

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
Engenharia Florestal

**DENDROCRONOLOGIA E DENDROCLIMATOLOGIA DE
ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BIOMA CERRADO**

Acadêmica: Mayara Cristina Gomes de Faria

Orientador: Carlos Roberto Sette Júnior

Dezembro, 2013

Goiânia

*Aos meus pais, pelo intenso amor e incondicional apoio
que me fizeram acreditar na concretização dos meus sonhos.*

*Ao meu irmão, pela atenção e companheirismo em todos
os momentos durante esta caminhada.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, em primeiro lugar, pela vida, saúde e bênçãos durante essa caminhada. Sem Ele a vitória nunca seria alcançada.

Aos meus pais, Marcondes e Dilza, pelo supremo amor e apoio para a realização desta graduação. Além de tudo pela confiança depositada em mim.

Ao meu irmão, Marcondes Jr., pelo amor, atenção e companheirismo.

À minha família, por todas as palavras de fortalecimento e apoio.

Ao meu namorado, Jeizon, pelo eterno amor, compreensão e apoio nos momentos mais difíceis desta jornada.

Ao Prof. Carlos, orientador, pela responsabilidade, competência, paciência e dedicação na orientação deste trabalho de conclusão de curso. Além disso, pela indicação no Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal.

Ao Prof. Fábio, pelo convite para a participação em Projeto de pesquisa que contribuiu fortemente no meu desenvolvimento enquanto acadêmica e, sobretudo, pelos reflexos na minha formação.

À Profª. Francine, pelas orientações de iniciação científica e pela participação na banca avaliadora.

À Profª. Sybelle, coordenadora do curso, pela atenção, pelo cuidado e responsabilidade com o curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás.

Ao Prof. Jácomo, pelo empenho para a criação do curso de Engenharia Florestal, pela dedicação para a nossa formação e pela participação na banca avaliadora.

Ao Macksuel, técnico do laboratório, pela contribuição nos trabalhos laboratoriais.

À Universidade Federal de Goiás.

À minha madrinha, Paula, pelo carinho e atenção.

Às amigas, Aline, Flávia e Taynara, pela amizade e pelos momentos de descontração.

Às amigas de faculdade, Eloysa, Aline, Ana Clara e Ana Maria, pela amizade e carinho durante esses cinco anos de graduação.

À 1ª turma de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Bioma Cerrado	10
2.2 Crescimento das plantas do Cerrado e os fatores de influência	11
2.3 Formação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de clima tropical	12
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo geral.....	14
3.2 Objetivos específicos	15
4. HIPÓTESES.....	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	15
5.1 Caracterização da área de estudo	15
5.2 Seleção das árvores e coleta das amostras do tronco	16
5.3 Análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores	18
5.3.1 Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia macro e microscópica da madeira	18
5.3.2 Dendrocronologia e dendroclimatologia.....	19
5.3.2.1 Preparo das amostras e taxa de crescimento do tronco.....	19
5.3.2.2 Sincronização dos anéis de crescimento das árvores.....	21
5.3.2.3 Obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento	21
5.3.2.4 Resposta climática no crescimento das árvores.....	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
6.1 Análise e caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores	23
6.2 Dendrocronologia: idade e taxa de crescimento em diâmetro do tronco	30
6.3 Dendroclimatologia: variáveis climáticas x crescimento em diâmetro do tronco	33
7. CONCLUSÕES.....	36
8. RECOMENDAÇÕES	36
REFERÊNCIAS	37

DENDROCRONOLOGIA E DENDROCLIMATOLOGIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DO BIOMA CERRADO

RESUMO

Estudos de anéis de crescimento em árvores tropicais são cada vez mais frequentes e sua importância está relacionada com o conhecimento dos fatores ambientais que influenciam as taxas de crescimento, a produção de madeira e sua qualidade. O presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar a formação dos anéis de crescimento na madeira de espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado. A pesquisa foi desenvolvida no campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, com espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado, sendo identificadas e selecionadas 12 espécies. Amostras retiradas de forma não destrutiva foram utilizadas para caracterização anatômica macro e microscópica dos anéis de crescimento e posterior realização de procedimentos dendrocronológicos e dendroclimatológicos. Em 58% das espécies estudadas foram observadas características anatômicas que indicaram a presença de anéis de crescimento, sendo caracterizados, principalmente, por zona fibrosa de tecido mais escuro destacado por parede celular espessada e achatada e pela presença de faixas ou linhas de parênquima marginal. Através das análises, apenas nas amostras dos indivíduos de *Hymenaea stigonocarpa* foi possível detectar a formação de anéis de crescimento anuais, sendo desenvolvidas as cronologias e o cálculo do incremento médio e corrente anual e sua relação com as variáveis climáticas. O incremento médio em diâmetro do tronco do jatobá foi de 1,16 cm por ano, sendo fortemente influenciado pela disponibilidade hídrica no ambiente. A avaliação dos anéis de crescimento anuais formados no lenho das árvores de *H. stigonocarpa* se mostrou eficiente na determinação da idade e da taxa de crescimento em diâmetro do tronco.

Palavras-chave: Anéis de crescimento; anatomia da madeira; incremento em diâmetro.

DENDROCHRONOLOGY AND DENDROCLIMATOLOGY OF NATIVE TREE SPECIES OF THE SAVANAH BIOME

ABSTRACT

Studies of growth rings in tropical trees are becoming more frequent and its importance is related to the knowledge of the environmental factors that influence growth rates, wood production and its quality. The present study had as main objective to characterize the formation of growth rings in the wood of native tree species of the Savanah biome. The research was conducted at Campus Samambaia of Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, with native tree species of the Cerrado biome being identified and selected 12 species. Samples taken not destructible way were used for anatomical macroscopic and microscopic characterization of growth rings and subsequent realization of dendrochronological and dendroclimatological procedures. In 58% of the species studied were observed anatomical characteristics that indicated the presence of growth rings being characterized mainly by fibrous zone of darker tissue detached by thickened cell wall and flattened by the presence of bands or lines of marginal parenchyma. Through the analyzes, only the samples of individuals of *Hymenaea stigonocarpa* was possible to detect the formation of annual growth rings being developed the chronologies and the calculation of the average and current annual increment and its relation with climate variables . The average increment in trunk diameter jatobá was 1.16 cm per year, and is strongly influenced by water availability in the environment. The evaluation of annual growth rings formed in the wood of trees of *H. stigonocarpa* showed efficient in determining the age and growth rate in trunk diameter.

Keywords: Growth rings; wood anatomy; diameter increment.

1. INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado possui uma área de aproximadamente 200 milhões de hectares (Bustamante et al. 2006), cerca de 23% do território nacional, e está localizado em regiões sob plena expansão da fronteira agrícola no Brasil, sendo um importante provedor na crescente demanda por bens de consumo de origem vegetal, animal ou agroindustrial. No entanto, ainda são insuficientes os estudos relativos às plantas nativas, causando dificuldades na utilização das espécies florestais, tanto para seu uso econômico como para recomposição e recuperação de áreas degradadas (Silva et al. 2004). No Bioma Cerrado existem cerca de 6.500 espécies da flora lenhosa (Resende & Furtini Neto 2007) que são pouco conhecidas e estudadas do ponto de vista da formação dos anéis de crescimento e da qualidade da madeira. O conhecimento destes aspectos é fundamental para o direcionamento correto de partes do tronco das árvores para diferentes usos e ainda por serem indicadores das variações ambientais.

A dendrocronologia, que consiste no estudo dos anéis de crescimento das árvores, tem-se revelado de extrema importância e utilidade, especialmente no contexto atual de alterações climáticas (Helama et al. 2010).

Os anéis de crescimento resultam da deposição sucessiva de camadas de tecidos lenhosos no fuste, em razão da atividade cambial periódica. Desta forma, a atividade do câmbio vai acrescentando, ano a ano, camadas justapostas que irão estruturar o material lenhoso, formando os anéis de crescimento.

Estudos de anéis de crescimento em árvores tropicais são cada vez mais frequentes e sua importância está relacionada com o conhecimento dos fatores ambientais que influenciam as taxas de crescimento, a produção de madeira e sua qualidade. Essas informações são de grande relevância para a elaboração dos planos de corte e plantio, ou mesmo para a manutenção de florestas naturais (Jacoby 1989). Para Marcati et al. (2006a), os estudos sobre a formação dos anéis de crescimento e os fatores que influem neste processo são de extrema importância em diversas áreas da ciência.

Durante muito tempo, era quase consenso entre os pesquisadores que somente as espécies crescendo em regiões de clima temperado formariam anéis de crescimento anuais. As árvores de regiões tropicais e subtropicais não apresentariam sazonalidade da atividade cambial, pelas condições climáticas serem consideradas praticamente constantes durante o ano, portanto não formariam anéis de crescimento (Tomazzelo Filho et al. 2001). Porém, pesquisas têm demonstrado que muitas espécies de árvores tropicais apresentam crescimento

intermitente (Vetter & Botosso 1988, Botosso & Vetter 1991, Mattos 1999, Botosso et al. 2000, Ferreira Fedele et al. 2004). Apesar dos trabalhos relacionados, o pequeno número de espécies estudadas mostra a necessidade de pesquisas sobre a atividade do câmbio e consequente formação dos anéis de crescimento, bem como dos fatores que influenciam nesta atividade em árvores nativas de regiões tropicais, como as do bioma Cerrado.

Os anéis de crescimento da madeira de espécies arbóreas representam, segundo Fahn et al. (1981), incrementos anuais que refletem as mudanças ambientais que ocorrem ao longo do ano. Neste sentido, em regiões de clima tropical, podem ocorrer falsos anéis de crescimento e a determinação da idade e taxa de crescimento em árvores nativas destas regiões é bastante complexa, sendo necessários esforços para se detectar a periodicidade do crescimento através de parâmetros anatômicos macro e microscópicos da madeira como, por exemplo, as alterações nas dimensões das fibras, vasos e padrões de formação das células parenquimáticas.

Os anéis de crescimento no lenho das árvores são formados em resposta, principalmente, às condições climáticas, que exercem significativo efeito indutor da sazonalidade da atividade cambial e, conseqüentemente, crescimento e desenvolvimento das árvores (Sette Jr et al. 2010). As árvores têm mostrado respostas diversas às variáveis ambientais, tais como temperatura, pluviosidade e umidade relativa do ar, na dinâmica dos seus processos fisiológicos, podendo refletir na atividade cambial e na formação dos anéis de crescimento (Tomazello Filho et al. 2001). A periodicidade da atividade cambial, e consequente formação dos anéis de crescimento, são decorrentes das alterações na temperatura, no fotoperíodo e na precipitação, com fatores endógenos inerentes a cada espécie controlando seu ritmo de crescimento. Para Drew et al. (2009), a taxa de crescimento e a atividade cambial são fortemente regulados pela temperatura e disponibilidade hídrica do ambiente.

As relações entre a formação dos anéis de crescimento/qualidade da madeira e as variáveis climáticas têm sido amplamente estudadas, sendo Baas (1973) e Carlquist (1975) os pioneiros nesta abordagem da anatomia da madeira. Trabalhos posteriores, desenvolvidos em exemplares tanto de regiões temperadas quanto tropicais, constataram que as variações ambientais se refletem na estrutura do lenho (Sette Jr. et al. 2010).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bioma Cerrado

O termo “Cerrado” origina-se do espanhol e significa fechado, vedado, denso e, provavelmente, foi empregado na designação de formação vegetal de difícil travessia (Ribeiro & Walter, 1998). Segundo Myers et al. (2000), trata-se de um dos principais ecossistemas tropicais da Terra, sendo um dos centros prioritários ("hot spots") para a preservação da biodiversidade do planeta. O Cerrado constitui a segunda maior formação vegetal brasileira em extensão (Meira Neto & Saporetti Júnior 2002), localizando-se, predominantemente, no Planalto Central do Brasil, ficando entre 5° e 20° de latitude Sul e 45° e 60° de longitude Oeste, com altitudes variando de quase 0 a 1.800 m, ocupando diferentes bacias hidrográficas e exibindo grande diversidade de solos e climas que se refletem em uma biota diversificada (Klink et al. 2006).

