

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

**Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de
árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea
americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L.
nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP.**

Matheus Peres Chagas

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2009**

Matheus Peres Chagas
Engenheiro Florestal

**Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de
árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea
americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L.
nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP.**

Orientador:
Prof. Dr. **MÁRIO TOMAZELLO FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Chagas, Matheus Peres

Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grivillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP. / Matheus Peres Chagas. - - Piracicaba, 2009.

114 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Árvores 2. Dendrocronologia 3. Mercúrio 4. Monitoramento ambiental 5. Poluição ambiental I. Título

CDD 634.9
C433c

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedico este trabalho ao meu amado avô Serafim Peres (em memória), minha fonte incessante de inspiração, pelo exemplo incomparável de vida.

AGRADECIMENTOS

É com muita satisfação que hoje olho para o passado e vejo que não completei esta jornada sozinho. São muitas as pessoas e instituições que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão desta importante etapa da minha vida. A elas, devo minha eterna gratidão.

Ao meu orientador Mario Tomazello Filho, agradeço pela forma acolhedora que me recebeu em 2005, pelo constante incentivo e pela competência e energia que lhes são próprios.

Ao meu primo e companheiro de profissão João Peres Chimello, agradeço pela forma que esteve presente no início de minha carreira universitária, sempre com idéias construtivas e ensinamentos preciosos.

A ESALQ/USP, em especial a todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais (LCF), agradeço pela oportunidade de desenvolver este projeto de pesquisa e pela pronta colaboração em todos os momentos em que precisei.

A FCA/UNESP, em especial aos professores do Departamento de Ciências Florestais (DCF), meus sinceros agradecimentos por todo o conhecimento e experiência transmitidos durante a minha formação acadêmica.

À pesquisadora Anne Hélène Fostier e a Paula A. M. Michelazzo, agradeço pelo apoio e pelas valiosas orientações nos estudos de determinação de Hg.

Ao Eurípedes C. Medeiros e ao Fernando R. da Silva, agradeço por concederem a oportunidade da realização deste estudo na Apliquim.

Aos companheiros de laboratório, Carlos R. Sette, Angel B. Ferreira, Jedi R. Alvarado, Moisés. S. Lobão, Claudio S. Lisi, Roger A. Moya, Mauro A. Soave Jr, Guilherme G. Tenório, Luis E. Campos, Alberto Christiano e Israel C. Lima, agradeço imensamente pelo constante incentivo ao logo desta difícil caminhada, por toda a generosidade demonstrada, pelas discussões fundamentais a este projeto de pesquisa e, sobretudo, pela amizade gratificante que nos uni.

Um agradecimento especial a Maria A. Bermudez, presente desde o início de minha jornada em Piracicaba, pela amizade, por todo o carinho demonstrado e pela fundamental ajuda laboratorial.

Não tenho palavras para expressar o quanto sou grato a minha extensa família. Em especial aos meus pais, Edilson e Leila, e minha irmã Thaíse, agradeço pelo amor incondicional que nos uni, por serem meus maiores incentivadores, e por acreditarem e tornarem possível a

realização de tudo o que almejei até hoje em minha vida. Aos meus avós, Antônia e Serafim (em memória), e Diva e Alaíde (em memória), sou eternamente grato por todo o amor que recebi, pela dedicação e por serem fontes de inspiração em minha vida.

Da mesma forma não seria possível descrever em palavras a minha gratidão a Aline Kamiya, companheira de todos os momentos, pelas constantes provas do amor que nos transforma, e pela inestimável ajuda prestada, principalmente nos difíceis últimos meses de minha dissertação.

Aos meus amigos de infância Fernando e Ricardo Masini, Leandro e Frederico Mahalem, Luis Felipe e João Paulo Bachur, Licínio A. Fantinati, Ana Lia Touse e William C. S. Neto (em memória), agradeço por tudo aquilo que construímos juntos até hoje, pela cumplicidade (característica de nossa turma), pelos edificantes incentivos e pelas constantes provas de amizade.

Aos meus amigos de sangue da Família Peres, João Paulo, Flávia e Eduardo, e da Família Chagas, Jean Bortolato, Gustavo e Renato Leôncio Alves, e Raul, Rafael e Roberta Cintra, meu eterno agradecimento por todos os felizes e fundamentais momentos compartilhados, e por compreenderem minha ausência durante a elaboração deste projeto de pesquisa.

Aos meus amigos de graduação Pedro I. Salerno, Paulo E. Massoca, Denis Mayer, Leandro R. Longo, Tomás Balistiero, Daniel Machado, Milton M. Egéa e, em especial, Francisco F. C. Mello e Rogério A. Meneguetti, agradeço por todas as valiosas conversas, pelo companheirismo ao longo deste período de pós-graduação e pelos excelentes momentos de descontração que passamos.

Aos amigos da minha segunda casa em Piracicaba, Cristina Y. Vidal, Vivian M. Vilela, Mariana Piva, Giselle Cruzado e Tadeu S. Barros, sou muitíssimo grato por todo o carinho e apoio que recebi.

Aos velhos (Daniel M. Nogueira, Leonardo K. Queiroz e Gabriel Nascimento) e novos (Eduardo P. L. Mattar, Acácio Z. Leite, Rafael C. Cunha, Washington L. Gomes, José F. Telles, Mauro Rufatto, Roberto Haddad, Juan Fonseca e Pablo Carreira) amigos da saudosa República Brejão, agradeço pela forma que me receberam durante meu primeiro ano em Piracicaba, pelos inesquecíveis momentos de descontração e por todos os ensinamentos tirados durante o nosso convívio, os quais levarei pelo resto de minha vida.

A todos as demais pessoas que contribuíram para que este trabalho fosse possível, em especial da minha extensa família, não citados nominalmente aqui.

Nada é impossível de mudar

*“Desconfiai do mais trivial, na aparência
singelo. E examinai, sobretudo, o que parece
habitual. Suplicamos expressamente: não
aceiteis o que é de hábito como coisa natural,
pois em tempo de desordem sangrenta, de
confusão organizada, de arbitrariedade
consciente, de humanidade desumanizada,
nada deve parecer natural, nada deve parecer
impossível de mudar.”*

*Bertold Brecht
(1898 - 1956)*

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Características gerais das espécies do estudo.....	14
3.1.1 <i>Grevillea robusta</i> (grevilha).....	14
3.1.2 <i>Hovenia dulcis</i> (uva-japonesa).....	15
3.1.3 <i>Persea americana</i> (abacateiro).....	17
3.1.4 <i>Tabebuia pentaphylla</i> (ipê-rosa).....	17
3.1.5 <i>Terminalia catappa</i> (chapéu-de-sol).....	18
3.2 Identificação dos anéis de crescimento no lenho de árvores tropicais.....	19
3.3 A densitometria de raios X na análise do lenho e dos anéis de crescimento...20	
3.4 Dendrocronologia e seus ramos de investigação.....	22
3.5 O mercúrio (Hg) no ambiente e sua absorção pelas plantas.....	24
3.6 Efeito da poluição no desenvolvimento e na anatomia do lenho das árvores..28	
3.7 Poluição ambiental por mercúrio: estudo de caso.....	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Caracterização dos sítios de estudo.....	30
4.1.1 Sítio A: Paulínia, SP.....	30
4.1.2 Sítio B: Piracicaba, SP.....	32
4.2 Caracterização da fertilidade e teor de Hg dos solos dos sítios A e B.....	33
4.3 Seleção e caracterização das árvores nos sítios A e B.....	34
4.4 Coleta das amostras do lenho das árvores.....	35
4.4.1 Coleta do lenho das árvores: análise do teor de Hg.....	35
4.4.2 Coleta do lenho das árvores: anatomia, densitometria de raios X e dendrocronologia.....	35

4.5	Análise do teor de Hg no lenho das árvores	36
4.6	Caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores	38
4.6.1	Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia macro e microscópica ...	38
4.6.2	Caracterização dos anéis de crescimento: densitometria de raios X	38
4.6.3	Caracterização e aplicação dos anéis de crescimento: dendrocronologia	40
4.6.4	Resposta climática no crescimento das árvores: dendroclimatologia	45
4.7	Crescimento radial do tronco das árvores.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	Caracterização da fertilidade e teor de Hg dos solos dos sítios A e B	47
5.2	Caracterização das árvores dos sítios A e B	49
5.3	Avaliação do teor de Hg no lenho das árvores	50
5.4	Caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores	52
5.4.1	Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia macro e microscópica ...	52
5.4.2	Caracterização dos anéis de crescimento: densitometria de raios X	57
5.5	Caracterização dos anéis de crescimento: dendrocronologia	69
5.5.1	Sincronização e obtenção das séries dos anéis de crescimento	69
5.5.2	Resposta climática no crescimento das árvores: dendroclimatologia	77
5.6	Crescimento radial do tronco das árvores.....	86
6	CONCLUSÕES.....	91
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94

RESUMO

Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP

Árvores de espécies exóticas foram plantadas em espaços urbanos e rurais, constituindo parte da paisagem e da cobertura vegetal das cidades brasileiras. As árvores de inúmeras dessas espécies apresentam fenologia característica e atividade cambial sazonal, formando anéis de crescimento anuais, que têm ampla aplicação na silvicultura, como indicadores ambientais e na detecção de espécies bioacumuladoras. No presente trabalho foram caracterizados os anéis de crescimento, a idade, a taxa de crescimento e o teor de Hg no lenho de *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa*, no município de Paulínia (com registro de contaminação por Hg) e de Piracicaba, SP. Do tronco das árvores foram extraídas amostras do lenho e (i) caracterizados e mensurados os anéis de crescimento, (ii) sincronizados, construídas as séries cronológicas com os programas COFECHA e ARSTAN, (iii) obtidas as funções de resposta dos anéis de crescimento em relação ao clima, com o programa RESPO; (iv) construídas as curvas variação da densidade do lenho, do crescimento do tronco e determinado o seu incremento médio anual. Através de análises químicas foi determinado o teor de Hg nas amostras do lenho e no solo. Houve diferenças significativas nas amostras de solo de Paulínia (pátio da empresa e outro distante de 350 m) e de Piracicaba, sendo de 21,5, 0,14 e <0,023 mg/kg, respectivamente. No lenho de *G. robusta*, *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e *T. catappa*, do pátio da empresa em Paulínia, foram determinados 4,95, 1,98, 0,97 e 4,70 µg/g de Hg; no lenho das árvores de *P. americana*, distante 350 m, não foi detectada a presença do Hg. Os anéis de crescimento têm marcante anatomia, correlacionada com a delimitação dos anéis e valores de densidade. Os perfis radiais de densidade do lenho mostraram similaridades e diferenças entre as árvores e locais. Foram construídas séries padronizadas de anéis de crescimento de *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* e de *T. catappa*, para os sítios A e B e A-B (agrupados), obtendo-se séries temporais de largura dos anéis de crescimento, representando um padrão comum de variabilidade. As correlações entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento das árvores nos sítios A e B e a temperatura média e precipitação mensal, foram significativas e consideradas determinantes no crescimento do tronco. Com relação ao incremento médio anual do tronco detectaram-se comportamentos diferenciados das árvores das 4 espécies, em relação aos 2 sítios. Os resultados indicaram que a presença de Hg no solo e no lenho das árvores localizadas na área da empresa, parece não afetar o seu crescimento. Indicam, também, que as condições dos sítios e as inerentes as árvores das espécies devem estar influenciando o crescimento do tronco.

Palavras-chave: Dendrocronologia; Dendroclimatologia; Contaminação ambiental; Mercúrio

ABSTRACT

Tree rings characterization and dendrochronology of *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. and *Terminalia catappa* L. trees at Piracicaba and Paulinia cities, São Paulo State

Exotic tree species were planted in urban and rural areas, constituting part of the landscape and the vegetal covering of Brazilian cities. The countless trees of those species present characteristic phenology and seasonal cambium activity, forming annual tree-rings. The tree-rings have wide application in the silviculture and as environmental indicators (evaluating the contamination for heavy metals) and detecting bioaccumulators species. In the present work the tree-rings were characterized, as well as the age, the growth rate and Hg content in the trunk of *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* and *Terminalia catappa* trees, planted in Paulínia (with registration of Hg contamination) and in Piracicaba cities, São Paulo State. From the tree trunks were extracted wood samples and (i) characterized and evaluated the tree-rings, (ii) synchronized, built the chronological series with the programs COFECHA and ARSTAN, (iii) obtained the response functions of the tree-rings in relation to the climate, with the program RESPO; (iv) built the curves of the wood density, of the pole growth and annual increment. Through chemical analyses was evaluated the Hg content in the trees wood samples and in the soil collected near of the trees trunk base. There were significant differences in the soil samples of Paulínia (site from the patio of the Hg emission company and other site distant of 350 m) and Piracicaba, being of 21,5, 0,14 and <0,023 mg/kg, respectively. In the wood samples of *G. robusta*, *H. dulcis*, *T. pentaphylla* and *T. catappa*, from the patio of the company in Paulínia, were detected 4.95, 1.98, 0.97 and 4.70 µg/g of Hg, respectively; in the trees wood samples of *P. americana*, distant 350 m, the presence of Hg was not detected. The tree-rings have a characteristic anatomy, correlated with it's boundaries and density values. The wood density radial profiles showed similarities and differences between the trees and sites. Tree-rings standardized series of *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* and of *T. catappa* trees were built, to the sites A and A-B (grouped), being obtained temporal series of tree-rings width, representing a common model of variability. The correlations among the chronological series of the tree-rings of sites A and B and monthly mean temperature and precipitation accumulated, were significant and considered decisive in the trunk growth. With relationship to the pole annual mean increment, particular behavior of the 4 tree species were detected, in relation to the 2 sites. The presence of Hg in the soil and in the wood of tree species located close to the industrial company seems to not affect the trunk growth. Indicated, also, that the site conditions (planting spacing; competition for the growth factors; water soil saturated; urbanized area and street covered with asphalt, proximity and shadow among trees, etc.) and the inherent characteristic of the species trees should be influencing the tree growth.

Keywords: Dendrochronology; Dendroclimatology; Environmental Contamination; Mercury

1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos séculos, foram introduzidas no Brasil árvores de inúmeras espécies exóticas oriundas de outros países ou continentes, que não pertencem à flora do país, para fins ornamental, madeireiro, medicinal, quebra-vento e produção de frutos, sementes, resinas, etc. (ABREU, 2007).

Árvores dessas espécies foram plantadas em espaços urbanos dos municípios e em extensas áreas rurais do território nacional, sendo que muitas constituem parte da paisagem e cobertura vegetal e são consideradas como espécies de ocorrência natural no país. Dentre estas podem ser citadas as árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn. (grevilha), *Hovenia dulcis* Thunb. (uva-japonesa), *Persea americana* Mill (abacateiro), *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. (ipê-rosa) e *Terminalia catappa* L. (chapéu-de-sol) originárias da Austrália, China, México, El Salvador e de países da Ásia, respectivamente (KOSCINSKI, 1939; KÖLLER, 1979; WILLIAMS, 1976; LORENZI et al., 2003; FRANCIS, 1989).

A existência comum de árvores dessas espécies, introduzidas em diferentes ecossistemas urbanos, periurbanos e rurais, em associação ou não com as de espécies nativas, proporciona o desenvolvimento de estudos do seu crescimento e desenvolvimento, incluindo a análise e caracterização do seu lenho e dos anéis de crescimento.

Essa linha de pesquisa, relacionada com a análise dos anéis de crescimento anuais do lenho de árvores de espécies arbóreas, denominada de dendrocronologia, desenvolveu-se inicialmente com as espécies de origem temperada (SCHWEINGRUBER, 1988). Verifica-se, no entanto, nas últimas décadas, uma concentração de esforços de inúmeros pesquisadores e laboratórios para a sua aplicação em árvores de espécies tropicais e subtropicais, resultando na ampliação e na consolidação da dendrocronologia e suas áreas de especialização (BOTOSSO et al., 2000).

A dendrocronologia de árvores de espécies tropicais e sub-tropicais possibilita a aplicação dos estudos dos anéis de crescimento na determinação da idade das árvores,

dinâmica do crescimento do tronco, reconstrução climática e como indicadores ambientais, como na avaliação da contaminação ambiental por metais pesados (dendroquímica) e potencial uso das espécies como fito-remediadoras ou fito-acumuladoras (TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

Nesse aspecto, as análises do teor de metais pesados em anéis de crescimento de árvores para o monitoramento ambiental e na avaliação temporal-espacial da contaminação ambiental têm sido realizadas com espécies de clima temperado. Da mesma forma, pesquisas tem sido desenvolvidas em condições urbanas sub-tropicais, aplicando os anéis de crescimento de árvores de *Caesalpinia peltophroides* (sibipiruna) e de *Araucaria columnaris* na avaliação da poluição ambiental por Pb e outros metais pesados (MEDEIROS, 2005; VIVES et al., 2007).

Além da característica de absorção e do acúmulo de metais pesados nos anéis de crescimento, têm sido observadas alterações na estrutura anatômica do lenho e nas taxas de crescimento do tronco das árvores de muitas espécies arbóreas, crescendo em ambientes com comprovado efeito de poluição e contaminação ambiental (MAZZONI-VIVEIROS et al., 1995).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterização do lenho e dos anéis de crescimento e determinação da idade e da taxa de crescimento de árvores de *Grevillea robusta* (grevilha), *Hovenia dulcis* (uva-japonesa), *Persea americana* (abacateiro), *Tabebuia pentaphylla* (ipê-rosa) e *Terminalia catappa* (chapéu-de-sol), desenvolvidas nos municípios de Paulínia e Piracicaba/SP, com registro de contaminação por mercúrio (Hg).

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são (i) caracterização da estrutura anatômica macro e microscópica dos anéis de crescimento do lenho, (ii) aplicação da metodologia de densitometria de raios X na determinação da variação radial da

densidade aparente do lenho e dos limites dos anéis de crescimento; (iii) determinação da idade e da taxa de crescimento em diâmetro do tronco, (iv) avaliação da influência do clima no crescimento em diâmetro do tronco e (v) avaliação do teor e do efeito do Hg na estrutura do lenho e no crescimento em diâmetro das árvores das 5 espécies, nos 2 sítios do estado de São Paulo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais das espécies do estudo

3.1.1 *Grevillea robusta* (grevilha)

Segundo Koscinski (1939), a *Grevillea robusta*, da família Proteaceae, é originária da Austrália e foi introduzida no Brasil, inicialmente, com o intuito de se obter sua madeira para lenha, ornamentação de jardins públicos, arborização de ruas e alamedas e como quebra-vento e sombreamento de culturas agrícolas.

A grevilha é uma árvore perenifólia, que atinge 30-35 m de altura e 50-60 cm de diâmetro, com tronco geralmente retilíneo e cilíndrico, com tendência a bifurcação. A copa da árvore é geralmente alongada, estreita e rala e a casca possui coloração cinzento-escura, bastante sulcada e gretada. As árvores apresentam um sistema radicular profundo e a sua floração ocorre de agosto-dezembro, com as inflorescências se assemelhando a espigas cilíndricas, isoladas ou agrupadas, amarelo-alaranjado (LAMPRECHT, 1990; LORENZI, 2003)

Na Austrália, as árvores de grevilha desenvolvem-se, naturalmente, nas florestas pluviais das regiões costeiras, juntamente com as espécies de eucalipto, ocorrendo freqüentemente, também, em povoamentos puros. A temperatura média na sua área de ocorrência varia de 13-21 °C, crescendo igualmente em temperatura média mais baixa ou alta, com relativa resistência a geadas (LAMPRECHT, 1990),

De acordo com Corrêa (1978), as árvores de grevilha encontram-se aclimatadas no Brasil, apresentando resistência a geada e a seca e crescendo em diferentes tipos de solo, embora prefiram solos levemente úmidos, franco-arenosos e pH entre 5-7. As árvores crescem, também, em solos arenosos e com cascalho. Em solos pouco profundos e sujeitos a inundação as árvores apresentam baixo crescimento e seus troncos têm forma ruim (LAMPRECHT, 1990). Santos (1987) afirma que as árvores de grevilha apresentam rápido crescimento em solos bem drenados, férteis e não saturados de água.

As árvores de grevilha são heliófilas, com boa regeneração natural, especialmente em terrenos abertos e cultivados. Em regiões semi-áridas, as árvores são recomendadas para os programas de reflorestamento destinados à produção de lenha. Na região tropical são utilizadas como espécies pioneiras e com a função de sombreamento nas plantações de chá e de café (LAMPRECHT, 1990). Atualmente, encontra-se árvores de grevilha em grandes áreas, especialmente as da cultura do cafeeiro, no norte do Paraná, com a função de quebra-vento (DURIGAN et al., 1987).

As árvores de grevilha produzem lenho de cor castanho-claro, macio, lustroso, com parênquima radial (raios) largo e bem definido, vasos longos e em número reduzido, parte obstruídos, densidade de 0,56 g/cm³, com o aspecto da madeira do carvalho europeu. A madeira é decorativa e apropriada para obras internas (assoalhos e forros), marcenaria, carpintaria e lenha e, quando serrada, seca com facilidade e rapidez (CORRÊA, 1978). Ainda, a madeira é moderadamente dura, com cerne marrom-claro a avermelhado e alburno branco-acinzentado, pouco distinto, com brilho moderado no plano longitudinal radial e tangencial pela altura dos raios; a textura variando de média-grossa; a grã direita a oblíqua; o cheiro e gosto imperceptíveis e as camadas de crescimento são pouco distintas a indistintas e demarcadas por zonas fibrosas irregularmente espaçadas (NISGOSKI et al., 1998).

Segundo Tomaselli e Silva (1996) as árvores de grevilha apresentam rápido crescimento e a madeira uma ampla gama de utilização na indústria de produtos de madeira sólida, produção de serrados, lâminas e faqueados, além de possuir potencial para confecção de compensados.

3.1.2 *Hovenia dulcis* (uva-japonesa)

As árvores de uva-japonesa, *Hovenia dulcis*, da família Rhamnaceae, ocorrem naturalmente nas regiões centro-sul e centro-oeste da China (províncias de Hopei, Honan, Shantung, Chekiang, Hupeh, Hunan, Szechuan, Yunnan, Kweichow, Kwangtung e Fukien), nas coordenadas 25° 40° N e 100° 120° L (KÖLLER, 1979).

As árvores são caducifólias, com até 15 m de altura, copa globosa e ampla, casca lisa a levemente fissurada, pardo-escura a cinza-escura. As suas folhas são

simples, alternas, curto-pecíoladas, ovadas, acuminadas, glabras (face superior) e ligeiramente pubescentes (face inferior). As suas flores são hermafroditas, pequenas, numerosas e branco-esverdeadas a creme; os frutos são pequenos, comestíveis, em formato de cápsulas globosas, presos a um pedúnculo carnoso, cor de canela e de sabor agridoce. A polinização é feita por abelhas, com o florescimento de agosto-fevereiro, a frutificação de março-outubro e a queda das folhas de abril-agosto (INSTITUTO HÓRUS, 2007).

Enquanto que na região de origem na China, as árvores de uva-japonesa ocorrem naturalmente em climas subtropical a temperado, quente e úmido (RICHARDSON, 1966), no Brasil, tem sido plantada, sobretudo, nas regiões subtropicais (climas classificados como Cfa, Cfb e Cwa) (CARVALHO, 1994).

Na região sul do Brasil, as árvores de uva-japonesa são cultivadas, de forma isolada ou em pequenos talhões, apresentando na região do entorno uma intensa regeneração natural, em consequência da dispersão de suas sementes via zoocoria. Atualmente, há relatos da ocorrência de árvores da espécie como invasoras em grande parte das formações florestais naturais da região sul, especialmente em fragmentos florestais degradados e em estágios iniciais de regeneração (INSTITUTO HÓRUS, 2007). Segundo os dados do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul, as árvores de uva-japonesa constituem-se em uma das principais espécies exóticas, com larga ocorrência em áreas florestais naturais do estado (BRENA et al., 2003).

As árvores de uva-japonesa, além da produção de frutos, apresentam potencial para a utilização da sua madeira, com características físico-mecânicas similares às do louro-pardo (*Cordia trichotoma*), sendo que os setores das indústrias madeireira e moveleira da região de Caxias do Sul/RS têm plantado a espécie, em pequena escala. A madeira das árvores de uva-japonesa é preconizada para uso na construção civil, marcenaria, vigas, caibros, tábuas, assoalhos, moirões, mobiliário e laminado, além de aproveitamento na indústria de celulose e papel e como fonte de energia (CARVALHO, 1994).

3.1.3 *Persea americana* (abacateiro)

O abacateiro, da família Lauraceae e do gênero *Persea*, possui 3 espécies, sendo *P. americana* var. *americana*, *P. nubigena* var. *guatemalensis* e *P. americana* var. *drymifolia*, correspondendo, respectivamente, às raças antilhana, guatemalense e mexicana, descritas como tropical, sub-tropical e semi-tropical, pela resistência ao frio e adaptação climática (CAMPBELL e MALO, 1976; WILLIAMS, 1976).

As árvores de abacate foram introduzidas no Brasil, no estado do Pará, em 1809, e, atualmente, são cultivadas ao longo da costa atlântica e interior do país. As variedades de abacateiro melhoradas nos EUA foram introduzidas no Brasil em 1920, sendo cultivadas em quase toda a região tropical do mundo (México, EUA, Israel, Índia, Austrália, Brasil, etc.) (MARANCA, 1975).

As árvores de abacateiro são perenifólias, com 8-20 m de altura, copa frondosa e esgalhada, mais ou menos piramidal, casca estriada longitudinalmente, áspera e de coloração cinzenta-escura (PRANCE, 1975). Falcão et. al (2001) estudando a fenologia das árvores de abacateiro cultivadas em Manaus/AM, verificaram que a floração iniciou-se na segunda metade da estação chuvosa (março-abril) até meados da estação de estiagem (agosto-setembro) e sua frutificação iniciou-se no final da estação chuvosa (maio-junho).

As árvores de abacateiro são importantes pela utilização do seu fruto como alimento, pela riqueza de substâncias nutritivas, além da extração de um óleo não secativo e com elevado teor de vitaminas (A, B, D, E e G) e de fitosterol e lecitinas, sendo o Brasil o 5º produtor mundial. As sementes do abacateiro torradas e reduzidas a pó podem ser utilizadas como anti-disentéricas (PRANCE, 1975; TANGO e TURATTI, 1992). Sua madeira é utilizada em construções rurais, na construção de pequenas embarcações, artesanato, chapas, parquet e móveis (ROCAS, 1986).

3.1.4 *Tabebuia pentaphylla* (ipê-rosa)

As árvores de *Tabebuia pentaphylla*, família Bignoniaceae, são conhecidas como ipê-rosa e são originárias de El Salvador. As árvores podem alcançar 15-20 m de altura,

são semidecíduas, casca levemente fissurada no sentido longitudinal e utilizada como ornamental pelo florescimento na arborização de parques, ruas e avenidas. As árvores geralmente perdem totalmente as suas folhas antes do florescimento (agosto-outubro) e, não raro, as mantêm parcialmente. É uma espécie tropical, rústica, de rápido crescimento, adaptada às regiões de clima quente e não recomendada para cultivo nas regiões de ocorrência de geadas freqüentes no inverno (LORENZI et al., 2003).

A casca das árvores de ipê-rosa pode ser aplicada no tratamento de diversas doenças (amigdalite, estomatites, infecções renais, úlceras, varizes, etc.) além da aplicação como anti-diarréico, anti-inflamatório, anti-infeccioso, anti-tumoral, depurativo febrífugo e cicatrizante (PRAKASH e SINGH, 1980).

O lenho das árvores de ipê-rosa é de cor clara, de pardo a rosa, de densidade média-alta, não sendo encontrada na literatura especializada as características físico-mecânicas e aspectos tecnológicos da sua madeira. Há alguns relatos de um componente químico isolado da região do cerne, conhecido como tecomaquinona (SHARMA et al., 2001).

3.1.5 *Terminalia catappa* (chapéu-de-sol)

De acordo com Francis (1989), as árvores de *Terminalia catappa*, da família Combretaceae, são encontradas em vários países tropicais e utilizadas na arborização urbana, com destaque para as áreas litorâneas. As árvores são conhecidas como chapéu-de-sol, amendoeira, castanhola, sombreiro, sete-copas, entre outros, e são originárias das áreas litorâneas da Índia, Indochina, Malásia, Austrália, Oceania, Filipinas e Taiwan, a 23°N 20°S de latitude e 85°L e 170°L de longitude. As árvores atingem grandes dimensões, 35 m de altura e 1,50 m de diâmetro, com os galhos dispostos horizontalmente e copa larga, fornecendo bastante sombra; desenvolvem-se em terrenos salgados, arenosos, resistindo aos ventos, sendo, portanto, recomendadas para o plantio em praias (PENNA, 1946).

Segundo Cavalcante et al. (1986), Gilman e Watson (1994) e Thomson e Evans (2006), as árvores de chapéu-de-sol produzem inflorescências de flores brancas e pequenas na primavera, dando origem a frutos e sementes de alto valor nutritivo,

utilizados na alimentação humana e por animais, sejam pássaros, morcegos e roedores, que, às vezes, a dispersam naturalmente (PENNA, 1946; FLORES, 2003).

As árvores de chapéu-de-sol são rústicas, de rápido crescimento e podem ser utilizadas como fonte de madeira, em programas de reflorestamento, na recuperação de áreas degradadas e na arborização urbana e rural (MENESES et al., 2003; ANGEL et al., 2003).

O lenho de chapéu-de-sol tem alburno claro, cerne dourado a avermelhado, anéis de crescimento distintos; sua madeira é lisa, lustrosa, textura média a grossa, grã irregular ou transversa; densidade de 0,53-0,54 g/cm³ a 12% de umidade, com boa resistência natural e trabalhabilidade (THOMSON e EVANS, 2006).

3.2 Identificação dos anéis de crescimento no lenho de árvores tropicais

Nas pesquisas dendrocronológicas em árvores de espécies tropicais e subtropicais, é fundamental a aplicação de metodologias e de exames acurados para a determinação e caracterização dos anéis de crescimento presentes no lenho, bem como a identificação dos fatores climático-ambientais que induzem a periodicidade da atividade cambial, a formação dos anéis de crescimento e a determinação da idade das árvores (TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

No lenho das árvores das diferentes espécies são, comumente, encontrados anéis de crescimento falsos, incompletos ou ausentes e, para a comprovação da data exata da formação dos anéis de crescimento, são aplicados vários métodos e técnicas em dendrocronologia. Palermo et al. (2002), destacam que os principais métodos para a investigação dos anéis de crescimento e do ritmo de crescimento em diâmetro do tronco das árvores de árvores sub-tropicais e tropicais são classificados em dinâmico e estático.

No método dinâmico de análise das árvores, destacam-se as metodologias aplicadas aos (i) eventos fenológicos, (ii) contínua avaliação do crescimento em diâmetro do tronco aplicando dendrômetros de faixa de aço, (iii) aplicação de injúrias cambiais (janelas de Mariaux) e exame das cicatrizes no lenho e da (iv) avaliação da

atividade cambial com a coleta de amostras do lenho e/ou aplicação de equipamentos (ex.: Shigometer).

