; Gärtner, H.; Eckstein, D. 2010. Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, 185, 42-53.
- Fonti, P.; Solomonoff, N.; García-González, I. 2006. Earlywood vessels of *Castanea sativa* record temperature before their formation. *New Phytologist*, 173: 562–570.
- Forster, T.; Schweingruber, F. H.; Denneler, B. 2000. Increment puncher – a tool for extracting small cores of wood and bark from living trees. *IAWA Journal*, 21(2), 169-180.
- Giagli, K.; Gricar, J.; Vavrcik, H.; Gryc, V. 2016. Nine-year monitoring of cambial seasonality and cell production in Norway spruce. *iForest*, 9: 375-382.
- Gori, Y.; Camin, F.; La Porta, N.; Carrer, M.; Battist, A. 2014. Tree rings and stable isotopes reveal the tree-history prior to insect defoliation on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Management*, 319: 99-106.
- Gricar, J.; Prislán, P.; Gryc, V.; Vavrcik, H.; Luis, M.; Cufar, K. 2014. Plastic and locally adapted phenology in cambial seasonality and production of xylem and phloem cells in *Picea abies* from temperate environments. *Tree Physiology*, 00, 1-13.
- Grissino-Mayer, H. D. 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. *Tree-ring Research*, 59(2): 63-79.
- Güney, A.; Kerr, D.; Sökücü, A.; Zimmermann, R.; Küppers, M. 2015. Cambial activity and xylogenesis in stems of *Cedrus libani* A. Rich at different altitudes. *Botanical Studies*, 56:20.
- Johansen, D.A., 1940. *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill, New York, 530 pp.
- Lara, N. O. T.; Marcati, C. R. 2016. Cambial dormancy lasts 9 months in a tropical evergreen species. *Trees*, 30, 1331 – 1339.
- Leite, P. T. P.; Tomazello Filho, M.; Morellato, L. P. C. 2016. Management of Cerrado trees using growth rings. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(16): 92-103.
- Lenz, A.; Hoch, G.; Körner, C. 2013. Early season temperature controls cambial activity and total tree ring width at the alpine tree line. *Plant Ecology & Diversity*, 6: 365-375.
- Lugo, J. B.; Deslauriers, A.; Rossi, S. 2012. Duration of xylogenesis in black spruce lengthened between 1950 and 2010. *Annals of Botany*, 110, 1099–1108.
- Marcati, C. R.; Angyalossy, V.; Evert, R. F. 2006. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *IAWA Journal*, 27 (2), 199-211.

- Marcati, C. R.; Machado, S. R.; Podadera, D. S.; Lara, N. T.; Bosio, F.; Wiedenhoef, A. C. 2016. Cambial activity in dry and rainy season on branches from woody species growing in Brazilian Cerrado. *Flora* 223, 1-10.
- Mendivelso, H. A.; Camarero, J. J.; Gutiérrez, E.; Castaño-Naranjo, A. 2016. Climatic influences on leaf phenology, xylogenesis and radial stem changes at hourly to monthly scales in two tropical dry forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216: 20-36.
- Morel, H.; Mangenet, T.; Beauchêne, J.; Ruelle, J.; Nicolini, E. A.; Heuret, P.; Thibaut, B. 2015. Seasonal variations in phenological traits: leaf shedding and cambial activity in *Parkia nitida* Miq.
- Peña, J. L. M. 2017. Diversidade florística, dendrologia e dendroecologia em florestas estacionais decíduas do Centro e Norte do Peru. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 524 pp.
- Pérez-de-Lis, G.; Rossi, S.; Vázquez-Ruiz, R. A.; Rozas, V.; Garcia-González, I. 2015. Do change in spring phenology affect earlywood vessels? Perspective from the xylogenesis monitoring of two sympatric ring-porous oaks. *New Phytologist*, 209: 521-530.
- Pressler, M. R. 1866. Der fortliche zuwachsborer neuester construction. *Tharandter forstliches Jahrbuch*, 17: 155-223.
- Rossi, S.; Anfodillo, T.; Menardi, R. 2006b. Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal*, 27(1), 89-97.
- Rossi, S.; et al. 2016. Pattern of xylem phenology in conifers of cold ecosystems at the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, 22: 3804-3813.
- Rupp, P. 1964. Polyglykol als Einbettungsmedium zum Schneiden botanischer Präparate. *Mikrokosmos*, 53: 123-128.
- Sass-Klaassen, U.; Sabajo, C. R.; Ouden, J. 2011. Vessel formation in relation to leaf phenology in pedunculated oak and European ash. *Dendrochronologia*, 29: 171, 175.
- Savidge, R. A. 1996. Xylogenesis, genetic and environmental regulation – a review. *IAWA Journal*, 17: 269-310.
- Shimamoto, Y. C.; Botosso, P. C.; Amano, E.; Marques, M. C. M. 2016. Stem growth rhythms in trees of a tropical rainforest in Southern Brazil. *Trees*, 30: 99-111.
- Speer, J. H. 2010. The fundamentals of tree-ring research. University of Arizona Press. 368 pp.
- Stahle, D. W. 1999. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA Journal*, 20(2), 249-253.
- Steppe, K.; Sterck, F.; Deslauriers, A. 2015. Diel growth dynamics in tree stems: linking anatomy and ecophysiology. *Trends Plant Science*, 20(6): 335-343.