Os solos, em sua maioria, são latossolos de baixa fertilidade, em geral profundos e bem drenados, de pH ácido e elevada saturação de alumínio (Haridasan 1993). O teor de matéria orgânica, na maioria desses solos, é pequeno, ficando geralmente entre 3 e 5% (Coutinho 2002).

O clima dessa região é estacional, onde um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1.500mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22°C e 27°C, em média (Klink & Machado 2005).

Sua vegetação engloba uma grande variedade de fisionomias, com características que vão desde florestais a campestres (Ribeiro & Walter 1998). Essa diversidade de fisionomias parece estar associada a um conjunto de fatores, como o solo, fogo, interferências antrópicas, entre outros (Eiten 1994, Ribeiro e Walter 1998), que interagem resultando em mosaicos vegetacionais (Ribeiro & Walter 1998).

Segundo Cole (1960) e Eiten (1972), entre muitos outros autores, afirmaram que fatores edáficos, principalmente os teores de nutrientes, além do fogo e da intervenção humana, determinam as fitofisionomias dessa vegetação.

2.2 Crescimento das plantas do Cerrado e os fatores de influência

As espécies do Cerrado caracterizam-se por ter crescimento lento, devido aos diversos fatores limitantes já citados, entre os quais destacam-se: a disponibilidade limitada de água durante a estação seca, a baixa fertilidade e acidez do solo, a alta incidência de herbivoria e a ocorrência de fogo. O crescimento limitado é facilmente observado pelos aspectos fisionômicos, caracterizado por vegetação lenhosa de porte geralmente baixo, troncos de diâmetros médios a finos (Coradin 2000). Grande parte das plantas tem investimento maior na formação de órgãos subterrâneos, apresentando uma proporção maior de biomassa subterrânea em relação à biomassa aérea (Abdala et al. 1998). O crescimento de plantas lenhosas é uma resposta integrada, controlada pela interação da hereditariedade e meio ambiente, operando por meio dos processos fisiológicos da planta (Kozłowski & Pallardy, 1997).

Os fatores climáticos, como precipitação, temperatura e luz, e fatores edáficos afetam a atividade cambial e, consecutivamente, o crescimento em diâmetro das plantas. No desenvolvimento de uma planta existe, internamente, competição por água, nutrientes e metabólitos necessários para diferentes atividades, como divisão celular do câmbio vascular, produção de folhas e gemas, flores, ápices reprodutivos e flores (Wareing & Patrick 1975).

Em climas sazonais, o controle ambiental do crescimento periódico é indicado pela quebra de dormência das gemas, sincronizada com brotações, observadas em árvores decíduas de regiões temperadas ou tropicais, em resposta às temperaturas favoráveis e à precipitação, respectivamente (Borchert 1991).

A sazonalidade da atividade cambial é decorrente de alterações na temperatura, no fotoperíodo e na precipitação, com fatores endógenos inerentes a cada espécie controlando seu ritmo de crescimento (Fahn et al. 1981, Worbes 1999, Marcati et al 2006a) . Para Drew et al. (2009), a taxa de crescimento e a atividade cambial são fortemente regulados pela temperatura e disponibilidade hídrica do ambiente. Da mesma forma, Drew et al. (2008) e Wimmer et al. (2002) mostraram correlações entre a taxa de incremento do tronco e a precipitação e a temperatura.

Segundo Worbes (1997), devem ser consideradas duas causas principais para a periodicidade da atividade cambial em árvores de regiões tropicais: i) inundações periódicas, como ocorrem na região Amazônica, com água de até cinco metros acima do nível do solo por períodos de até seis meses no ano, induz dormência cambial; ii) a variação da precipitação, com estação seca prolongada de três a quatro meses com menos de 50 mm de precipitação,

também induz dormência cambial, causando estresse hídrico durante o período seco. Com base nos estudos sobre atividade cambial em plantas tropicais, o cerrado, com seu prolongado período seco, apresenta requisitos para induzir dormência cambial e formação de anéis anuais de crescimento (Coradin 2000).

Para Coradin (2000), o monitoramento da atividade cambial pode revelar a parada e a retomada na atividade pelas marcas deixadas no xilema secundário, formando camadas de tecidos distintos entre si. Quando esta marca é causada por um fator que se repete anualmente, como um período seco, cada camada formada representa um ano de crescimento e é denominada anel de crescimento anual. Apesar dos anéis anuais de árvores tropicais nem sempre serem facilmente observados, uma periodicidade da atividade cambial pode resultar de uma estação seca definida ou outras sazonalidades rítmicas, como comprimento do dia e radiação solar (Akachuku 1984).

2.3 Formação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de clima tropical

A Dendrocronologia, que consiste no estudo dos anéis de crescimento das árvores, tem-se revelado de extrema importância e utilidade, especialmente no contexto atual de alterações climáticas (Helama et al. 2010).

Os anéis de crescimento anuais constituem verdadeiros bancos de dados naturais que podem armazenar informações ecológicas e históricas (Kozłowski et al. 1991, Kitzberger et al. 2000). Isso porque, o câmbio, tecido gerador das novas células de xilema e floema secundários, é considerado um sensor dos estímulos ambientais que afetam funções fisiológicas nas plantas. O câmbio responde às variações do ambiente e incorpora informações à estrutura dos anéis de crescimento (Rubino & McCarthy 2004).

A análise dos anéis de crescimento das árvores também possibilita a identificação e reconstrução das alterações ambientais naturais, da dinâmica de populações florestais e da variação dos recursos hídricos e edáficos, além de possibilitar a avaliação dos efeitos dos ventos, de ataques de insetos e microorganismos, da presença de metais pesados no ambiente e da ação antrópica (Botosso & Mattos 2002).

Através da Dendrocronologia é possível determinar a idade e a taxa de crescimento das árvores e o efeito das variações ecológicas e ambientais na formação dos anéis de crescimento sejam naturais ou oriundas de ações antrópicas (Tomazello Filho et al. 2001). Para Angiospermas, os anéis de crescimento podem destacar-se por diferentes padrões de

características anatômicas na madeira, proporcionando-lhes uma maior complexidade e variação na formação das camadas de crescimento (Botosso & Mattos 2002).

Segundo Mattos (1999), os anéis de crescimento podem variar em largura. Ocorrem variações em uma mesma árvore, entre árvores e entre espécies. Algumas espécies podem ser de crescimento rápido, enquanto outras apresentam crescimento mais lento, sob as mesmas condições. Em árvores muito velhas, os anéis mais externos tornam-se bem mais estreitos. Em geral, tanto a largura como o padrão de variação de anéis sucessivos são muito influenciados pelas condições de crescimento, sendo importante a disponibilidade de espaço acima e abaixo do solo. Em alguns casos, a largura dos anéis pode ser altamente correlacionada com os dados meteorológicos, principalmente os de precipitação (Tsoumis 1969).

Durante muito tempo, era quase consenso entre os pesquisadores que somente as espécies crescendo em regiões de clima temperado formariam anéis de crescimento anuais. As árvores de regiões tropicais e subtropicais não apresentariam sazonalidade da atividade cambial, pelas condições climáticas serem consideradas praticamente constantes durante o ano, portanto não formariam anéis de crescimento (Tomazzello Filho et al. 2001). Porém pesquisas têm demonstrado que muitas espécies de árvores tropicais apresentam crescimento intermitente (Callado et al. 2001, Ferreira Fedele et al. 2004, Mattos et al. 2007, Lisi et al. 2008). As árvores tem mostrado respostas diversas às variáveis ambientais, como temperatura, pluviosidade e umidade relativa do ar, na dinâmica dos seus processos fisiológicos, podendo refletir na atividade cambial e na formação dos anéis de crescimento (Tomazello Filho et al. 2001).

Algumas espécies tropicais já foram identificadas como bons indicadores de variações ambientais. Jacoby & D'Arrigo (1990) citam o crescimento de *Tectona grandis* correlacionado com o déficit hídrico em Java. *Prosopis flexuosa* DC, originária do noroeste da Argentina, foi considerada, por Villalba & Boninsegna et al. (1989), com potencial para datação cruzada com dados climáticos. Gourlay (1995), observou que a largura dos anéis de crescimento de várias espécies africanas de *Acacia* apresenta alta correlação com o total de chuva do ano.

Foram realizados, por Boninsegna et al. (1989), estudos na Argentina, na Província de Misiones, com treze espécies subtropicais. Destas, dez evidenciaram anéis de crescimento (*Cedrela fissilis* Veil., *Parapiptadenia rígida* Benth., *Cordia trichotoma* Veil., *Chorisia speciosa* St.Hil. e *Aspidosperma polyneuron* Muell. Arg. representando um ano de crescimento e *Peltophorum dubium* Spreng., *Myrocarpus frondosus* Fr. Allem., *Ocotea puberula* Nees. et Mart., *Nectandra saligna* Nees. et Mart, e *Enterolobium cortortisiliquum*

Veil., não representando crescimento anual), e três tiveram anéis pouco distintos ou ausência de anéis (*Tabebuia ipe* Mart., *Balfourodendron riedelianum* Engl e *Cabrarea oblongifolia* C.DC.).

A formação de um anel de crescimento a cada período de crescimento também foi observada por Hernandez Gil & Garcia (1977) em *Vallea stipularis* Linn, e por Amobi (1974) em *Hildegardia barteri* (Mast) Kosterm, exceto em casos de múltiplas expansões vegetativas, ramificação lateral, floração ou injúria, onde observou-se a formação de anéis de crescimento múltiplos. Hallé & Martin (1968) observaram anéis de crescimento distintos desenvolvidos no xilema secundário de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., onde cada incremento correspondia a uma unidade de extensão. No entanto, por se tratar de uma planta jovem, houve formação de vários anéis de crescimento em um período inferior a um ano.

Os estudos conduzidos por Vetter & Botosso (1989), Worbes (1985, 1989) e Botosso & Vetter (1991) demonstram a influência da sazonalidade das chuvas sobre a atividade cambial das espécies da floresta Amazônica apresentando como fatores de indução à dormência cambial o período seco para as florestas de terra firme, e o período de alagamento para as florestas de várzea induzindo formação de anéis de crescimento distintos, em sua maioria anuais. Na área do Pantanal Matogrossense, Mattos (1999), analisou vinte e seis espécies decíduas e uma sempre-verde. Observou anéis de crescimento anuais, em todas espécies analisadas, comprovando que as condições ambientais daquela região do Pantanal, induzem formação de anéis anuais. Apesar de Mattos (1999) não ter realizado análise da atividade cambial, comprovou pela periodicidade de formação dos anéis, que o câmbio daquelas árvores apresentou um único período da atividade cambial.

Conduzindo estudos sobre a formação de anéis de crescimento de quatro espécies lenhosas decíduas e seis espécies lenhosas sempre-verdes ocorrentes em cerrado sensu stricto no DF, Coradin (2000), relatou que as espécies estudadas formam anéis de crescimento em diferentes graus de distinção.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo geral caracterizar a formação dos anéis de crescimento na madeira de espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado.

3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, menciona-se a determinação: (i) de anéis de crescimento anuais; (ii) da idade das árvores; (iii) da taxa de crescimento em diâmetro do tronco; (iv) dos padrões anatômicos de formação dos anéis de crescimento e (v) da influência das variáveis climáticas.