No método estático utilizam-se as metodologias da anatomia do lenho e de dendrocronologia como (i) caracterização da estrutura anatômica, demarcação, contagem e mensuração dos anéis de crescimento de amostras do lenho das árvores extraídas por métodos não destrutivos e destrutivos, (ii) datação dos anéis de crescimento por radiocarbono, (iii) datação de cicatrizes no lenho provocadas por incêndios, (iv) determinação da variação radial da densidade do lenho por densitometria de raios X e demarcação dos anéis de crescimento, (v) isótopos estáveis, etc.

3.3 A densitometria de raios X na análise do lenho e dos anéis de crescimento

A densidade do lenho de árvores de espécies florestais é considerada como uma das propriedades físicas mais estudadas nas áreas de ciência e tecnologia de madeira por apresentar relação com as demais propriedades da madeira e de seus produtos (DECOUX et al., 2004), e também na caracterização dos anéis de crescimento (GUILLEY et al., 2004; SCKINKER et al., 2003).

Métodos nucleares têm sido aplicados na análise e determinação da densidade aparente do lenho e, dentre estes, a metodologia de densitometria de raios X tem maior importância, desde o seu aprimoramento com as pesquisas iniciais de Polge (1963, 1978), na França. A densitometria de raios X mostrou um acelerado desenvolvimento nos últimos 20 anos (SKINKER et al., 2003), pela incorporação de técnicas computacionais na leitura dos filmes radiográficos (TOMAZELLO FILHO, 2006; TOMAZELLO FILHO et. al., 2008) e pela aplicação em inúmeras áreas da silvicultura, manejo florestal, ciência e tecnologia da madeira e seus produtos (WOJCIK, 2004).

Polge (1978) destaca que a aplicação da densitometria de raios X em amostras do lenho permite construir, com alta precisão, o perfil da variação radial da densidade aparente de uma seção transversal do lenho e até de anéis de crescimento. A significativa quantidade de valores pontuais de densidade aparente do lenho, ao longo da direção medula-casca, necessita ser condensada e, na seqüência, confeccionados os gráficos do perfil densitométrico para a sua interpretação, com possibilidade de

correlacioná-los com parâmetros anatômico-físico-químico, bem como com o efeito de variáveis, de origem climática, de manejo silvicultural ou tecnológica (Kanowski, 1985).

As pesquisas sobre a relação entre as variações da densidade do lenho, obtidas por densitometria de raios X, inter e intra-anéis de crescimento e sua correlação com estrutura anatômica são comuns, embora na dendrocronologia essa relação tenha sido comprovada para árvores de poucas espécies florestais (SCHWEINGRUBER et al., 1978).

Diaz et al. (1975) analisando o lenho das árvores de *Pinus contorta* e de *P. banksiana*, através da densitometria de raios X, detectaram uma similaridade dos perfis de densidade dos lenhos inicial-tardio dos anéis de crescimento com a proporção de parede celular. Para árvores de *Pinus radiata* demonstrou-se, posteriormente, a existência de correlação significativa entre a proporção de parede celular das traqueídes com os valores de densidade por densitometria de raios X (NICHOLLS, 1984), com uma diminuição da largura das traqueídes na direção lenho inicial-tardio e um correspondente aumento da densidade e a da espessura da parede celular.

Vetter e Botosso (1989), observando os anéis de crescimento do lenho de árvores de espécies arbóreas de florestas de terra firme da Amazônia por densitometria de raios X, concluíram que a esta metodologia não apresentou resultados satisfatórios, em comparação com a anatomia da madeira e com a mensuração dendrométrica. O resultado, segundo os autores, é devido a complexidade da estrutura do lenho de alta densidade (zona fibrosa alternada com parênquima e vasos), causando oscilações nos valores de densidade inter e intra-anelar, tornando, muitas vezes, não distinguível os limites dos anéis de crescimento pelas variações da densidade.

A técnica de microdensitometria de raios X foi aplicada por Roig et. al. (2008), em amostras do lenho de árvores de 13 clones híbridos de *Populus*, de plantações estabelecidas em Mendonza, Argentina, que verificaram as significativas relações entre os perfis de densidade aparente do lenho com as variações inter e intra-anéis de crescimento.

Medeiros et. al. (2008), estudando árvores de *Araucaria columnaris* submetidas a poluição por Pb no município de Piracicaba/SP, concluíram que a análise da

estrutura anatômica e da largura anéis de crescimento (lenhos inicial e tardio) da espécie com as suas características densitométricas determinada por raios X conferiu a precisão exigida nas pesquisas em dendrocronologia e dendroquímica.

3.4 Dendrocronologia e seus ramos de investigação

Dendrocronologia (*dendron*, madeira; *chronos*, tempo; e *logus*, estudo) é definida como a ciência de datação de espécies arbóreas por meio dos anéis de crescimento. Suas bases teóricas remontam ao século XVI, com Leonardo Da Vinci. Contudo, somente no início do século XX a dendrocronologia se consolida como ciência, devido, principalmente as contribuições de Andrew E. Douglass, pioneiro no desenvolvimento de metodologias para a avaliação das relações existentes entre séries temporais de anéis de crescimento com fenômenos climáticos e astronômicos, e a datação de madeiras arqueológicas (FRITTS 1976; SCHWEINGRUBER 1988, 1996).

Árvores que se desenvolveram em condições semelhantes ao longo de um período de anos devem apresentar sincronismo na variação da largura dos seus anéis de crescimento, permitindo a datação cruzada. A datação cruzada de amostras do lenho de árvores vivas permite determinar o ano de formação dos anéis de crescimento, coincidindo-os com os anos do calendário (BROWN, 2003), possibilitando datar outras amostras de madeira, desde que sejam contemporâneas a alguma série de idade conhecida.

Tomazello Filho et al. (2001) destacam que a especialização das pesquisas tornaram a dendrocronologia uma ciência pluridisciplinar surgindo, gradativamente, novas disciplinas. Entre elas destacam-se a dendroclimatologia, dendroecologia, a dendroquímica, dendroarqueologia, dendrogeomorfologia, dendroglaciologia, dendrohidrologia, dendroentomologia, etc.

Segundo Scheweingruber (1989), a dendroclimatologia visa a reconstrução do clima em determinada região através da cronologia da largura dos anéis de crescimento, e destaca a densitometria de raios X como ferramenta eficaz na reconstrução da temperatura de verão no hemisfério norte.

A dendroecologia tem como objetivo determinar a relação que ocorre, ano após ano, entre o clima, as condições do sítio e o crescimento das árvores para avaliar os fatores exógenos e endógenos que influenciam o desenvolvimento da comunidade vegetal (SCHWEINGRUBER, 1996).

Entre os fenômenos ambientais a serem analisados, os de origem antropogênica são de interesse para a dendrocronologia como instrumento de monitoramento ambiental que, aliado ao método de análise dos metais traços poluentes nos anéis de crescimento, originou a disciplina conhecida por dendroquímica. Esta, segundo Hagemeyer (1993), fundamenta-se na premissa de que a concentração dos elementos no lenho das árvores indica a presença e a disponibilidade desses elementos no ambiente no qual a árvore está crescendo.

A aplicação dos anéis de crescimento no monitoramento ambiental envolve aspectos relacionados ao (i) comportamento do elemento químico no lenho; (ii) correlação entre os níveis do íon na atmosfera e no lenho das árvores; (iii) absorção do elemento químico e sua deposição no lenho e (iv) detecção dos elementos químicos (WATMOUGH, 1999).

Estudos com Hg em anéis de árvores são escassos. No norte de Quebec, Canadá, árvores de *Picea mariana* que se desenvolveram próximas a fontes emissoras de Hg foram amostradas, encontrando-se concentrações entre 13 e 37 ng/g em seus anéis de crescimento. Os autores concluíram que o Hg deve ter sido depositado da atmosfera sobre a superfície das árvores, uma vez que a orientação geográfica era favorável (ZHANG et al., 1995). Sanjo et al. (2004) observaram menores teores de Hg nos anéis de crescimento mais externos do lenho das árvores de *Ginkgo biloba* em comparação com a região da casca, assim como Sloof e Wolterbeek (1993) em árvores de *Populus* sp.

Recentemente, Siwik (2007), estudando árvores de *Acer* sp., *Quercus* sp., *Populus* sp. e *Salix* sp., em áreas com histórico de contaminação por Hg, no município de Kingston, Canadá, detectou diferenças significativas entre as espécies florestais na capacidade de absorção de Hg atmosférico (Figura 1).

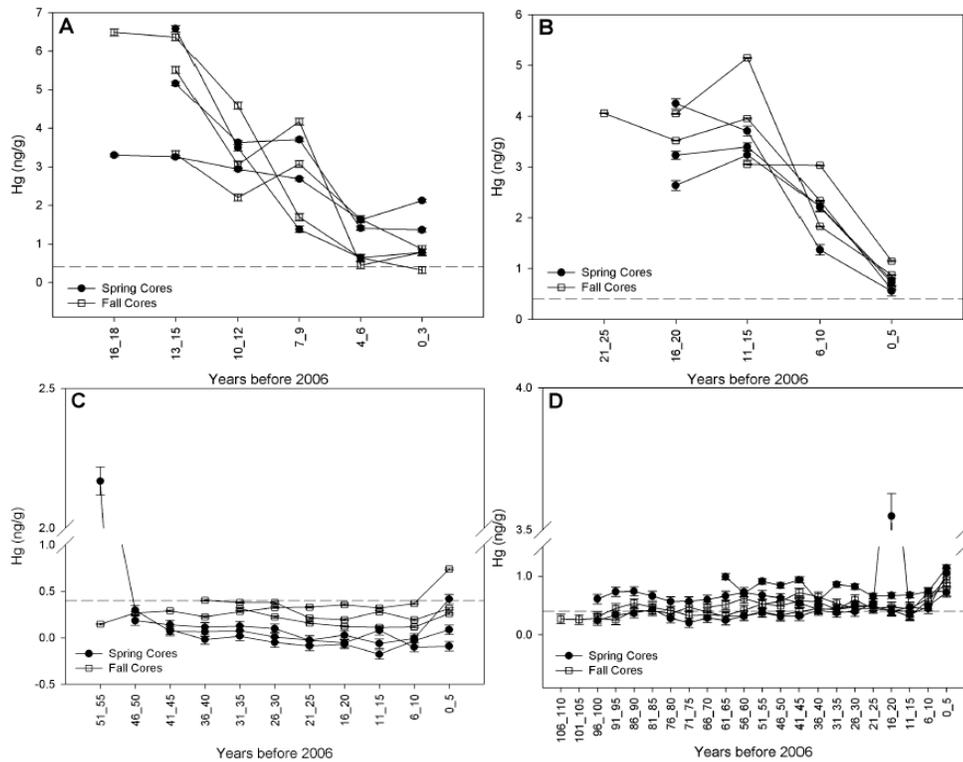


Figura 1 - Teores de Hg nos anéis de crescimento de árvores de (A) *Populus* sp., (B) *Salix* sp., (C) *Acer* sp., (D) *Quercus* sp. A linha pontilhada indica o limite de detecção. Adaptado de Siwik (2007)

3.5 O mercúrio (Hg) no ambiente e sua absorção pelas plantas

O mercúrio (Hg) é um metal conhecido há muito tempo pelo homem. Seu principal minério, o cinábrio (HgS), tem sido utilizado pela humanidade há mais de 2.300 anos. O mercúrio elementar (Hg⁰) facilmente se combina com metais nobres (Au, Ag, Pt, Pd) para formar ligas (amalgamas). A amalgamação com o ouro proporciona a base para pré-concentração de Hg em amostras gasosas ambientais, primordial para determinação analítica (Schroeder e Munthe, 1998).

O Hg elementar é utilizado na mineração de ouro e prata, na produção de cloro-soda, de termômetros, lâmpadas fluorescentes e de amalgamas dentários. Os compostos de Hg são usados na fabricação de baterias, tintas, como reagentes de laboratório e como catalisadores industriais (MICHELAZZO, 2003).

O Hg é um metal líquido à temperatura e pressão ambiente, podendo ser encontrado na sua forma elementar (Hg⁰) ou iônica (Hg¹⁺ ou Hg²⁺), sendo mais comum

os sais de Hg^{2+} (ex: HgCl_2) (LIN e PEHKONEN, 1999a). O Hg também pode formar compostos organometálicos, tais como metil e dimetilmercúrio (CH_3Hg e $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Hg}$), que são espécies muito tóxicas.

As formas inorgânicas de Hg liberadas para o ambiente podem ser convertidas, através de processos biológicos, em metilmercúrio (MeHg). A capacidade do MeHg de bioacumular em mais de 1 milhão de vezes na cadeia alimentar em meio aquático, constitui-se em uma das maiores razões para a preocupação sobre a emissão/mobilização do Hg na biosfera (SCHROEDER e MUNTHE, 1998).

A contaminação por MeHg causa danos no desenvolvimento cerebral e a exposição durante a gravidez pode causar danos ao feto, além de seus compostos serem considerados carcinogênicos (IARC, 1993 apud UNEP, 2002).

A contaminação com Hg elementar dá-se, principalmente, por via respiratória. Sua absorção digestiva é praticamente nula, no entanto, seus vapores são rapidamente absorvidos, podendo ser oxidados nos alvéolos pulmonares. As desordens neurológicas e comportamentais são alguns dos sintomas observados após a inalação de Hg.

O Hg é liberado ou reemitido para a atmosfera através de um grande número de fontes naturais e antrópicas. Entre as fontes naturais destacam-se a liberação de Hg da crosta terrestre, a evasão do solo e superfícies vegetais, os vulcões e as fontes geotérmicas. As fontes antrópicas dividem-se em difusas (veículos automotores, quebra de lâmpadas, queimadas) e pontuais (queima de combustíveis fósseis, incineração de resíduos urbanos, produção industrial como cloro-soda, aço e ferro e instrumentos (termômetros). A reemissão envolve a evasão para a atmosfera do Hg depositado, previamente emitido por fontes naturais ou antrópicas (SCHROEDER e MUNTHE, 1998). A contaminação do meio ambiente como resultado de emissões do Hg para a atmosfera e, sua conseqüente, deposição, tem despertado o interesse da comunidade científica e preocupado um número cada vez maior de países (ex.: México, EUA, Canadá, Brasil, etc.) que vêm adotando medidas para a redução das emissões de Hg na atmosfera (PILGRIM et al., 2000ab).

Segundo Michelazzo (2003), no Brasil são escassas as avaliações das emissões antrópicas de Hg para a atmosfera e são raros os dados sobre a concentração deste elemento em áreas industrializadas, tornando-se importante e necessário um estudo global sobre a dinâmica do Hg nestas regiões. A região de Campinas é geradora de 9 % do Produto Interno Bruto Nacional (PIB), representando 18 % do estado de São Paulo e a 3ª maior região industrial do país, abaixo somente da Grande São Paulo e do estado do Rio de Janeiro. Dentre os municípios da Região Metropolitana de Campinas, o de Paulínia possui um parque industrial expressivo e complexo, destacando-se as indústrias químicas e de fertilizantes, refinarias e distribuidoras de derivados de petróleo (combustíveis e GLP), e de reciclagem de diversos materiais, incluindo o Hg.

A absorção dos elementos químicos ocorre através das raízes, folhas e a casca das árvores. A complexidade dos mecanismos de absorção e os fatores envolvidos tornam difícil definir precisamente, qual a proporção do elemento químico detectado nos anéis de crescimento é proveniente de uma cada das 3 vias de absorção (FORGET e ZAYED, 1995). Ainda, de acordo com Martin e Coughtrey (1982), os metais pesados são incorporados nos tecidos das plantas através de sua entrada por duas rotas principais, sendo elas: (i) absorção das raízes e, conseqüente, transporte pelo xilema do tronco e pelas e (ii) folhas e casca.

A literatura relata a existência de vários fatores que interferem no mecanismo de absorção dos elementos químicos pelas plantas, conferindo-lhes as características de evitância ou de tolerância. Os principais mecanismos de tolerância das plantas são relacionados com a (i) fixação do íon na parede celular, (ii) redução do seu transporte através da membrana celular, (iii) efluxo ativo, (iv) compartimentalização e (v) complexação com fitoquelatinas (PRASAD, 1995).

A absorção do Hg ocorre, primariamente, na copa das árvores, através das aberturas estomatais das folhas durante o processo de respiração, na forma de Hg⁰, podendo, também, acumular-se nas folhas como deposição seca ou úmida da atmosfera (LINDBERG et al., 1992; REA et al., 2000). É mencionada, da mesma forma, a absorção do Hg dissolvido do solo através do sistema vascular das plantas (BISHOP et al. 1998). O Hg⁰ gasoso é prontamente absorvido pelos estômatos nas folhas das

plantas, mas, por sua natureza volátil, pode ser liberado novamente para a atmosfera (HANSON et al., 1995; ZHANG et al., 2005; GRAYDON et al., 2006).

A quantidade de Hg que as folhas das plantas podem acumular através de sua absorção via-atmosfera varia em função da espécie vegetal (MILLHOLLEN et al., 2006a), sendo que sua entrada no tecido foliar depende da velocidade e da direção do vento, da concentração de Hg no solo e na atmosfera, além da morfologia da folha (LINDBERG et al., 1998; REA et al., 2002). Alguns pesquisadores acreditam que a quantidade de Hg encontrada nas folhas das plantas é resultado da acumulação do Hg atmosférico correspondente a fase de crescimento do vegetal (FLECK et al., 1999; REA et al., 2002; ERICKSEN et al., 2003). No entanto, outros estudos mostram que a quantidade de Hg presente no mesófilo foliar está diretamente relacionada à concentração de Hg na atmosfera ao longo do ano (ERICKSEN et al., 2003; ERICKSEN e GUSTIN, 2004).

Alguns pesquisadores indicam que as raízes das árvores contribuem pouco com o transporte de Hg existente do solo para as outras partes da árvore; apesar de conter altas concentrações de Hg, o seu transporte para as regiões das árvores acima do solo é considerado baixo (MILLHOLLEN et al., 2006a). Em árvores de *Salix babilonica* e em outras 5 espécies de plantas terrestres, verificou-se que 97-99% do Hg permaneceram no interior dos tecidos das raízes e não foram transportados para as regiões dos brotos e das folhas (WANG e GREGER, 2004; GREGER et al., 2005; WANG et al., 2005). Outro estudo, no entanto, estimou que 11% do Hg encontrado na serrapilheira de árvores de *Picea abies* e de *Pinus sylvestris* são diretamente atribuídos ao Hg dissolvido no solo e absorvido pelas raízes (BISHOP et al., 1998).

Becnel et. al. (2004) encontraram correlação entre a concentração de Hg das porções exteriores de árvores de *Pinus taeda* e de *Acer rubrum* e das de líquens que se desenvolveram em um mesmo sítio, sugerindo mecanismos semelhantes de absorção do metal pesado.

3.6 Efeito da poluição no desenvolvimento e na anatomia do lenho das árvores

Medeiros, 2005 apud Barceló e Poschenrieder (1999) apresentou os principais efeitos dos metais pesados na estrutura e na morfologia da raiz de plantas terrestres, como redução do alongamento da raiz, danos nas pontas das raízes, colapso nas raízes capilares ou redução de seu número, redução na biomassa radicular, aumento ou redução na formação de raízes laterais, aumento da suberização e lignificação, redução no diâmetro dos vasos e alterações estruturais da hipoderme e endoderme.

A queda da taxa de crescimento de árvores de *Pinus densiflora* foi observada em função da deposição dos contaminantes sobre a superfície das folhas, mais do que pela variação dos elementos químicos no seu lenho (FUKUOKA e KISHI, 1995).

Os estudos anatômicos do lenho de árvores de *Tibouchina pulchra*, expostas a poluição atmosférica, evidenciam o efeito da pressão de seleção sobre a espécie visando superar as dificuldades nutricionais e a garantia do transporte hídrico, corroborando os diagnósticos prévios de diminuição da taxa de crescimento dos espécimes arbóreos nas áreas mais poluídas (MAZZONI-VIVEIROS et al., 1995). Da mesma forma, Segala Alves (1995) observou alterações no lenho e folhas de árvores de *Cecropia glazioui*, em regiões poluídas e com solos ácidos e pobres.

A emissão de poluentes na atmosfera pelos complexos industriais das regiões de Yeochon e de Onsan/Coréia do Sul afetou negativamente a atividade cambial das árvores de *Pinus thunbergii*, ocorrendo uma diminuição da largura dos anéis de crescimento do seu lenho e que retomaram as dimensões normais para a espécie, após a cessação da atividade industrial (JONG-KAB e KIM, 1995).

3.7 Poluição ambiental por mercúrio: estudo de caso

A empresa Apliquim encontra-se instalada no município de Paulínia, desde 1986, desenvolvendo como principal atividade a recuperação de mercúrio (Hg) de resíduos de diversos tipos de materiais, principalmente, de lâmpadas fluorescentes. A empresa é licenciada pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) e credenciada pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

e dos Recursos Naturais Renováveis), possuindo certificação ambiental de seu sistema de gestão ambiental, nos termos da NBR ISSO 1400, para tratamento de resíduos contendo Hg, tendo mais de 3.000 clientes cadastrados de todo Brasil.

Em julho de 1992, a Divisão de Tecnologia de Recuperação Ambiental-DPT, por solicitação do Escritório da CETESB do município de Paulínia/SP, realizou um diagnóstico ambiental para a avaliação da possibilidade de contaminação de Hg das áreas adjacentes a empresa, bem como recomendar as medidas de controle. Concluiu-se que a manipulação dos resíduos dos materiais, no galpão da empresa, provocava a suspensão de material particulado contendo Hg, e este era carregado para o ambiente externo pelos exaustores, sendo depositado na área do entorno da indústria. A contaminação da água, do solo e da vegetação ocorreu, principalmente, na área de influência dos exaustores de ar. Em avaliação realizada em 1994 constatou-se a redução dos valores de Hg na água, solo e na vegetação, embora com incremento no sedimento, indicando que as medidas adotadas promoveram a redução da contaminação, embora não completa, sendo então feitas novas recomendações para a melhoria do sistema de controle de poluição, para evitar a emissão de poeira com Hg contaminante (CETESB, 1993).

No período de 1994-2004, a CETESB realizou o monitoramento ambiental dos níveis de Hg, apresentando exigências técnicas a Apliquim, referentes a redução das emissões e a remediação das áreas afetadas (CETESB, 2004). A empresa, em atendimento às exigências da CETESB, reavaliou o processo operacional de reciclagem de Hg. A revisão deste processo resultou em significativa redução da emissão do Hg, com valores de 99,8 % no material coletado das chaminés e de 99% na atmosfera do seu entorno (FOSTIER, 2005).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização dos sítios de estudo

Os principais critérios aplicados na seleção dos sítios de estudo foram (i) histórico da poluição ambiental documentado por instituição de pesquisa e órgão governamental e (ii) ocorrência de árvores de espécies com potencial para aplicação dos anéis de crescimento do seu lenho para estudos de monitoramento ambiental.

4.1.1 Sítio A: Paulínia, SP

O sítio A, localiza-se no município de Paulínia/SP, no bairro Betel (22º 47' 39" lat. sul, 47º 07' 19" long. oeste, 590 m alt.) compreendendo os pátios da Empresa Apliquim e da Escola de Serviço de Aprendizagem-SENAI, distante em 350 m (Figura 2). A Empresa Apliquim está instalada no Distrito Industrial desde 1986, com a atividade de recuperação de Hg de lâmpadas fluorescentes e de amálgama dentário, possuindo um histórico de contaminação ambiental (CETESB, 1994), com o metal pesado monitorado na atmosfera (FOSTIER, 2005), no solo e na vegetação (JARDIM, 2005; SILVA, 2005).

O terreno do sítio A é caracterizado por 4 horizontes, sendo (i) aterro argiloso-arenoso, amarronzado, com espessura de 1,0-2,4 m, (ii) argila preta, com grande quantidade de folhas e raízes, correspondente ao solo original, (iii) argila plástica acinzentada e (iv) argila siltosa, pouco arenosa com presença de matéria orgânica (GEOKLOCK, 2003).

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico de inverno seco), com 1.381 mm de precipitação anual, 16,7 mm de deficiência hídrica (junho-setembro) e 361,1 mm de excedente hídrico (novembro-março) (SOIL SURVEY STAFF, 1999). A temperatura média do mês mais quente é de 28,1 °C (janeiro) e a do mês mais frio de 15,3 °C (julho) (Figura 3).

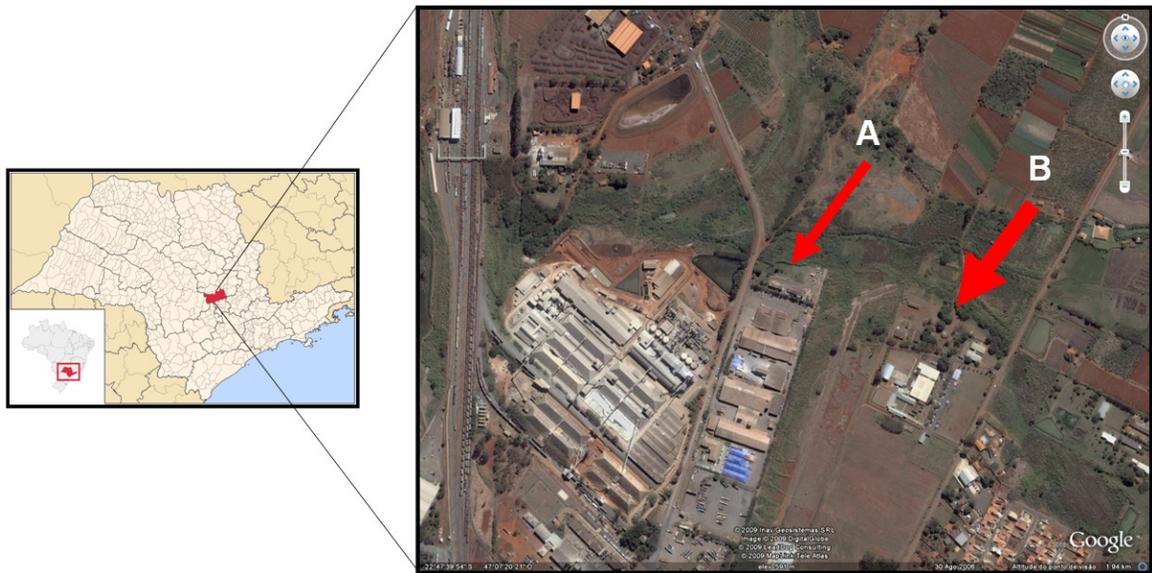


Figura 2 - Sítio A: no estado de São Paulo e no município de Paulínia. (A) Apliquim e (B) SENAI

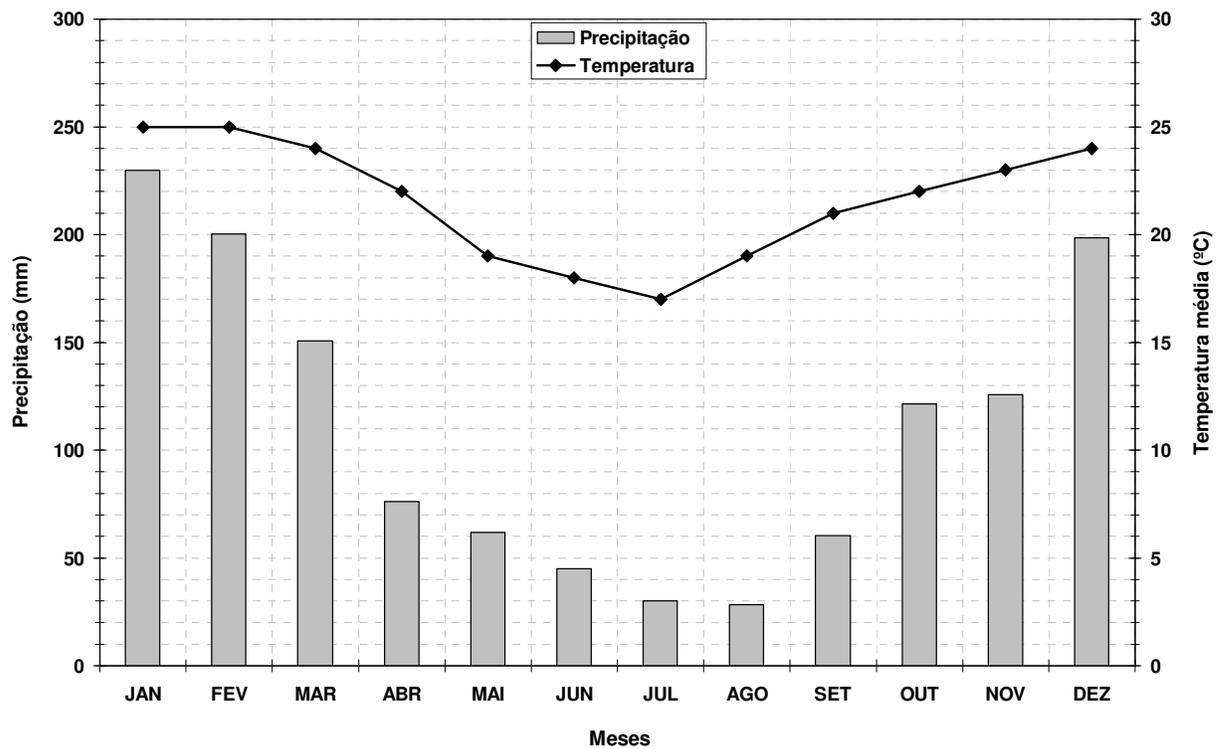


Figura 3 – Sítio A: médias mensais de temperatura (°C) e de precipitação acumulada (mm).
Fonte:CEPAGRI (2008)

4.1.2 Sítio B: Piracicaba, SP

O sítio B localiza-se no município de Piracicaba/SP, no bairro Agronomia (22° 42' 38" lat. sul; 47° 37' 58" long. oeste, 547 m alt.) compreendendo o interior do Campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (Figura 4).

O solo do sítio B é classificado como neossolo litólico vermelho, com horizonte A moderado, textura argilosa a muito argilosa, fértil, boa drenagem, coloração arroxeada, com estrutura em blocos subangulares no horizonte B e formado a partir de rochas básicas. Uma pequena variação de cor e de textura ao longo do perfil do solo indica vários sub-horizontes medianamente individualizados com transição variando de clara a difusa (MEDEIROS, 2005 apud BRASIL, 1960).

O clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico com inverno seco (Cwa), também segundo a classificação de Köppen, com 1000-1500 mm de precipitação anual, estação seca de 5-6 meses (abril-agosto), correspondente ao inverno, com precipitação não superior a 50 mm/mês. A temperatura média do mês mais quente é de 23,9 °C (janeiro) e a do mês mais frio de 16,1 °C (julho) (CURY, 2001; FERREIRA, 2002) (Figura 5).