- Tamaio, N. 2011. Caracterização anatômica das madeiras de lianas de Sapindaceae utilizadas comercialmente em São Paulo – SP. *Cerne*, Lavras, 17(4): 533-540.
- Vavreik, H.; Gryc, V.; Mensik, L.; Baar, J. 2013. Xylem formation in *Fagus sylvatica* during one growing season. *Dendrobiology*, 69, 69-75.
- Vieira, J.; Rossi, S.; Campelo, F.; Freitas, H.; Nabais, C. 2014. Xylogenesis of *Pinus pinaster* under a Mediterranean climate. *Annals of Forest Science*, 71: 71-80.
- Vogado, N. O.; Camargo, M. G. G.; Locosselli, G. M.; Morellato, L. P. C. 2016. Edge effects on the phenology of the guamirim, *Myrcia guianensis* (Myrtaceae), a cerrado tree, Brazil. *Tropical Conservation Science*, 9(1): 291-312.
- Wagner, F. H. et al. 2016. Climate seasonality limits leaf carbon assimilation and wood productivity in tropical forests. *Biogeosciences*, 13: 2537-2562.
- Worbes, M. 1989. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bulletin*, 10(2), 109-122.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal*, 16: 337-351.
- Wegner, L. 2013. Micro-core processing – A time and efficient protocol. Acessado em setembro de 2015. Disponível em: <http://streess-cost.eu/index.php/80-output/346-protocols>.