4. HIPÓTESES

As hipóteses testadas foram:

a) A madeira das espécies nativas do bioma Cerrado formam anéis de crescimento distintos.

b) Os anéis de crescimento são formados e delimitados por alterações nas características anatômicas da madeira.

c) A taxa e o ritmo de crescimento em diâmetro do tronco das árvores são fortemente influenciados pela sazonalidade climática.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Escola de Agronomia, campus Samambaia, Universidade Federal de Goiás (16°35' S, 49°29'W), Goiânia, GO (Figura 1), com espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado, que compunham o Cinturão Verde e populações próximas. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (quente e semi-úmido), com estação seca bem definida nos meses de maio a setembro (Figura 2), com altitude de 727 m, precipitação média anual de 1.400 mm e temperatura média anual de 23,2 °C.



Figura 1 – Localização do município de Goiânia no Estado de Goiás.

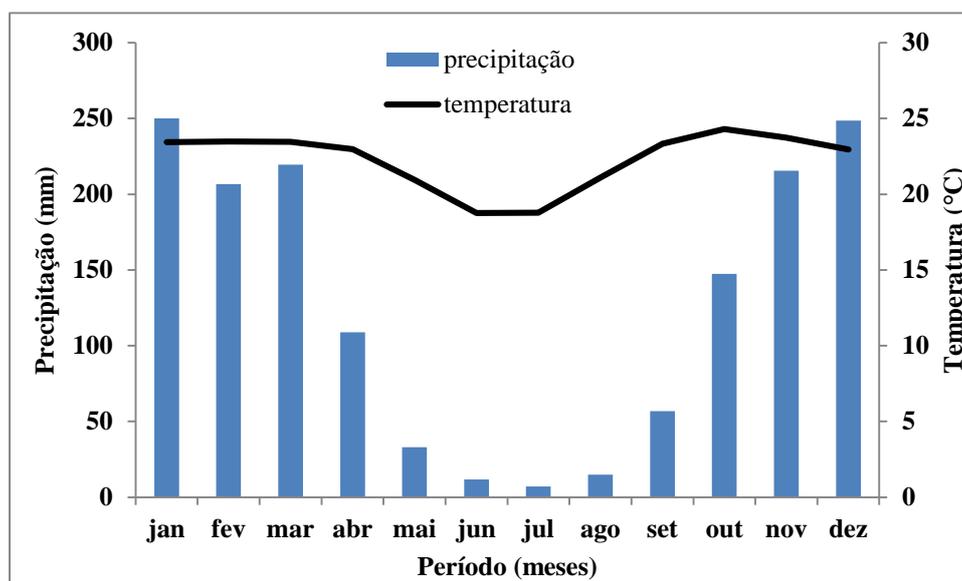


Figura 2 – Precipitação acumulada e temperatura média por mês no período de 1977 a 2012 na área do estudo. Fonte: Estação Evaporimétrica de Goiânia (2013).

5.2 Seleção das árvores e coleta das amostras do tronco

Foram identificadas e selecionadas 12 espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado (Tabela 1), levando-se em consideração o potencial para estudos dendrocronológicos. Após a seleção das espécies foram medidas as circunferências à altura do peito (CAP; 1,30 m) (Figura 3 A) de todas as árvores para a seleção dos três indivíduos com as maiores dimensões, para cada espécie, quando possível, uma vez que algumas espécies apresentavam apenas um

ou dois indivíduos. A seleção de indivíduos pertencentes ao estrato dominante visou eliminar a competição de outras árvores, que induz a formação de anéis de crescimento anuais de conformações diferenciadas.

Dos indivíduos selecionados foram retiradas duas amostras radiais na altura do CAP, em lados opostos, de forma não destrutiva, utilizando-se a Sonda de Pressler (Figuras 3 B e 3 C), totalizando 42 amostras coletadas (Tabela 1). Os orifícios deixados com a retirada das amostras de madeira (Figura 3 D) foram obstruídos com cavilhas de madeira imersas em tinta antibactericida e antifúngica, para proteção das árvores. As amostras coletadas foram acondicionadas em suportes específicos e levadas para o Laboratório de Qualidade da Madeira do Setor de Engenharia Florestal da Escola de Agronomia da UFG.

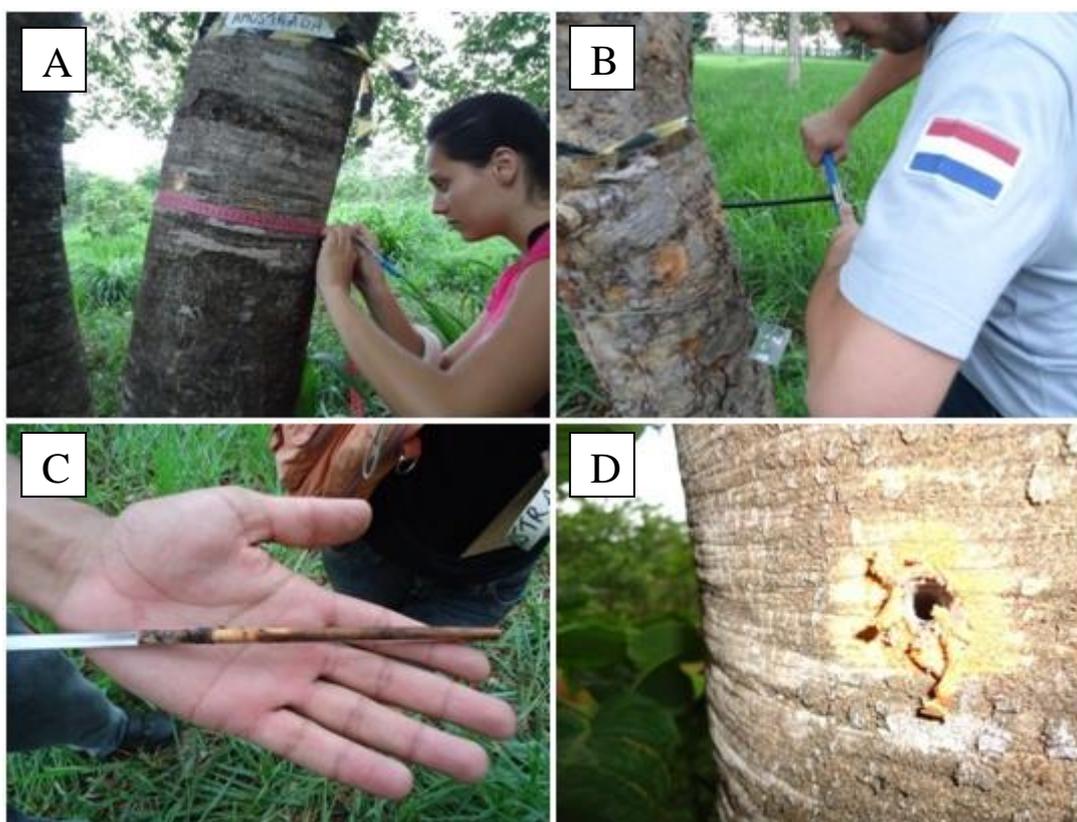


Figura 3 – Metodologia de seleção e retirada de amostras de madeira do tronco das árvores: A) medição do CAP; B) retirada das amostras com a sonda de Pressler; C) amostra retirada do tronco e D) aparência do tronco após a retirada da amostra.

Tabela 1 – Espécies selecionadas com suas respectivas famílias, nome científicos e populares e quantidade de amostras.

FAMÍLIA	ESPÉCIE	NOME POPULAR	Nº AMOSTRAS
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	2
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Araticum	2
Apocynaceae	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	Peroba	2
Boraginaceae	<i>Cordia glabrata</i> (Mart) DC.	Louro preto	6
Mimosaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico	4
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Baru	6
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá da mata	2
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Jatobá do cerrado	6
	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Jacarandá	2
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo	2
Sapindaceae	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	Maria pobre	4
Sterculiaceae	<i>Sterculia striata</i> A. ST. HIL. & NAUD.	Chichá	4
TOTAL			42

5.3 Análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores

5.3.1 Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia macro e microscópica da madeira

De uma das amostras de madeira de cada árvore, 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 da madeira nas lâminas histológicas permanentes foram examinadas em microscópio de luz LEICA, acoplado a uma câmera digital e coletadas as imagens.

As demais amostras extraídas das árvores foram fixadas em suporte de madeira e polidas utilizando-se lixadeira orbital. Após o polimento, estas amostras foram examinadas em lupa LEICA, acoplado a uma câmera digital e coletadas as imagens.

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 Committee (2004). Esta descrição teve como objetivo principal a caracterização dos anéis de crescimento, através da identificação de padrões no formato das células que compõem o lenho inicial e final para a detecção da periodicidade da sua formação e conseqüente determinação da sua anualidade.

5.3.2 Dendrocronologia e dendroclimatologia

Após a caracterização anatômica macro e microscópica da madeira de todas as espécies selecionadas, conforme descrito no item 5.3.1, apenas nas amostras dos indivíduos de *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá do cerrado) foi possível detectar a formação de anéis de crescimento anuais. As amostras do jatobá do cerrado passaram pelos procedimentos descritos na sequência.

5.3.2.1 Preparo das amostras e taxa de crescimento do tronco

As amostras radiais extraídas de cada árvore (três árvores x 2 amostras/árvore; total de seis amostras) foram fixadas em suporte de madeira e polidas utilizando-se lixadeira orbital (Figuras 4 A e 4 B) para evidenciar os anéis de crescimento. Após o polimento, estas amostras foram escaneadas e geradas imagens digitais (resolução: 1.200 dpi) para posterior análise em software específico *Image Pro Plus* visando demarcar o limite dos anéis de crescimento, bem como realizar a contagem e medição da largura dos anéis (Figura 5).

Os dados de largura dos anéis de crescimento gerados foram exportados para o Microsoft Office Excel para a obtenção dos gráficos de variação anual da largura dos anéis de crescimento e da taxa de incremento das árvores e para o cálculo das taxas de incremento médio anual (IMA), conforme equação 1 e incremento acumulado (IA) do tronco, determinado pela soma dos valores de largura dos anéis de crescimento consecutivos de cada série, considerando o primeiro ano de cada.

$$IMA = \frac{Raio(i)}{n} \quad (1)$$

Onde: IMA: incremento médio anual; Raio (i): comprimento do raio (mm) no ano i; n: número de anéis de crescimento no raio; i: ano.

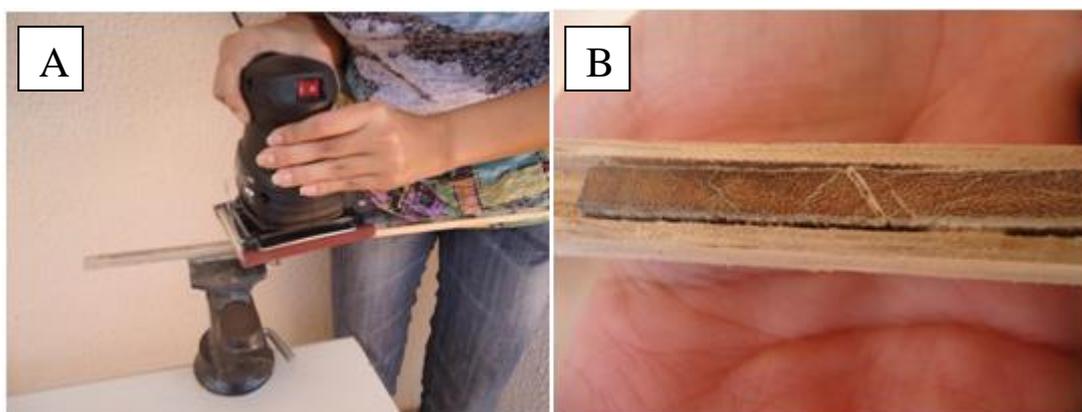


Figura 4 – Preparo das amostras de madeira para análise dos anéis de crescimento: amostras fixas em suporte de madeira e polimento (A); amostra após polimento (B).