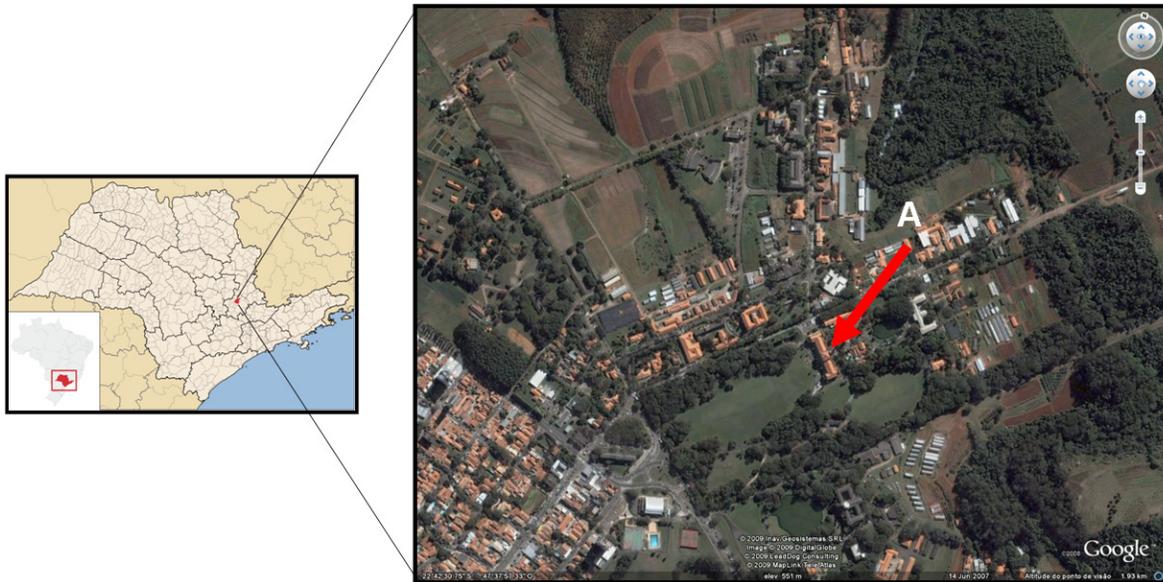


Figura 4 - Sítio B: no estado de São Paulo e no município de Piracicaba. (A) Campus da ESALQ/USP

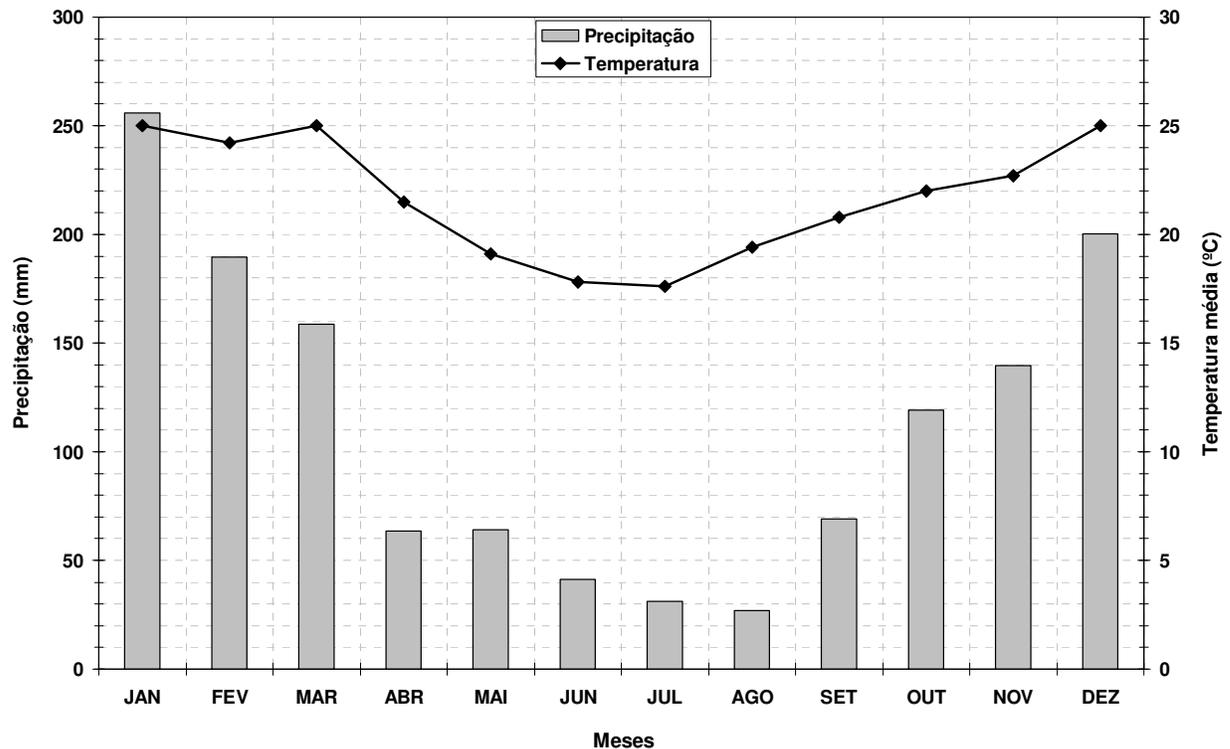


Figura 5 – Sítio B: médias mensais de temperatura (°C) e de precipitação acumulada (mm).
Fonte:CEPAGRI (2008)

4.2 Caracterização da fertilidade e teor de Hg dos solos dos sítios A e B

Para a caracterização da fertilidade e do teor de Hg, nos 2 sítios de estudo, foram coletadas amostras de solo na região próxima a base do tronco das árvores das 5 espécies, com auxílio de um trado, a 20 cm de profundidade, em um total de 38 amostras de solo, sendo 18 do sítio A e 20 do sítio B. Das amostras individuais de solo foram constituídas 16 amostras compostas de solo, sendo 10 para a avaliação da fertilidade (5 amostras/sítio) e 6 amostras para a determinação do teor de Hg (3 amostras/sítio).

Para a caracterização da fertilidade do solo dos 2 sítios foram avaliados os parâmetros químicos, segundo a metodologia descrita por Raji et. al (2001) (Tabela 1), sendo as análises realizadas no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

Tabela 1 - Parâmetros químicos de análise da fertilidade do solo dos 2 sítios e respectivos métodos

Parâmetros	Precisão (nº de casas)	Unidade	Método
pH	1	-	Potenciométrico
Matéria Orgânica	0	g dm ⁻³	Colorimétrico
Fósforo	0	mg dm ⁻³	Colorimétrico ou espectrofotométrico
Potássio	1	mmolc dm ⁻³	Espectrofotométrico ou fotométrico
Cálcio	0	mmolc dm ⁻³	Espectrofotométrico
Magnésio	0	mmolc dm ⁻³	Espectrofotométrico
Acidez Potencial (H+Al)	0	mmolc dm ⁻³	Indireto/potenciométrico (pH _{SMP})
Soma das Bases (S ou SB)	0	mmolc dm ⁻³	Cálculo (K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺)
Capacidade de Troca Catiônica (T)	0	mmolc dm ⁻³	Cálculo ([SB + (H + Al)])
Saturação de Bases (V)	0	%	Cálculo ((S/T) x 100)

Para a determinação do teor de Hg do solo dos 2 sítios foi aplicada a metodologia descrita EPA 245.7, através da espectrofotometria de fluorescência atômica com geração de vapor frio (CVAFS), sendo as análises realizadas na Bioagri Ambiental, Piracicaba/SP.

4.3 Seleção e caracterização das árvores nos sítios A e B

Foram selecionadas 37 árvores das espécies de *Grevillea robusta* (grevilha), *Hovenia dulcis* (uva-japonesa), *Persea americana* (abacateiro), *Tabebuia pentaphylla* (ipê-rosa) e *Terminalia catappa* (chapéu-de-sol), nos sítios A e B (ver Tabela 4, número de árvores/espécie/sítio). Na seleção das árvores das 5 espécies arbóreas foram adotados os seguintes critérios: (i) árvores plantadas e de espécies comuns nos sítios de estudo, (ii) localização em área de exposição do Hg de origem antropogênica, (iii) idade das árvores superior ao do período datado da exposição ao Hg; (iv) árvores com potencial para a aplicação de estudos dendrocronológicos (anéis de crescimento distintos) no monitoramento ambiental de Hg e (v) número de árvores/espécie atendendo uma mínima amostragem estatística. As árvores das 5 espécies arbóreas dos sítios A e B tiveram o seu DAP mensurado sendo que, para as árvores do sítio A, foi determinada a sua distância em relação a fonte de emissão de Hg.

4.4 Coleta das amostras do lenho das árvores

4.4.1 Coleta do lenho das árvores: análise do teor de Hg

Do lenho do tronco das árvores das 5 espécies plantadas no sítio A foram coletadas amostras radiais, no DAP (1,30 m), através de método não destrutivo com sonda de Pressler (6 mm de diâmetro). Foi extraída 1 amostra do lenho/árvore/espécie, em um total de 5 amostras de lenho. A sonda de Pressler foi lavada com acetona Analar e água destilada em cada procedimento de coleta, conforme preconizado por Watmough e Hutchinson (1996), para evitar a contaminação das amostras. As amostras do lenho obtidas das árvores foram transferidas para sacos plásticos, identificadas, transportadas e armazenadas (-5 °C) no Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira e de Anéis de Crescimento, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

4.4.2 Coleta do lenho das árvores: anatomia, densitometria de raios X e dendrocronologia

Do lenho do tronco das árvores das 5 espécies plantadas nos sítios A e B foram extraídas amostras radiais do lenho, no DAP (1,30 m do solo), através de método não destrutivo. Para as análises dos anéis de crescimento (dendrocronologia) e obtenção dos perfis radiais de densidade do lenho (densitometria de raios X) foram retiradas amostras do lenho de 37 árvores das 5 espécies (18 árvores do sítio A e 19 do sítio B), sendo 2 amostras do lenho/árvore e um total de 74 amostras do lenho, com extrator motorizado acoplado a sonda metálica longa (Figura 6).

Para a caracterização da estrutura anatômica macro e microscópica dos anéis de crescimento foi coletada, adicionalmente, uma amostra do lenho das árvores das 5 espécies dos sítios A e B, com extrator motorizado acoplado a sonda metálica curta.

As amostras do lenho das árvores das 5 espécies foram identificadas, armazenadas em sacos plásticos e em seguida transportadas.



Figura 6 - Extrator motorizado-sonda metálica longa na coleta de amostras do lenho das árvores

4.5 Análise do teor de Hg no lenho das árvores

Para a análise do teor de Hg, as 5 amostras do lenho das árvores das 5 espécies foram seccionadas no sentido longitudinal tangencial, com lâmina de metal, previamente limpa, a aproximadamente 70% do seu raio, desconsiderando o segmento de 30% da amostra próximo da casca. O procedimento visou excluir o lenho formado no tronco das árvores, no período de 2004-2006, quando houve a redução de 99% das emissões de Hg, resultado da revisão do processo de reciclagem pela empresa.

As amostras do lenho foram transformadas em pequenas partículas em um moinho criogênico 6750 Freezer Mill e, em seguida, tiveram a sua massa determinada em balança analítica de precisão, face a necessidade de massa mínima de material (0,5 g) exigida para a aplicação do método analítico.

A vidraria utilizada na análise das amostras do lenho foi limpa através de imersão em 50% v/v HNO_3 por 12 h e, posteriormente, enxaguada por 5 vezes em água deionizada e purificada (sistema Milli-Q[®]) e seca em capela.

Para a determinação do teor total de Hg, as amostras do lenho foram submetidas aos procedimentos analíticos, consistindo, resumidamente, em: massa de 500 mg do lenho foi acondicionada em frascos de digestão de 50 ml e, em seguida, adicionados 5 ml de H₂O Milli-Q, 5 ml de HCl : HNO₃ (3:1), 15 ml H₂O Milli-Q, e 15 ml de KMnO₄. Os frascos de digestão do lenho foram agitados e levados a chapa aquecedora à temperatura de 110°C, por 2 h. As soluções foram resfriadas até a temperatura ambiente, adicionando-se 3 ml de NH₂OH e transferidas para um balão volumétrico de 50 ml, sendo aferidas e completado o volume com água; adicionaram-se as amostras, quantidade extra de KMnO₄, em um total de 15 ml/ amostra. A determinação do teor de Hg nas amostras do lenho foi feita em equipamento de Espectrofotometria de Absorção Atômica com sistema de geração de vapor a frio (CVAAS). O método de análise baseia-se na absorção da radiação pelos átomos de mercúrio em 253,65 nm, sem utilizar chama, uma vez que o Hg elementar é volátil à temperatura ambiente. No processo de determinação, os íons de Hg são reduzidos à forma elementar e carregados por um gás até o caminho óptico, onde sofrem interação com a radiação. Micaroni et al. (2000) destacam que na aplicação do método é possível ocorrer interferências espectrais pela presença de NO₂, SO₂ ou O₃.

Durante as análises foi construída uma curva de calibração das soluções padrão de 0,625, 1,25, 2,5, 5,0 e 10,0 ng/ml e realizada, também, a leitura do branco dos reagentes e da amostra certificada (Apple leaves - NIST). A leitura das amostras do lenho digeridas foi realizada em duplicata, sendo que a sensibilidade da leitura para a determinação do teor de Hg nas amostras foi de 50 ng/100 ml.

O teor de Hg nas amostras do lenho das árvores das 5 espécies foi determinado no Laboratório de Química Ambiental do Instituto de Química, da Universidade de Campinas/UNICAMP, Campinas/SP.

4.6 Caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores

4.6.1 Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia macro e microscópica

Das amostras do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, foram cortados corpos-de-prova (1x1x1,5 cm) orientados no plano transversal, imersos em água + glicerina e levados em água a ebulição para o amolecimento. Em seguida, os corpos de prova foram fixados no micrótomo de deslize e obtidos cortes histológicos transversais finos (15-20 μm de espessura), transferidos para vidros de relógio, clarificados (hipoclorito de sódio, 20%), lavados (ácido acético, 1%), desidratados (série alcoólica, 20-100%), lavados (acetato de N -Butila), corados (safranina) e montados em lâminas de vidro (bálsamo do Canadá) (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951). As seções do lenho nas lâminas histológicas permanentes foram examinadas em microscópio de luz ZEISS Axioskop, acoplado a uma câmara digital e coletadas as imagens, seguindo-se a descrição anatômica microscópica.

Das amostras do lenho das árvores das 5 espécies foram preparados corpos-de-prova, fixados em micrótomo de deslize e realizado o corte (polimento) das seções transversais em navalha de aço. As seções transversais foram examinadas em microscópio estereoscópio ZEISS Stemi SV11, acoplado a uma câmara digital e coletadas as imagens macroscópicas.

A descrição da estrutura anatômica macro e microscópica dos anéis de crescimento do lenho das árvores foi realizada segundo as “Normas e Procedimentos aplicados na Anatomia da Madeira” do IBAMA (1992) e da “List of Microscopic Features for Hardwood Identification” da IAWA (IAWA COMMITTEE, 2004).

4.6.2 Caracterização dos anéis de crescimento: densitometria de raios X

Preparo das amostras do lenho: na caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies, por densitometria de raios X, foram selecionadas 38 árvores (18 do sítio A e 20 do sítio B), sendo 2 amostras do lenho/árvore, totalizando 76 amostras do lenho analisadas. As amostras do lenho foram coladas em suporte de madeira e seccionadas no sentido transversal (2,0 mm de espessura) em aparelho de dupla serra circular paralela.

Obtenção dos filmes radiográficos das amostras: as seções transversais do lenho foram acondicionadas em câmara de climatização (20 °C, 50% UR), até atingirem 12% de umidade, dispostas sobre filme de raios X (Kodak, Mamography Film MIN-R 2000, 180x240 mm), com uma cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48 g/cm³), em condições de câmara escura. As amostras do lenho e a cunha de calibração foram transferidos para equipamento de raios X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distância da fonte de raios X-filme) e irradiadas (5 min de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo, 3 mA de corrente de aquecimento do cátodo). Os filmes radiográficos das amostras de madeira+cunha de calibração foram revelados em aparelho Macrotec MX-2, segundo os procedimentos descritos por Amaral e Tomazello Filho (1997).

Análise dos filmes radiográficos das amostras: os filmes radiográficos das amostras do lenho foram digitalizados em scanner Hewlett Packard ScanJet 6100C/T, a uma resolução de 1000 dpi (pixel por polegada), em escala de cinza de 256 graus. Na imagem digitalizada foram feitas comparações entre a escala de cinza das amostras de madeira com a da curva padrão, cujos valores de densidade são conhecidos (densidade média de 1,48 g/cm³), sendo determinados os valores de densidade, e os mesmos são convertidos para o arquivo tipo .DEN, através da aplicação do software CRAD. Na seqüência, o arquivo .DEN é lido com auxílio do software CERD considerando 500 pontos de determinação de valores de densidade ao longo do comprimento de uma seção da amostra do lenho (eixo X) e 10 em sua altura (eixo Y), para os segmentos de 25% do comprimento total. As análises das seções transversais do lenho originam um arquivo tipo.TXT contendo os valores pontuais de densidade, e os respectivos gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho de todos os raios das árvores obtidos através do Microsoft Office Excel.

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho foram analisados, identificando os limites dos anéis de crescimento, definidos pela variação dos valores pontuais de densidade. Esses perfis radiais foram confrontados com as respectivas seções transversais das amostras do lenho, que apresenta uma estrutura anatômica característica das 5 espécies de árvores, nos 2 sítios. Os perfis radiais possibilitaram,

também, determinar os valores de densidade aparente média, máxima e mínima do lenho das árvores para as 5 espécies plantadas nos 2 sítios.

4.6.3 Caracterização e aplicação dos anéis de crescimento: dendrocronologia

Preparo das amostras do lenho: para a análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies, dos sítios A e B, foram selecionadas 37 árvores (18 do Sítio A e 19 do Sítio B), sendo 2 amostras do lenho/árvore, totalizando 74 amostras do lenho. As amostras do lenho foram coladas em suporte de madeira e o seu plano transversal foi polido com lixas abrasivas de granulometria crescente (80-600 grãos/mm²), seguindo-se a aplicação de ar comprimido para a desobstrução dos vasos e para destacar os limites dos anéis de crescimento.

Delimitação e medição da largura dos anéis de crescimento: as amostras do lenho das árvores das 5 espécies foram examinadas sob microscópio estereoscópico Leica modelo KL, com sistema de iluminação de fibra ótica, sendo delimitados os anéis de crescimento. Em seguida, as seções transversais do lenho foram digitalizadas em scanner HP Scanjet 3800 (resolução 1200 dpi), com uma escala. A largura dos anéis de crescimento, previamente demarcados, foi determinada através do software de análise de imagem ImageTool Alpha 3 (Figura 7). A partir da calibração do software com o uso da escala digitalizada e, mediante a indicação manual de 2 pontos, determina-se a distância entre os mesmos (precisão de 0,01) obtendo-se os valores de largura dos anéis de crescimento, tendo como referencia os seus limites nas amostras diametrais do lenho das árvores. Os dados de largura dos anéis de crescimento, gerados no software Image Tool, foram exportados para o Microsoft Office Excel e, posteriormente, analisados.

Nos estudos dendrocronológicos a largura dos anéis de crescimento é, usualmente, determinada em mesa de medição (ex.: Velmex, com 0,001 mm de precisão, aplicando-se o programa PJK) (HOLMES, 1994). A aplicação do software Image Tool, para essa finalidade, mostrou resultados equivalentes aos da mesa de medição, comprovados pelos altos valores de correlação entre as 2 metodologias

(Figura 8), sendo então utilizado para a medição da largura dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies do estudo.

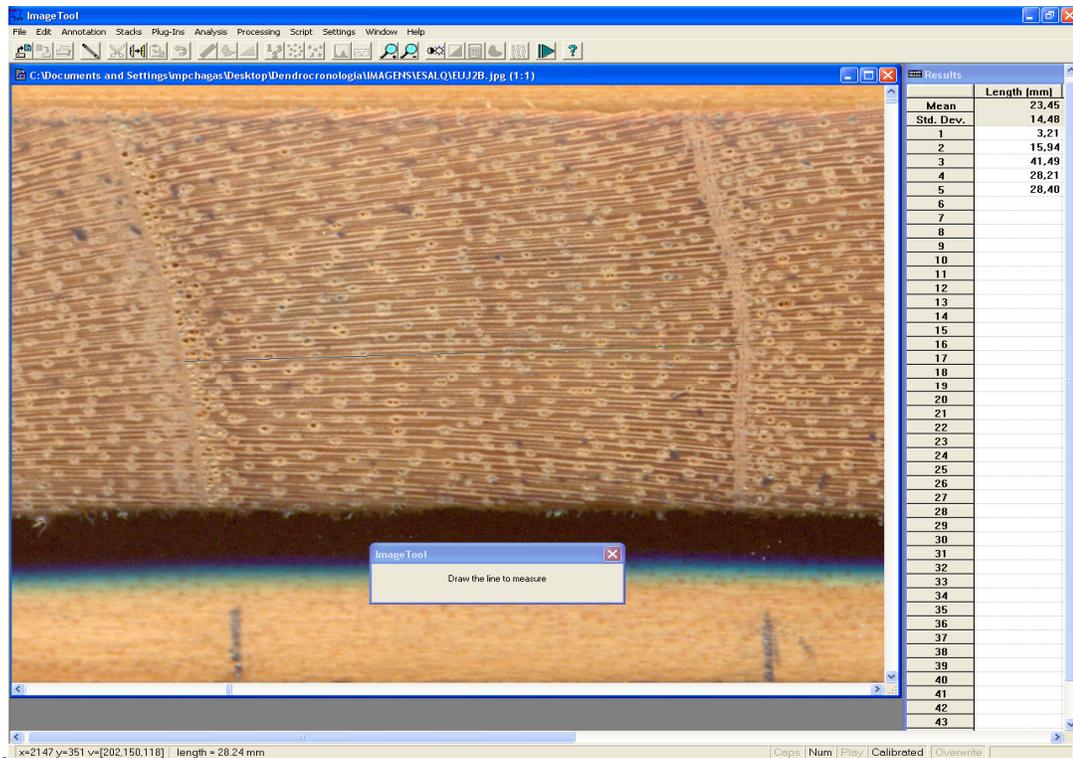


Figura 7 – Seção transversal do lenho de árvore de *Hovenia dulcis*, com os limites dos anéis de crescimento demarcados e aplicação do software Image Tool na avaliação da sua largura

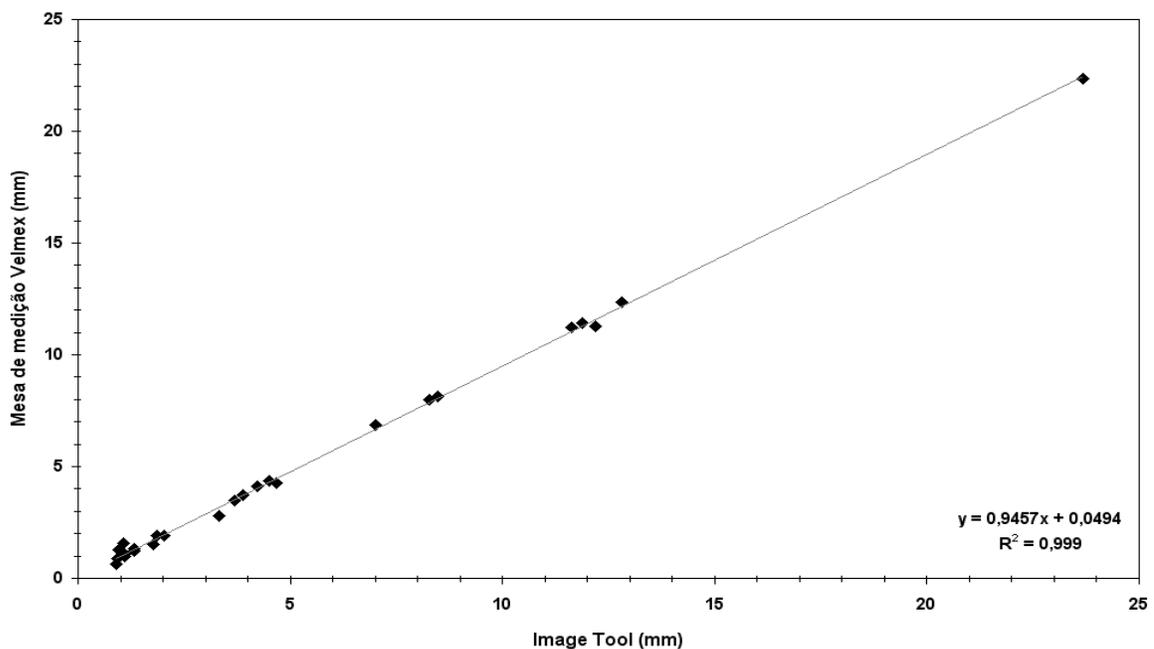


Figura 8 - Regressão linear simples e coeficiente de determinação (R^2), da largura dos anéis de crescimento do lenho de *Hovenia dulcis*, em mesa de medição e com o software Image Tool

Sincronização dos anéis de crescimento das árvores: obtida a largura dos anéis de crescimento das amostras do lenho das árvores das 5 espécies, nos 2 sítios, construíram-se as séries de largura e procedeu-se a sua sincronização. O controle de qualidade e a verificação da sincronização foram feitos aplicando-se o programa COFECHA (HOLMES *et al.*, 1986). O programa COFECHA correlaciona coeficientes pela sobreposição dos segmentos de cada série cronológica de anéis de crescimento, com a média construída com todas as demais cronologias (série “master”). Este procedimento verifica, estatisticamente, a datação realizada, identificando as amostras ou segmentos de amostras do lenho das árvores que apresentem problemas de demarcação ou de mensuração dos anéis de crescimento, indicando a possível existência de anéis de crescimento falsos ou ausentes.

Para as análises dendrocronológicas do lenho das árvores das 5 espécies foram utilizados os conceitos de Cook (1989), que considera as séries de anéis de crescimento como um agregado linear de sub-séries não observadas. Essas sub-séries incluem: a tendência da largura dos anéis de crescimento relacionada com o tamanho e a idade das árvores (A_t), o sinal climático relacionado com o ambiente (C_t), o indicador binário relacionado com a presença ($\delta=1$) ou ausência ($\delta=0$); os distúrbios causados por perturbações endógenas de ação individual ($D1_t$), os distúrbios causados por perturbações exógenas comuns a população ($D2_t$), a variabilidade ano a ano não relacionada com os demais fatores (E_t), em função do ano relacionado com cada fator (t), de acordo com a equação:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

Cada série cronológica de anéis de crescimento foi padronizada, retirando-se as tendências de crescimento dos dados de largura dos anéis de crescimento, assumindo que estas são funções do tamanho e da idade das árvores e das perturbações endógenas e exógenas, conforme modelo a seguir:

$$G_t = f(A_t, \delta D1_t, \delta D2_t)$$

Onde:

- G_t : tendência de crescimento estimada como uma função apenas da idade;
 δ : indicador binário relacionado com a presença ($\delta=1$) ou ausência ($\delta=0$);
 $D1_t$: distúrbios causados por perturbações endógenas e de ação localizada;
 $D2_t$: distúrbios causados por perturbações exógenas (população)

A remoção das tendências das séries dos anéis de crescimento e a conseqüente padronização foram realizadas através do ajuste de uma curva polinomial de baixa frequência, seguido da divisão do valor da largura dos anéis de crescimento pela curva ajustada. Assim, o sinal comum das séries foi maximizado, formando uma série “master” que representa as séries que a compõe (Figura 9). Como resultado o software calcula as correlações (Pearson) entre as séries individuais em relação a série “máster”.

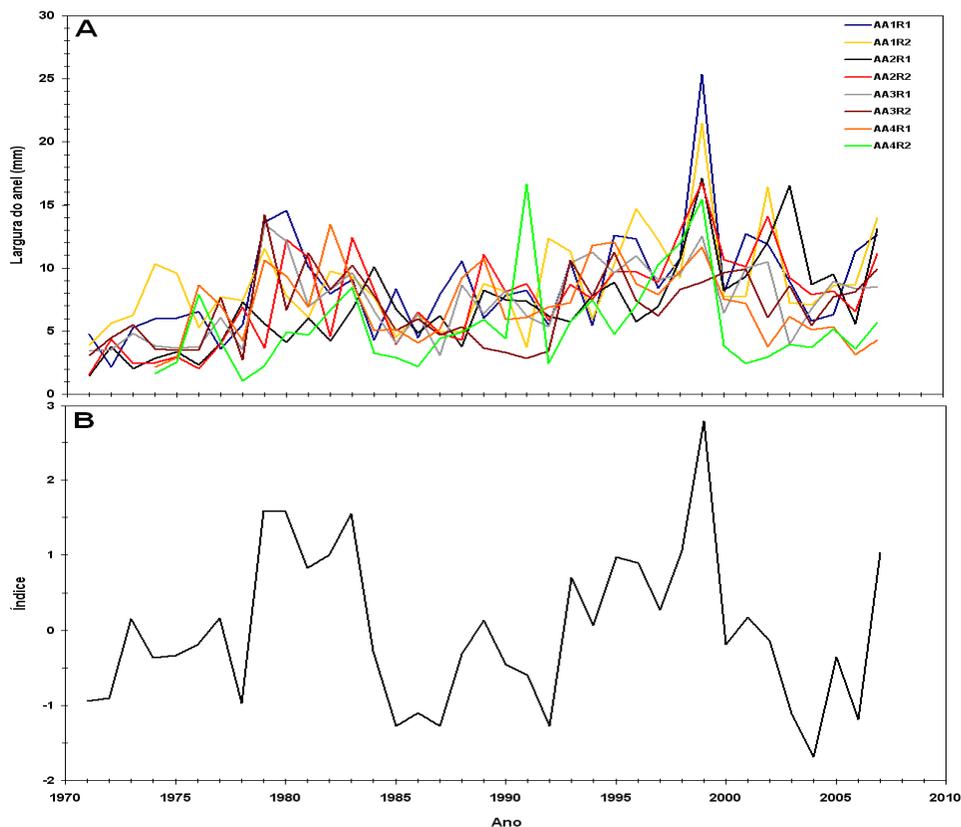


Figura 9 – Exemplo de sincronização dos anéis de crescimento das amostras do lenho de árvores de *Persea americana*, do sítio A. (A) Séries cronológicas e (B) Série padronizada dos anéis de crescimento.

A tendência de crescimento foi estimada com o auxílio do programa ARSTAN (HOLMES et al., 1986), o qual ajusta uma função de regressão aos dados de largura dos anéis de crescimento.

$$G_t = b_1 \exp^{(-b_2 t)} + b_3 t + b_0$$

Onde:

t: ano de formação de cada anel de crescimento;

b_0 ; b_1 ; b_2 e b_3 : são os coeficientes da equação.