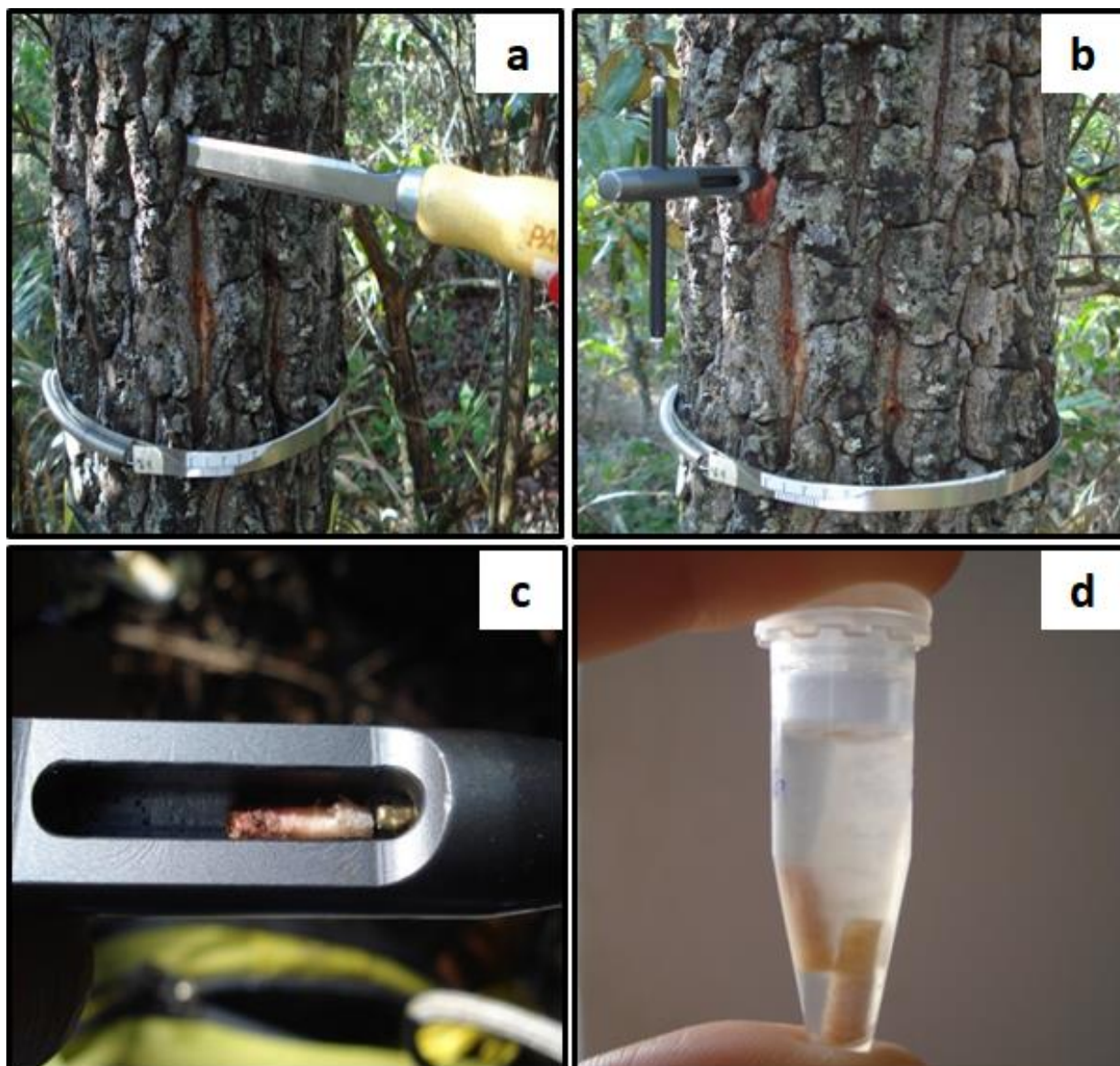


Figura 1. Utilização do Trephor. (a) retirada do súber, para facilitar a fixação do equipamento, (b) Trephor fixado no tronco, (c) retirada de pequenas amostras do câmbio, causando mínimas injúrias, (d) armazenamento final em álcool 70%, conservados em geladeira à 5°C.



Figura 2. (a) Microamostras em solução de glicerina e água destilada (1:10), submetidas a banho-maria a 90°C. (b, c) Microamostras emblocadas em Polietilenoglicol 1500 (PEG 1500).

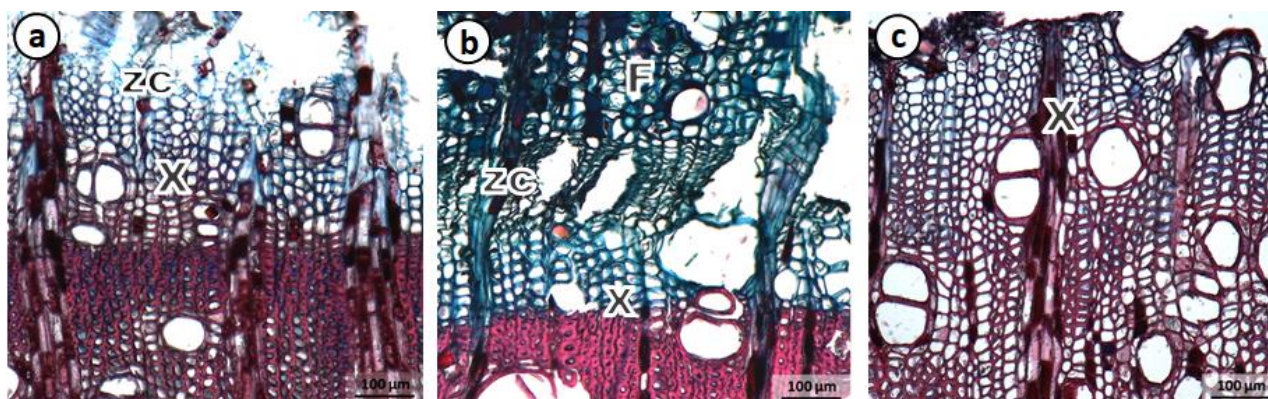


Figura 3. Amostras da anatomia do câmbio de *Ocotea pulchella*, zc= zona cambial, X= xilema, F= floema. (a) Zona cambial rompida e perda de material. (b) Zona cambial com vasos colapsados e rompidos. (c) Perda de material do câmbio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações adquiridas por meio das espécies estudadas, ressaltam a importância dos estudos dendroecológicos e da utilização dos anéis de crescimento de espécies de clima tropical. Os modelos de crescimento utilizando os anéis de crescimento apresentaram resultados confiáveis, levando em consideração que cada espécie possui particularidades e evidentes variações interespecíficas e intraespecíficas. Com isso, este estudo obteve informações importantes, oferecendo subsídios para conservação e manejo sustentável das espécies. Além disso, futuros trabalhos podem ser realizados no intuito de se verificar o estoque e sequestro de carbono para estas áreas.

Verificamos também, que embora as espécies tenham apresentado lento crescimento cambial, existe uma estreita relação entre o crescimento arbóreo e os fatores climáticos regionais e globais. No entanto, cada população apresentou singularidades nesta relação.

Observamos que a baixa precipitação foi determinante no incremento radial do tronco e interferiu na duração das fenofases, mas não influenciou a sazonalidade das espécies.

Finalmente, descrevemos as dificuldades de se obter a anatomia cambial para estas espécies baseada na utilização da técnica de coleta de microamostras, visto que o constante descolamento da casca dificulta a detecção do crescimento cambial, mostrando a inviabilidade da aplicação desta técnica para as espécies com estas características até o momento.