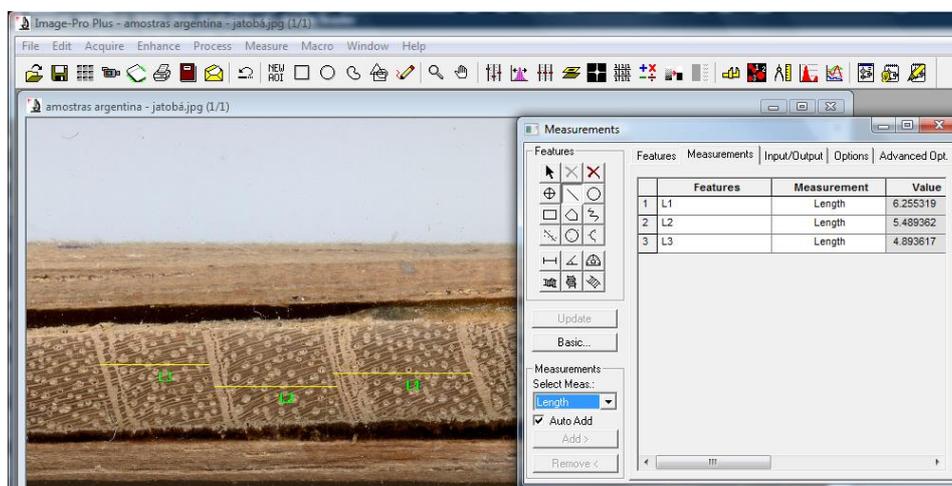


Figura 5 – Seção transversal do lenho de árvore de *Hymenaea stigonocarpa*, com os limites dos anéis de crescimento demarcados e aplicação do software *Image Pro Plus*.

5.3.2.2 Sincronização dos anéis de crescimento das árvores

Obtida a largura dos anéis de crescimento das amostras do lenho das árvores de *H. stigonocarpa* 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”). Como resultado o software calcula as correlações de Pearson entre as séries individuais e a média. 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.

5.3.2.3 Obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento

Com as séries de anéis de crescimento individuais das árvores de *H. stigonocarpa* utilizou-se o software ARSTAN para o desenvolvimento das cronologias. Para evitar que a cronologia final dos anéis de crescimento apresentasse 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. Através desse processo 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 retirada de tendência garante a correção das deficiências de cada ajuste, ou seja, da aplicação de uma função exponencial negativa, garantindo um bom ajuste final para árvores adultas e jovens, respectivamente, que compõem as séries. Como resultados, foram obtidas as cronologias para as séries de cada indivíduo, calculadas em função da média robusta.

Resumidamente, 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 (Medeiros et al. 2008).

5.3.2.4 Resposta climática no crescimento das árvores

As funções de resposta são amplamente utilizadas para descrever a relação existente entre o clima e o crescimento das árvores. Para tanto, as cronologias (índices) de anéis de crescimento das árvores de *H. stigonocarpa*, geradas pelo programa ARSTAN, foram comparadas com os valores anuais de temperaturas máxima, mínima e média, precipitação, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor através da aplicação do software JMP.

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 da espécie estudada, foram utilizados os dados meteorológicos dos últimos 18 anos, coletados na Estação Meteorológica da Escola de Agronomia da UFG. O déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado pelo método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO 1998), com a pressão de saturação de vapor (e_s) calculada pela temperatura média (TM) e a pressão parcial de vapor (e_a) pela umidade relativa do ar (UR):

$$e_s = 0,611 e^{17,27TM/TM+237} \quad (2)$$

$$e_a = (UR/100) * e_s \quad (3)$$

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (4)$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise e caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores

As características dos anéis de crescimento das espécies estudadas estão descritas na Tabela 2. A observação das características anatômicas macro e microscópicas se mostrou uma técnica eficiente na determinação da presença ou ausência de anéis de crescimento na madeira das espécies nativas do bioma Cerrado. Esta técnica tem sido usada por outros autores (Baas & Vetter 1989, Iowa Committee 1989, Fahn & Werker 1990 e Wheeler & Baas 1991) na demarcação das camadas de crescimento. Da mesma forma, as características descritas demonstram a complexidade e variação na formação das camadas de crescimento em árvores de regiões tropicais.

Na madeira das espécies *Anadenanthera colubrina*, *Dipteryx alata*, *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea stigonocarpa*, *Annona crassiflora*, *Aspidosperma subincanum* e *Sterculia striata* foram observadas características anatômicas que indicaram a presença de anéis de crescimento, sendo caracterizados, principalmente, por zona fibrosa de tecido mais escuro caracterizado por parede celular espessada e achatada e pela presença de faixas ou linhas de parênquima marginal (Tabela 2 e Figuras 6, 7 e 8 A). A presença de parênquima marginal (Lisi et al. 2008) e de zonas de fibras mais espessas (Marcati et al. 2006b) são as características mais comuns e distintas para a identificação dos anéis de crescimento em árvores de regiões tropicais.

Tabela 2 – Características dos anéis de crescimento da madeira de espécies nativas do bioma Cerrado.

FAMÍLIA	ESPÉCIE	CARACTERÍSTICAS
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Indistinto
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i>	Distintos, demarcados por zona fibrosa de tecido mais escuro caracterizado por parede celular espessada e achatada; tendência de anéis semiporosos.

Continua ...

... continua

Apocynaceae	<i>Aspidosperma subincanum</i>	Distintos, demarcados pela presença de anéis semiporosos.
Boraginaceae	<i>Cordia glabrata</i>	Indistinto
Mimosaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Distintos, demarcados por zona fibrosa de tecido mais escuro caracterizado por parede celular espessada e achatada; diminuição do diâmetro dos vasos.
	<i>Dipteryx alata</i>	Distintos, demarcados por zona fibrosa de tecido mais escuro caracterizado por parede celular espessada e achatada; diminuição do diâmetro dos vasos.
	<i>Hymenaea courbaril</i>	Distintos, demarcados por finas linhas de parênquima marginal.
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	Distintos, demarcados por faixas de parênquima marginal e redução do diâmetro tangencial e frequência dos vasos.
	<i>Machaerium acutifolium</i>	Indistinto
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	Indistinto
Sapindaceae	<i>Dilodendron bipinnatum</i>	Indistinto
Sterculiaceae	<i>Sterculia striata</i>	Distintos, demarcados por finas linhas de parênquima marginal.

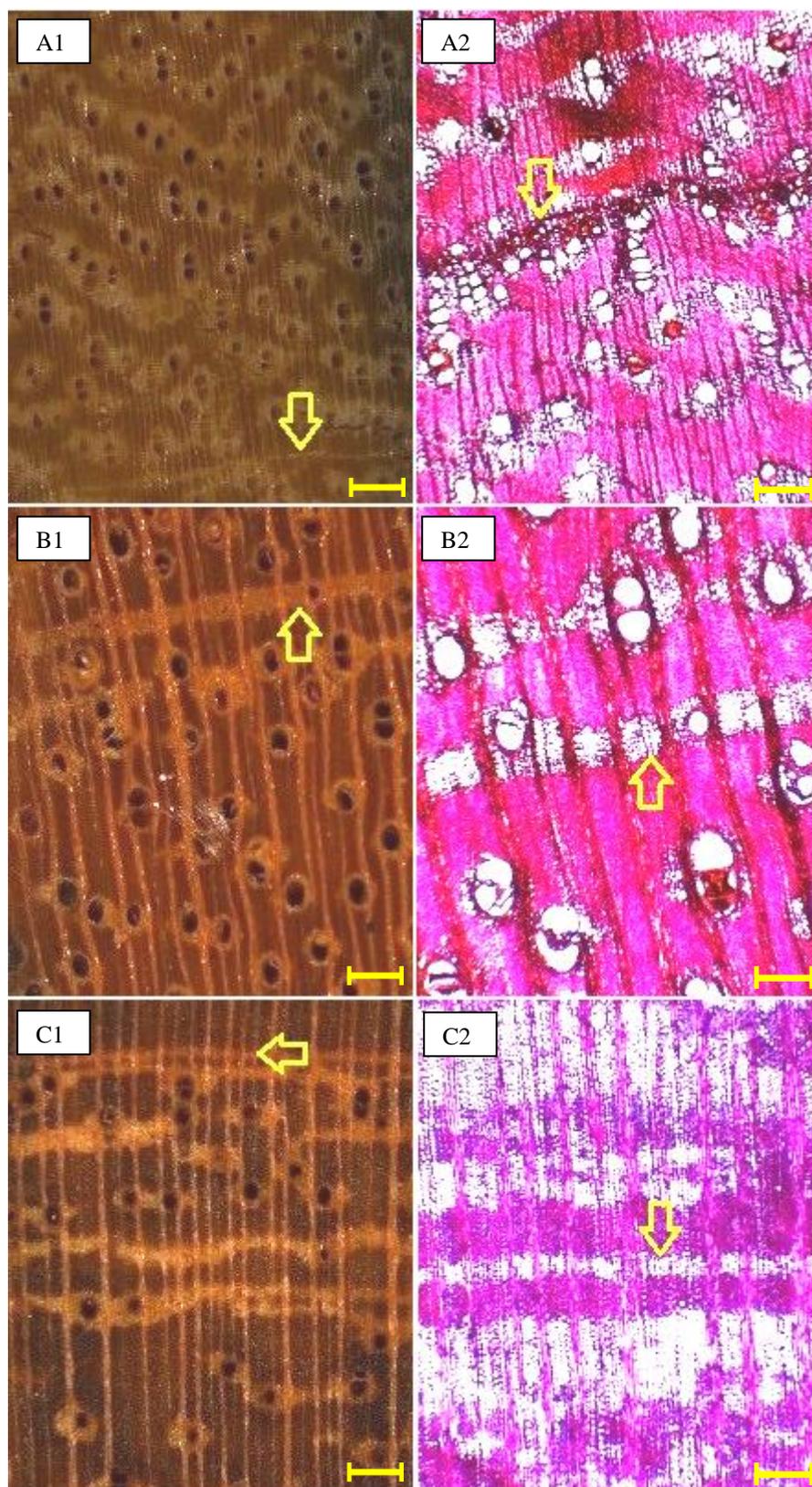


Figura 6 – Detalhe dos limites de anéis de crescimento. A- *Dipteryx alata*; B- *Hymenaea stigonocarpa* e C- *Hymenaea courbaril*; 1- imagem macroscópica (ampliação de 10 x, barra: 0,5 mm); 2- imagem microscópica (ampliação de 40 x, barra: 0,1 mm).