A remoção das tendências foi realizada conforme metodologia indicada por Fritts (1976), cujos dados são transformados em índices de largura dos anéis de crescimento.

$$I_t = \frac{R_t}{G_t}$$

Onde:

I_t : índice de largura dos anéis de crescimento ou índice;

R_t : série de largura dos anéis de crescimento observada;

G_t : tendência de crescimento estimada como função apenas da idade.

A padronização tem dois objetivos (i) remover as tendências não climáticas, relacionadas com a idade das árvores e (ii) permitir que os valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média. Este processo de padronização tem, também, a vantagem de corrigir a heterogeneidade da variância dos dados de largura do anel de crescimento, uma vez que o desvio padrão dos índices deixa de ser função da média, como ocorria antes da padronização.

Obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento: com as séries de anéis de crescimento individuais das árvores das 5 espécies dos 2 sítios corretamente datadas, utilizou-se o software ARSTAN (COOK E HOLMES, 1984) para o desenvolvimento das cronologias. Para evitar que a cronologia final dos anéis de crescimento apresente problemas envolvendo tendências relacionadas a sinais não climáticos e outras flutuações singulares no crescimento, Cook (1989) recomenda que cada série de anéis de crescimento seja padronizada através do ajuste das mensurações originais dos anéis de crescimento com uma função exponencial negativa, seguido da aplicação de um “spline” cúbico, com porcentagem de longitude de série de 67%. Através desse processo de dupla retirada de tendência (“detrending”) torna-se possível a maximização do sinal comum de crescimento e a preservação das oscilações de baixa frequência nas séries de crescimento, permitindo um melhor ajuste, com um maior número de séries. Segundo Holmes (1994), a aplicação da dupla retirada de tendência garante a correção das deficiências de cada ajuste, ou seja, da aplicação de uma função exponencial negativa seguido de um “spline” cúbico, garantindo um bom ajuste final para árvores adultas e jovens, respectivamente, que compõem as séries. Como resultado, obteve-se as cronologias para as séries de cada espécie, para os 2 sítios, calculadas em função da média robusta.

4.6.4 Resposta climática no crescimento das árvores: dendroclimatologia

As funções de resposta são amplamente utilizadas em dendroclimatologia para descrever a relação existente entre o clima e o crescimento das árvores (FRITTS, 1976; GUIOT ET AL., 1982; HEIKKINEN, 1987). Para tanto, as cronologias (índices) de anéis de crescimento das árvores das 5 espécies, dos 2 sítios, geradas pelo programa ARSTAN foram comparadas com os valores mensais de temperatura média e de precipitação acumulada, através da aplicação do software RESPO (“Response Function Analysis”). O software RESPO transforma esses parâmetros climáticos em componentes principais e, em seguida, realiza uma regressão onde a cronologia dos anéis de crescimento torna-se a variável dependente e os parâmetros climáticos as

variáveis independentes. O resultado é uma função de resposta para cada cronologia, que expressa a relação independente entre o crescimento das árvores e o clima

Para a obtenção da resposta climática no crescimento em diâmetro do tronco das árvores das 5 espécies, dos 2 sítios, foram utilizados os dados meteorológicos dos últimos 30 anos (1978-2008), coletados na Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP. Os dados climáticos dos últimos 5 anos, disponíveis junto ao Instituto Agronômico de Campinas, referentes ao sítio A (Paulínia) foram comparados com os do sítio B (Piracicaba), distantes em 60 km, mostrando que não existem diferenças significativas entre os mesmos. Considerando os sítios de estudo, a temperatura média histórica mostrou pequena variação ao longo dos meses (de 18-24 °C). No entanto, a precipitação mensal acumulada apresentou grande variação (250 mm em dezembro-janeiro, 20 mm em julho-agosto). Caracterizam-se, desta forma, a estação climática chuvosa/temperatura elevada (outubro-março) e de seca/temperatura amena (abril-setembro), sendo esta indutora da diminuição e cessação da atividade cambial e, conseqüente, formação dos anéis de crescimento no lenho das árvores das 5 espécies.

4.7 Crescimento radial do tronco das árvores

Com a sincronização dos valores de largura dos anéis de crescimento anuais das árvores das 5 espécies, procedeu-se o estudo do crescimento em diâmetro do tronco das árvores, dos 2 sítios, a partir das variáveis (i) incremento diametral acumulado (IDA) e incremento diametral médio anual (IDMA).

O IDA foi determinado pela soma dos valores de largura dos anéis de crescimento de cada série, de acordo com a espécie, nos sítios A e B. O IDMA foi calculado a partir dos resultados de IDA obtidos, dividido pelo número de anos que compõe cada série de largura de anéis de crescimento. Para termos de comparação, foi calculado, conforme descrito acima, os valores de IDA e IDMA para o período comum de desenvolvimento das árvores da mesma espécie dos sítios A e B.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da fertilidade e teor de Hg dos solos dos sítios A e B

Os resultados da análise de caracterização da fertilidade dos solos e do teor de Hg dos sítios A e B são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Em relação aos elementos minerais indicativos da fertilidade dos solos observaram-se valores discrepantes, principalmente os relacionados aos níveis de fósforo (P). O teor de P obtido no sítio A mostra diferenças marcantes entre as amostras de solo coletadas no pátio da escola SENAI (Repetição 1) em relação as coletadas no pátio da Apliquim (Repetições 2, 3, 4 e 5), distantes entre si em 350 m. Em relação ao sítio B, o teor de P mostrou-se similar ao da Repetição 1/sítio A e, da mesma forma, discrepante quando comparado com o teor de P das amostras de solo coletadas na Apliquim. Foram, também, encontradas diferenças dentro do sítio A e entre os 2 sítios, para os valores de matéria orgânica (34, 31 e 44 g/dm³, nas parcelas 1, 2-3-4-5, do sítio A e 1-2-3-4-5 do sítio B), de K (6,3 no sítio A, 3,9 no sítio B), de pH (4,7 e 5,1 nos sítios A e B), de Mg (11,5 e 15,6 nos sítios A e B), de H+Al (41, 67 e 52, nas parcelas 1, 2-3-4-5, do sítio A e 1-2-3-4-5 do sítio B).

Os valores médios de P nas parcelas 2-3-4-5 e 1 do sítio 1 e nas parcelas 1-2-3-4-5 do sítio 2 foram de 496 e 41 mg/dm³, respectivamente. O maior teor de P nas parcelas 2-3-4-5/sítio A é atribuído ao fato de que, no processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes, houve a emissão desse elemento para a área do entorno da empresa. Salienta-se que as lâmpadas fluorescentes são tubos selados de vidro, preenchidos com gás argônio à baixa pressão e vapor de Hg, sendo o interior do tubo revestido com uma poeira fosforosa composta por inúmeros elementos químicos (alumínio, chumbo, manganês, antimônio, cobre, mercúrio, níquel, etc.), com uma lâmpada de 40 watts possuindo cerca de 4-6 g de poeira fosforosa (FUNASA, 2001).

Em relação aos teores de Hg, observou-se que o sítio A mostra diferenças marcantes entre as amostras de solo coletadas no pátio da escola SENAI (Repetição 1) em relação as coletadas no pátio da Apliquim (Repetições 2, 3), distantes entre si em 350 m. Para o sítio 2 (Piracicaba) o teor de Hg ficou abaixo do limites de quantificação

estipulado pela metodologia empregada; na Repetição 1 esse valor ficou acima do limite de detecção do método. Os valores médios de Hg nas parcelas 2-3 e 1 do sítio 1 e nas parcelas 1-2-3 do sítio 2 foram de 21,5, 0,14 e <0,023 mg/kg, respectivamente.

Esses resultados comprovaram a existência de contaminação de Hg no solo na região do entorno da empresa, em função da presença deste metal pesado no processo de fabricação das lâmpadas fluorescentes, conforme discutido anteriormente. Da mesma forma, os níveis de Hg detectados encontram-se acima do valor de referência de qualidade estabelecido em 0,05 mg/kg pela CETESB (2005).

Tabela 2 - Caracterização da fertilidade do solo dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

Sítio	Repetição	P	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³						%
A	1	37,0	34,0	4,8	6,2	46,0	14,0	41,0	66,0	107,0	62,0
	2	545,0	28,0	5,3	7,0	88,0	15,0	37,0	110,0	147,0	75,0
	3	765,0	38,0	4,0	7,4	4,0	9,0	115,0	56,0	171,0	33,0
	4	237,0	30,0	5,0	4,7	64,0	12,0	45,0	81,0	126,0	64,0
	5	437,0	28,0	4,5	5,9	58,0	10,0	72,0	75,0	147,0	51,0
	Média	496,0	31,0	4,7	6,3	53,5	11,5	67,3	80,5	147,8	55,8
B	1	68,0	41,0	5,3	3,6	70,0	15,0	38,0	88,0	126,0	70,0
	2	34,0	42,0	5,7	4,0	70,0	16,0	24,0	89,0	113,0	79,0
	3	28,0	56,0	3,9	4,9	39,0	9,0	128,0	54,0	182,0	29,0
	4	65,0	44,0	5,3	4,0	66,0	21,0	37,0	91,0	128,0	71,0
	5	9,0	36,0	5,3	3,1	42,0	17,0	32,0	62,0	94,0	66,0
	Média	40,8	43,8	5,1	3,9	57,4	15,6	51,8	76,8	128,6	63,0

Tabela 3 – Teor de Hg no solo dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

Sítio	Amostra	LQ	Resultado analítico
		mg/kg	
A	1	0,025	0,140
	2	0,024	19,000
	3	0,023	24,000
	Média	-	21,500
B	1	0,022	< 0,022
	2	0,021	< 0,021
	3	0,022	< 0,022

5.2 Caracterização das árvores dos sítios A e B

Os valores do DAP do tronco das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, e a distância das árvores das espécies plantadas nos pátios da empresa Apliquim e do SENAI, no sítio A em relação a fonte de emissão do Hg são apresentados na Tabela 4.

O diâmetro médio observado das árvores de *G. robusta* foram de 30 e 33 cm; de *H. dulcis* de 23 e 32 cm; de *P. americana* de 33 e 26 cm; de *T. pentaphylla* de 42 e 30 cm; de *T. catappa* de 31 e 24 cm, nos sítios A e B, respectivamente. As árvores das 5 espécies amostradas nos 2 sítios apresentavam características normais de ramificação e retidão do tronco, não sendo observados sintomas de infestação e infecção por insetos e fungos, injúrias ou cicatrizes decorrentes de poda de ramos, parasitismo por outras espécies (ex.; erva-de-passarinho).

As árvores mais próximas da fonte de emissão de Hg são as *G. robusta* (14 m), seguindo-se as de *H. dulcis* (25 m), *T. pentaphylla* (42 m) e *T. catappa* (42 m), localizadas no pátio da empresa Apliquim e, as mais distantes, as de *P. americana* (321 m), localizadas no pátio do SENAI.

Tabela 4 – Valores de DAP do tronco das árvores das 5 espécies nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba) e distância da fonte emissora de Hg das árvores no sítio A

Sítio	Espécie	Árvore	DAP (cm)	Distância da fonte emissora de Hg (m)	
A	<i>Grevillea robusta</i>	1	29,3	12,6	
		2	21,6	11,8	
		3	27,1	12,6	
		4	22,6	19,2	
	<i>Hovenia dulcis</i>	1	24,2	22,9	
		2	22,0	24,7	
		3	22,3	26,1	
	<i>Persea americana</i>	1	35,0	405,3	
		2	31,5	309,6	
		3	24,5	293,0	
		4	29,3	275,0	
	<i>Tabebuia pentaphylla</i>	1	54,1	38,9	
		2	34,1	41,1	
		3	37,9	46,0	
	<i>Terminalia catappa</i>	1	35,3	10,4	
		2	25,8	49,0	
		3	33,7	52,6	
		4	25,1	56,1	
	B	<i>Grevillea robusta</i>	1	29,6	.
			2	35,0	.
3			36,6	.	
4			29,9	.	
<i>Hovenia dulcis</i>		1	41,4	.	
		2	31,8	.	
		3	26,4	.	
		4	28,3	.	
<i>Persea americana</i>		1	26,4	.	
		2	23,6	.	
		3	29,0	.	
		4	25,1	.	
<i>Tabebuia pentaphylla</i>		1	33,7	.	
		2	28,0	.	
		3	28,0	.	
		4	28,3	.	
<i>Terminalia catappa</i>		1	25,5	.	
		2	23,9	.	
		3	26,4	.	
		4	22,9	.	

5.3 Avaliação do teor de Hg no lenho das árvores

Os resultados da determinação do teor de Hg no lenho das árvores das 5 espécies, *G. robusta*, *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e *T. catappa* (sítio A, Paulínia, pátio da empresa emissora de Hg) e de *P. americana* (sítio A, Paulínia, pátio do SENAI, distante de 350 m), são apresentados na Tabela 5.

O valor de Hg variou de 4,954, 4,697, 1,988, 0,969 e 0,000 $\mu\text{g/g}$ no lenho das árvores de *G. robusta*, *T. catappa*, *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e de *P. americana*, respectivamente. Esses resultados indicam uma forte influência da localização das árvores em relação a fonte de emissão do Hg: as árvores de *G. robusta*, *T. catappa*, *H. dulcis*, *T. pentaphylla*, distantes de 14 a 42 m (média de 28 m) da fonte, apresentaram elevados teores de Hg (média de 3,150 $\mu\text{g/g}$) no seu lenho; as árvores de *P. americana*, distante de 320 m, não apresentaram teor de Hg no lenho.

Da mesma forma, o teor de Hg no lenho das árvores tem relação com o determinado no solo, uma vez que as análises indicaram valores médios e significativos de 21,5 e de 0,14 mg de Hg/kg no solo dos locais mais próximos e do mais distante da fonte de emissão, do sítio A, em Paulínia, respectivamente.

Os resultados indicam, também, que as árvores de *G. robusta* e de *T. catappa* apresentam maior capacidade de absorção e de fixação do Hg no seu lenho, seguindo-se as de *H. dulcis* e de *T. pentaphylla*, quando expostas as condições de contaminação ambiental pelo metal pesado. De acordo com a literatura especializada (item 3.5. Revisão Bibliográfica), os metais pesados, como o Hg, podem ser absorvidos pelas raízes, pelas folhas e pela casca das árvores e transportados pelo xilema ativo, fixando-se no lenho (FORGET e ZAYED, 1995).

Segundo Millhollen et al. (2006a), a quantidade de Hg que as folhas podem absorver da atmosfera varia com a espécie florestal sendo, sua entrada no interior da árvore, dependente da morfologia da folha, da velocidade e da direção do vento, das concentrações de Hg no solo e na atmosfera, etc. A literatura tem reportado diferenças na absorção de Hg, da ordem 0,04 - 2,45 ng/g, no lenho de árvores de 3 diferentes espécies cultivadas em áreas com histórico de contaminação no Canadá (SIWIK, 2007).

Apesar do número restrito de amostras do lenho das árvores das 5 espécies, analisadas nesta fase inicial das pesquisas, observa-se que estas estão absorvendo e acumulando o Hg em alta concentração nos seus lenhos sem, no entanto, haver indicações de que o seu crescimento e desenvolvimento estejam sendo afetados. Esta constatação é de fundamental importância para a continuidade dos estudos que apliquem as determinações do Hg no monitoramento ambiental, através da análise dos

anéis de crescimento (dendroquímica). Neste sentido, diversos estudos que utilizam os anéis de crescimento como ferramenta para o monitoramento de diferentes metais pesados, entre eles o Hg, têm sido realizados no Brasil e no exterior. Como exemplo, além dos mencionados na revisão da literatura, cita-se o trabalho de Vives et al. (2007), que avaliaram as concentrações dos elementos P, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Ba e Pb em anéis de crescimento anuais de árvores de *Caesalpinia peltophoroides* (sibipiruna) no estado de São Paulo, determinando uma cronologia da poluição urbana e concluindo que a espécie pode ser aplicada no monitoramento ambiental. Da mesma forma, são importantes as pesquisas direcionadas ao entendimento dos mecanismos fisiológicos de absorção e de fixação dos metais pesados, com ênfase ao Hg, no tronco das árvores das espécies mantidas sob diferentes tempos e concentração de exposição.

Tabela 5 - Teor de Hg no lenho das árvores de *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa* e de *Persea americana*: sítio A, Paulínia, pátio da empresa emissora de Hg; *P. americana*: sítio A, Paulínia, pátio do SENAI, distante de 350 m

Espécie	Massa da amostra (g)	Teor de Hg (µg/g)	Distância em relação a fonte emissora (m)
<i>Grevillea robusta</i>	0,489	4,954	14,1
<i>Hovenia dulcis</i>	0,502	1,981	24,6
<i>Tabebuia pentaphylla</i>	0,493	0,969	42,0
<i>Terminalia catappa</i>	0,509	4,697	42,0
Média	0,498	3,150	30,7
<i>Persea americana</i>	0,498	0,000	320,7

5.4 Caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores

5.4.1 Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia macro e microscópica

As seções transversais macro e microscópica do lenho das árvores das 5 espécies, plantadas nos sítios A e B, com destaque para a caracterização e demarcação dos limites dos anéis de crescimento, são apresentadas na Figura 10, A-E.

No lenho das árvores de *G. robusta* as camadas de crescimento são caracterizadas pela presença de zonas fibrosas, irregularmente espaçadas, associadas as faixas de parênquima axial escalariforme mais espaçadas, raios mais largos e pela

diminuição sutil do diâmetro dos vasos (Figura 10 A1-2). Os anéis de crescimento são mais facilmente notados através do exame macroscópico, de menor ampliação, pela transição gradual das camadas de crescimento, atingindo até 10 mm de espessura: os anéis de crescimento excessivamente largos dificultam a inclusão dos lenhos inicial-tardio em cortes histológicos do lenho para exame microscópico. As características dos anéis de crescimento das árvores de *G. robusta* corroboram as relatadas por Nisgoski et al. (1998), e contradizem as apresentadas por Richter e Dallwitz (2002), que consideram que as camadas de crescimento são indistintas para a espécie.

No lenho das árvores de *H. dulcis* as camadas de crescimento são distintas e possuem transição gradual entre os lenhos inicial e tardio de um mesmo anel de crescimento e abrupta em relação ao anel de crescimento formado no ano subsequente; a formação de fina camada de parênquima marginal (3-4 células) e de vasos de maior diâmetro no lenho inicial (anel semi-poroso) caracterizam o lenho inicial, seguindo-se, no lenho tardio, uma gradativa diminuição do diâmetro dos vasos (solitários e múltiplos de 2-4) e fileiras de fibras de parede mais espessa. A transição das camadas de crescimento pode ser observada a olho nu na superfície polida da seção transversal das amostras do lenho (Figura 10 B1-2). As informações referentes a estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento de árvores de *H. dulcis* são escassas na literatura, mencionando-se a realizada por Itoh (1998), no Japão, a qual corrobora com a descrição do presente trabalho.

No lenho das árvores de *P. americana* as camadas de crescimento são distintas e, na sua demarcação, caracterizadas pelo espessamento e achatamento radial das paredes das fibras e pela redução da frequência e diâmetro de elementos de vaso (Figura 10 C1-2). Da mesma forma, a literatura apresenta poucas informações a respeito da anatomia dos anéis de crescimento da espécie, sendo que Guzmán (1999), relata que os anéis de crescimento são indistintos ou ausentes, para árvores de abacateiro de plantação de 17 anos, no México.

No lenho das árvores de *T. pentaphylla*, as camadas de crescimento são distintas, demarcadas por finas linhas de parênquima marginal, facilmente distinguíveis, principalmente, na região do alborno, por zonas fibrosas escuras de fibras de paredes

espessas e, às vezes, pela ausência de vasos (Figura 10 D1-2). Estas características anatômicas dos anéis de crescimento do lenho de árvores de ipê-rosa corroboram com as apresentadas por outros autores (KRIBS, 1968; CAMACHO-URIBE, 1988), bem como para as demais espécies de ipê, da família Bignoniaceae (LISI et al., 2008).

No lenho das árvores de *T. catappa* as camadas de crescimento são demarcadas distintamente por uma fina faixa de parênquima marginal, algumas vezes associada ao parênquima axial apotraqueal confluyente; pelo espessamento e achatamento radial da parede das fibras, em variações significativas do diâmetro dos vasos ao longo e na transição dos anéis de crescimento (Figura 10 E1-2). O lenho de árvores de *T. catappa* tem sido apresentado na literatura em trabalhos realizados por diversos autores (PEARSON e BROWN, 1932; VAN VLIET, 1979; DETIENNE e JACQUET, 1983) com a descrição semelhante a observada para as árvores da espécie, no presente trabalho.

No sentido radial das amostras do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, observam-se que, nos anos iniciais de seu crescimento e desenvolvimento, os anéis de crescimento são, de modo geral, mais largos e menos distintos; no xilema formado após 10-11 anos, para a maioria das árvores das 5 espécies, os anéis de crescimento são mais característicos e perceptíveis a olho nu e de menor largura, em função da redução da taxa de crescimento anual do tronco. Da mesma forma, as árvores apresentaram elevada taxa de crescimento em diâmetro do tronco em determinadas fases do seu desenvolvimento, resultando na formação de anéis de crescimento de largura acima de 10 mm, caracterizados por transição pouco distinta entre os lenhos inicial/tardio. Para a datação correta dos anéis de crescimento com estas características, nas fases experimentais de datação e de sincronização, foi aplicado o programa de dendrocronologia COFECHA, para uma demarcação precisa e para a identificação dos anéis de crescimento falsos.

As condições climáticas verificadas nos municípios de Paulínia e Piracicaba, (invernos secos com déficit hídrico; verões úmidos com excesso de água no solo) são os principais fatores de indução da sazonalidade dos eventos fenológicos (as árvores das espécies de *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e de *T. catappa* são caducifólias ou semi-

caducifólias, durante a estação seca do ano) e da atividade cambial e com conseqüente formação de anéis de crescimento das árvores.

Inúmeros autores têm constatado em árvores de espécies tropicais e subtropicais que a incidência de uma estação seca anual com duração de 2-3 meses e com precipitação mensal inferior a 60 mm induz uma redução ou paralisação da atividade cambial, levando a formação de anéis de crescimento anuais no lenho das árvores (VETTER e BOTOSSO, 1989; SILVA et al., 1991; WORBES, 1995).

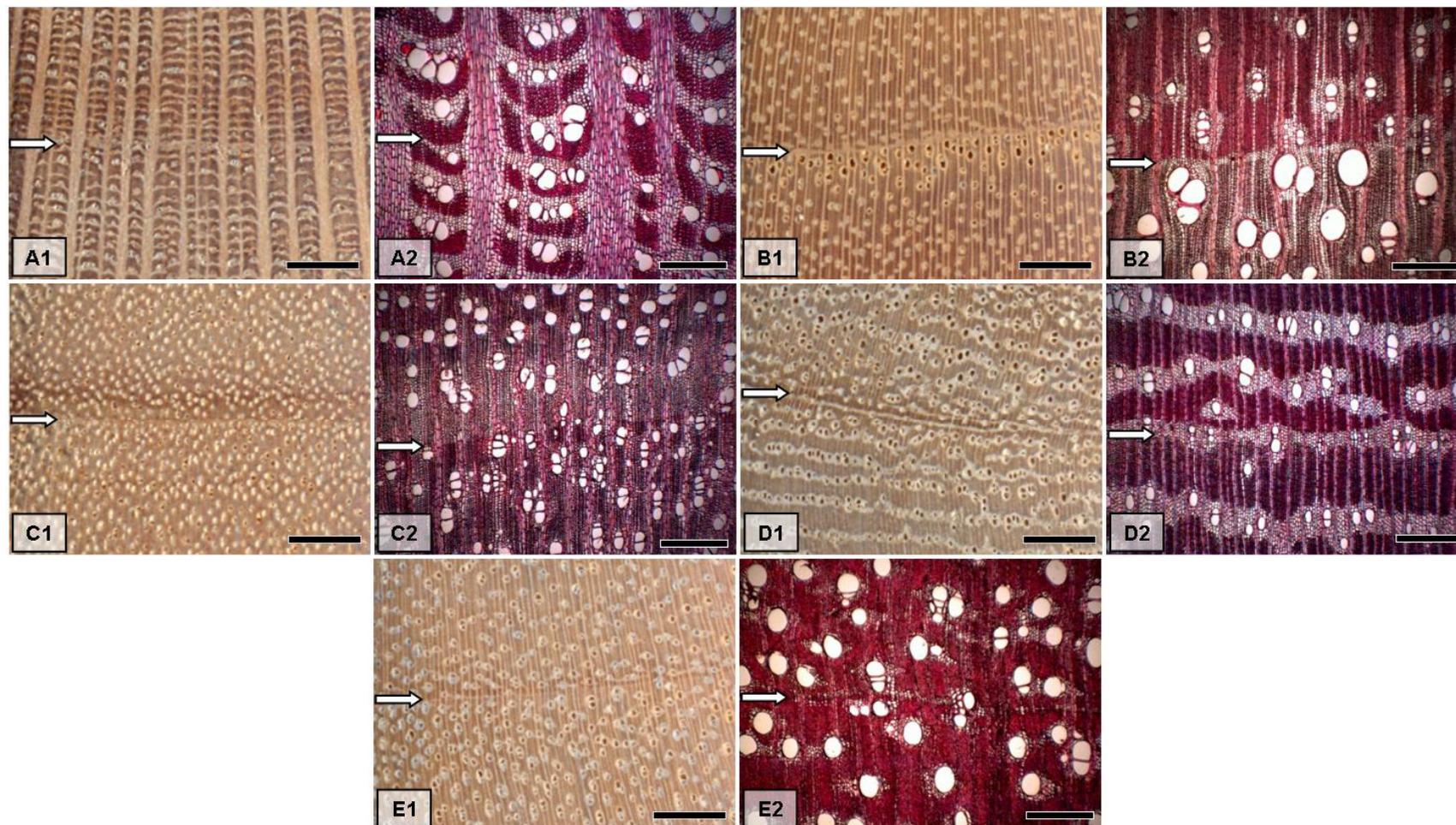


Figura 10 – Seções transversais do lenho das árvores de *Grevilha robusta* (A1-2), *Hovenia dulcis* (B1-2), *Persea americana* (C1-2), *Tabebuia pentaphylla* (D1-2) e de *Terminalia catappa* (D1-2) evidenciando os anéis de crescimento. Imagens macroscópicas (barra= 3 mm); microscópicas (barra= 500 µm). As setas indicam a demarcação dos limites dos anéis de crescimento

5.4.2 Caracterização dos anéis de crescimento: densitometria de raios X

As seções transversais das amostras do lenho representativas das árvores das 5 espécies são apresentadas na Figura 11 A-E, com os respectivos perfis radiais de densidade aparente. Observa-se que a estrutura anatômica do lenho de cada espécie relaciona-se com o modelo de perfil de variação da densidade, sendo este resultado da obtenção de valores de densidade do lenho a cada 50 μm (WALKER e DODD, 1988).

A delimitação dos anéis de crescimento por células do parênquima longitudinal marginal e vasos em anéis semi-porosos resulta dos valores de densidade mínima, exemplo, em árvores de *H. dulcis*, por exercem menor atenuação a passagem dos raios X, durante a irradiação das amostras do lenho.

Por outro lado, camadas de células de fibras de parede espessa e com achatamento radial da sua largura e com redução da freqüência e do diâmetro dos vasos delimitando anéis de crescimento, resultam em valores de densidade máxima, (exemplo, em árvores de *T. catappa* e de *T. pentaphylla*), pela maior atenuação dos feixes de raios X, no processo de irradiação.

Para estas espécies, além da largura dos anéis de crescimento, podem ser determinados, por densitometria de raios X, os valores de densidade média, máxima e mínima dos lenhos inicial-tardio de uma série de anéis de crescimento (referente a variação inter-anual) e do lenho inicial-tardio de um anel de crescimento (variação intra-anual).

Nas demais espécies, como no lenho das árvores de *P. americana*, os anéis de crescimento da região do alburno não são nitidamente demarcados, formando, nestes segmentos do lenho, perfis de densidade de menor resolução, indicando a necessidade de detalhada análise da estrutura anatômica (Figura 10 C).

As características da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento das árvores de *G. robusta* - faixas aproximadas de parênquima axial escalariforme e de parênquima radial largo e a pequena variação do diâmetro dos vasos (Figura 10 A1-2) – resultam em um perfil de densidade do lenho, sem um padrão de variação característico, que permita delimitar os anéis de crescimento (Figura 11 A).

As características anatômicas do lenho e sua relação com o perfil de densidade, para árvores de folhosas, semelhantes as das 5 espécies, foi apresentado por vários autores (TOMAZELLO et al., 2001) mostrando, de certa forma, semelhanças ao observado para o lenho de árvores de *Pinus taeda* por Amaral (1994), em seu trabalho de implantação da metodologia de densitometria de raios X e por Lousada (1990) para os anéis de crescimento do lenho de árvores de *Pinus pinaster*.