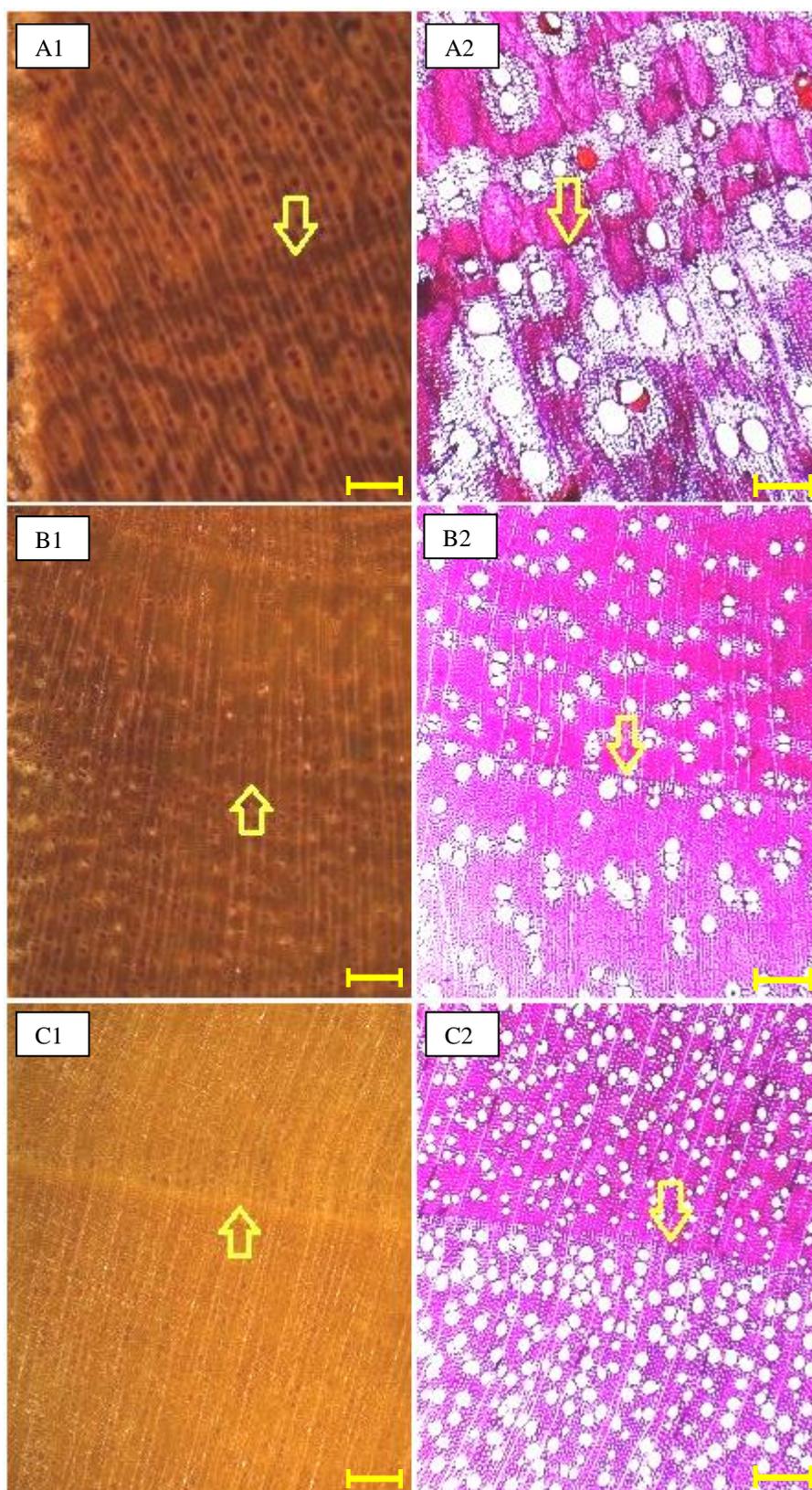


Figura 7 – Detalhe dos limites de anéis de crescimento. A- *Anadenanthera colubrina*; B- *Annona crassiflora* e C- *Aspidosperma subincanum*; 1- imagem macroscópica (ampliação de 10 x, barra: 0,5 mm); 2- imagem microscópica (ampliação de 40 x, barra: 0,1 mm).

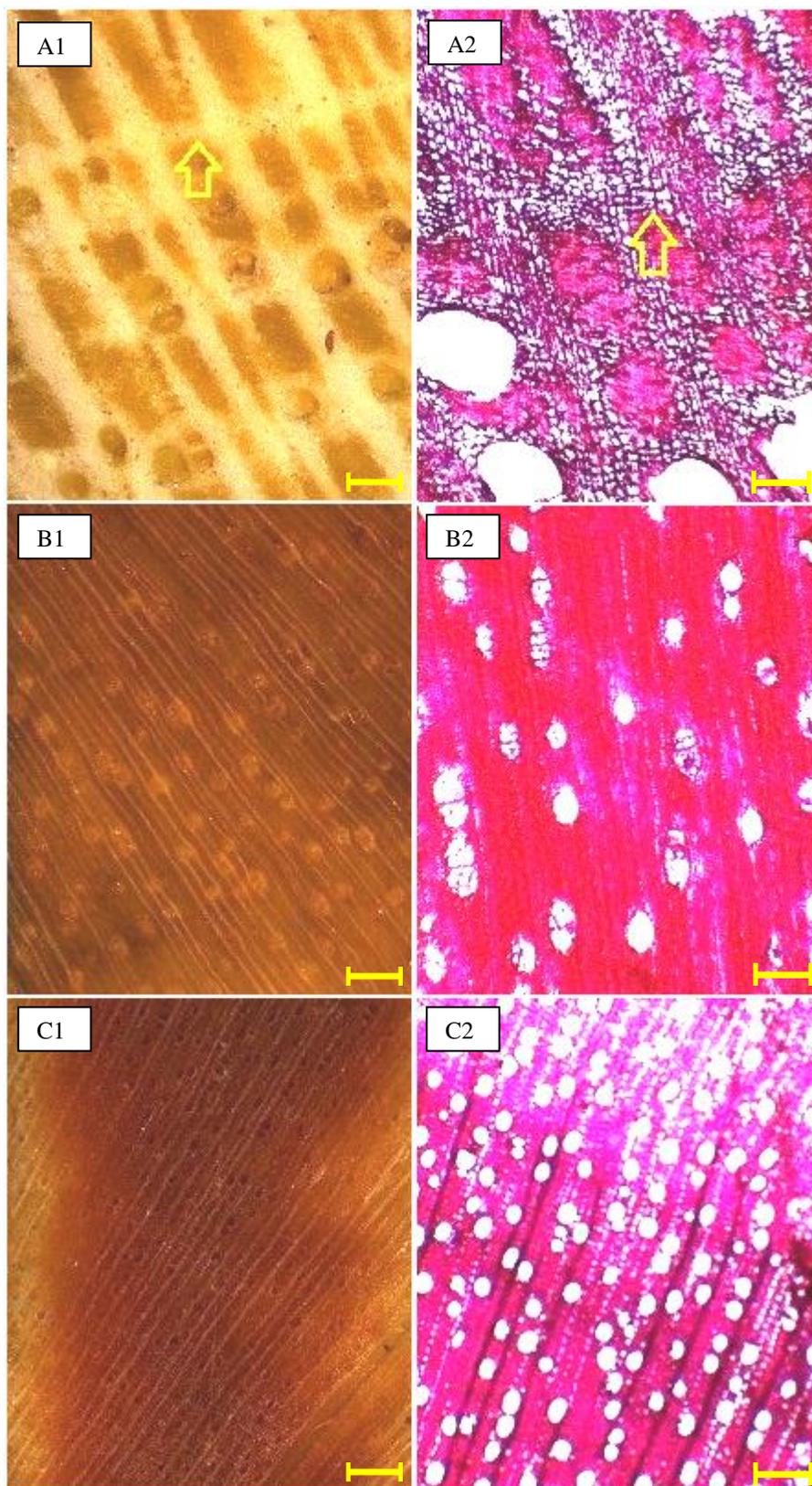


Figura 8 – Detalhe dos limites de anéis de crescimento. A- *Sterculia striata*; B- *Myracrodruon urundeuva* e C- *Genipa americana*; 1- imagem macroscópica (ampliação de 10 x, barra: 0,5 mm); 2- imagem microscópica (ampliação de 40 x, barra: 0,1 mm).

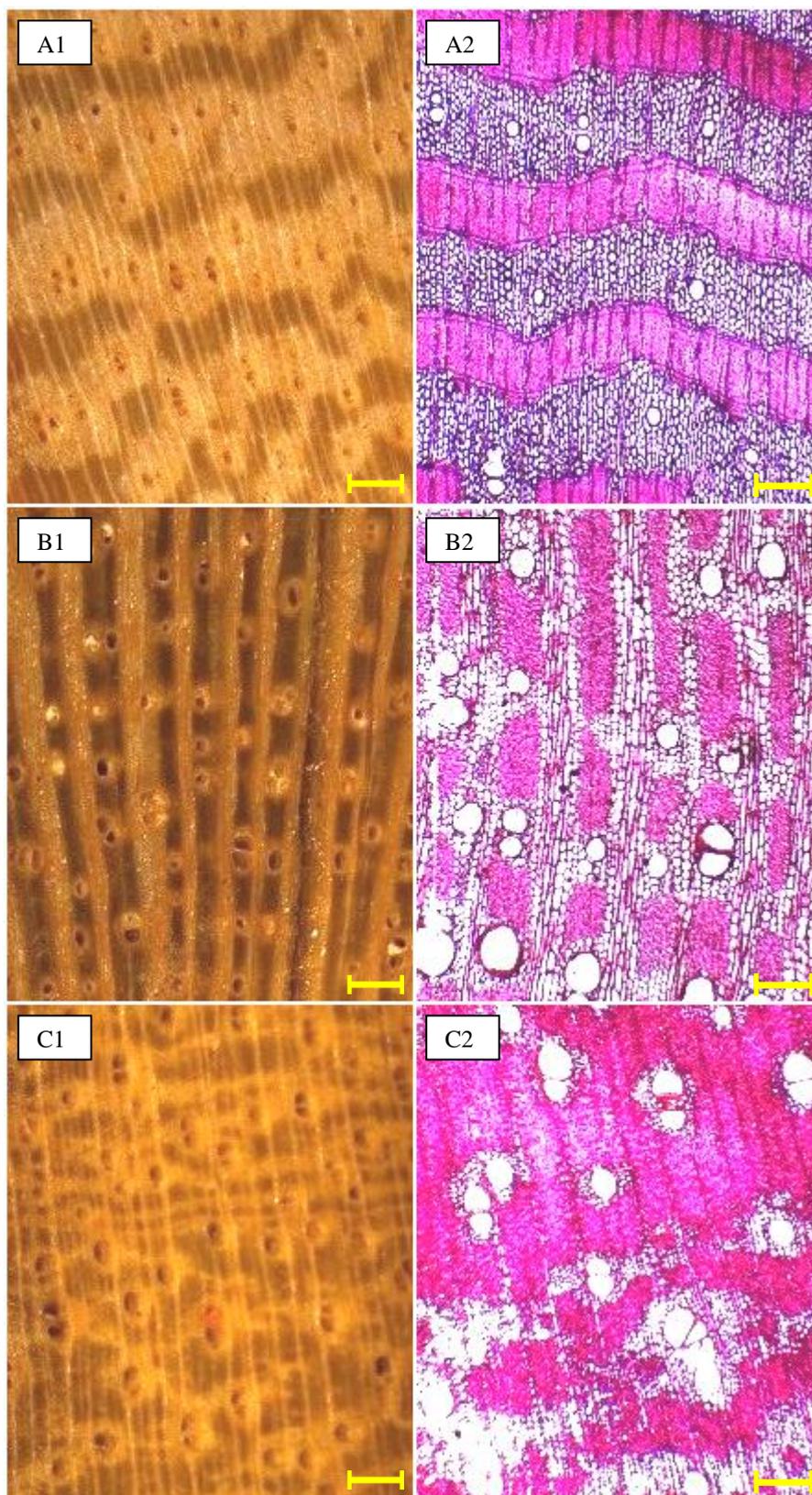


Figura 9 – Detalhe dos limites de anéis de crescimento. A- *Dilodendron bipinnatum*; B- *Cordia glabrata* e C- *Machaerium acutifolium*; 1- imagem macroscópica (ampliação de 10 x, barra: 0,5 mm); 2- imagem microscópica (ampliação de 40 x, barra: 0,1 mm).

Estudo sobre a identificação de anéis de crescimento e estimativa de idade e incremento anual em diâmetro do tronco de espécies nativas do pantanal mato-grossense, realizados por Mattos (1999), mostrou que as espécies *Anadenanthera colubrina*, *Hymenaea stigonocarpa* e *Dipetryx alata* apresentaram anéis de crescimento distintos, com características similares ao observado neste trabalho.

Do total de espécies estudadas, 58% apresentaram os limites de anéis de crescimento bem definidos, sendo um fator importante e que deve ser levado em consideração no estabelecimento de programas de conservação e manejo do bioma cerrado. Esta incidência de anéis de crescimento na madeira de espécies tropicais foi também observada por Marcati et al. (2006a) ao estudarem 58 espécies do cerrado paulista e está relacionado com a presença de sazonalidade climática na região que compreende o bioma, com a presença de estações secas e chuvosas bem definidas (Figura 2). De acordo com Worbes (1995), um período de dois a três meses com níveis de precipitação abaixo de 60 mm é suficiente para a formação de anéis de crescimento na madeira.

A presença de anéis de crescimento distintos na madeira das árvores de algumas espécies, observados neste estudo, confirma os resultados de outras pesquisas (Callado et al. 2001, Ferreira Fedele et al. 2004, Mattos et al. 2007, Lisi et al. 2008) que, da mesma forma, observaram camadas de crescimento na madeira de árvores de regiões tropicais.

Por outro lado, na madeira das espécies *Cordia glabrata*, *Machaerium acutifolium*, *Dilodendron bipinnatum*, *Genipa americana* e *Myracrodruon urundeuva* (Figuras 8 B, 8 C e 9) não foram observados a presença de anéis de crescimento (indistintos), apesar de uma clara estação seca na região do estudo (Figura 2). Este resultado pode estar associado a adaptação destas espécies do cerrado às condições de disponibilidade limitada de água durante a estação seca, como a busca por recursos hídricos em camadas profundas do solo, promovendo a atividade cambial ininterrupta. Apesar da periodicidade da atividade cambial e consequente formação dos anéis de crescimento ser fortemente controlado pelas condições ambientais, os fatores endógenos inerentes a cada espécie podem, da mesma forma, controlar o seu ritmo de crescimento cambial.

Estudo realizado por Tomazello et al. (2004) constatou, da mesma forma, camadas distintas de anéis de crescimento para a espécie *H. courbaril*, não sendo, no entanto, observadas camadas distintas para espécies dos gêneros *Machaerium* e *Cordia*, corroborando o resultado obtido neste trabalho.

6.2 Dendrocronologia: idade e taxa de crescimento em diâmetro do tronco

Após a caracterização anatômica macro e microscópica da madeira de todas as espécies selecionadas, conforme descrito no item 6.1, apenas nas amostras dos indivíduos de *H. stigonocarpa* (jatobá do cerrado) foi possível detectar a formação de anéis de crescimento anuais em função dos padrões anatômicos observados ao longo de todo o raio das amostras que coincidiram com a idade aproximada de plantio das árvores: faixa de parênquima marginal e presença de vasos com menor diâmetro tangencial e frequência com padrão de repetição ao longo dos raios amostrados. Apesar dos dados encontrados serem bons indicativos de crescimento dessas espécies, requer-se que seja utilizada maior amostragem por espécie para o desenvolvimento de um plano de manejo.

A análise da estrutura anatômica da madeira de *H. stigonocarpa* indica que os anéis de crescimento são, de modo geral, mais largos na região interna do lenho, próxima da medula, pelas características da madeira juvenil, formada nos primeiros anos de crescimento do tronco das árvores. Nesta região, a largura dos anéis de crescimento é, muitas vezes, superior a 10 mm e caracterizados pela excelente distinção entre as regiões do lenho inicial/tardio e, normalmente, perceptíveis a olho nu (Figura 5). Na madeira formada após oito a dez anos, os anéis de crescimento são menos característicos observando-se uma redução gradativa da sua largura até a casca, relacionada ao aumento da idade das plantas e a formação da madeira adulta.

A avaliação da estrutura anatômica macroscópica através da largura dos anéis de crescimento, além de outras propriedades, pode auxiliar na determinação da porcentagem da presença da madeira juvenil e adulta no lenho de espécies nativas. A distinção dos dois tipos de madeira presentes no tronco das árvores é importante sob o aspecto tecnológico, pois as diferenças de comportamento entre elas refletem nas suas propriedades físico-mecânicas e, consecutivamente, no seu uso doméstico ou industrial.

Obtida a largura dos anéis de crescimento das amostras de madeira das árvores de *H. stigonocarpa* construíram-se as séries de largura e procedeu-se a sua sincronização e o controle de qualidade aplicando-se o programa COFECHA, conforme descrito no item 5.3.2. Após o controle de qualidade da datação foram construídas as cronologias utilizando o programa ARSTAN, através da padronização das séries individuais de largura dos anéis de crescimento. Dessa forma, removeram-se as tendências não climáticas, relacionadas com a

idade das árvores, procedendo-se o cálculo dos valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, em uma função média (Figura 10).

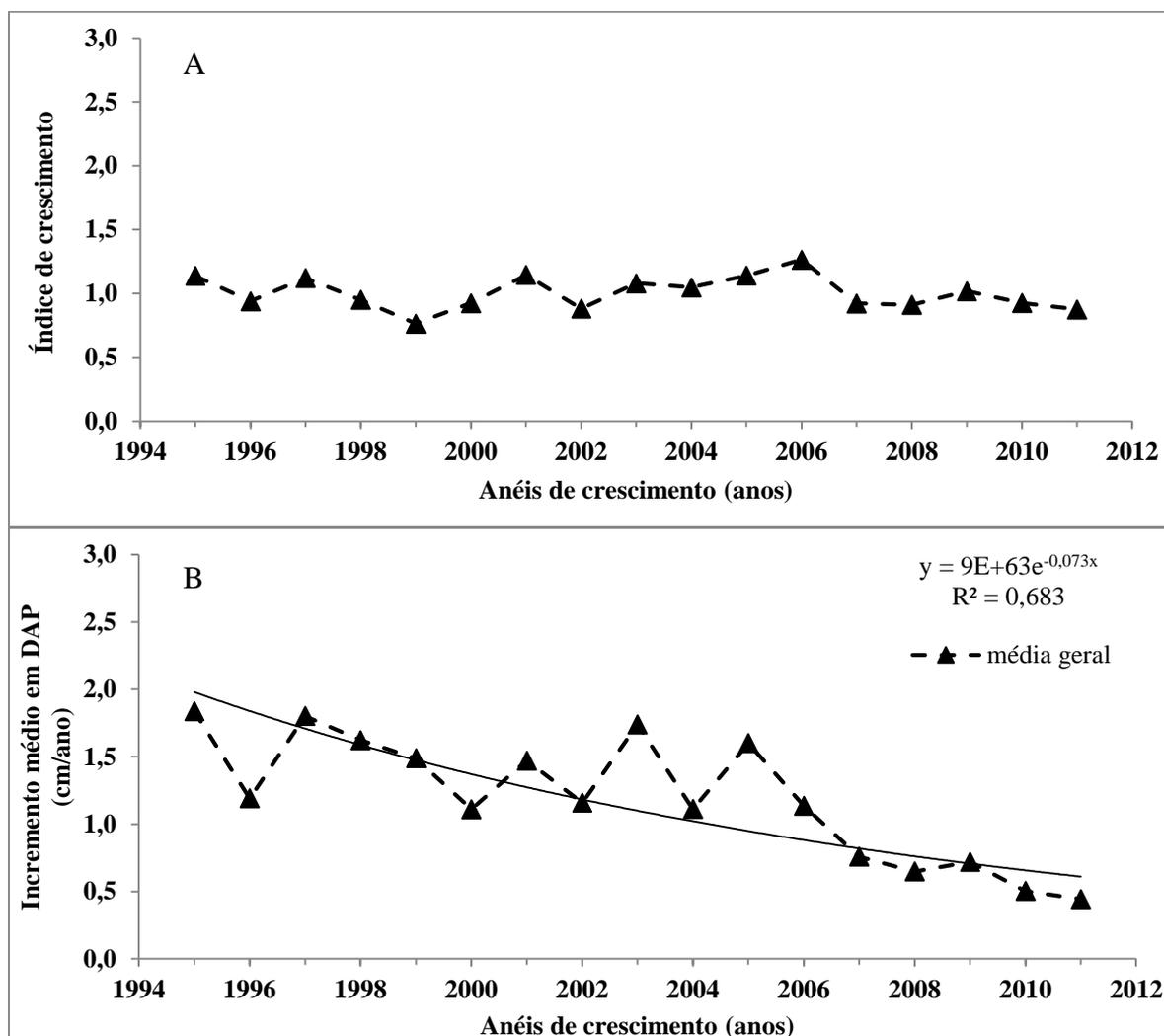


Figura 10 – Curva de tendência do crescimento médio em diâmetro à altura do peito (DAP) no tronco de árvores de *Hymenaea stigonocarpa* ao longo dos anos; A) séries cronológicas padronizadas e B) sem padronização.

O modelo clássico (exponencial negativo) demonstra que as árvores apresentaram maior taxa de crescimento em diâmetro do tronco nos primeiros anos e, ao atingirem a idade adulta, ocorreu uma redução exponencial da largura dos anéis de crescimento, até valores relativamente constantes. A curva de tendência do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *H. stigonocarpa* foi comumente observada, sendo caracterizada por altas taxas de incremento no período inicial e estabilização com o avanço da idade (Figura 10 A) em

resposta, por exemplo, ao aumento da competição dos fatores de crescimento (luz, água, nutrientes, etc.).

Através da datação das amostras de madeira das árvores de *H. stigonocarpa* a idade média foi de aproximadamente 15 anos, tendo as árvores 1, 2 e 3, respectivamente, 14, 15 e 17 anos de idade. A avaliação do crescimento em diâmetro das árvores, através dos parâmetros de incremento acumulado (IA) e de incremento médio anual (IMA) (Tabela 3) indica que, de modo geral, as árvores apresentam similaridades no ritmo de crescimento (Figura 11).

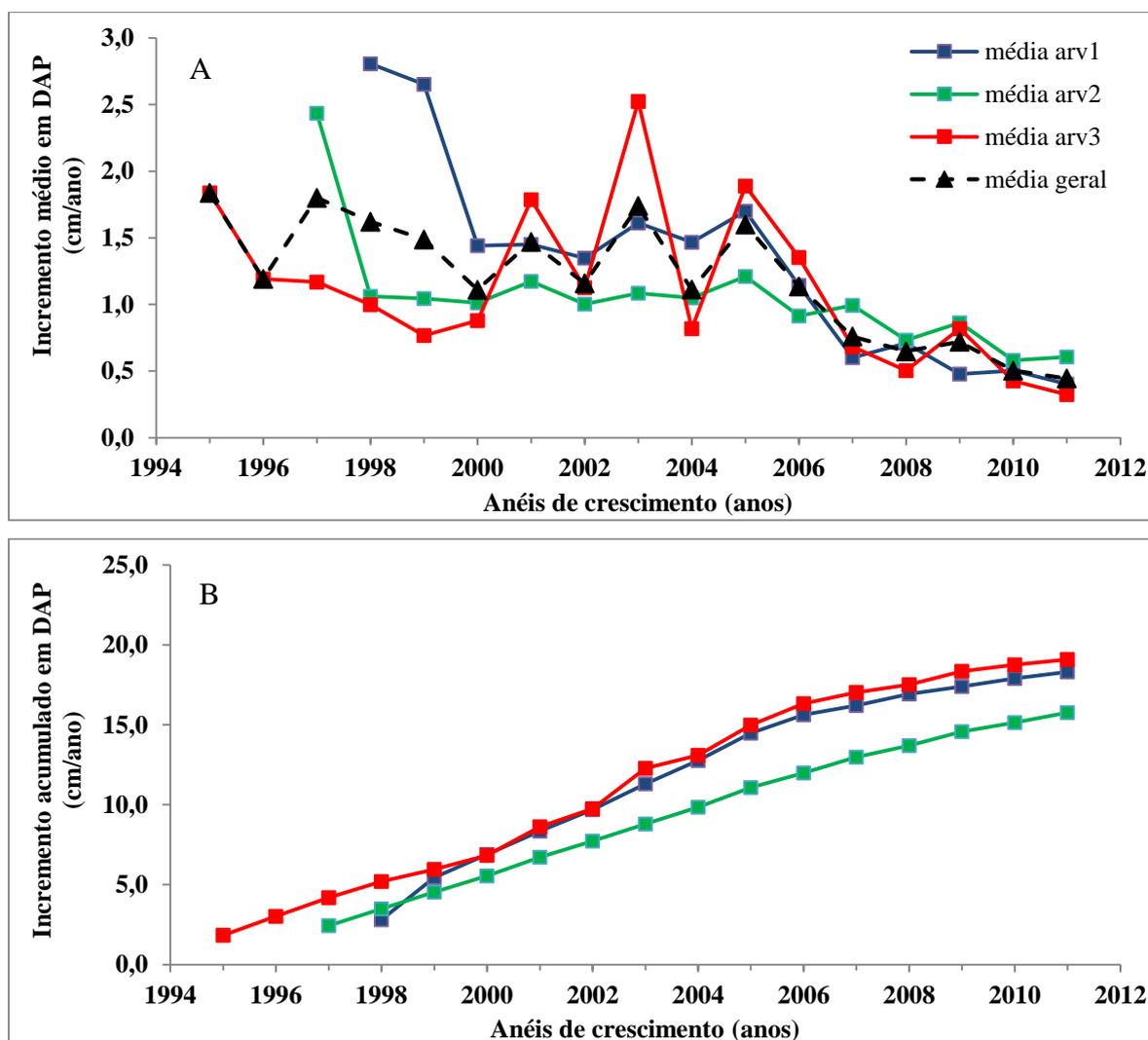


Tabela 11 – A) Incremento médio e B) acumulado em diâmetro à altura do peito (DAP) no tronco de árvores *Hymenaea stigonocarpa*.