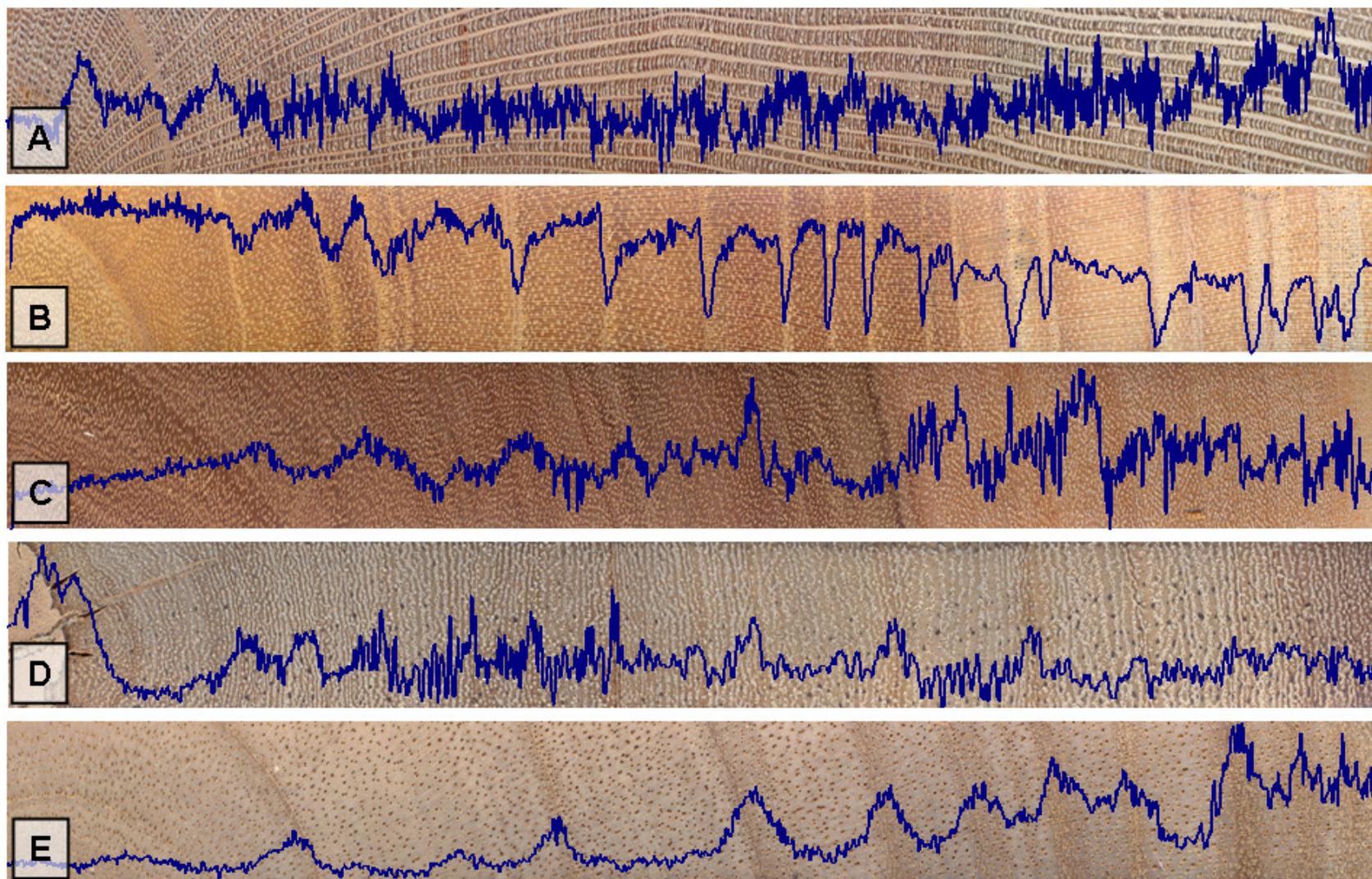


Figura 11 – Seções transversais do lenho e respectivos perfis radiais de densidade das árvores das 5 espécies, nos 2 sítios: (A) *Grevillea robusta*; (B) *Hovenia dulcis*; (C) *Persea americana*; (D) *Tabebuia pentaphylla*; (E) *Terminalia catappa*

Os perfis radiais e os valores de densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, são apresentados nas Tabelas 7 e 8, nas Figuras 12 a 16 e nos Anexos A e B.

Para as árvores de *G. robusta*, os valores de densidade aparente média, máxima e mínima não mostraram diferenças significativas nos sítios A e B, apesar dos valores médios de 0,76 e 0,69 g/cm³, respectivamente. Esses valores são superiores ao de densidade básica do lenho para as árvores da espécie, determinada em 0,52 g/cm³, por Perreira et al. (2000) e Iwakiri et al (2004).

Da mesma forma, para as árvores de *H. dulcis*, não houve diferença significativa da densidade média do lenho para os sítios A e B, com valores de 0,87 e 0,98 g/cm³, sendo, no entanto, diferentes para a densidade máxima e mínima, pela alta variabilidade existente ao longo do raio, representada pela queda acentuada no limite das camadas de crescimento (Figura 11). Os valores de densidade média do lenho são superiores ao da densidade básica de 0,55 g/cm³, obtido por Rigatto et al. (2001).

No entanto, para as árvores de *P. americana*, os valores de densidade média do lenho de 0,81 (sítio A) e de 0,54 g/cm³ (sítio B) foram significativos e superiores aos citados na literatura (REYES et al., 1992; VALE et al., 2005).

Para as árvores de *T. pentaphylla* não houve diferença significativa para a densidade média, máxima e mínima do lenho, entre os 2 sítios, com a literatura relatando valores médios superiores (REYES et al. 1992) e inferiores (KOMORI 2006) aos do presente trabalho.

Em árvores de *T. catappa* houve uma diferença significativa entre os valores de densidade aparente média nos sítios A e B, com 0,59 e 0,80 g/cm³, respectivamente. A densidade básica do lenho dessa espécie, apresentada por Reyes (1992), é de 0,52 g/cm³, enquanto Thomson e Evans (2006), indicam valor de 0,54 g/cm³.

Avaliando-se a relação entre a idade e a densidade aparente média do lenho das árvores observa-se em *H. dulcis* e *P. americana*, uma relação direta entre a densidade do lenho-idade das árvores; em *T. pentaphylla*, valores próximos de densidade do

lenho-idade das árvores; e em *T. catappa*, densidade do lenho com diferença significativa-idade das árvores próxima (Tabela 8).

O aumento da densidade do lenho das árvores, em relação a sua idade, está relacionado com as variações da estrutura anatômica e composição química, no sentido radial, como o aumento da espessura da parede celular, diminuição da largura das células, deposição de extrativos, etc. (VITAL et al., 1984). As alterações que ocorrem no lenho, ao longo dos anos de desenvolvimento e crescimento das árvores, estão associadas a formação de madeira juvenil e adulta. Segundo Koga (1988), o lenho juvenil é formado nos primeiros anos na região próxima da medula, podendo ocupar 85% do lenho do tronco de árvore de 15 anos, e cerca de 10%, aos 30 anos. Algumas das principais características da madeira juvenil em folhosas são (i) menor densidade básica, (ii) menor comprimento das fibras e vasos, (iii) menor diâmetro celular, (iv) maiores proporções de fibras e menores proporções de vasos, (v) paredes celulares mais finas, (vi) maiores ângulos fibrilares, (vii) paredes celulares mais finas, (viii) menos celulose e glucomanas.

Analisando os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B (Figuras 12 a 16) verifica-se que, para o lenho de:

- *G. robusta*, uma intensa oscilação dos valores radiais de densidade aparente do lenho, em função das características de sua estrutura anatômica, conforme discutido anteriormente; a linha de referência do valor médio da densidade do lenho evidencia na árvore do (i) sítio A, uma ligeira queda até 40% do raio, estabilização e redução na região do alburno; do (ii) sítio B, estabilização na região central, redução, seguindo-se estabilização e ligeiro aumento no alburno (Figura 12).

- *H. dulcis*, da mesma forma, uma característica oscilação dos valores de densidade, resultante da sua anatomia, sendo que no (i) Sítio A, um aumento sutil até 30-40% do raio e constante até a casca; no (ii) Sítio B uma tendência de diminuição da densidade (Figura 13).

- *P. americana*, nos sítios A e B, um aumento da densidade até 60 % do raio, estabilizando (sítio A) e diminuindo gradualmente (sítio B) (Figura 14).

- *T. pentaphylla*, do (i) sítio A, diminuição da densidade até 30% do raio e aumento gradativo até a casca; do (ii) sítio B, aumento até 20% do raio, queda até 85% e, posterior estabilização (Figura 15).

- *T. catappa*, nos sítios A e B, um aumento de densidade até 80% do raio, seguido de redução, na região da medula (Figura 16).

Silva (2004), afirma que a densidade do lenho varia entre gêneros, espécies, árvores de uma mesma espécie e diferentes partes da árvore (sentido longitudinal e radial). Estas variações, segundo Kollmann e Coté (1968), devem-se às diferenças na estrutura anatômica do lenho e na quantidade de extrativos sendo, função, da idade da árvore, genótipo, clima, solo, tratos silviculturais, etc..

A aplicação da densitometria de raios X mostrou ser uma ferramenta valiosa na demarcação dos limites dos anéis de crescimento, tornando possível a mensuração da sua largura e a determinação da densidade inter e intra-anéis. Esta análise constitui-se em importante e segura fonte de informação para a aplicação em dendrocronologia, direcionada a determinação da idade, taxa de crescimento, reconstruções climáticas, etc.. (TOMAZELLO FILHO et al., 2000).

Tabela 7 - Densidade aparente média, máxima e mínima do lenho das árvores de *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

Variáveis	Espécie									
	<i>G. robusta</i>		<i>H. dulcis</i>		<i>P. americana</i>		<i>T. pentaphylla</i>		<i>T. catappa</i>	
	Sítio		Sítio		Sítio		Sítio		Sítio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Densidade aparente média (g/cm ³)	0,76 a	0,69 a	0,87 a	0,98 a	0,81 a	0,54 b	0,60 a	0,60 a	0,59 b	0,80 a
Densidade aparente máxima (g/cm ³)	1,06 a	0,98 a	1,03 b	1,31 a	1,07 a	0,75 b	0,87 a	0,92 a	0,89 a	1,09 a
Densidade aparente mínima (g/cm ³)	0,46 a	0,42 a	0,68 a	0,49 b	0,41 a	0,36 a	0,38 a	0,42 a	0,41 a	0,51 a
Desvio Padrão	0,10	0,09	0,06	0,15	0,10	0,07	0,07	0,07	0,09	0,12
Coefficiente de variação (%)	13,47	13,49	6,87	15,04	12,57	12,99	11,24	12,21	14,56	14,73

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em um nível α 0,05

Tabela 8 - Idade e densidade aparente média do lenho das árvores de *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

Variáveis	Espécie									
	<i>G. robusta</i>		<i>H. dulcis</i>		<i>P. americana</i>		<i>T. pentaphylla</i>		<i>T. catappa</i>	
	Sítio		Sítio		Sítio		Sítio		Sítio	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Idade das árvores (anos)	.	.	18	28	37	14	24	23	17	15
Densidade aparente média (g/cm ³)	0,76	0,69	0,87	0,98	0,81	0,54	0,60	0,60	0,59	0,80

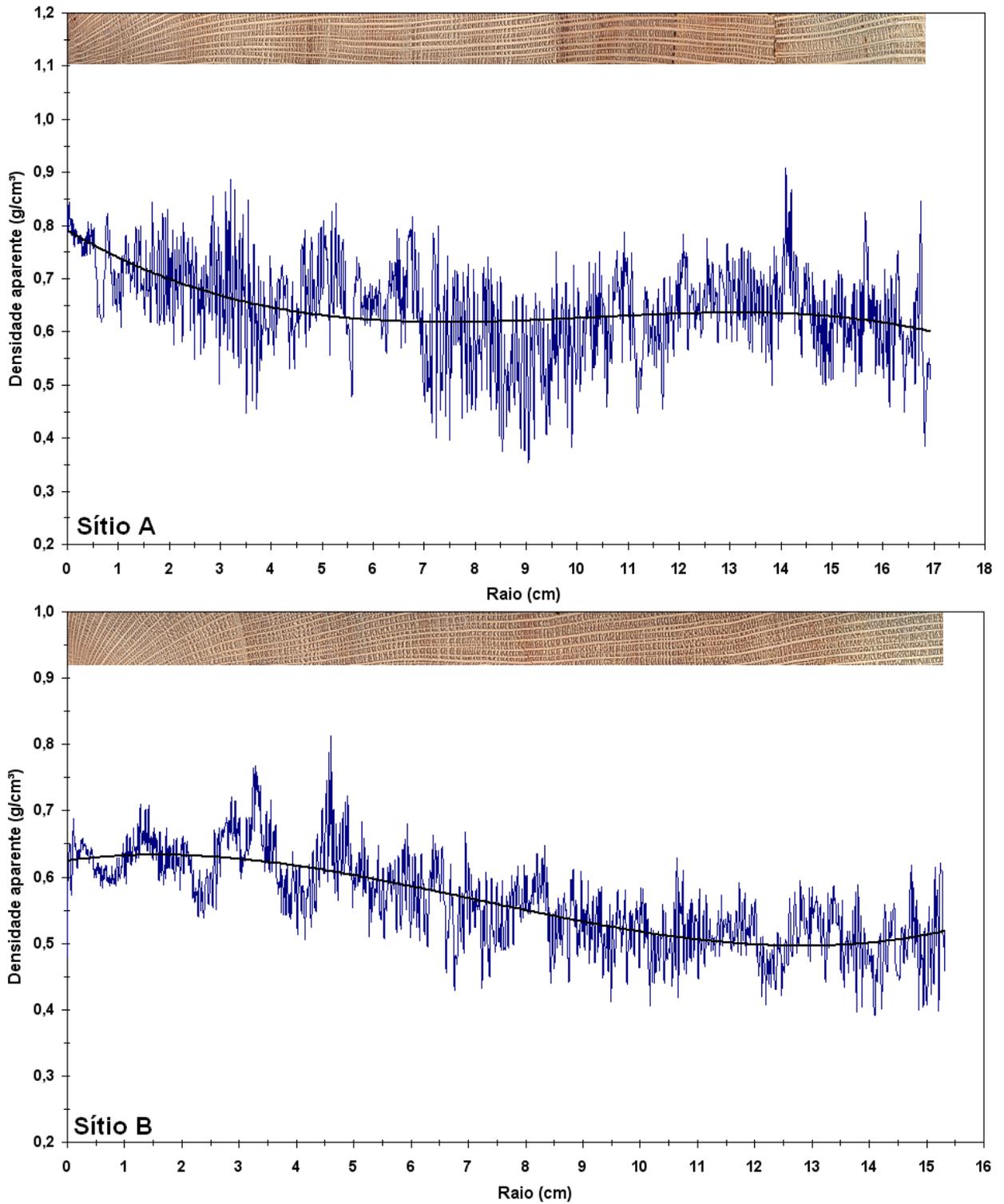


Figura 12 - Variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Grevillea robusta* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

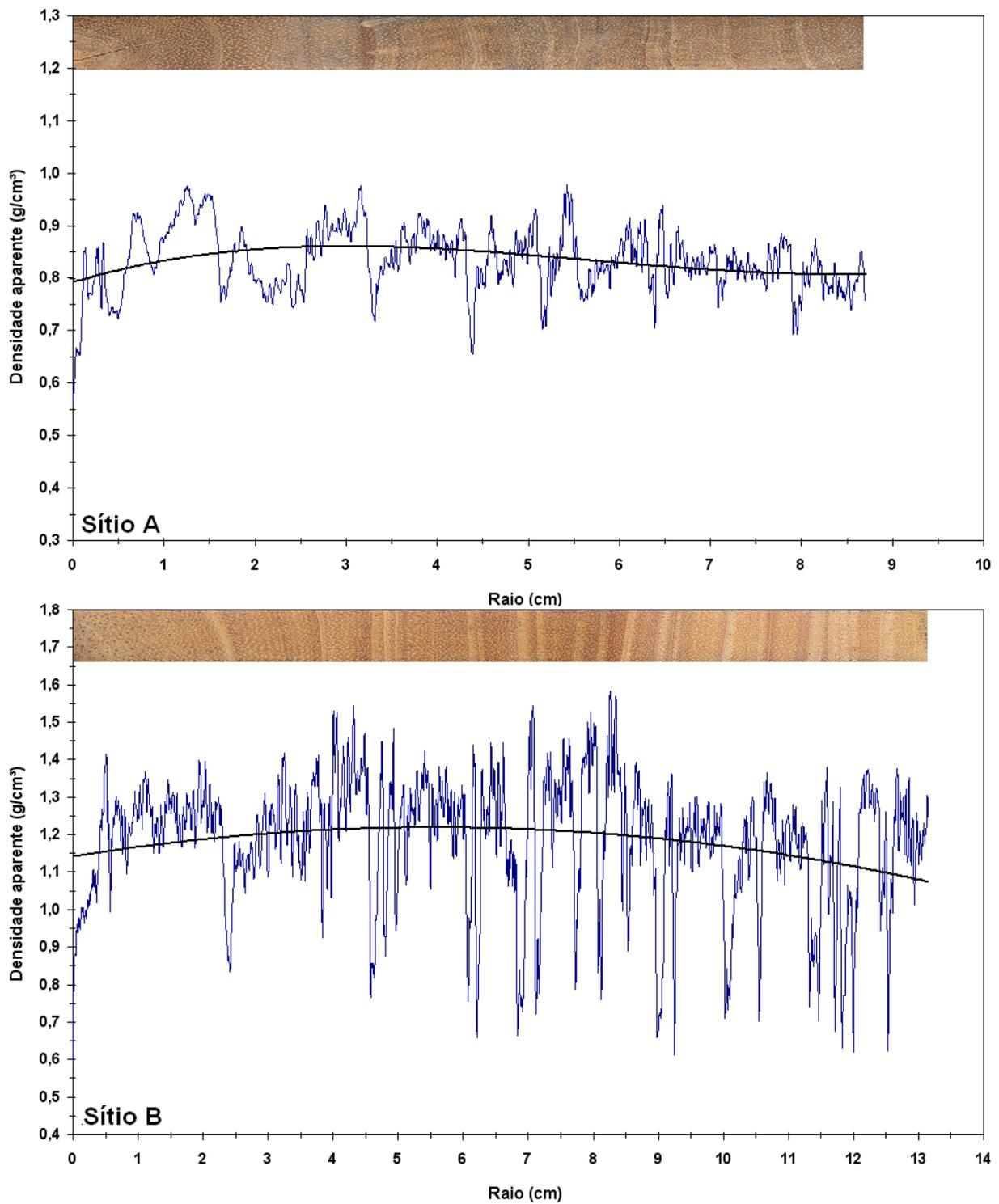


Figura 13 - Variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Hovenia dulcis* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

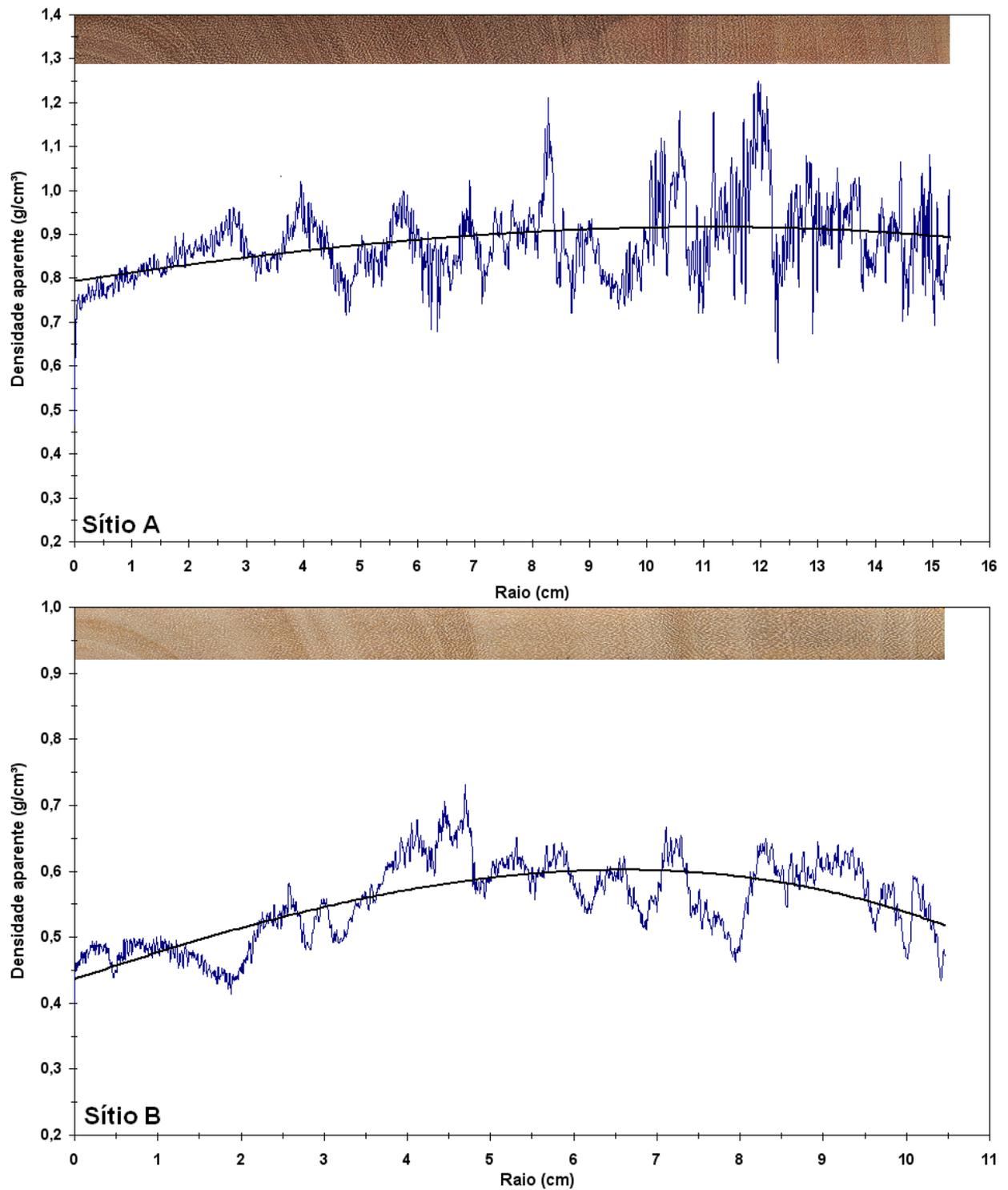


Figura 14 - Variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Persea americana* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

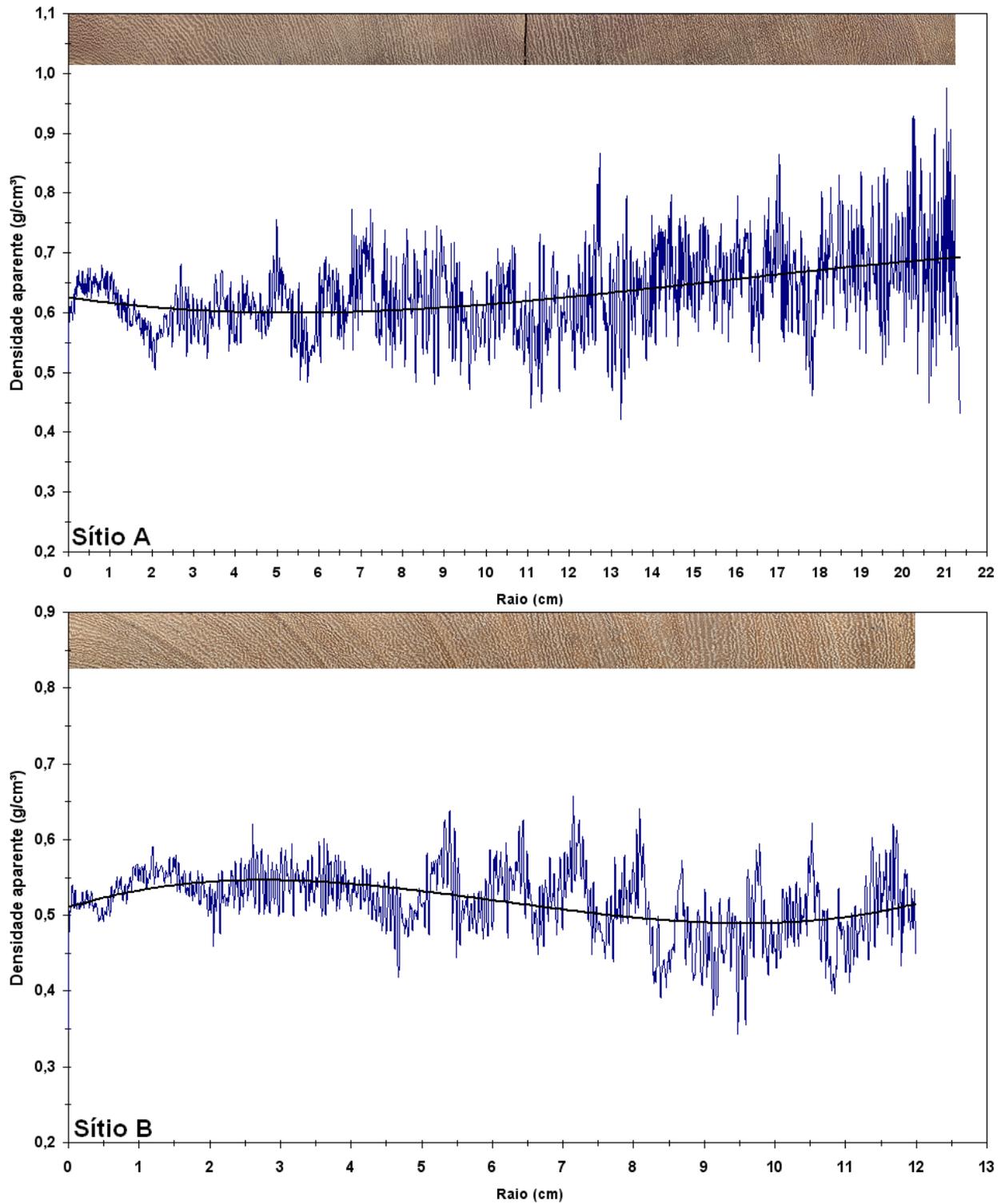


Figura 15 - Variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Tabebuia pentaphylla* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

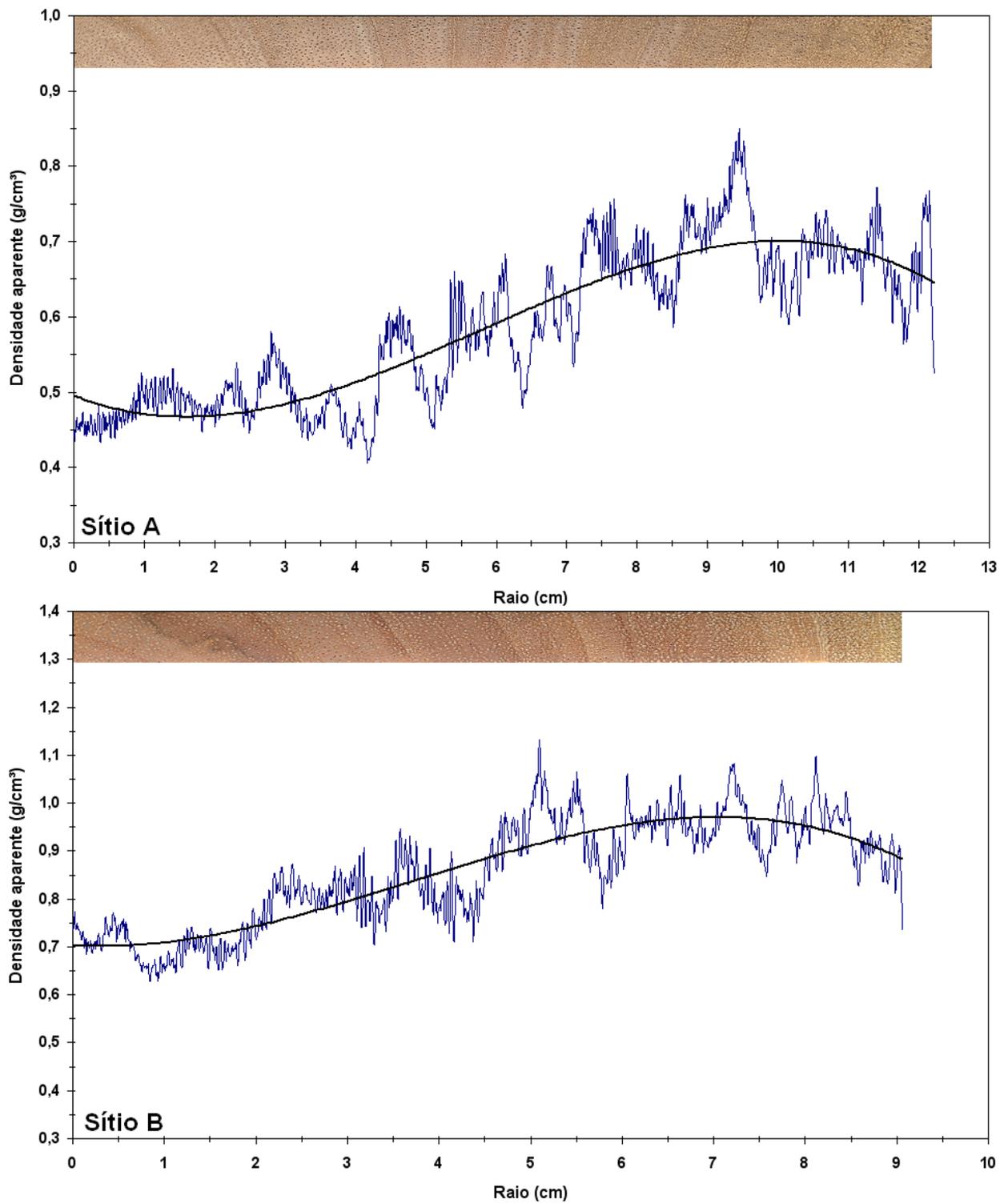


Figura 16 - Variação radial da densidade aparente do lenho das árvores de *Terminalia catappa* dos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

5.5 Caracterização dos anéis de crescimento: dendrocronologia

5.5.1 Sincronização e obtenção das séries dos anéis de crescimento

Obtidos os valores radiais de largura dos anéis de crescimento (séries de largura dos anéis de crescimento) das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, procedeu-se a sua sincronização pela aplicação do software COFECHA. Na etapa de sincronização ajustou-se uma função de remoção das tendências de crescimento das árvores - o spline cúbico - onde o valor de cada série foi dividido por seu valor correspondente da curva spline. Este procedimento é considerado conservador em dendrocronologia, tendo como objetivo manter o máximo possível os sinais de baixa frequência, como exemplo os sinais climáticos. Em seguida, o software COFECHA, através da comparação entre as séries residuais a cada 50% de longitude de série, apresentou o valor da correlação de Pearson, existente entre cada série de largura de anel de crescimento e a série “master” (resultado da média das séries de anéis de crescimento individuais). A análise dos valores de correlação evidenciou que, para algumas séries de anéis de crescimento, não se obteve um bom ajuste a série “máster”: estas foram excluídas da análise, garantindo que a sincronização final atingisse o valor do nível crítico de significância (Pearson 99%).

O resultado das correlações e das idades obtidas para as árvores de *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* e *T. catappa*, analisadas separadamente para os sítios A e B, mostrou uma boa sincronização, evidenciando a existência de um sinal comum que permite um bom ajuste entre as séries individuais dos anéis de crescimento. Assim, como resultado do controle de qualidade das séries, obteve-se uma série cronológica final (“máster”) altamente representativa para cada espécie, expressa pelos valores de intercorrelação, em relação ao nível crítico de significância (Tabela 9).

Da mesma forma, a sincronização conjunta da série de anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies, dos sítios A e B, obtida através da datação cruzada apresentou correlações significativas (Tabela 10). Esta significância indica que as características comuns (coincidências) observadas entre as seqüências cronológicas dos anéis de crescimento representam a resposta das árvores das 5 espécies a um similar ciclo sazonal de crescimento em diâmetro do tronco.

Para as árvores de *G. robusta*, as séries cronológicas dos seus anéis de crescimento não apresentaram correlações significativas com suas respectivas séries “máster”, devido a pouca nitidez dos limites dos seus anéis de crescimento, aplicando as análises macro-microscópica e de densitometria de raios X. Os erros de medição, como a demarcação de anéis de crescimento falsos e a presença de anéis de crescimento ausentes foram corrigidos e, novamente, as séries de anéis de crescimento sincronizadas. Da mesma forma, os novos resultados mostram valores de correlação abaixo dos níveis críticos de significância, levando a remoção desta espécie das análises subseqüentes.

Tabela 9 – Qualidade da sincronização entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

Sítio	Espécie	Número de amostras	Idade da série	Intercorrelação das séries	Correlação crítica
A	<i>Hovenia dulcis</i>	5	18	0,742	0,512
	<i>Persea americana</i>	7	37	0,389	0,366
	<i>Tabebuia pentaphylla</i>	6	24	0,509	0,472
	<i>Terminalia catappa</i>	8	17	0,754	0,592
B	<i>Hovenia dulcis</i>	7	28	0,457	0,422
	<i>Persea americana</i>	7	14	0,631	0,592
	<i>Tabebuia pentaphylla</i>	7	23	0,502	0,482
	<i>Terminalia catappa</i>	6	15	0,719	0,592

Tabela 10 – Qualidade da sincronização conjunta entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies, para os sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

Espécie	Número de amostras	Idade da série	Intercorrelação das séries	Correlação crítica
<i>Hovenia dulcis</i>	12	28	0,445	0,423
<i>Persea americana</i>	14	37	0,471	0,392
<i>Tabebuia pentaphylla</i>	10	25	0,471	0,462
<i>Terminalia catappa</i>	14	18	0,553	0,515

A padronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento das 5 espécies para os 2 sítios, com a remoção das tendências biológicas do crescimento em diâmetro das árvores não relacionadas com o clima, através da aplicação de uma função de “spline” cúbico, resultou em bons resultados. A porcentagem de longitude de série utilizada foi de 67%, que assegurou que as variâncias de baixa frequência não se perdessem e a tendência de crescimento fosse removida (COOK, 1989). No critério de seleção do “spline” cúbico, Delgado (2000), destaca a importância de se levar em consideração os melhores resultados obtidos para cada caso de estudo, sendo que, em dendroclimatologia, este spline é tido como o que proporciona a melhor reconstrução climática.

O modelo aplicado para todas as árvores das 5 espécies, nos 2 sítios, indica que as árvores encontram-se, ainda, na fase de crescimento juvenil, apresentando uma pequena redução da largura dos anéis de crescimento mais próximas da medula, mas sem atingir valores constantes. Esta tendência de crescimento, segundo Cook (1989), e Kairiukstis (1989), é típica de árvores crescendo e desenvolvendo-se de forma isolada ou localizadas em dosséis florestais mais abertos. As séries padronizadas de anéis de crescimento do tronco das árvores de *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* e de *T. catappa*, para os sítios A e B e sítios A-B (agrupados) e o número de amostras do lenho aplicadas nas análises, encontram-se nas Figuras 17 a 20, respectivamente.

A possibilidade de agrupar as espécies arbóreas dos 2 sítios, nas análises dendrocronológicas mostra que o resultado das séries temporais de largura de anéis de crescimento (índices) é uma representação de um padrão comum de variabilidade partilhada por essas árvores. Também, pode ser considerada como uma representação da variação da largura dos anéis de crescimento, ao longo dos anos, que é independente da idade, da dimensão, da posição e do grau de perturbação, evidenciando, somente, as influências ambientais dos sítios.

Ainda, com referência a correlação positiva entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento das árvores, para os 2 sítios, os resultados apontam que estas espécies possuem potencial para estudos de construção de redes cronológicas mais

extensas, a partir da ampliação da amostragem do lenho de outras árvores dessas espécies, que se desenvolvem em locais diferentes, embora de mesmo macroclima.

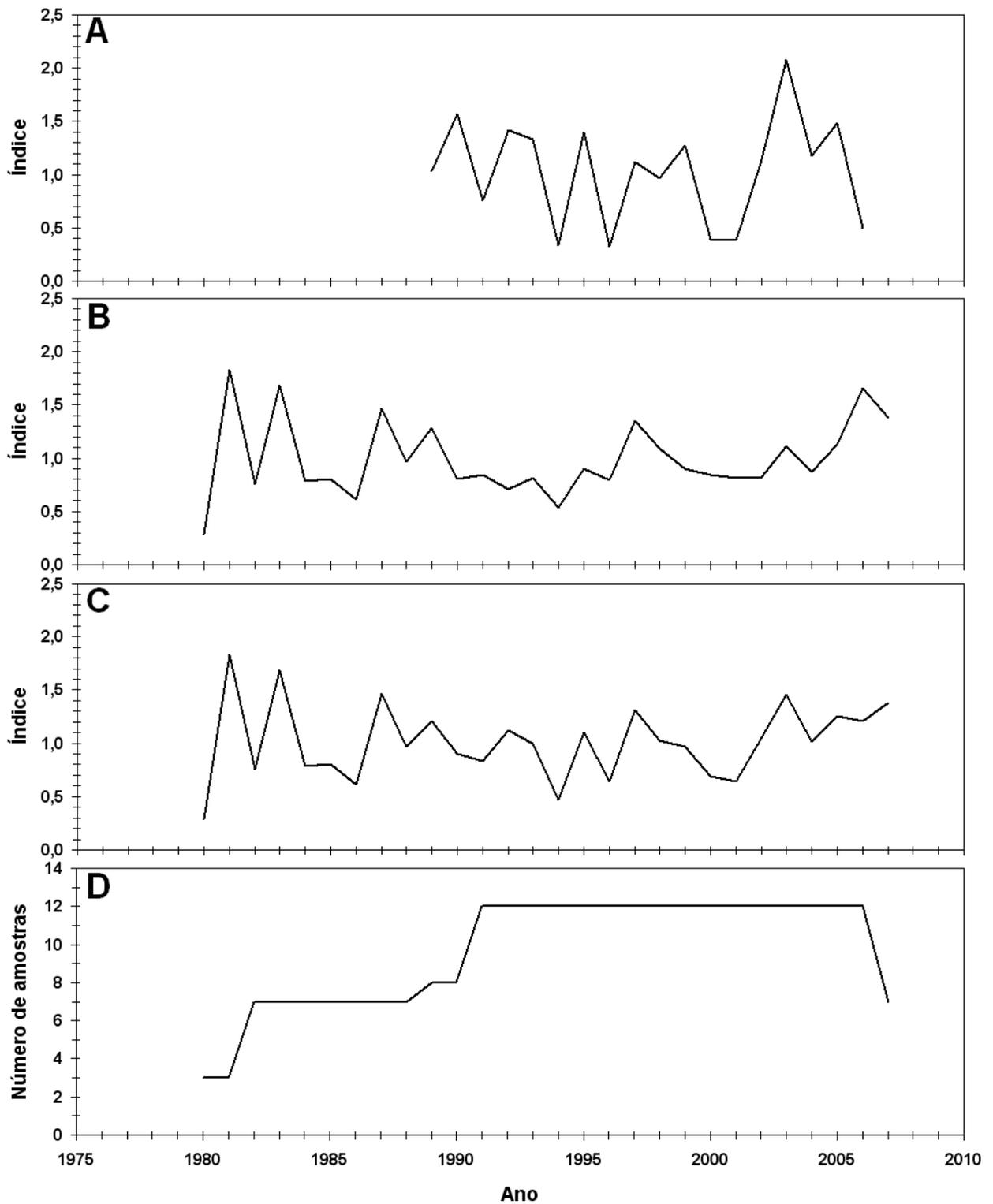


Figura 17 - Séries de índices de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Hovenia dulcis*. (A) Sítio A (Paulínia), (B) Sítio B (Piracicaba), (C) Série dos sítios A-B (conjunta), (D) Número de amostras do lenho para a obtenção da série conjunta

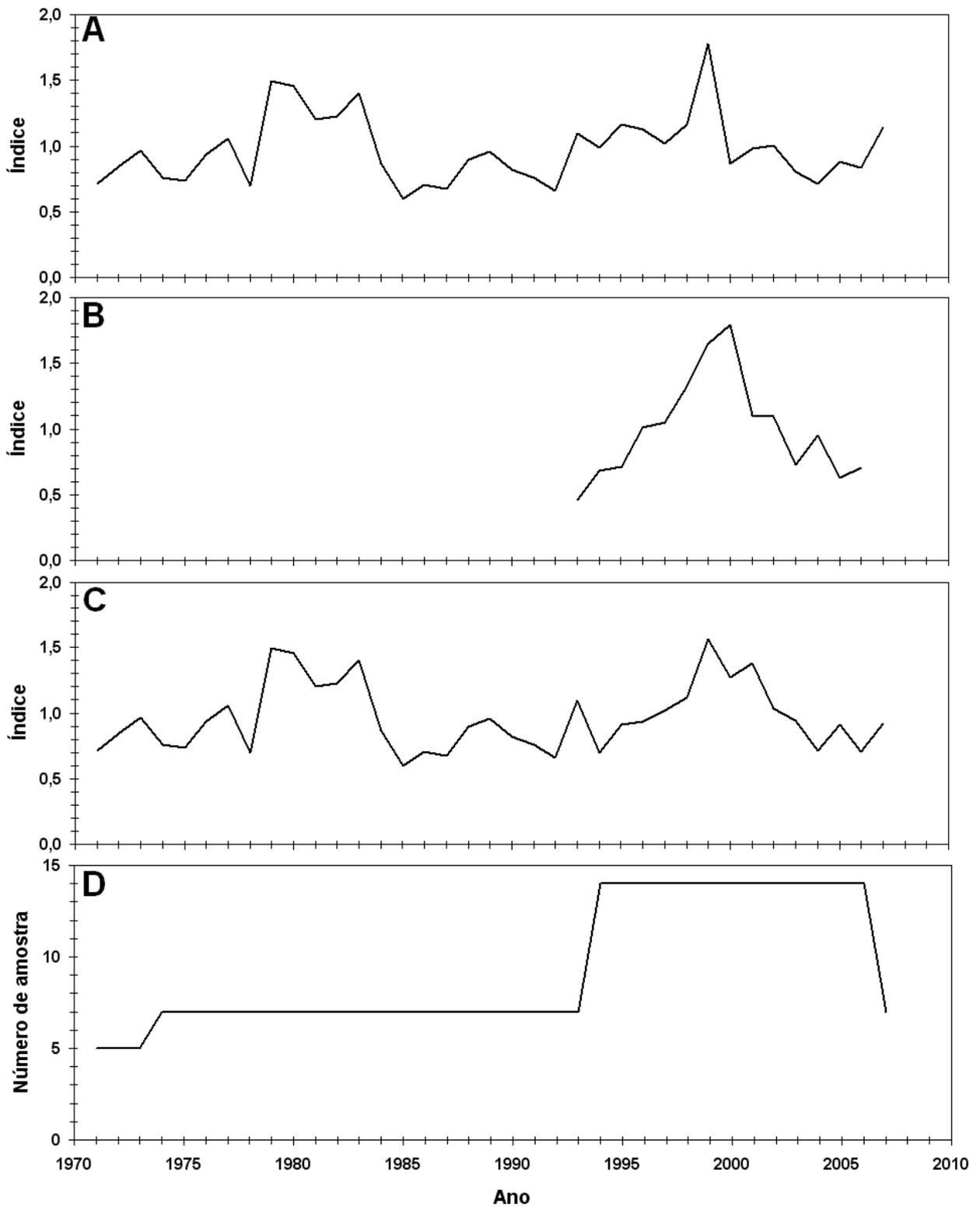


Figura 18 - Séries de índices de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Persea americana*. (A) Sítio A (Paulínia), (B) Sítio B (Piracicaba), (C) Série dos sítios A-B (conjunta), (D) Número de amostras do lenho para a obtenção da série conjunta

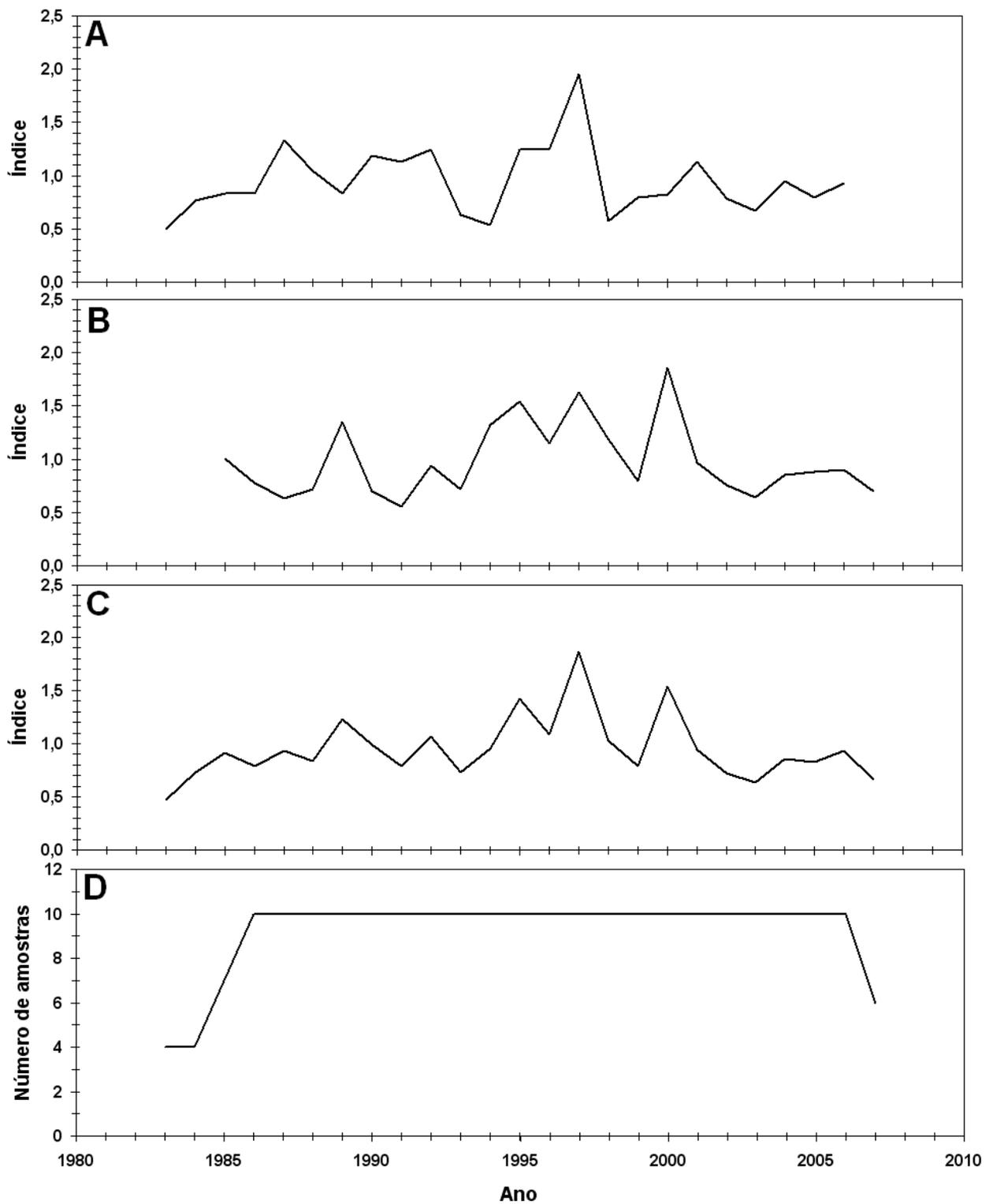


Figura 19 - Séries de índices de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Tabebuia pentaphylla*. (A) Sítio A (Paulínia), (B) Sítio B (Piracicaba), (C) Série dos sítios A-B (conjunta), (D) Número de amostras do lenho para a obtenção da série conjunta

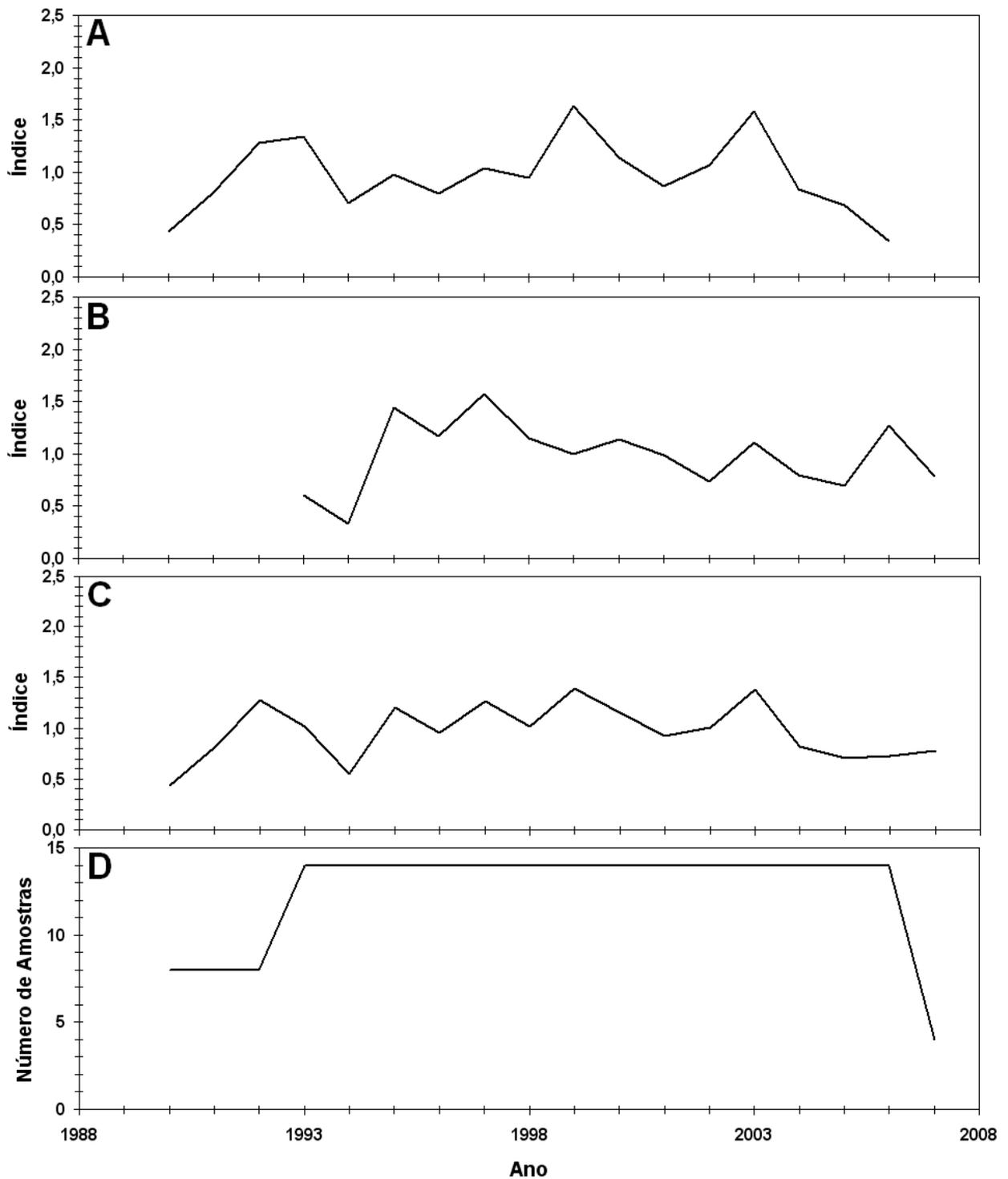


Figura 20 - Séries de índices de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Terminalia catappa*. (A) Sítio A (Paulínia), (B) Sítio B (Piracicaba), (C) Série dos sítios A-B (conjunta), (D) Número de amostras do lenho para a obtenção da série conjunta

5.5.2 Resposta climática no crescimento das árvores: dendroclimatologia

As correlações existentes entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, obtidas pelo programa ARSTAN, e as variáveis climáticas (temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada) para os últimos 30 anos mostraram-se significativas (item 4.6.4). Portanto, estas variáveis climáticas podem ser consideradas como determinantes no crescimento em diâmetro do tronco das árvores, representados pela formação de anéis de crescimento largos e estreitos, resultado de períodos de maior e menor atividade cambial, respectivamente.

Uma análise geral, incluindo os sítios A e B e as 4 espécies avaliadas, indica para o parâmetro climático temperatura, a existência de correlações significativas e negativas em relação ao crescimento do tronco das árvores, para os meses de março, abril, julho e agosto. Esta correlação indica que, de modo geral, para as árvores das 4 espécies, quanto mais altas as temperaturas no período compreendido entre março-agosto, menores serão os incrementos em diâmetro dos seus troncos. Esse período é caracterizado pela gradativa redução da temperatura, sendo que nos meses seguintes as árvores das espécies caducifólias e semi-caducifólias manifestam um evento fenológico típico: folhas alterando a tonalidade do verde para o amarelado, seguindo-se a seca do limbo foliar e sua queda. Da mesma forma, nesse período, as árvores têm a sua atividade cambial reduzida, podendo cessar na estação de inverno, formando os anéis de crescimento anuais e característicos conforme descrito (ver item 4.6.4).

A mesma análise geral, aplicada para os sítios A e B e as 4 espécies, indica para o parâmetro climático precipitação, a existência de correlações (i) significativas e positivas em relação crescimento do tronco das árvores para os meses de junho, agosto, setembro e janeiro; (ii) significativas e negativas para os meses de maio (para ipê-rosa, sítio B), março e agosto (para uva-japonesa, sítio B) dos anos correntes e (iii) significativa e positiva para o mês de outubro (para abacateiro) do ano prévio. A correlação do tipo (i; iii) indica que quanto maior o nível de precipitação nos meses relacionados (outubro) do ano prévio e (junho, agosto, setembro e janeiro) do ano corrente, maiores serão os incrementos em diâmetro do tronco. Para a correlação (ii)

quanto maior a precipitação (março, maio, agosto) menor o crescimento em diâmetro do tronco das árvores.

Enquanto as correlações categorizadas como (i, iii) são passíveis de explicação fundamentada na ecofisiologia das árvores das espécies (aumento de precipitação, implica na reposição de água no solo e maior absorção pelas raízes, seguindo-se aumento no fluxo de seiva mineral e da produção de seiva orgânica e, como resultado final, uma maior taxa de crescimento do tronco; a categorizada como (ii) deve ser analisada considerando as exigências para a aplicação das análises de função de resposta das variações do clima no crescimento do tronco das árvores, a saber:

(i) séries cronológicas longas, de dezenas de anos, (ii) largos registros de temperatura, precipitação e de outras variáveis climáticas, (iii) número de exemplares arbóreos analisados acima de 10-15, com extração de 3-4 amostra do lenho/árvore, (iv) conhecimento detalhado da biologia e da fenologia das espécies, com monitoramento mensal, (v) aplicação de dendrômetros de cintas de aço para a aferição dos incrementos do tronco e relação com a fenologia, clima e atividade cambial, (vi) árvores de mesma ou de idade diferentes, desenvolvendo-se em condições climáticas, tipos de solo, etc. similares, dentre outros.

Desta forma, ao aplicar a análise da resposta das variações de temperatura e de precipitação, em relação ao crescimento do tronco das árvores das 4 espécies, dos sítios A e B, deve ser reconhecida a sua limitação e restrição (enumeradas de i. a vi.).

Para as árvores de *H. dulcis* do sítio A, detectou-se correlação negativa do crescimento do tronco em relação a temperatura média dos meses de março e de agosto, devendo-se, possivelmente, ao efeito as altas temperaturas ocorrentes na estação e que podem aumentar os níveis de transpiração das árvores, diminuindo a sua taxa de crescimento. Como não houve significância da correlação crescimento vs. precipitação para os meses avaliados, cabe destacar que as árvores de uva-japonesa do sítio A foram plantadas a cerca de 3 m de um curso de água, responsável por um possível suprimento da água necessária para o seu desenvolvimento e crescimento durante as estações, seca e chuvosa (Figura 21).

As árvores do sítio B apresentaram resposta diferenciada em crescimento do tronco, em relação as variáveis climáticas, em comparação com as do sítio A. Para a precipitação foram observadas correlações significativas negativas (meses de março e de agosto) e positivas (meses de janeiro e de junho). A quantidade de água disponível para árvores, associada ao período das fenofases de florescimento de agosto–fevereiro, de frutificação de março-outubro e de queda das folhas de abril-agosto (INSTITUTO HÓRUS, 2007), torna complexa a análise dos períodos de atividade cambial, recomendando-se novos estudos e atendimento das premissas necessárias para esta linha de pesquisas.

Romero et al. (1987), observaram que o crescimento, o início e a duração das fenofases de plantas de *Embotrium coccineun* correlacionaram-se inversamente com o decréscimo de temperatura. As chuvas no final da estação seca/início da chuvosa podem ocasionar a reativação da atividade cambial, resultando em períodos longos de crescimento, alterando significativamente o crescimento anual total (BORCHERT, 1999; PRIYA e BHAT, 1999). Estes resultados explicam somente parte do comportamento das árvores de *H. dulcis* no sítio B, considerando a correlação positiva com a precipitação de junho (quebra da dormência); manutenção do crescimento com o reinício das chuvas de agosto não ocorreu, mostrou-se inversamente proporcional (Figura 21). Em termos gerais, pode-se afirmar, somente, que o maior crescimento observado no mês de janeiro é resposta da maior disponibilidade hídrica e, assim como discutido para as árvores do sítio A, a saturação do solo pelo acúmulo de água no final da estação chuvosa de março é limitante para o crescimento das árvores. Destaque-se, ainda, que esta linha de pesquisas em árvores de espécies tropicais e sub-tropicais é recente e exige estudos direcionados a compreensão dos fatores que induzem a formação de anéis de crescimento falsos, observados quando da sincronização da série de largura de anéis de crescimento.

Para as árvores de *P. americana* dos sítios A e B evidenciaram-se, da mesma forma, pelas distintas respostas do crescimento do seu tronco em relação as variáveis climáticas (Figura 22). No sítio A obteve-se correlação significativa e negativa para a temperatura de abril indicando que quanto maior a temperatura menor será o crescimento do tronco das árvores. Esse período é coincidente com o final da estação

de chuva, quando as árvores de abacateiro iniciam a fenofase de florescimento (FALCÃO et al., 2001), sendo que, com o aumento da temperatura pode haver aumento da transpiração e, conseqüente, comprometimento da floração. Este mecanismo adaptativo das árvores de abacateiro é sustentado por Borchert (1994), que observou que algumas espécies da Costa Rica garantem, em seu tronco, a reserva de água na estação chuvosa, necessária para o período de floração que ocorre nos meses mais secos.

Ainda, a correlação é positiva indicando que a precipitação de outubro, do ano prévio influencia a formação do anel de crescimento das árvores de abacateiro. Nesse aspecto, Brienen (2005) observou que árvores de *Amburana cearensis* e *Tachigali* sp, da Amazônia Boliviana, mostram um comportamento similar ao do abacateiro: a resposta em crescimento, no início da estação chuvosa, deve-se a um gradual suprimento das reservas de água no solo da precipitação de 2-3 meses do ano prévio. A precipitação complementa a reservas de água no solo, mantendo um balanço positivo de água durante a estação, mesmo com pequenos períodos de estiagem. No sítio B, verificou-se uma correlação significativa e positiva da precipitação de agosto, em relação ao crescimento do tronco das árvores de abacateiro, indicando que estas respondem bem, as primeiras chuvas que antecedem a estação chuvosa. Estas informações corroboram o observado por Dünisch e Puls (2002), para as árvores de *Cedrela odorata* na Amazônia Central, e que verificaram um acréscimo no seu crescimento no 1º e 2º mês, após o período de dormência do câmbio na estação seca, resultado de um mecanismo de ativação causado pelas primeiras chuvas e que leva a mobilização das reservas da árvore.

Para as árvores de *T. pentaphylla*, no sítio A, as correlações entre o crescimento do tronco foram significativas e negativas em relação a temperatura (mês de março) e positivas com a precipitação (mês de junho) do ano corrente a formação dos anéis de crescimento.

Para o sítio B, houve uma correlação negativa do crescimento com a temperatura de abril e negativa para a precipitação de maio (Figura 23). Essas correlações foram semelhantes as das árvores de *H. dulcis* do sítio A em relação a

temperatura e as do sítio B para a precipitação, sugerindo que as duas espécies tem comportamento semelhante para essas variáveis climáticas, em períodos comuns.

Ferreira (2002) estudando o incremento mensal em diâmetro do tronco de *Cedrela fissilis*, no estado de São Paulo, encontrou em março o maior incremento diamétrico médio e abril com menor incremento diamétrico médio, sendo que a precipitação pluviométrica de abril tem relação inversamente proporcional ao incremento diamétrico anual (semelhante ao das árvores do sítio B). A queda das folhas das árvores ocorreu no período de menor temperatura e precipitação (inverno), enquanto que a floração iniciou-se no final do deste período, correspondendo a um aumento nas taxas de incremento diamétrico.

Para as árvores de ipê-rosa do sítio B, assim como observado para o sítio A, houve uma correlação negativa com a temperatura no período de transição entre as estações chuvosa e seca, diferindo em apenas um mês (abril), enquanto para a precipitação uma correlação também negativa foi observada para maio e que coincide com o início da perda de folhas das árvores da espécie (LORENZI et. al., 2003).

Para as árvores de *T. catappa*, no sítio A, as correlações entre o crescimento do tronco foram significativas e negativas em relação a temperatura (mês de agosto) e positiva com a precipitação (mês de agosto). Para o sítio B, houve correlação negativa com a temperatura (julho) e positiva para a precipitação no mês em que ocorrem as primeiras chuvas (mês de setembro) (Figura 24).