O incremento médio anual (IMA) em DAP do tronco das árvores (Figura 10 A) foi, de maneira geral, maior nos primeiros anéis de crescimento (1,8-2,8 cm), período de menor

competição entre as árvores pelos fatores que induzem o crescimento, formando a madeira denominada juvenil. Com o avanço da idade das árvores e consequente aumento da demanda por nutrientes, água, e outros recursos, o IMA diminui consistentemente até a sua estabilização a partir do oitavo ao décimo-primeiro ano (0,75-0,44 cm), indicando a formação da madeira denominada adulta. Conforme mencionado, a madeira adulta é a que apresenta as melhores propriedades tecnológicas e permite um uso industrial.

O incremento médio anual, considerando as três árvores de jatobá do cerrado analisadas foi de 1,16 cm. Souza et al. (2008), em seus estudos sobre o desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia, encontraram valor de incremento médio anual em DAP de 1,5 cm para a espécie *Hymenaea courbaril*, uma espécie com características próximas de *H. stigonocarpa*.

A mensuração do incremento corrente acumulado do tronco, através da análise dos anéis de crescimento (Figura 10 B), indica as diferenças no ritmo de crescimento das três árvores de jatobá do cerrado ao longo dos anos, representada pelos diâmetros finais de 18,3; 15,8 e 19,1 cm, para as árvores 1, 2 e 3, respectivamente. Durante todo o período (aproximadamente 15 anos), as árvores 1 e 3 apresentaram diâmetros do tronco maiores em relação ao da árvore 2. Os resultados evidenciam o maior potencial das árvores com maiores dimensões na assimilação dos fatores de crescimento, sejam água e nutrientes do solo ou da luz solar.

6.3 Dendroclimatologia: variáveis climáticas x crescimento em diâmetro do tronco

A relação entre o incremento médio em DAP do tronco das árvores de jatobá do cerrado e as variáveis climáticas – e sua ordem de importância – foi estudada através da análise de regressão múltipla e da correlação de Pearson, considerando-se como repetições o índice de crescimento médio de cada anel de crescimento calculado pelo software Arstan (Figura 10 B). Os modelos ecofisiológicos devem ser desenvolvidos para explicar a variação do crescimento das árvores em função das condições climáticas, não se constituindo, no entanto, no objetivo do presente trabalho.

Na análise de regressão foram retiradas as variáveis não significativas, temperaturas máxima, mínima e média e DPV (déficit de pressão de vapor), de menor interesse na determinação da variação do incremento em diâmetro do tronco. Desta forma, das variáveis analisadas para explicar o incremento em diâmetro do tronco, em regressão Stepwise (5%

probabilidade) foram selecionadas a umidade relativa do ar (UR) e a precipitação (Pr) para compor o modelo de regressão (eq. 4). Essas duas variáveis explicam 46% da variação total do incremento em diâmetro do tronco, com a umidade relativa do ar e a precipitação, responsáveis por 40,4 e 50,5 % da variação, respectivamente (Tabela 4).

$$\text{Incremento} = 0,1377 + 0,0051 (\text{UR}) + 0,0003 (\text{Pr}) \quad (5)$$

Tabela 4 – Análise de regressão múltipla entre o incremento no tronco de árvores *Hymenaea stigonocarpa* e as variáveis climáticas.

Passos	Temperatura Máxima	Temperatura mínima	Temperatura Média	UR	Precipitação	DPV*	R ²
1	0,5	2,1	6,7	43,1	2,8	44	0,60
2	-	1,9	7,4	43,0	2,4	45,3	0,60
3	-	4,8	-	46,0	13,0	35,9	0,56
4	-	-	-	46,5	12,9	40,4	0,53
5	-	-	-	40,4	50,5	-	0,46

* Déficit de Pressão de Vapor

Além de selecionadas para comporem o modelo de regressão, a precipitação (Figura 12) e a umidade relativa do ar são diretamente proporcionais ao crescimento em diâmetro do tronco, com coeficiente de correlação de Pearson de +0,60 e de +0,43, respectivamente, indicando que, quanto menor, ou maior, o nível de precipitação e a umidade relativa do ar menor, ou maior, será o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de jatobá-do-cerrado, confirma a alta sensibilidade do crescimento em relação à variação da disponibilidade de água no ambiente. As relações entre a formação dos anéis de crescimento e a qualidade da madeira e as variáveis climáticas têm sido amplamente estudadas, sendo Baas (1973) e Carlquist (1975) os pioneiros nesta abordagem da anatomia da madeira. Trabalhos posteriores, desenvolvidos em exemplares arbóreos tanto de regiões temperadas quanto tropicais, constataram que as variações ambientais se refletem na estrutura do lenho (Sette Jr et al. 2010).

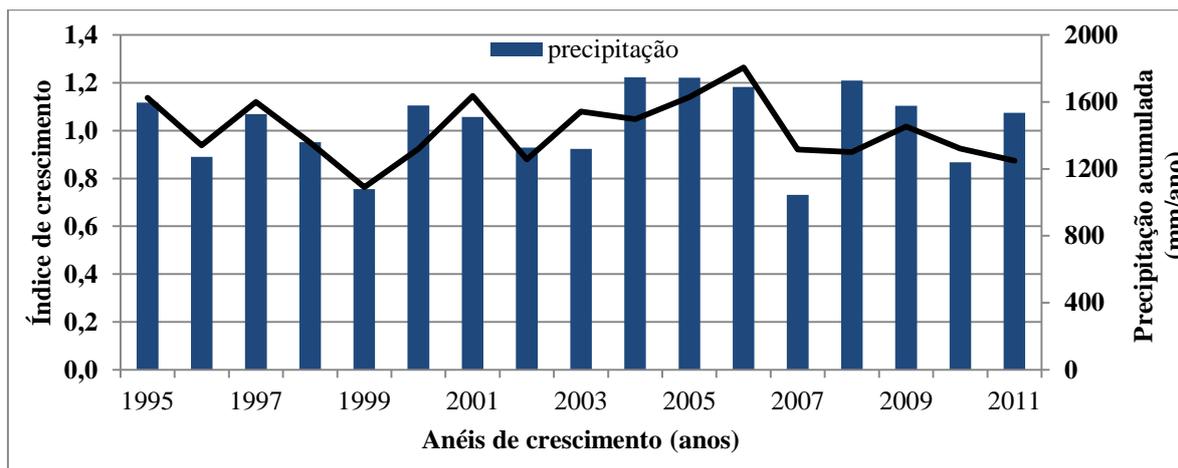


Figura 12 – Relação entre o índice de crescimento do tronco de *Hymenaea stigonocarpa* e os níveis de precipitação.

Os resultados da regressão múltipla indicam que as variações do incremento do tronco no DAP das árvores de *H. stigonocarpa* estão relacionadas com a umidade relativa do ar e com a precipitação. Diversos trabalhos têm demonstrado que o crescimento em diâmetro do tronco de espécies de clima tropical é influenciado pelos níveis de precipitação. Pesquisas conduzidas por Vetter & Botosso (1989), Worbes (1985, 1989) e Botosso & Vetter (1991) demonstram a influência da sazonalidade das chuvas sobre a atividade cambial das espécies da floresta Amazônica apresentando como fatores de indução à dormência cambial o período seco para as florestas de terra firme induzindo formação de anéis de crescimento distintos, em sua maioria anuais. A existência de uma relação entre crescimento em diâmetro do tronco das árvores e a precipitação possibilita, segundo Rozendaal & Zuidema (2011), a reconstrução de padrões históricos de clima. Considerando que os dados meteorológicos disponíveis em regiões tropicais raramente ultrapassam algumas décadas, o uso de anéis de crescimento para basear a reconstrução climática pode acrescentar conhecimentos sobre o clima de determinadas regiões do planeta. Para que esta ferramenta seja precisa, é necessário que novas espécies, em diferentes regiões tropicais e subtropicais, sejam estudadas e que longas cronologias (aproximadamente 150-200 anos) sejam desenvolvidas.

A análise dos anéis de crescimento das árvores possibilita a identificação e a reconstrução das alterações ambientais naturais, da dinâmica de populações florestais e da variação dos recursos hídricos e edáficos, além de possibilitar a avaliação dos efeitos dos ventos, de ataques de insetos e microorganismos, da presença de metais pesados no ambiente e da ação antrópica (Botosso & Mattos 2002), se constituindo, portanto, em excelente ferramenta de análise do histórico de uma determinada região.

7. CONCLUSÕES

Na madeira das espécies *Anadenanthera colubrina*, *Dipteryx alata*, *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea stigonocarpa*, *Annona crassiflora*, *Aspidosperma subincanum* e *Sterculia striata* foram observados anéis de crescimento distintos, e na madeira das espécies *Cordia glabrata*, *Machaerium acutifolium*, *Dilodendron bipinnatum*, *Genipa americana* e *Myracrodruon urundeuva* não foi observada a presença de anéis de crescimento.

Os anéis de crescimento distintos observados na madeira das espécies nativas do bioma Cerrado são caracterizados por zona fibrosa de tecido mais escuro com parede celular espessada e achatada e pela presença de faixas/linhas de parênquima marginal.

A taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *H. stigonocarpa* é fortemente influenciada pela sazonalidade climática, principalmente pela disponibilidade hídrica no ambiente.

A avaliação dos anéis de crescimento anuais formados no lenho das árvores de *H. stigonocarpa* se mostrou eficiente na determinação da idade e da taxa de crescimento em diâmetro do tronco.

8. RECOMENDAÇÕES

São apresentadas sugestões para futuras pesquisas em dendrocronologia fundamentadas nas metodologias aplicadas e nos resultados obtidos:

(i) a caracterização de anéis de crescimento em amostras de madeira retiradas de forma destrutiva para poder visualizar a sua formação ao longo de todo o disco, evidenciando os falsos anéis ou, ainda, anéis incompletos, muito comuns em madeira de espécies crescendo em regiões tropicais.

(ii) apesar dos dados encontrados serem bons indicativos de crescimento da espécie *H. stigonocarpa*, requer-se que seja utilizada maior quantidade de amostragens e que novas espécies sejam estudadas para determinar o seu potencial dendrocronológico.