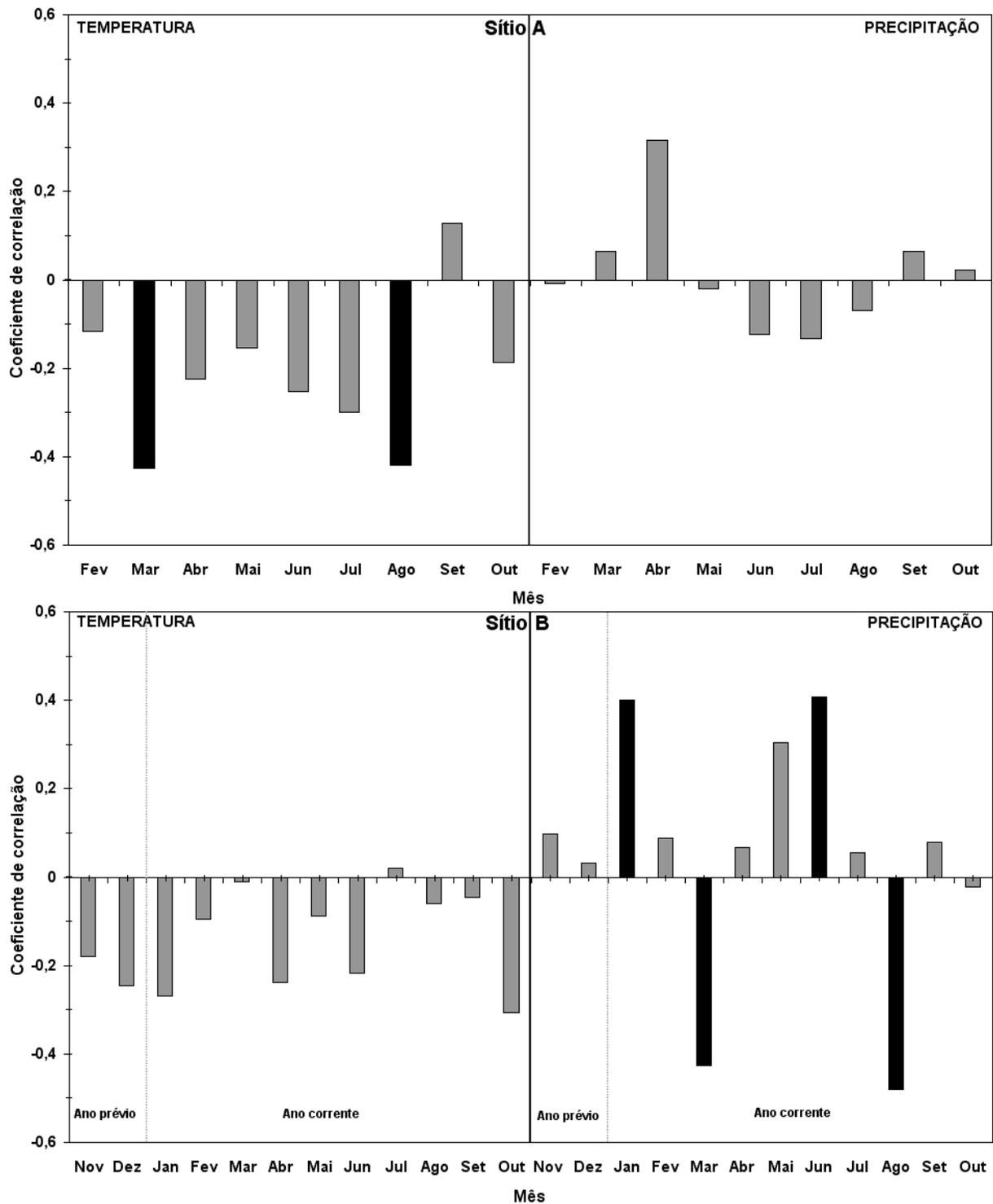


Figura 21 - Correlações das séries de índice de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Hovenia dulcis* com as variáveis climáticas (temperatura média mensal; precipitação mensal acumulada), nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

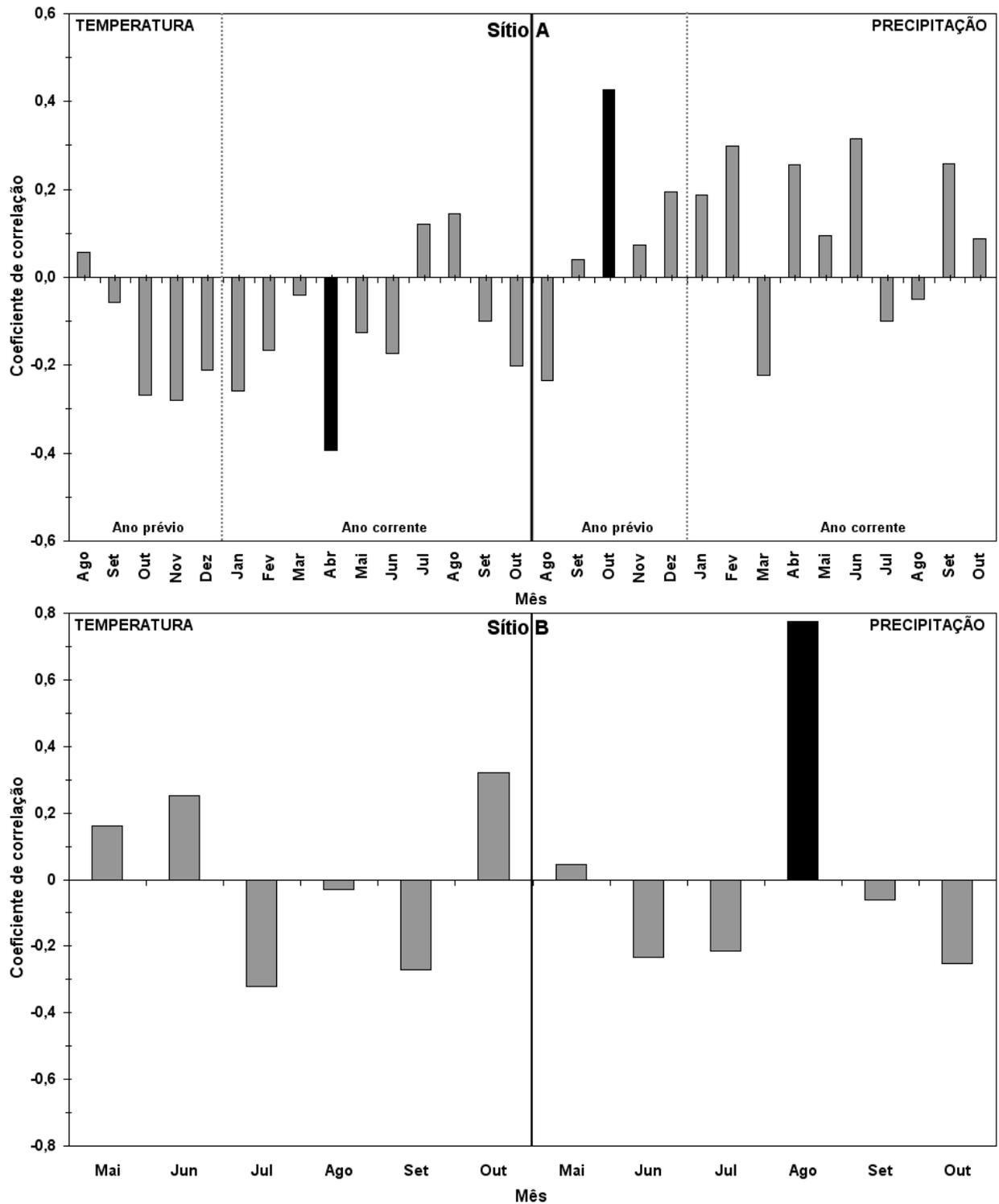


Figura 22 - Correlações das séries de índice de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Persea americana* com as variáveis climáticas (temperatura média mensal; precipitação mensal acumulada), nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

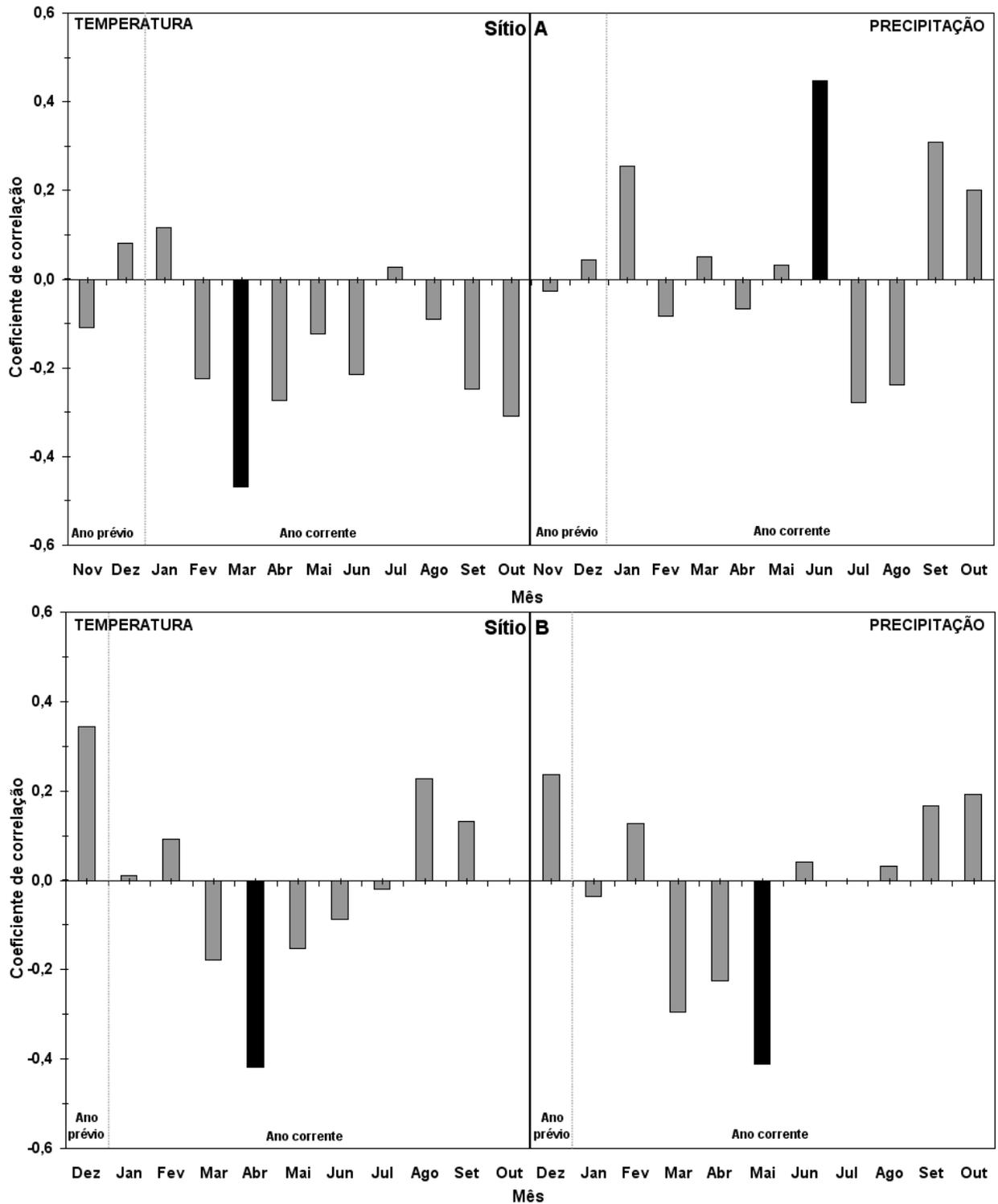


Figura 23 - Correlações das séries de índice de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Tabebuia pentaphylla* com as variáveis climáticas (temperatura média mensal; precipitação mensal acumulada), nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

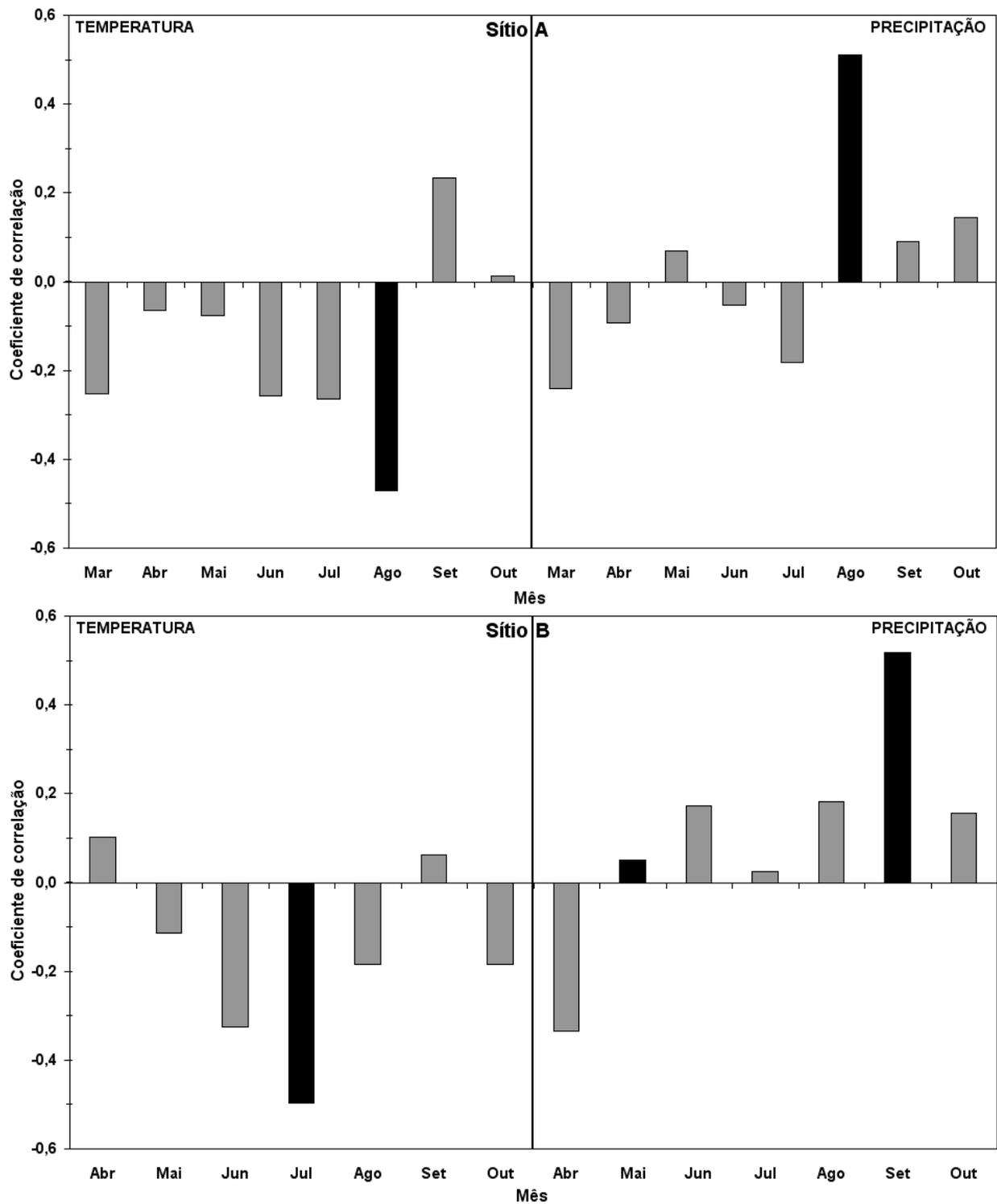


Figura 24 - Correlações das séries de índice de largura de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Terminalia catappa* com as variáveis climáticas (temperatura média mensal; precipitação mensal acumulada), nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

5.6 Crescimento radial do tronco das árvores

O incremento diametral acumulado (IDA) e médio anual (IDMA) do tronco das árvores de *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* e *T. catappa*, nos sítios A e B, são apresentados nas Tabela 11 e 12 e na Figura 25. Esses incrementos do tronco das árvores, obtidos através da aplicação de métodos de anatomia, densitometria de raios X e de dendrocronologia, são importantes no diagnóstico e na avaliação da dinâmica do crescimento do tronco das árvores espécies, nos 2 sítios.

Os resultados do incremento diametral médio anual do tronco (IDMA), considerando a idade completa das árvores das 4 espécies (Tabela 11, Figura 25) indicam comportamentos diferenciados em relação aos 2 sítios. As árvores de *T. pentaphylla* e de *T. catappa* apresentaram maior valor de IDMA no sítio A em relação ao B; as de *P. americana*, maior valor de IDMA no sítio B em relação ao A; as de *H. dulcis* não apresentaram diferenças de IDMA entre os sítios.

No entanto, os resultados do IDMA, considerando os períodos finais de 13-22 de anos de desenvolvimento comum das árvores das 4 espécies (Tabela 12), indicam comportamentos diferenciados em relação aos 2 sítios. As árvores de *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e de *T. catappa* apresentaram maior valor de IDA e IDMA no sítio A em relação ao B; as de *P. americana*, maior valor de IDMA no sítio B em relação ao A.

Entre as variáveis que determinam o crescimento do tronco das árvores das 4 espécies, nos sítios A e B, podem ser citadas as relacionadas com o (i) clima (temperatura e precipitação), (ii) fertilidade do solo, (iii) teor de Hg no solo, (iv) condições locais de crescimento (competição e distancia entre árvores; barreira de contenção do crescimento radicular; proximidade de curso de água refletindo no teor de umidade do solo e desenvolvimento do sistema radicular, (v) condições inerentes as árvores das espécies (qualidade das mudas, época de plantio e manejo adotado, variação genética, etc.).

Com relação ao item (i), a análise da correlação das variáveis climáticas, representadas pela temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada mostrou a inexistência de diferenças significativas entre os sítios A e B (ver item 4.6.4,

Material e Métodos), explicada por sua proximidade e indicando que as árvores cresceram em condições climáticas similares.

Com relação ao item (ii), da mesma forma, a análise da fertilidade do solo, nos sítios A e B (ver item 5.1; Resultados e Discussão; Tabela 2), indicou valores discrepantes para os níveis de fósforo, sendo de 496 mg/dm³ nas parcelas em área das árvores de *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e *T. catappa*, de 37,0 mg/dm³ em área de crescimento de árvores de *P. americana* do sítio 1 e de 40,8 mg/dm³ em áreas de crescimento das árvores das 4 espécies no sítio 2. Conforme apresentado, o maior teor de P nas parcelas 2-3-4-5/sítio A é atribuído ao fato de que, no processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes, houve a emissão desse elemento para a área do entorno da empresa. Menores diferenças foram encontradas para a matéria orgânica (maior no sítio B), de K (maior no sítio A), de pH (mais baixo no sítio A), de Mg (mais alto no sítio B), de H+Al (mais baixo no sítio B). Os valores não são considerados como limitantes ao crescimento das árvores: no entanto as árvores de *T. pentaphylla* e *T. cattapa* apresentaram os maiores IDMA no sítio A, podendo ser resultado da resposta a maior disponibilidade de fertilização fosfatada no solo no entorno da empresa.

Com relação ao item (iii) o maior teor médio de Hg, de 21,5 mg/kg, foi detectado no solo do sítio A (ver item 5.1; Resultados e Discussão; Tabela 3) que, conforme detalhado, apresentou maiores valores de IDMA para as árvores de *T. pentaphylla* e *T. cattapa*, em relação ao sítio B, com níveis não detectados do metal pesado. Desta forma, a presença de Hg em altas concentrações no solo do sítio A, assim como verificado para o lenho das árvores, parece não exercer influência no crescimento das árvores. Resultados similares foram encontrados por Siwik (2007), estudando árvores de *Acer* sp., *Quercus* sp., *Populus* sp. e *Salix* sp., em áreas contaminadas por Hg no Canadá, verificando que não houve correlação negativa entre a largura dos anéis de crescimento e o teor de Hg, para um período de 15 anos. Da mesma forma, Medeiros et al. (2008), estudando o efeito do Pb no crescimento e na anatomia do lenho de árvores de *Araucaria columnaris* em Piracicaba/SP, concluiu que a presença do metal pesado nos anéis de crescimento não afetou a estrutura anatômica e a taxa de crescimento do tronco das árvores.

Com relação aos itens (iv) e (v), relacionados com as condições locais de crescimento e inerentes das espécies, estes devem estar influenciando o crescimento do tronco das árvores. As árvores de *P. americana*, do sítio A, crescem, também, próximas entre si e em local urbanizado e com a superfície da rua recoberta de asfalto, enquanto que as árvores da espécie do sítio B são de plantações, com um espaçamento largo de 4 x 9 m. As árvores de *T. pentaphylla* encontram-se em espaçamento semelhante nos 2 sítios, sendo que no sítio B a densidade de árvores/unidade de área é muito superior; no sítio A foram detectados maiores teores de P, que pode estimular o crescimento do tronco das árvores. O mesmo padrão de espaçamento nos 2 sítios é observado para as árvores de *T. catappa*, sendo que as do sítio B são co-dominantes e afetadas pelo sombreamento parcial da sua copa por outras árvores vizinhas, de idade mais avançada; da mesma forma, os maiores teores de P no sítio A pode estimular o crescimento do tronco das árvores da espécie.

A correlação existente entre a taxa de crescimento do tronco e a posição sociológica das árvores tem sido estudada por inúmeros pesquisadores, como exemplo Ferreira (2002), que observou que árvores co-dominantes e dominadas de *Cariniana estrellensis*, *Esenbeckia leiocarpa* e *Piptadenia gonoacantha* e *Savia dyctiocarpa* apresentaram redução da taxa de crescimento em diâmetro do tronco em plantações e em fragmentos florestais.

Tabela 11 – Incremento diametral acumulado (IDA) e médio anual (IDMA) do tronco das árvores de *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e de *Terminalia catappa*, nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba): idade total das árvores em anos

Espécie	Idade (anos)		IDA (cm)		IDMA (cm)	
	Sítio		Sítio		Sítio	
	A	B	A	B	A	B
<i>Hovenia dulcis</i>	18	28	17,159	28,420	0,953	1,015
<i>Persea americana</i>	37	14	28,792	18,861	0,778	1,347
<i>Tabebuia pentaphylla</i>	24	23	30,048	22,332	1,252	0,971
<i>Terminalia catappa</i>	17	15	24,487	17,607	1,440	1,174

Tabela 12 – Incremento em diâmetro acumulado (IDA) e médio anual (IDMA) do tronco das árvores de *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e de *Terminalia catappa*, nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba): período comum de crescimento em anos

Espécie	Período comum avaliado	IDA (cm)		IDMA (cm)	
		Sítio		Sítio	
		A	B	A	B
<i>Hovenia dulcis</i>	1991-2006	14,529 a	8,763 b	0,908 a	0,548 b
<i>Persea americana</i>	1993-2006	12,659 b	18,861 a	0,904 b	1,347 a
<i>Tabebuia pentaphylla</i>	1986-2007	14,176 a	10,838 b	0,644 a	0,493 b
<i>Terminalia catappa</i>	1992-2006	21,189 a	16,699 b	1,514 a	1,193 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em um nível α 0,05;

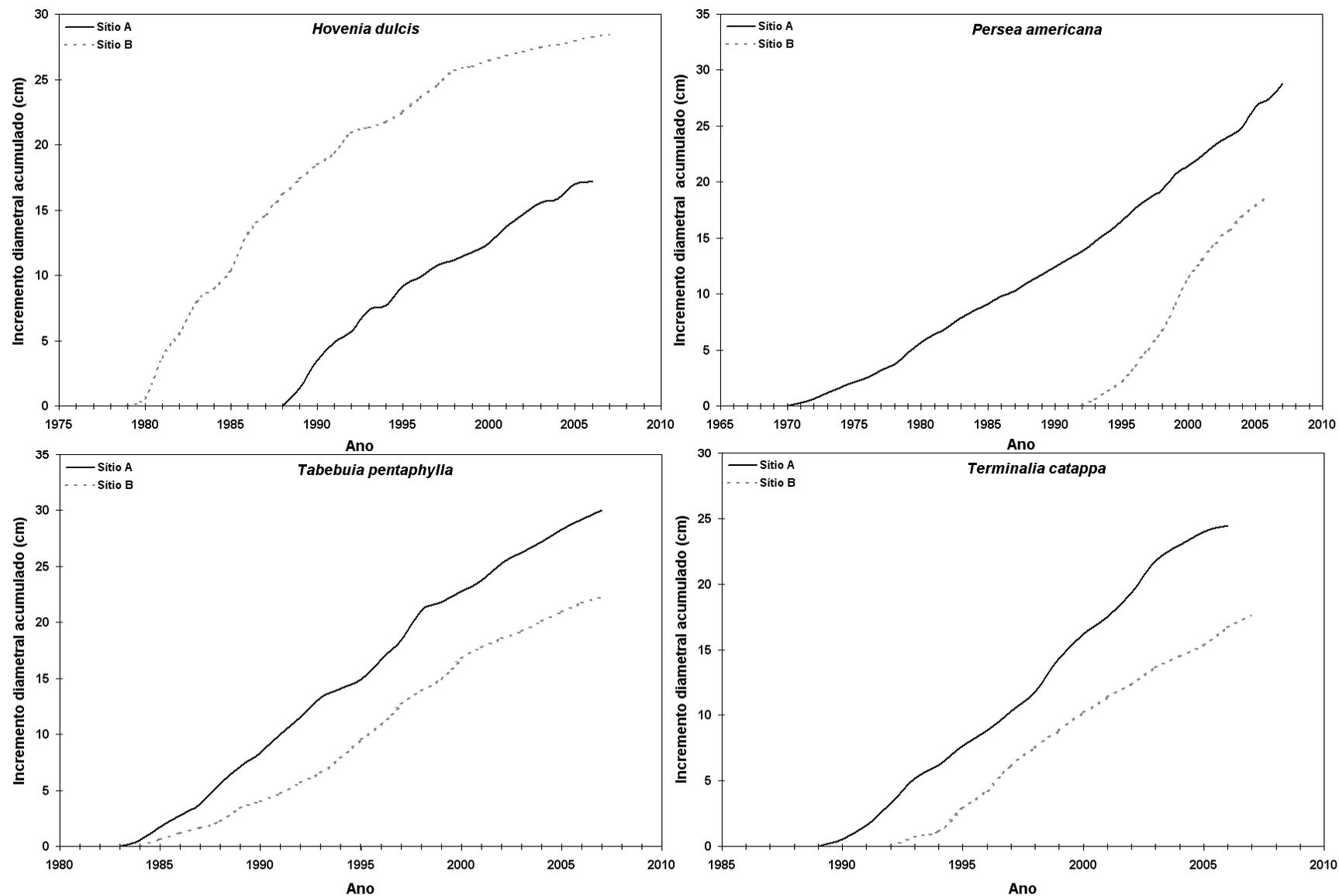


Figura 25 – Incremento em diâmetro do tronco acumulado das árvores de *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa*, nos sítios A (Paulínia) e B (Piracicaba)

6 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

Existem diferenças significativas do teor de Hg das amostras de solo no (i) pátio da empresa emissora do Hg; (ii) área distante de 350 m em Paulínia e na (iii) área do Campus da ESALQ, em Piracicaba.

Existem diferenças do teor de Hg do lenho das árvores de *G. robusta*, *H. dulcis*, *T. pentaphylla* e *T. catappa*, no pátio da empresa emissora do Hg, e no lenho de *P. americana*, distante 350 m, em Paulínia.

Verificaram-se características anatômicas marcantes nos anéis de crescimento do lenho das árvores das 5 espécies;

Determinaram-se valores de densidade do lenho, por densitometria de raios X, que expressam a estrutura anatômica e demarcam os limites dos anéis de crescimento.

Verificaram-se diferenças e similaridades dos perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores das 5 espécies para os 2 sítios.

Detectou-se a existência de um sinal comum e que indica um ciclo sazonal de crescimento e permite bom ajuste das séries dos anéis de crescimento das árvores de *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* e *T. catappa*, individualmente e em conjunto (sítios A e B).

As variáveis climáticas podem ser consideradas determinantes no crescimento do tronco das árvores, pela formação de anéis de crescimento largos e estreitos, resultado da variação da atividade cambial.

O incremento médio anual do tronco indica comportamentos diferenciados das árvores das 4 espécies avaliadas, nos 2 sítios.

A presença de Hg em altas concentrações no solo do sítio A, assim como verificado para o lenho das árvores, parece não exercer influência no crescimento das árvores.

As condições locais de crescimento (espaçamento, sombreamento, impermeabilização do solo, etc.) e as inerentes as árvores de *H. dulcis*, *P. americana*, *T. pentaphylla* e *T. catappa* influenciam o crescimento em diâmetro do seu tronco.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como considerações finais, algumas sugestões de futuras etapas visando a complementação do presente estudo são recomendadas, tais como:

A avaliação da estrutura anatômica microscópica e da ultra-estrutura do lenho das árvores das 5 espécies, nos sítios A e B, visando avaliar o efeito da contaminação por Hg.

A determinação e avaliação do teor de Hg no lenho dos anéis de crescimento anuais sincronizados das árvores das 5 espécies, nos 2 sítios.

O desenvolvimento de análise do lenho, com vistas ao teor de Hg, para um maior número de espécies, em outras regiões do país.

A realização detalhada da análise do lenho com vistas ao monitoramento de outros metais pesados (Pb, Cd, As, etc.) em ambientes com histórico de contaminação ambiental.

A utilização da metodologia de dendroquímica como ferramenta no monitoramento ambiental das instituições governamentais (CETESB), além das análises de rotina e preconizadas na legislação, como água, solo, restos vegetais, ar, etc..

A aplicação da análise dos anéis de crescimento em outras espécies com potencial dendrocronológico coexistentes no entorno da empresa e no distrito industrial de Paulínia/SP, uma vez que esta região constitui-se um sítio de características especiais ao estudo do efeito do Hg e possivelmente de outros metais pesados.

REFERÊNCIAS

ABREU, G. A. Os impactos ambientais da expansão das monoculturas de árvores exóticas e a sustentabilidade de comunidades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil . Porto Alegre, 2006. 37p.

ANGEL, M.H.; BACALLAO, L.G.; DOMINGUEZ, D.M.R.; PADILLA, D.O. Almendro de La Índia: potencial biológico valioso. **Revista Cubana Investigación Biomédica**, La Habana, v. 22, n. 1, p. 41-7. 2003.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela técnica de microdensitometria de raios X. *Revista de Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v. 6, n. 11/12, p.17-23, 1998.

AOKI, T. citar todos autores et al. **Measurement of trace elements in tree rings using the PIXE method**. *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B*, Amsterdam, v. 136-138, p. 919-922, 1998.

ASHTON, P.S. The need for information regarding tree age and growth in tropical forests. In: BORMANN, F.H.; BERLYN, G. (Ed.). **Age and growth rate of tropical trees**: new directions for research. New Haven: Yale University, 1981. p. 3-6. (Bulletin, v.94).

BAES, C.F.; S.B. McLaughlin. Trace elements in tree rings: Evidence of recent and historical air pollution. **Science**, Washington, v.224,n.4648,p. 494–49, 1984.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, Ch. Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. In: PRASAD, M.N.V; HAGEMeyer, J. (Ed.). **Heavy metal stress in plants**: from molecules to ecosystems. Berlin: Springer, 1999. p. 183–206.

BECNEL, J.,C.; FALGEUST, T.; CAVALIER, K. GAUTHREAUX, F.; LANDRY, M. BLANCHARD, M.J. ; BECK, ; J. N. BECK. Correlation of mercury concentrations in tree core and lichen samples in southeastern Louisiana. **Microchemical Journal**, Amsterdam, v. 78, p. 205–210, 2004.

BISHOP, K. H.; Y.-H. LEE, MUNTHE, J.; DAMBRINE, E. Xylem sap as a pathway for total mercury and methylmercury transport from soils to tree canopy in the boreal forest. **Biogeochemistry**, Berlim. n .40, p. 101–113, 1998.

BRASIL. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Comissão de Solos, 1960. 634 p.

BRENA, D.A.; LONGHI, S.J.; GIOTTO, E.; MADRUGA, P.R.A.; MACHADO, A.A. Espécies arbóreas exóticas encontradas no Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2003. Nova Prata - RS. **Anais...** Nova Prata-RS: Prefeitura Municipal de Nova Prata, 2003. v. 1. p. 53-60.

BRIENEN, R.J.W. ; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, cidade, v.146, p.1–12, 2005.

BORCHERT, R . Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, cidade, v. 20, p.239–247., 1999

BORCHERT, R. Water status and development of tropical trees during seasonal drought. **Trees**, cidade, v. 8, p.115–125, 1994.

BOTOSSO, P. C. ; TOMAZELLO FILHO, M. ; LISI, C. S. Periodicity and growth rate determination of some subtropical tree species from semideciduous forests in Sao Paulo State, southeast Brazil. In: International Conference on Dendrochronology fo the Third Millenium. Mendoza : **Laboratório de Dendrocronologia**, 2000. v. único. p. 153.

BROWN, P.M. **Introduction to dendrochronology lecture 1**: Basic terminology and concepts. Tucson: Rocky Mountain Tree-ring Research, 2003. p. 21.

CAMPBELL, C. W.; MALO, S.E. A survey of avocado cultivar. In: INTERNATIONAL TROPICAL FRUIT SHORT COURSE: the avocado. 1., Miami Beach. **Proceedings...** Gainesville:University of Florida, 1976. p. 24-33.

CARDOSO, N.S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L.) – Verbenaceae.** 1991. 117p. Dissertação (Mestrado nas área de...) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

CARVALHO, P.E.R. **Ecologia, silvicultura e usos da Uva-do-Japão.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 24p. (Circular Técnica, 23).

CARVALHO, P.E.R. **Embrapa – Informações tecnológicas,** Colombo – PR. EMBRAPA Florestas, 2003. 1039p.

CAVALCANTE, M.A.; MAIA, G.A.; FIGUEIREDO, R.W.; TEIXEIRA, V.A.M. Características físicas químicas da Castanhola, *Terminalia catappa* L. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 17, n. 1, p. 111-116, 1986.

CEDRO, A. Tree-ring chronologies of downy oak (*Quercus pubescens*), pedunculate oak (*Q. robur*) and sessile oak (*Q. petraea*) in the Bielinek Nature Reserve: comparison of the climatic determinants of tree-ring width. **Geochronometria**, cidade, v.26, p. 39-45, 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Contaminação Ambiental por Mercúrio em Torno da Indústria Apliquim – Paulínia – SP.** Informação Técnica no. 001/93-DPT. São Paulo: CETESB, 1993. 20 p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Parecer Técnico nº 009/2004/ETQ/ETQA/ETQM/ESCC/ESSE.** São Paulo, 2004.

CORRÊA, M.P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil.** Rio de Janeiro: IBDF, 1978. 230p.

COZZO, D. **Como utilizar la madera de los arboles cultivados.** Buenos Aires: Cosmopolitana, 1956. 222p.

COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. **Methods of dendrochronology:** applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. 394 p.

CURY, G. **Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do cerrado e da mata atlântica do estado de São Paulo**. 2002. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DECOUX, V.; VARCIN, E.; LEBAN, J.M. Relations between the intra-ring wood density assessed by x-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell apparent density determination. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v.61, p.251-262, 2004.

DÉTIENNE, F. Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. In: **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10 n. 2, p. 123 – 132. 1989.

DIAZ-VAZ, J.E.; ECHOLS, R.; KNIGGE, W. Vergleichende untersuchung der schwankunge von tracheidendimensionen und röntgenoptisch ermittelter rohdichte innerhalb des jahrrings. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, Springer Verlag, v. 4/5, p.161-175, 1975.

DURIGAN, G.; SIMÕES, J.W. Quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. Cunn. Efeitos sobre a velocidade do Vento, Umidade do Solo e Produção de Café. **Revista IPEF**, Piracicaba, v.36, n.32, p.26-34, 1987.

EKLUND, M. Cadmium and Lead deposition around a Swedish battery plant as recorded in oak tree rings. **Journal of Environmental Quality**, Stanford, v. 24, p.126–131, 1995.

ERICKSEN, J.A.; GUSTIN, M.S. Foliar exchange of mercury as a function of soil and air mercury concentrations. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.324,n.1/3,p. 271, 2004.

ERICKSEN, J. A., GUSTIN, M.S.; SCHORRAN, D.E.; JOHNSON, D.W.; LINDBERG, S.E.; COLEMEN, J.S.. Accumulation of atmospheric mercury in forest foliage. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 37, p. 1613–1622, 2003.

FALCÃO, M.A.; PARALUPPI, N.D.; CLEMENT, C.R.; KERR, W.E. SILVA, M.F. Fenologia e produtividade do abacate (*Persea americana* Mill.) na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v.31,v.1, p.3-9, 2001.

FRANCIS, J.K. ***Terminalia catappa* L: indian almond, almendra**. Institute of Tropical Forestry. Rio Piedras: 1989. (SO-ITF-SM- 23).

FERGUSON, C.W. **Methods in medieval archaeology**: concepts and techniques of dendrochronology. Berkeley: University of California Press, 1970. p. 183-200.

FERREIRA, L. **Periodicidade do crescimento e formação da madeira de algumas espécies arbóreas de florestas estacionais semidecíduas na região Sudeste do Estado de São Paulo**. 2002. 103p. Dissertação (Mestrado na área de...) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FISHER, S.; NICHOLAS, N.S.; SCHEUERMAN, P.R.. Dendrochemical analysis of Lead and Calcium in Southern Appalachian American Beech. **Journal of Environmental Quality**, Stanford, v. 31, p. 1137– 1145, 2002.

FITZGERALD, W. Is mercury increasing in the atmosphere - the need for an atmospheric mercury network (AMNET). **Water, Air, and Soil Pollution**, Amsterdam, v. 80,n.1/4, p. 245, 1995.

FLECK, J. A.; GRIGAL, D.F.; NATER, E. A. Mercury uptake by trees: An observational experiment. **Water, Air, and Soil Pollution**, Amsterdam, v. 115, p. 513–523, 1999.

FLORES, E.M. ***Terminalia catappa* L.: tropical tree seed manual**. Species Descriptions, 2003. 2p.

FORGET, E.; ZAYED, J. Tree-ring analysis for monitoring pollution by metals. In: LEWIS, T. **Tree rings as indicators of ecosystem health**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 157–176.

FOSTIER, A.H. **Monitoramento de Mercúrio Atmosférico (Gasoso e Particulado) no bairro Betel (Município de Paulínia-SP)**. UNICAMP: Campinas, 2005.p????????

FUNASA. “**Lâmpadas Fluorescentes e os Riscos À Saúde**”. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>>. Acesso em: jul 2008.

FRESCHOLTZ, T.; GUSTIN, M.; SCHORRAN, D.; FERNANDEZ, G. Assessing the source of Mercury in foliar tissue of quaking aspen. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Brussels, v. 22, n.9, p. 2114, 2003.

FRITTS, H.C. **Tree rings and climate**. New York: Academic Press, 1976. 567 p.

FUKUOKA, Y.; KISHI, Y. Influences of air quality on tree ring widths. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ASIAN AND PACIFIC DENDROCHRONOLOGY, 1995, Tsukuba. **Proceedings...** Tsukuba: FFPRI, 1995. p. 120-127.

GEOKLOCK. **Relatório de Amostragem de Solo**. São Paulo, 2003. 237 p.

GUILLEY, E.; HERVE, J.C.; NEPVEU, G. The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v.189, p.111-121, 2004.

GILMAN, E.F.; WATSON, D.G.. **Terminalia catappa tropicalalmond**. Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1994. 3p.

GREGER, M.; WANG, Y.; NEUSCHUTZ, C. Absence of Hg transpiration by shoot after Hg uptake by roots of six terrestrial plant species. **Environmental Pollution**, Amsterdam. v.134, n.2, p. 201, 2005.

GUSTIN, M.; STAMENKOVIC, J.. Effect of watering and soil moisture on mercury emissions from soils. **Biogeochemistry**, Amsterdam, v. 76, n.2, p. 215, 2005.

GUSTIN, M.; ENGLE, M.; ERICKSEN, J.; LYMAN, S.; STAMENKOVIC, J.; XIN, M.. Mercury exchange between the atmosphere and low mercury containing substrates. **Applied Geochemistry**, Amsterdam, v. 21, n.11, p. 1913, 2006.

HAAL, G.S. Sample preparation methods of tree-rings for PIXE-PIGE multielemental analysis. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**, Amsterdam, v. 49, p. 60–64, 1990.

HAGEMEYER, J. Monitoring trace metal pollution with tree rings: a critical reassessment. In: MARKERT, B. **Plants as biomonitors**: indicators for heavy metals in the terrestrial environment. New York: VCH Weinheim, 1993. p. 541-563.

HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K.; FRITTS, H.C. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: _____. **Tree-ring chronologies of Western North America**: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson: Arizona University, 1986. p. 15-35

IARC (International Agency for Research on Cancer): **IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**. v.58: Berilium, cadmium, mercury and exposures in the manufacturing industry. Lyon, 1993. apud UNEP (United Nations Environmental Programme). Global mercury assessment. Geneva, Suíça. Dez, 2002.

IAWA Committee. IAWA List of microscopic feature for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p. 219 - 332, 1989.

INSTITUTO HÓRUS. **Uva-do-japão** (*Hovenia dulcis* Thumb.). Disponível em: < http://www.institutohorus.org.br/download/fotos/ho_dulcis/galeria_dulcis.htm >. Acesso em: 16 jun. 2007.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J.C.; MENEZZI, C.H.D..M.; PUEHRINGHER, C.A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. **Revista Árvore**, Viçosa, , v.28, n.6, p.883-887, 2004.

JACOBY, G. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 2, p. 99-108, 1989.

JARDIM, W. F.; BISINOTI, M.; SILVA, G. S.. **Parecer Técnico emitido à empresa Apliquim Tecnologia Ambiental**. UNICAMP, Campinas, 2005. 17p.

JONG-KAB KIM, Variation of tree ring of black pines (*Pinus thunbergii*) growing in the vicinity of industrial complex in Korea. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ASIAN AND PACIFIC DENDROCHRONOLOGY, 1995. Tsukuba e Okutama FFPRI. **Proceedings...** Tsukuba e Okutama, Japan, 1995. p.114-119.

JONSSON, A.; EKLUND, M.; HAKANSSON, K.. Heavy metals of the 20th century recorded in oak tree rings. **Journal of Environmental Quality**, Stanford, v. 26, n.6, p. 1638., 1997.

KANOWSKI, P. Densitometric analysis of large number of wood samples. **Journal of the Institute of Wood Science**, London v.10, n.4, p.145-151, 1985.

KAIRIUKSTIS, L.; KOCHAROV, G.E. Measuring the chemical ingredients in tree rings. In: COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. **Methods of Dendrochronology**: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p. 229–239.

KAWAMURA, H., MATSUOKA, N.; MOMOSHIMA, N.; KOIKE, M.; TAKASHIMA, Y. Isotopic evidence in tree rings for historical changes in atmospheric sulfur sources. **Environmental Science and Technology**, Iowa City, v. 40,n.18, p. 5750, 2006.

KOGA, M.E.T. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P. D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. . 2.ed., São Paulo: IPT, 1988. p. 15-44.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. Principles of woodscience and technology. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v.1 592p.

KOLLER, G. L. The Raisin tree – it's use, hardiness and size. **Arnoldia**, München, v 39, p.7-15, 1979.

KOMORI, R. M. **Projetos MDL florestais de pequena escala: uma potencial aplicação no município de Cunha, São Paulo**. 2006. 127 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2006.

KOSCINSKI, M. **Grevillea robusta**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, 1939. 21p.

KOZLOWSKI, T.T. **Growth and development of trees**. Local: Academic press, 1971. 2v. 514 p.1971.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Hamburg: GTZ, 1990. 343p.

LIN, C-J.; PEHKONEN, S. O. "The chemistry of atmospheric mercury: a review". **Atmospheric Environment**, Amsterdam v.33, p. 2067–2079, 1999.

LINDBERG, S. E.; HANSON, P.J.; MEYERS, T. P.; KIM, K.H. Air/surface exchange of mercury vapor over forests - the need for a reassessment of continental biogenic emissions. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 32, n.5, , p. 895–908, 1998.

LINDBERG, S.; MEYERS, T. P.; TAYLOR, G.; TURNER, R.; SCHROEDER, W. Atmosphere-surface exchange of mercury in a forest—results of modeling and gradient approaches. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 97, n.D2, p. 2519, 1992.

LISI, C.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B.; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal**, Leideen, v. 29, n. 2, p. 189–207, 2008.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; TORRES, M.A.V; BACKER, L. B. **Árvores exóticas do Brasil**. Nova Odessa:Editora Plantarum. 2003. v.1 384p.

MARANCA, G. **Fruticultura comercial**: Manga e Abacate. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 138 p.

MARTIN. M.H.; COUGHTREY, P.J. **Biological monitoring of heavy metal pollution**. London: Applied Science Publishers, 1982 p. 475.

MARTIN, R.R.citar todos et al. Synchrontron X-ray fluorescence and secondary ion mass spectrometry in tree rings microanalysis: applications to dendroanalysis. **X-Ray Spectrometry**, New York, v. 30, p. 338-341, 2001.

MASON, R.,W. FITZGERALD, W.; MOREL, F. The biogeochemical cycling of elemental mercury - anthropogenic influences. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v. 58, v.15, p. 3191, 1994.

MAZZONI-VIVEIROS, S.C., KAWABATA, C.M., AFONSO, V.A. Aspectos anatômicos do lenho de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em áreas da Serra do Mar sob o impacto da poluição atmosférica proveniente do complexo industrial de Cubatão.

In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 1995, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: [s.n.], 1995. p. 39.

MEDEIROS, J. G. S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnaris* Hook.: caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental.** 2005. 85 p. Dissertação (Mestrado na área de...) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MEDEIROS, J.G.S.; TOMAZELLO FILHO, M.T.; KRUG, F.J.; VIVES, A.E. Tree-ring characterization of *Araucaria columnaris* Hook and its applicability as a lead indicator in environmental monitoring. **Dendrochronologia**, v. 26, p.165–171, 2008.

MENESES, C.H.S.G; SOUSA, E.B.M.; MEDEIROS, F.P.M.; MENEZES, I.R.; ALBUQUERQUE, H.N.; SANTOS, L. Análise da arborização dos bairros do Mirante e Vila Cabral na cidade de Campina Grande. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 120-126, 2003.

MICARONI, R. C. C. M.; Bueno M. I. M. S.; Jardim W. F.. “Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte”. **Química Nova**, v. 23,n. 4, p. 487-495, 2000.

MICHELAZZO, P.A.M. **Monitoração da concentração de mercúrio atmosférico na região de Paulínia/SP.** 2003. 79p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, 2003.

MILLHOLLEN, A.; OBRIST, D.; GUSTIN, M.. Mercury accumulation in grass and forb species as a function of atmospheric carbon dioxide concentrations and mercury exposures in air and soil. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 65, n. 5, p.889, 2006b.

MILLHOLLEN, A.; OBRIST, D.; GUSTIN, M.. Foliar mercury accumulation and exchange for three tree species. **Environmental Science and Technology**, Iowa, v. 40, n. 19, p. 201, 2006a.

MOREL, F.; KRAEPIEL, A.; AMYOT, M.. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Stanford, v. 29, p. 543–566, 1998.

MOTHE, F.; DUCHANOIS, G.; ZANNIER, B.; LEBAN, J.M. Microdensitometric analysis of wood samples: Data computation method used at Inra-ERQB (Cerd Program). **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 55, n. 3, p. 301-313, 1998.

NICHOLLS, J.W. Tracheid cell dimensions and density relationships for normal and abnormal wood of *Pinus radiata* D. Don. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.14, p.85-98, 1984.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; KLOK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Grevillea robusta* A. Cunn. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v.20, p.101-115, 1998.

OLIVA, S.; MINGORANCE, M. Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 177, 2006.

PANSHIN, A.J.; DeZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3rd ed. New York, McGraw Hill, 1980. 722p.

PENNA, M. **Dicionário brasileiro de plantas medicinais**. Rio de Janeiro: Kosmos, 1946. 409p.

PEREIRA, J.C.D.; SCHAITZA, E.G.; BAGGIO, A.J. Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 10 p. (Circular Técnica, 40.).

PILGRIM W.; POISSANT L.; TRIP L.. “The Northeast States and Eastern Canadian Provinces mercury study: a framework for action: summary of the Canadian chapter”. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 261, p. 177–184, 2000a.

PILGRIM W.; SCHROEDER W.; PORCELLA D. B.; SANTOS-BURGOA C.; MONTGOMERY S.; HAMILTON A.; TRIP L.. “Developing consensus: mercury science and policy in the NAFTA countries (Canada, the United States and Mexico)”. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 261, p.185–193. 2000b.

POLGE, H. Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: l'analyse densitométrique de clichés radiographiques. **Annals of Forest Science**, Les Ulis. v.20, p.533–580, 1963.

POLGE, H. Fifteen years of wood radiation densitometry. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 12, p. 187-196, 1978.

PRIYA, P.B; BHAT, K.M. Influence of rainfall, irrigation and age on the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). **IAWA Journal**, cidade, v.20, p.181–192, 1999.

PRAKASH, L.; SINGH, R. Chemical constituents of stem bark and root heartwood of *Tabebuia pentaphylla* (Linn.) Hemsl. (Bignoniaceae). **Pharmazie**, Eschborn, V. 35, n. 12, p.813, 1980.

PRANCE; T.G.; SILVA, M.F. **Árvores de Manaus**. Manaus:INPA, 1975. 312 p.

PRASAD, M.N.V. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 525–545, 1995.

PROHASKA, T. citar todos os autores et al. Investigation of element variability in tree rings of young Norway spruce by laser – ablation - ICPMS. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 219, p. 29–39, 1998.

REA, A.W.; LINDBERG, S.E.; KEELER, G.J.. Assessment of dry deposition and foliar leaching of mercury and selected trace elements based on washed foliar and surrogate surfaces. **Environmental Science and Technology**, Iowa, v. 34, p. 2418–2425, 2000.

REYES, G.; BROWN, S.; CHAPMAN, J.; LUGO, A. E. **Wood densities of tropical tree species**. General Technical Report SO-89 New Orleans: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1992. 15p.

RICHARDSON, S.D. **Forestry in communist China**. Baltimore : J. Hopkins Press, 1966. 237p.

RIGATTO, P.A. **Características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Hovenia dulcis***. Colombo: Embrapa Florestas. 4 p.. 2001. (Comunicado Técnico, 66.),

ROCAS, A.N. **Árboles y arbustos útiles de México**. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. México: Editora Limusa, 1986. 206p.

ROIG, F.A.; CALDERÓN, A.; NAVES, N.; SOMOZA, A.; LISI, C. S.; TOMAZELLO FILHO, M. In: INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY., 51. 2008 Concepción. **Proceedings...** Concepción, 2008. 8p.

ROIG, F.A.; FERNANDEZ, M; GARECA, E; ALTAMIRANO, S.; MONGE, S. Estudios Dendrocronológicos en los ambientes húmedos de la Puna Boliviana. Revista **Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental**, La Paz, v.9, p. 3 -13, 2001

ROLFE, G.L Lead distribution in tree rings. **Forest Science**, Maryland v. 20, n. 3, p. 283–286, 1974.

SANJO, H.; KENICHI, S.; WANG, Y.; MASUNAGA, S.. Evaluation of outer bark and inner bark of *Ginkgo biloba* Linn. as indicators for mercury pollution. **Materials and Geoenvironment**, Ljubljana, v. 51, n. 2, p. 1358–1361, 2004.

SANTOS, E. **Nossas madeiras**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1987. 313p.

SARRAT J.; OLIVEIRA P. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2002. 355p.

SAVARD, M.; BEGIN, C.; PARENT, M.; MARION, J.; SMIRNOFF, A.. Dendrogeochemical distinction between geogenic and anthropogenic emissions of metals and gases near a copper smelter. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, London, 6, p. 237–247. 2006.

SCHINKER, M.G.; HANSEN, N.; SPIECKER, H. High-Frequency densitometry – a new method for the rapid evaluation of wood density variations. **IAWA Journal**, Leiden, v.24, n.3, p.231-239, 2003.

SCHROEDER, W.; MUNTHE, J. Atmospheric mercury - an overview. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 32, n. 5, p. 809–822, 1998.

SCHWEINGRUBER, F.H. Radiodensitometry. In: COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. **Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p 55–63.

SCHWEINGRUBER, F.H.; FRITTS, H.C.; BRÄKER, O.U.; DREW, L.G.; SCHÄR, E. The X- ray technique as applied to dendroclimatology. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v.38, p.61–91, 1978.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings**: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel, 1988. 276 p.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings and environment**: Dendroecology. Berna: Paul Haupt Publishers, 1996. 609 p.

SEGALA ALVES, E. The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae). **IAWA Journal**, Leiden, v. 16, n. 1, p. 69-80, 1995.

SHARMA, P.K.; KHANNA, R.N.; ROHATGI, B.K.; THOMSON, R.H. Tecomaquinone-III: A new quinone from *Tabebuia pentaphylla*. **Phytochemistry**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p.632-233, 2001.

SHEPPARD, J.C.; FUNK, W.H. Trees as environmental sensors monitoring long-term heavy metal contaminations of Spokane River, Idaho. **Environmental Science and Technology**, Amsterdam, v. 9, n. 7, p. 638–642, 1975.

SILVA, F.R. **Estudo de Contaminação de Solo e Águas Subterrâneas** – Diagnóstico Detalhado. Apliquim, Paulínia, 2005. 37p.

SILVA, F.R.. **Estudo de Contaminação de Solo e Águas Subterrâneas** – Diagnóstico Pós-Remediação. Apliquim, Paulínia, 2006. 90 p.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JR.; S.; MATOS, J.L.M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Paraná, v.34, n.1, p.13-22, jan./abr. 2004.

SIMABUCO, S.M. Radiografia da poluição de Campinas. **Pesquisa FAPESP**. São Paulo, n. 62. Mar 2001. Disponível em http://revistapesqui.../print.php?lang=pt&id=revista1.fapesp1..20010710.20010362..SE C7_1 Acesso em :10 fev. 2009.

SIWIK, E.I.H.. **Spatial, temporal and dendrochronological comparisons of mercury in Ontario deciduous trees**. 2007. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Queen's University. Kingston, Ontario, Canadá. 2007.

SLOOF, J. E.; WOLTERBEEK, B.T. Substrate influence on epiphytic lichens. **Environmental Monitoring and Assessment**, Amsterdam, v. 25, p. 225–234, 1993.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Washington: Nat. Res. Cons. Serv.. 1999. 869 p. (USDA Agr. Handbook, 436).

TANGO, J.S.; TURATTI, J.M. Óleo de abacate. In: ABASTECIMENTO, SÃO PAULO, Secretaria da Agricultura e. **ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1992. p. 156 - 192.

TOMASELLI, I.; SILVA, L.B.X. Grevillea, cinamomo e outras madeiras, produção e mercado. In: SEMADER, 4., 1996, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: ABPM, 1996. p.5-15.

TOMAZELLO FILHO, M. *Araucaria angustifolia*. In: FAO. **Databook on endangered tree and shrub species and provenances**. Roma: FAO, 1986. p. 69-83.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELLA, W. (Org). **Indicadores ambientais**: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC, COMPED, INEP, 2001. p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla***. 2006. 146p. Tese (Livre docência na área de ...) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIM, A.W.; BENJAMIN, C.A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt Wood. **Maderas: Ciência y Tecnología**. Concepción, v. 10, n. 2, p.139-14975, 2008.

UNEP (United Nations Environmental Programme). “**Global Mercury assessment**”. Geneva, Dez, 2003. Disponível em <<http://www.chem.unep.ch/MERCURY/Report/Final%20Assessment%20report.htm>>. Acesso em : 14 dez. 2007.

THOMSON, L.A.J.; EVANS.B. Terminalia catappa (tropical almond), ver. 2.2. In: ELEVITCH, C.R. (Ed.). **Species Profiles for Pacific Island Agroforestry**. 2006. 816 p. Permanent Agriculture Resources (PAR), Hōlualoa, Hawaii. Disponível em : <<http://www.agroforestry.net/tti/T.catappa-tropical-almond.pdf> > e <www.traditionaltree.org>. Acesso em: 10 fev.2009.

VALE, A.T.; SARMENTO, T.R.; ALMEIDA, A.N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira** Viçosa: SIF,. 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1)

VIVES, A.E.S.; MOREIRA, S.; BRIENZA, S.M.B.; MEDEIROS, J.G.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; ARAÚJO, O.M.; ZUCCHI, D.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; BARROSO, R.C. Species arboreal as a bioindicator of the environmental pollution: Analysis by SR-TXRF. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. v. 579, p. 494–498, 2007.

VROBLESKY, D.A.; YANOSKY, T.M.. Use of tree-ring chemistry to document historical ground-water contamination events. **Ground Water**, Westerville, v. 28, n. 5, p. 677–684, 1990.

WANG, Y.; GREGER, M.. Clonal differences in mercury tolerance, accumulation, and distribution in willow. **Journal of Environmental Quality**, Stanford, v. 33, n. 5, p. 1779–1785, 2004.

WANG, Y.; STAUFFER, C.; KELLER, C.; GREGER, M.. Changes in Hg fractionation in soil induced by willow. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 275, n.1/2, p. 67, 2005.

WATMOUGH, S.A.; HUGHES, R.J.; HUTCHINSON, T.C. $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ Ratios in tree rings as monitors of environmental change. **Environmental Science and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 5, p. 670-673, 1999.

WATMOUGH, S.A. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 106, p. 391-403, 1999.

WATMOUGH, S.A.; HUTCHINSON, T.C. Analysis of tree rings using inductively coupled plasma mass spectrometry to record fluctuations in a metal pollution episode. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 93–102, 1996.

WILLIAMS, L. O. The botany of the avocado and its relatives International Tropical Fruit Short Course: the avocado. In: INTERNATIONAL TROPICAL FRUIT SHORT COURSE: the avocado.,1., 1976, Miami Beach, **Proceedings...** Gainesville:University of Florida. 1976. p. 9-15.

WORBES, M. How to Measure Growth Dynamics in Tropical Trees. **IAWA journal**, Leideen, v..16, n. 4, p. 337- 351, 1995.

WOJCIK, G.S. Determining the uncertainty of x-ray absorption measurements. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, Gaithersburg, v.109, n.5, p.479-496, 2004.

ZHANG, L.:QIAN, J-L.; PLANAS, D..Mercury concentration in tree rings of black spruce (*Picea mariana* Mill. b.s.p.) in boreal Québec, Canada. **Water, Air, and Soil Pollution**, Amsterdam, v. 81, p. 163–173, 1995.

ANEXOS

Anexo A – Valores da densidade aparente do lenho das árvores de *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa* do sítio A

Sítio	Espécie	Amostra	Raio	Densidade aparente (g/cm ³)				
				Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	C.V
A	<i>Grevillea robusta</i>	1	1	0,831	1,130	0,485	0,097	11,69
			2	0,816	1,109	0,471	0,079	9,69
		2	1	0,882	1,204	0,585	0,102	11,60
			2	0,848	1,156	0,565	0,089	10,54
		3	1	0,672	0,908	0,355	0,097	14,45
			2	0,686	0,943	0,443	0,081	11,75
		4	1	0,677	1,001	0,455	0,115	17,02
			2	0,707	1,038	0,352	0,163	23,08
	<i>Hovenia dulcis</i>	1	1	0,936	1,053	0,807	0,047	5,03
			2	0,889	1,027	0,754	0,051	5,78
		2	1	0,850	0,983	0,670	0,048	5,67
			2	0,766	0,984	0,587	0,066	8,56
		3	1	0,835	0,977	0,559	0,059	7,11
			2	0,924	1,165	0,716	0,086	9,26
	<i>Persea americana</i>	1	1	1,019	1,336	0,349	0,177	17,37
			2	0,958	1,220	0,342	0,145	15,10
		2	1	0,941	1,211	0,540	0,091	9,69
			2	0,880	1,248	0,467	0,089	15,31
		3	1	0,631	0,855	0,363	0,084	13,39
			2	0,608	0,923	0,379	0,079	13,08
		4	1	0,721	0,863	0,536	0,063	8,67
			2	0,701	0,891	0,338	0,083	11,91
	<i>Tabebuia pentaphylla</i>	1	1	0,651	1,029	0,417	0,079	12,09
			2	0,631	0,974	0,389	0,070	11,16
		2	1	0,599	0,841	0,367	0,071	11,85
			2	0,653	0,926	0,445	0,070	10,67
		3	1	0,539	0,720	0,347	0,063	11,70
			2	0,505	0,714	0,320	0,049	9,76
<i>Terminalia catappa</i>	1	1	0,580	0,871	0,371	0,096	16,49	
		2	0,638	0,993	0,435	0,098	15,34	
	2	1	0,525	0,874	0,380	0,104	19,83	
		2	0,581	0,851	0,405	0,102	17,51	
	3	1	0,667	0,826	0,525	0,051	7,57	
		2	0,617	0,827	0,412	0,062	10,03	
	4	1	0,546	0,911	0,334	0,086	15,74	
		2	0,572	0,938	0,399	0,091	15,87	

Anexo B – Valores da densidade aparente do lenho das árvores de *Grevillea robusta*, *Hovenia dulcis*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* e *Terminalia catappa* do sítio B

Sítio	Espécie	Amostra	Raio	Densidade aparente (g/cm ³)			
				Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
B	<i>Grevillea robusta</i>	1	1	0,719	0,976	0,429	0,107
			2	0,592	0,850	0,408	0,079
		2	1	0,568	0,813	0,392	0,067
			2	0,576	0,828	0,346	0,094
		3	1	0,659	1,017	0,414	0,092
			2	0,689	0,990	0,373	0,084
		4	1	0,865	1,151	0,555	0,097
			2	0,825	1,221	0,450	0,120
	<i>Hovenia dulcis</i>	1	1	1,145	1,560	0,413	0,189
			2	1,124	1,488	0,640	0,161
		2	1	1,188	1,582	0,599	0,176
			2	1,091	1,534	0,602	0,140
		3	1	0,834	1,075	0,448	0,136
			2	0,835	1,160	0,381	0,136
		4	1	0,818	1,056	0,396	0,120
			2	0,786	1,047	0,421	0,118
	<i>Persea americana</i>	1	1	0,554	0,812	0,328	0,088
			2	0,627	0,847	0,357	0,076
		2	1	0,542	0,804	0,362	0,063
			2	0,539	0,773	0,390	0,074
		3	1	0,505	0,711	0,352	0,081
			2	0,474	0,661	0,344	0,067
		4	1	0,550	0,732	0,396	0,064
			2	0,531	0,641	0,375	0,048
	<i>Tabebuia pentaphylla</i>	1	1	0,517	0,658	0,343	0,044
			2	0,467	0,674	0,286	0,047
		2	1	0,521	0,924	0,359	0,088
			2	0,514	0,883	0,358	0,076
3		1	0,697	0,937	0,514	0,061	
		2	0,653	1,120	0,441	0,075	
4		1	0,693	1,056	0,531	0,089	
		2	0,742	1,110	0,512	0,107	
<i>Terminalia catappa</i>	1	1	0,852	1,133	0,557	0,110	
		2	0,892	1,231	0,608	0,124	
	2	1	0,838	1,111	0,552	0,101	
		2	0,741	0,967	0,452	0,111	
	3	1	0,801	1,154	0,412	0,155	
		2	0,836	1,139	0,534	0,139	
	4	1	0,741	1,019	0,467	0,127	
		2	0,678	0,938	0,489	0,073	