(iii) a avaliação da atividade cambial e da fenologia das árvores das espécies, visando uma maior compreensão da periodicidade da formação dos anéis de crescimento e das relações entre o crescimento das árvores, dos fatores climáticos, da senescência e queda de folhas das árvores.

(iv) a utilização de outras metodologias para a detecção da periodicidade da atividade cambial e, conseqüentemente, da formação dos anéis de crescimento na madeira como a

densitometria de raios x, aplicação de dendrômetros permanentes instalados no tronco das árvores, marcações cambiais, e outros.

(v) os modelos ecofisiológicos devem ser desenvolvidos para explicar melhor a variação do crescimento das árvores em função das condições climáticas.

REFERÊNCIAS

ABDALA, G. C.; L. S. CALDAS; M. HARIDASAN; G. EITEN. 1998. Belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Revista Brasileira de Ecologia* 2(1): 11-23.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.

AKACHUKU, A. E. The effects of some internal and external factors on growth rate of *Lovoa trichilioides* deduced from its wood anatomy. *IAWA Journal*, Utrecht, v.5, n.1, p.75-80, 1984.

AMOBI, C. C. Periodicity of wood formation in twigs of some tropical trees in Nigeria. *Annals of Botany*, London, v.38, p.931-936, 1974.

BAAS, P. *The wood anatomical range in Ilex (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance*. Blumea, Leiden, v. 21, p. 193-258, 1973.

BAAS, P.; VETTER, R.E. 1989. Growth rings in tropical woods. *IAWA Bull.* 10(2):95-174.

BORCHERT, R. Growth periodicity and dormancy. RAGHAVENDRA, A.S. *Physiology of trees*. New York: J. Wiley & Sons, 1991. p.221-245.

BONINSEGNA, J. A.; VILLALBA, R.; AMARILLA, L.; OCAMPO, J. Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. *IAWA Journal*, Utrecht, v.10, n.2, p.161-169, 1989.

BOTOSSO, P. C.; VETTER, R. E. Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de floresta de Terra Firme (Amazônia). *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 163–180, 1991.

BOTOSSO, P. C.; VETTER, R. E.; TOMAZELLO FILHO, M. Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro (*Cedrela odorata* L., Meliaceae), jacareúba (*Calophyllum angulare* A. C., Clusiaceae) e muirapiranga (*Eperua bijuga* Mart. ex Benth., Leg. Caesalpinoideae). In: ROIG, F. A. (Org.). *Dendrocronologia en América Latina*. Mendoza: EDIUNC, p. 357-379, 2000.

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicações. *Colombo: Embrapa Florestas*, 2002.

BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. E. P. *Carbon sequestration in soils of Latin America*. New York, Haworth, 2006. p.285-304.

CALLADO, C. H.; SILVA NETO, S. J.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F.; COSTA, C. G. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic rain forest in Rio de Janeiro, Brazil. *IAWA Journal*, Leiden, v. 22, n. 1, p. 29-42, 2001.

CARLQUIST, S. *Ecological strategies in xylem evolution*. University of California Press, Berkeley. 1975.

COLE, M. M. Cerrado, Caatinga and Pantanal: The distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. *Geography Journal*, v.106, n.2, p. 68-179, 1960.

CORADIN, V. T. R. *Formação de anéis de crescimento e sazonalidade da atividade cambial de três espécies lenhosas do Cerrado*. 2000. 131 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília. 2000.

COOK, E. R. A conceptual linear aggregate model for tree rings. In: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (Ed.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p. 102-103.

COUTINHO, L. M. O Cerrado e a ecologia do fogo. *Ciência Hoje*, p.130-138, maio 2002. (Volume especial Eco-Brasil).

DREW D.M.; GRADY, A. P.; DOWNES, G. M.; READ, J.; WORLEDGE, D. *Daily patterns of stem size variation in irrigated and nonirrigated Eucalyptus globulus Tree Physiology*, Oxford, v. 28, p. 1573–1581, 2008.

DREW, D. M; GEOFFRE, Y. M.; DOWNES, G. M. GRADY, A. P.; READ, J.; WORLEDGE, D. High resolution temporal variation in wood properties in irrigated and non-irrigated *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*. Les Ulis, v.66, p.1-10 , 2009.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brasil. *The Botanical Review*, v.38, p.201-341, 1972.

EITEN, G. *Vegetação dos Cerrados*. In: *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2.ed. Brasília: UnB, SEMATEC, 1994. p.9-65.

ESTAÇÃO EVAPORIMÉTRICA DE GOIÂNIA. *Boletim meteorológico anual - período de 1996 a 2012*. Disponível em: <http://agro.ufg.br/pages/63545>. Acesso em: 10 de outubro de 2013.

FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K. A. MARIAUX, A.; TOMLINSON, P. B. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: BORMANN, F. H; BERLYN, G. *Age and growth rate of tropical trees: new directions for research*. Yale University, School of Forestry & Environmental Studies, 1981. p.. 31-54. (Bulletin.94.).

FAHN, A. & WERKER, E. Seasonal cambial activity. In *The vascular cambium* (M. Iqbal, ed.). Research Studies Press Ltd. 1990.

FERREIRA-FEDELE, L.; TOMAZELLO, M.; BOTOSSO, P. C.; GIANNOTTI, E. Periodicidade do crescimento de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (guarantã) em duas áreas da região Sudeste do Estado de São Paulo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, [s.v], n.65, p.141-149, 2004.

GOURLAY, I. D. Growth ring characteristics of some African Acacia species. *Journal of Tropical Ecology*, New York, v.11, p. 121-140, 1995.

HALLÉ, F.; MARTIN, R. *Étude de la croissance rythmique chez l'hevea (Hevea brasiliensis Müll.-Arg. Euphorbiacées-Crotonoidées)*. Adansonia, ser. 2, v.8, n.4, p.475-503, 1968.

HARIDASAN, M. 1993. Solos do Distrito Federal. In: M. N. Pinto (org.), *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 321-344. 2ª ed., Editora Universidade de Brasília, Brasília.

HELAMA, S.; LAANESLAID, S.; TIETAVAINEN, A.; FAURIA, M. M.; KUKKONEN, I. T.; HOLOPAINEN, J.; NIELSEN, J. K.; VALOVIRTA, I. *Late Holocene climatic variability reconstructed from incremental data from pines and pearl mussels – a multi-proxy comparison of air and surface temperatures*. *Boreas*. 2010, Vol. 39(4), pp. 734-748.

HERNANDEZ GIL, R.; GARCIA F., F. Ritmicidad en el crecimiento de la *Vallea stipularis* L. *Revista Forestal Venezolana*, Merida, v.27, p. 143-157, 1977.

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

HOLMES, R. L. *Dendrochronology: program manual*. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, 1994. 40 p.

IAWA COMMITTEE. *List of microscopic features for hardwood identification*. IAWA Bull. 10(3):219-332. 1989.

IAWA COMMITTEE. IAWA List of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal*, Leiden, v. 25, n. 1, p. 1-70, 2004.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: angiospermae e gimnospermae*. Brasília, 1992. 17 p. (Série Técnica, 15).

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

JACOBY, G. C.; D'ARRIGO, R. D. Teak (*Tectona grandis* L.F.), a tropical species of large-scale dendroclimatic potential. *Dendrochronologia*, v.8, p.83-98, 1990.

JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York: MacGraw-Hill, 1940. 533 p.

KITZBERGER, T.; VEBLEN, T. T.; VILLALBA, R. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In *Dendrocronología en América Latina* (F.A. Roig, ed.). Ediunc, Mendoza, p.17-78. 2000.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *EUA, Conservation Biology*. v.19, n.3, p.707-713, 2005.

KLINK, C. A.; SILVA, J. F.; FARINAS, M.; FELFILI, J.; *Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil*. UK, *Journal of Biogeography*, v.33, p.536-548, 2006.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press, San Diego. 1991.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. *Growth control in woody plants*. Academic Press, San Diego. 1997.

LISI, C.; 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 season semi-deciduous Forest in southeast Brazil. *IAWA Journal*, Leiden, v. 29, n. 2., p. 189-207, 2008.

MARCATI, C. R. ANGYALOSSY, V.; EVERT, R. F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *IAWA Journal* v. 27 p. 100-211. 2006a.

MARCATI, C. R.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, S. R.. Growth rings in cerrado wood species: occurrence and anatomical markers. *Biota Neotropica* 6:1-31. 2006b.

MATTOS, P. P. *Identificação de anéis anuais de crescimento e estimativa de idade e incremento anual em diâmetro de espécies nativas do pantanal da Nhecolândia, MS*. 1999. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1999.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. *Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Candói, PR*. Notas Científicas. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, [s.v.], n.54, p. 153-156, 2007.

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*, Amsterdam, v. 26, p.165–171, 2008.

MEIRA NETO, J. A. A.; SAPORETTI JÚNIOR, A. W. Parâmetros fitossociológicos de um cerrado no Parque Nacional da Serra do Cipó, MG. Viçosa, *Revista Árvore*, v.26, n.5, p.645-648, 2002.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. *Nature* 403, 853 (2000).

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfata em solos de cerrado. *Boletim eletrônico da EMBRAPA*. Doc 195, 2007. 30p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma do Cerrado: os biomas do Brasil. In: SANO & ALMEIDA. *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA, 1998. p.89-116.

ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA P. A. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* (2011) 25:3–16.

RUBINO, D. L.; MCCARTHY, B. C. Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events. *Dendrochronologia* 21:97-115. 2004.

SASS, J. E. *Botanical microtechnique*. 2.ed. Iowa: State College Press, 1951, 228 p.

SETTE JR C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. EX. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. *Revista Árvore* 34:979-990. 2010.

SILVA, G. J.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; BRAWERS, L. R.; DURAN, J. A. R. Avaliação de plantas adultas de espécies arbóreas do cerrado em função do clima. *Agricultura Tropical*, Cuiabá, v. 8, p. 43-46, 2004.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Revista Scientia Forestalis*, Piracicaba v. 36, n. 77, p. 7-14, mar. 2008.

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

TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C. S.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. *Scientia forestalis*, São Paulo, n. 66, p. 46-55, dez. 2004.

TSOUMIS, G. *Wood as raw material*. London: Pergamon Press, 1969. 263p.

VETTER, R. E.; BOTOSSO, P. C. *Observações preliminares sobre a periodicidade e taxa de crescimento em árvores tropicais*. Acta Amazônica, Manaus, v. 18, n. 1/2, p. 189-196, 1988.

VETTER, R. E.; BOTOSSO, P. C. Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. *IAWA Bulletin* n.s. 10(2): 133-146. 1989.

VILLALBA, R.; BONINSEGNA, J. A. Dendrochronological studies on *Prosopis flexuosa* DC. *IAWA Journal*, Utrecht, v.10, n.2, p.155-160, 1989.

WAREING, P. F.; PATRICK, J. Source-sink relations and the partition of assimilates in the plant. In: J. P. Looer (ed.), *Photosynthesis and productivity in different environments: 481-499*. Cambridge University Press, Cambridge. 1975.

WHEELER, E.; BAAS, P. A survey of the fossil record for dicotyledonous wood and its significance for evolutionary and ecological wood anatomy. *IAWA Bull.* 12(3):275-332. 1991.

WIMMER, R.; DOWNES G. M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. *Tree Physiology*, Canada, v. 22, n.7, p. 449-457, maio 2002.

WORBES, M. *Structural and other adaptations to long-term flooding by trees in Central Amazonia*. Amazoniana 9(3): 459-484. 1985.

WORBES, M. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bulletin* 10(2): 109-122. 1989.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal*, Utrecht, v. 16, n.4, p.337-351, 1995.

WORBES, M. The forest ecosystems of the Amazonian floodplains. *Ecological Studies* 126: 223-265. 1997.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and longterm growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, Oxford, v. 87, 391–403., 1999.